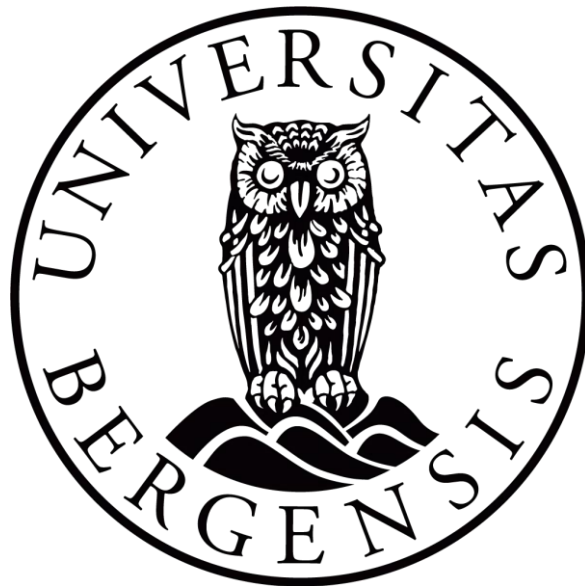


Problemløsende oppgaver på prøver i programfaget fysikk

Utvikling av en taksonomi og læreres vurderinger for valg av oppgaver

Olve Flaten & Håkon Mangersnes



Masteroppgave ved Institutt for fysikk og teknologi
Veileder: Professor Stein Dankert Kolstø

UNIVERSITETET I BERGEN

3. juni 2019

Problemløsende oppgaver på prøver i programfaget fysikk

Utvikling av en taksonomi og læreres vurderinger for valg av oppgaver

En masteroppgave skrevet av

Olve Flaten & Håkon Mangersnes

© Olve Flaten & Håkon Mangersnes

2019

Problemløsende oppgaver på prøver i programfaget fysikk - Utvikling av en taksonomi og læreres vurderinger for valg av oppgaver

Olve Flaten & Håkon Mangersnes

Abstract

Prosjektet tar for seg utvikling av en taksonomi for problemløsende oppgaver i programfaget fysikk, samt en kategorisering av læreres begrunnelser for valg av oppgaver. L. W. Anderson og Krathwohl (2001) har videreutviklet det kognitive domenet av Blooms taksonomi. Taksonomien er ikke fagspesifikk, og flere andre rammeverk utviklet spesielt for kategorisering av oppgaver i fysikk blir diskutert. Ved å studere oppgaver fra et utvalg prøver og intervjuer lærerne som utviklet prøvene, har vi fått innsikt i hva ulike oppgaver krever av elevene. Dette har blitt brukt i kombinasjon med kjente rammeverk og annen aktuell teori for å utvikle en «Taksonomi for problemløsende oppgaver i fysikk». Taksonomien består av de uavhengige dimensjonene *Kompleksitet*, *Komplisitet* og *Kognitive prosesser*. Den sistnevnte består av de hierarkisk organiserte nivåene 1. *Gjengi*, 2. *Forstå* og 3. *Modellere*. Taksonomien foreslår analytiske dimensjoner som lærere kan bruke i arbeidet med å analysere problemløsende oppgaver. Taksonomiens foreslåtte skiller kan også sees på som et innspill til videreutvikling av aktuell teori på området. En kvalitativ analyse av lærernes forklaringer har resultert i følgende begrunnelser for utforming og valg av oppgaver: *Testteoretiske*, *Læringsmålorienterte*, *Betryggende*, *Forberedende*, *Praktiske* og *Opplærende*. Kategoriene beskriver ulike hensyn lærerne tar. Avslutningsvis blir begrunnelsen sammenheng med den utviklede taksonomien diskutert. Oppbygning og bruk av taksonomien vil også bli diskutert.

The project describes the development of a taxonomy for problem-solving assessment exercises, as well as a categorization of the grounds on which teachers select assessment exercises. We will discuss L. W. Anderson and Krathwohl's (2001) revision of Bloom's general taxonomy, as well as other frameworks specifically developed for categorizing physics exercises. By studying exercises from a sample of physics tests and conducting interviews with the teachers that made them, we have gained insight into the cognitive demands of different exercises. This insight, in combination with other frameworks and theory on the subject, has helped us develop a taxonomy for categorizing problem-solving exercises in physics. The taxonomy consists of three independent dimensions: *Complexity*, *Intricacy* and *Cognitive processes*, where the latter consists of the hierarchically organized levels: 1. *Remember*, 2. *Understand* and 3. *Model*. It suggests various analytical dimensions that teachers can use to analyse problem-solving exercises, and the distinction between them might aid the extension of theory on the subject. A qualitative analysis of teachers' explanations has yielded the following reasons for the structure and selection of exercises: *Test-theoretical*, *Objective-based*, *Reassuring*, *Preparational*, *Practical* and *Instructional*. The categories describe various considerations that teachers make, and we will discuss how they relate to the taxonomy. We will also address the structure and use of the taxonomy.

Forord

Vi vil i det følgende takke våre mange støttespillere som har gjort det mulig for oss å gjennomføre dette prosjektet!

Vi vil rette en særskilt takk til vår veileder, Professor Stein Dankert Kolstø, for det engasjementet du har vist for prosjektet, og for den faglige innsikten du har delt med oss i denne perioden. Takk for konstruktive tilbakemeldinger og råd for gjennomføringen av prosjektet, og ikke minst i skrivingen av oppgaven. Vi har lært mye i arbeidet med dette prosjektet takket være at du har delt så generøst av din kompetanse og erfaring. Tusen takk for all den tid du har viet til veiledning av oss i dette prosjektet, og for meningsfulle diskusjoner underveis!

Videre vil vi takke våre medstudenter gjennom studietiden og det gode miljøet vi har skapt sammen. Takk for gode diskusjoner og godt samarbeid på rom 367. Studietiden hadde ikke vært den samme uten!

Til slutt vil vi takke våre familier for all støtte. Tusen takk til Marte Kristine og Anna for alt dere har gjort for å legge til rette for at vi har kunnet gjennomføre dette prosjektet.

Vår arbeidsfordeling

Dette prosjektet har vært et samarbeid mellom to studenter og vi ønsker med dette å informere om arbeidsfordelingen mellom oss.

I prosjektet har vi jobbet sammen i alle faser, og ingen deler av oppgaven kan derfor regnes som individuelle bidrag. Selv om vi også har jobbet individuelt i skrivingen av oppgaven er idéene som er lagt til grunn et produkt av vårt samarbeid. Skriveprosessen har vært preget av gjensidig deling og videreutvikling av hverandres tekster, og oppgaven må derfor anses som et felles produkt.

Vi er felles bidragsytere til denne oppgaven, og kan derfor ikke skille ut selvstendige bidrag på en hensiktsmessig måte.

Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING	1
1.1. Motivasjon for prosjektets forskningsspørsmål	1
1.2. Prosjektets forskningsspørsmål	4
1.3. Prosjektoppgavens oppbygging.....	5
2. TEORI	6
2.1. Kompetanse	6
2.2. Fysikk som komplisert kunnskap	9
2.3. Utfordringer tilknyttet det å uttrykke forståelse gjennom et skriftlig språk.....	11
2.4. Problemløsningsoppgaver	11
2.5. Modellering som problemløsning.....	15
2.6. Ulike rammeverk for kategorisering av oppgaver	18
2.7. Elevers utfordringer i oppgaver i fysikk	27
3. METODE	33
3.1. En kvalitativ tilnærming	33
3.2. Datamateriale	37
3.3. Deltakere i prosjektet.....	39
3.4. Tilgang til prøver	40
3.5. Intervju og intervju kvalitet.....	42
3.6. Transkripsjon av intervju.....	46
3.7. Analyse av problemløsende oppgavers krav til faglig resonnering.....	48
3.8. Analyse av lærernes begrunnelser for valg av oppgaver	52
3.9. Ethiske vurderinger i prosjektet.....	55
4. FUNN	58
4.1. Taksonomi for problemløsende oppgaver i fysikk	58
4.2. Lærernes begrunnelser for valg av oppgaver	79
5. DISKUSJON	88
5.1. Taksonomi for problemløsende oppgaver i fysikk	88
5.2. Lærernes begrunnelser for valg av oppgaver	93
5.3. Sammenhengen mellom lærernes begrunnelser og taksonomien.....	96
5.4. Eksempel på klassifisering av oppgaver gjennom taksonomien	98
5.5 Videre arbeid på området	100
REFERANSER	101
VEDLEGG	104

Liste over figurer

Figur 1: Viser en oppgave fra Erik sin prøve i elektromagnetisme.....	42
Figur 2: Viser en oppgave fra Erik sin prøve i elektromagnetisme.....	61
Figur 3: Viser en alternativ variant av oppgaven fra figur 2.....	62
Figur 4: Viser en oppgave fra Fredrik sin prøve i elektrisitet.	64
Figur 5: Viser to deloppgaver fra Dagny sin prøve i kjernefysikk.	64
Figur 6: Viser en oppgave fra Bjarte sin prøve i mekanikk.....	66
Figur 7: Viser en deloppgave fra Anders sin prøve i elektromagnetisme.	67
Figur 8: Viser en deloppgave fra Bjarte sin prøve i kjernefysikk.	68
Figur 9: Viser en deloppgave fra Anders sin prøve i elektromagnetisme.	71
Figur 10: Viser en oppgave fra Erik sin prøve i mekanikk.....	71
Figur 11: Viser to deloppgaver fra Christian sin prøve i elektrisitet.	73
Figur 12: Viser en deloppgave fra Dagny sin prøve i mekanikk.	74
Figur 13: Viser en oppgave fra Anders sin prøve i mekanikk og elektrisitet.	75
Figur 14: Viser en oppgave fra Erik sin prøve i mekanikk.....	77
Figur 15: Viser en oppgave fra Bjarte sin prøve i mekanikk.....	77
Figur 16: Viser en deloppgave fra Christian sin prøve i mekanikk.	78
Figur 17: Viser en oppgave fra Anders sin prøve i mekanikk og elektrisitet.	99

Liste over tabeller

Tabell 1: Viser Dolin (2002, s. 372) sin kompetansebeskrivelse av fysikk. Vår oversettelse.	8
Tabell 2: Viser strukturen for de kognitive prosessene i taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001, s. 67-68).....	19
Tabell 3: Viser de kognitive nivåene i taksonomien til Teodorescu et al. (2013, s. 3) (TIPP).....	25
Tabell 4: Oversikt over tegn og markeringer, med betydninger, som har blitt brukt i utdragene fra intervjuene.....	58
Tabell 5: Taksonomi utviklet for å beskrive de ulike oppgavenes krav til faglig resonnering.	59
Tabell 6: De ulike kategoriene for lærernes begrunnelser for utforming og valg av oppgaver til prøver.	79

Liste over vedlegg

Vedlegg 1: Samtykkeskjema	105
Vedlegg 2: Intervjuguide	107
Vedlegg 3: Eksempel på innledende analyse av prøve	108
Vedlegg 4: Eksempel på transkripsjon.....	111

1. Innledning

1.1. Motivasjon for prosjektets forskningsspørsmål

Vurdering i skolen gjøres på mange ulike nivå og har flere ulike formål. Samtidig som det gjennomføres store nasjonale og internasjonale tester som har som formål å informere politikere og skoleledere, gjennomfører også lærere vurdering lokalt i klasserommet i de ulike fagene. Vurderingen som lærere gir skal både uttrykke kompetansen til elevene og bidra til læring (Forskrift til opplæringslova, 2006), og har med andre ord både et summativt og et formativt formål. Hvilke vurderingsformer som blir brukt varierer, men tall fra Utdanningsdirektoratet (2015) viser at for både Fysikk 1 og Fysikk 2 er det skriftlige prøver som dominerer når elevene skal få karakter som uttrykker summativ vurdering. Dette til tross for at elevene både i Fysikk 1 og Fysikk 2 kan bli trukket opp i muntlig eksamen (Utdanningsdirektoratet, 2006). Den skriftlige prøvens sterke posisjon som verktøy for summativ vurdering av elevene i programfaget fysikk (Angell et al., 2011) gjør det aktuelt å se nærmere på hva som kjennetegner oppgavene som elevene møter på prøvene.

Som lektorstudenter har vi som mål å senere undervise i programfaget fysikk, noe som også vil innebære å lage prøver som kan brukes i forbindelse med vurdering i faget. På disse prøvene inngår det ulike typer oppgaver, og vi må dermed kunne begrunne valg av oppgaver som skal inkluderes. Elevene skal vurderes på et rettfærdig grunnlag og alle skal få vise hva de kan, og i den forbindelse kan det være nyttig med innsikt i hva som gjør en oppgave krevende.

I dette prosjektet vil vi spesielt fokusere på det vi vil omtale som problemløsende oppgaver. En *problemløsende oppgave* blir i dette prosjektet forstått som en oppgave der elever blir stilt overfor en fysikkrelatert problemsituasjon som kan løses ved å komme frem til et konkret matematisk svar gjennom bruk av redskaper fra fysikk og matematikk. En nærmere definisjon og avgrensning vil bli gitt i kapittel 2.4.

Vår oppfatning er at problemløsende oppgaver utgjør en sentral del av fysikkfaget. Oppgavetypen er vanlig i både undervisning og på prøver, og det er vårt inntrykk at mange elever forbinder fysikkfaget med nettopp denne typen oppgave. Det kan videre argumenteres for at evne til å løse problemer er viktig generelt i profesjonell jobbsammenheng (Jonassen, 2000, s. 63). Vår erfaring tilsier at det finnes mange varianter av problemløsende oppgaver, og at deres opplevde vanskelighetsgrad kan være utfordrende å forutsi. Vi ser derfor et behov for et redskap som kan brukes til å analysere vanskelighetsgraden tilknyttet slike oppgaver, og som kan peke på hvilke aspekter ved en problemløsende oppgave som må vurderes for å bestemme vanskelighetsgraden.

En analyse av oppgaver kan støttes og informeres av et *rammeverk*, som i dette prosjektet vil bli forstått som et system av kategorier som kan brukes for å analysere noen aspekter ved en problemløsende oppgave. Et strukturert og klart definert rammeverk som systematiserer ulike typer oppgaver vil vi også omtale som en *taksonomi*. Vi kommer til å bruke ordene mer eller mindre som synonymer. Grunnen til at vi velger å ha med begge er fordi vi senere vil vise til ulike rammeverk og taksonomier og ønsker å bruke forfatterens egne betegnelser.

L. W. Anderson og Krathwohl (2001) har videreutviklet den kognitive delen av Blooms taksonomi, som er en utbredt taksonomi for kategorisering av intellektuelle krav i vurderingsoppgaver. I kapittel 2.6 vil taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) diskuteres nærmere. Taksonomien er ikke fagspesifikk, og en taksonomi som tar høyde for hvert fags egenart vil kunne være å foretrekke. L. W. Anderson og Krathwohl (2001) skriver at Bloom selv har uttalt følgende,

Ideally each major field should have its own taxonomy of objectives in its own language – more detailed, closer to the special language and thinking of its experts, reflecting its own appropriate sub-divisions and levels of education, with possible new categories, combinations of categories and omitting categories as appropriate (s. XXVII-XXVIII)

Et eksempel på en utfordring for anvendelse av taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) i fysikk er at taksonomien ikke tar høyde for å beskrive elevens problemløsning. Det er for øvrig utviklet flere rammeverk spesielt for fysikk som vil beskrives i kapittel 2.6. Vi finner likevel ingen av rammeverkene tilfredsstillende for å beskrive problemløsende oppgaver i det norske programfaget fysikk. Det har derfor vært et ønske for oss å utvikle en taksonomi som kan brukes som et redskap for lettere å kunne diskutere og forutsi vanskeligheten i en problemløsende oppgave, men som også kan være et innspill til teori på området.

Et ønske om å ha oppgaver av ulik vanskelighetsgrad på prøver i fysikk er nødvendig i lys av vurderingens sorteringsfunksjon. Lærerne er lovpålagt å vurdere elevenes faglige kompetanse på en skala med seks ulike nivåer (Forskrift til opplæringslova, 2006, §3-4). Valg av oppgaver med ulik vanskelighetsgrad bygger derfor på en bestemt begrunnelse. Gjennom prosjektet har vi imidlertid utviklet en økt innsikt i at lærere også har andre begrunnelser for sine valg av oppgaver. I intervju med lærere erfarte vi at lærere tar mange ulike hensyn når det gjelder utforming og valg av oppgaver, og at det er mer enn prøvens sorteringsfunksjon som er avgjørende i utviklingen av prøven. Vi ønsket derfor å undersøke nærmere hva lærere legger til grunn for utforming og valg av oppgaver til prøver for en mer helhetlig forståelse.

Prosjektet har derfor hatt et dobbelt fokus. Etter hvert som vi ble gjort klar over nyansene i begrunnelsene bak utforming av prøveoppgaver innså vi at denne innsikten kunne være avgjørende for å kunne identifisere relevante skiller mellom ulike oppgaver. Vi erfarte at lærerne

velger prøveoppgaver av ulike grunner, og at en spesiell utforming kunne være resultat av en spesifikk hensikt med oppgaven. Vi antok derfor at lærernes beskrivelser av oppgavene ville være preget av de ulike begrunnelsene lærerne hadde for å inkludere den aktuelle oppgaven. For å beskrive de ulike skillene i problemløsende oppgaver anså vi det derfor som aktuelt å undersøke disse begrunnelsene nærmere. Vi opplevde dermed at lærernes kompetanse og erfaring kunne utvide vår forståelse av problemløsende oppgavers krav til faglig resonnering.

Constructive alignment

Opplæringen skal følge læreplanen (Forskrift til opplæringslova, 2006, §1-1), og det er derfor en vesentlig oppgave å sikre at undervisningen og vurderingen som blir gitt i faget er i tråd med kompetansemålene for faget. Hvorvidt en test måler det den er tenkt til å måle kalles testens validitet (Angell et al., 2011, s. 403). Når vurderingsresultatet skal si noe om graden av måloppnåelse i forhold til kompetansemålene, er et samsvar mellom disse målene og vurderingsoppgavene derfor avgjørende for vurderingens validitet. Når målet for opplæringen, undervisningen og vurderingen i faget blir studert sammen med mål om å sikre samsvar, beskriver Biggs (1996) dette som «constructive alignment». Cohen (1987) skriver at elever oppnådde tydelig bedre resultater når det var en bevisst sammenheng mellom undervisningen og vurderingen, enn når denne sammenhengen ikke var tilstede. Biggs (1996, s. 350) peker på at undervisning er et systemet som vil orientere seg mot en likevekt. Dersom prøveoppgavene i et fag sikter mot et lavere kognitivt nivå enn målene for undervisningen, kan hele systemet påvirkes av vurderingen mot et lavere kognitivt nivå (Biggs, 1996, s. 350).

Prøver i faget er også viktig for elevenes syn på faget. Tester er en av de viktigste faktorene for hva elevene tror læreren anser som viktig i faget (Dickie, 2003). Dickie skriver videre,

If the test focuses on factual knowledge, the student will learn to memorize; if the test requires analytical thinking the student will learn to reason analytically. The intellectual skills the students rehearse will depend on the cognitive demands of the tasks they are asked to undertake. (Dickie, 2003)

Dersom vurderingen skiller seg fra undervisningen kan det tenkes at elevene oppfatter den som irrelevant, noe som kan medføre at de mister interesse for undervisningen. Dette kan sees på som et problem, men med kjennskap til dette kan det også brukes konstruktivt. Ved å sikre sammenheng mellom undervisning og prøver i et fag kan man tenke seg at man som lærer vil kunne gi undervisning som elevene opplever som relevant.

L. W. Anderson og Krathwohl (2001, s. 10) skriver at ved å analysere mål for undervisning, selve undervisningen og prøveoppgaver i et rammeverk, kan dette avdekke dype sammenhenger som

man ellers kunne gått glipp av. Å utvikle en taksonomi som kan brukes i arbeidet med å beskrive hvilke krav som stilles av en gitt problemløsende oppgave, kan derfor også knyttes til et ønske om en tydelig sammenheng mellom fagets mål, undervisning og prøveoppgaver i faget.

1.2. Prosjektets forskningsspørsmål

Ønsket om å utvikle en taksonomi som kan brukes for å klassifisere problemløsende oppgaver som blir gitt på prøver i det norske programfaget fysikk, er utgangspunktet for vårt prosjekt. Mer presist er vi interessert i klassifisering av problemløsende oppgaver etter hvor krevende de er å løse. Dette resulterte i følgende forskningsspørsmål,

Hvilke ulike krav til faglig resonnering hos elevene stiller ulike problemløsende oppgaver på prøver i programfaget fysikk?

Gjennom å studere oppgaver fra et utvalg skriftlige prøver og intervjuere lærere om de samme oppgavene, har vi fått innsikt i hvilke krav lærerne mener at de ulike oppgavene stiller. Dette har vi brukt sammen med eksisterende rammeverk og annen relevant teori til å svare på forskningsspørsmålet gjennom å utvikle en taksonomi. I dette prosjektet skal *faglig resonnering* forstås som det en elev må gjennomføre kognitivt for å mestre en problemløsende oppgave. Opprinnelig ble faglig resonnering knyttet tett mot det L. W. Anderson og Krathwohl (2001) beskriver som kognitive prosesser. Vi ønsket imidlertid ikke å begrense oss til denne forståelsen da vi ville åpne for eventuelle alternative synspunkter som kunne dukke opp.

Videre antok vi at lærere tar mange ulike hensyn når de lager oppgaver til prøver. Bredde i vanskelighetsgrad på oppgavene antas å være en slik begrunnelse, der et verktøy for enklere å kunne beskrive vanskelighetsgraden tilknyttet en oppgave antas å kunne være til hjelp. En nærmere beskrivelse av de ulike begrunnelsene lærerne har for valg av oppgaver på prøver ble ansett som ønskelig for en helhetlig forståelse av prosessen rundt utforming av oppgaver til prøver. Prosjektet har derfor også arbeidet for å svare på følgende forskningsspørsmål,

Hva legger lærere til grunn for utforming og valg av oppgaver på sine prøver i programfaget fysikk?

For å svare på forskningsspørsmålet brukte vi intervjuene med lærerne til å etterspørre deres begrunnelser for valg av oppgaver til prøvene. I analysen av begrunnelser for valg av oppgaver har vi ikke begrenset oss til problemløsende oppgaver som i utviklingen av taksonomien. Dette forskningsspørsmålet tar med andre ord sikte på en mer generell beskrivelse av lærernes valg av oppgaver til prøvene, uavhengig av oppgavetype.

1.3. Prosjektoppgavens oppbygging

I kapittel 2 vil vi legge frem det teoretiske rammeverket for prosjektet. Her vil diskusjonen først omhandle ulike kjennetegn ved oppgaver i fysikk før vi beskriver noen ulike rammeverk. Beskrivelsen av teori vil avsluttes med en diskusjon av de utfordringene som elever typisk opplever i møte med problemløsende oppgaver i fysikk.

I kapittel 3 vil vi beskrive hvordan vi gikk frem for å skaffe nødvendige data til å svare på forskningsspørsmålene for prosjektet. Her vil vi først begrunne vårt valg av tilnærming før vi beskriver valg av datamateriale. Vi vil her også beskrive hvordan vi analyserte dataene i prosjektet før vi avslutningsvis diskuterer noen etiske refleksjoner.

I kapittel 4 presenter vi prosjektets funn. Her vil vi først beskrive kategoriene i den utviklede taksonomien for problemløsende oppgaver i fysikk. Etter dette vil vi presentere de ulike kategoriene av begrunnelser for utforming og valg av oppgaver.

I kapittel 5 vil vi diskutere styrker og utfordringer knyttet til funnene i prosjektet. Vi vil også diskutere sammenhengen mellom lærernes begrunnelser for valg av oppgaver og den utviklede taksonomien. Her vil det diskuteres hvordan den utviklede taksonomien kan brukes av hver enkelt lærer i arbeidet med å analysere egne oppgaver. Vi vil også diskutere hvordan taksonomien kan være et innspill til videreutvikling av teori på området. Avslutningsvis vil vi gi et eksempel på hvordan en oppgave fra datamateriale kan kategoriseres gjennom den utviklede taksonomien.

2. Teori

Vi vil i det følgende presentere aktuell teori som har vært med på å forme prosjektet. I denne gjennomgangen vil vi først diskutere ulike kjennetegn ved problemløsende oppgaver i fysikk og beskrive noen rammeverk som har gitt inspirasjon til utvikling av taksonomien som vi senere vil presentere. Vi vil her også presentere styrker og svakheter ved de ulike rammeverkene. Avslutningsvis vil vi trekke frem noen utfordringer som elever har i møte med oppgaver i fysikk.

2.1. Kompetanse

Gjennom læreplanen er målene for de ulike fagene i skolen beskrevet ved kompetansemål. Kompetanse er dermed et nøkkelbegrep i forbindelse med vurdering i skolen da alle former for summativ vurdering har som hensikt å måle deler av elevens kompetanse. Vi vil derfor diskutere begrepet kort og definere hva som kan menes med kompetanse generelt og på prøver i fysikkfaget spesielt.

I *Second International Handbook of Science Education* blir kompetanse i naturfaget forstått som den underliggende årsaken til «(...) successfull or unsuccessful performance (...) in the domain of science» (Kauertz, Neumann & Haertig, 2012, s. 711). Hvorvidt en elev vil mestre en gitt oppgave vil derfor avhenge av elevens kompetanse. Kauertz et al. (2012, s. 712) peker for øvrig på at andre faktorer også kan påvirke elevenes prestasjoner, noe vi vil komme tilbake til i kapittel 2.7. Dolin (2002, s. 368) skriver at kompetansebegrepet også henter tanker fra dannelsesbegrepet og at et sentralt punkt er evnen og viljen til handling. For øvrig peker Dolin (2015) på at begrepet kan defineres gjennom følgende definisjon fra OECD sitt DeSeCo-prosjekt,

A competence is defined as the ability to successfully meet complex demands in a particular context through the mobilization of psychosocial prerequisites (including both cognitive and noncognitive aspects). (...) The primary focus is on the results the individual achieves through an action, choice, or way of behaving, with respect to the demands, for instance, related to a particular professional position, social role, or personal project (Salganik & Rychen, 2003, s. 43).

Definisjonen vektlegger elevenes evne til å møte komplekse situasjoner og på bakgrunn av sin kompetanse gjennomføre en handling eller ta et valg. Dolin (2015) viser til at når man skal undervise for kompetanse blir det avgjørende for læreren å spørre seg hva elevene skal *kunne gjøre* fremfor hva elevene *må vite*. Videre blir vurdering av elevenes kompetanse et mål på elevenes evne til å håndtere komplekse utfordringer. Dolin (2015, s. 188) peker på at dette medfører at vurderingssituasjonene må være basert på autentiske situasjoner av hensyn til

validitet. I sammenheng med skriftlige prøver i fysikk, som dette prosjektet tar utgangspunkt i, vil imidlertid graden av autentisitet være noe begrenset. Det må antas at problemstillingene som elevene møter på skriftlige prøver er relativt kjente, i hvert fall med tanke på hvilken kunnskap elevene er forventet å bruke for å løse oppgavene. Selv om oppgavene på de skriftlige prøvene derfor kanskje ikke er fullgodt egnet for å vurdere elevenes samlede kompetanse, slik dette begrepet blir definert, kan prøvene likevel vurdere aspekter av denne kompetansen. Hvilke aspekter dette kan være vil vi diskutere under. En utfyllende diskusjon av utfordringer knyttet til en fullstendig vurdering av elevenes kompetanse er ikke denne oppgavens anliggende og vi vil derfor nøye oss med å vise til at denne utfordringen finnes uten å diskutere den ytterligere.

Kompetanse i fysikk

Nilsen (2015) har i sin doktoravhandling laget en modell for å beskrive hva som kan menes med kompetanse i fysikk. Nilsen (2015, s. 15) peker på at selv om kompetansebegrepet er blitt en vanlig måte å beskrive pensum på, er det relativt lite didaktisk forskningslitteratur som beskriver en helhetlig fysikkkompetanse. Det finnes for øvrig forskningslitteratur som tar for seg en naturfaglig kompetanse. Dolin (2015, s. 187) trekker for eksempel linjer mellom en naturfaglig kompetansebeskrivelse og naturfaglig «literacy». Hvert fag har imidlertid, ifølge Nilsen (2015), sin egen karakteristiske kompetanse, noe som gjør det nødvendig med en beskrivelse av hva som kjennetegner denne innen fysikk.

Nilsen (2015) sin modell av kompetanse i fysikk tar utgangspunkt i en modell utviklet av Dolin (2002) og en modell beskrevet i boken *Making it Tangible: Learning Outcomes in Science Education* av Bernholt, Neumann og Nentwig, referert i Nilsen (2015). Den siste av disse blir av Nilsen (2015, s. 17) kalt for den tyske modellen.

Dolin (2002) har utviklet en modell som beskriver seks ulike kategorier av handlinger som elevene må være i stand til i fysikk. Disse er gjengitt i tabell 1. Nilsen (2015) identifiserer de to øverste av disse kategoriene som kognitive aspekter ved fysikkkompetansen som Dolin (2002) beskriver og har samlet disse i et punkt i sin gjengivelse. Heller ikke vi finner begrunnelsen for å dele disse i to adskilte punkter, men gjengir i tabell 1 kompetansebeskrivelsen slik Dolin (2002) selv legger den frem.

Tabell 1: Viser Dolin (2002, s. 372) sin kompetansebeskrivelse av fysikk. Vår oversettelse.

Elevene skal være i stand til å

Utøve fysikkfaglig tankegang

Resonnere fysikkfaglig

Foreta fysikkeksperimenter som følger god laboratoriepraksis

Bygge og analysere modeller

Arbeide med forskjellige representasjoner av fysiske fenomener

Kommunisere i, med og om fysikk

Den tyske modellen består på sin side av tre dimensjoner som hver for seg representerer akser i et tredimensjonalt koordinatsystem (Bernholt, Neumann & Nentwig, referert i Nilsen, 2015). Disse tre dimensjonene består av ulike kognitive krav, noen grunnleggende begreper og et sett med domener. Den sistnevnte av disse, domenene, kan sammenlignes med kompetansene som er listet i modellen til Dolin (Nilsen, 2015).

Nilsen (2015) presenterer på grunnlag av disse to modellene, og annen relevant forskning, «The Physics Competence Model». Modellen består av en kognitiv dimensjon, en affektiv dimensjon og en dimensjon bestående av forskjellige domener. Elevenes interesser og holdninger til faget er fanget opp av den affektive dimensjonen. Den kognitive dimensjonen består av tre hierarkisk organiserte kognitive ferdigheter. Disse tre er å vite, anvende og resonnerer (Nilsen, 2015). Organiseringen etter økende grad av kognitiv kompleksitet i den kognitive dimensjonen er, ifølge Nilsen (2015, s. 20), likt Blooms taksonomi og rammeverket som brukes til å kategorisere oppgaver i TIMSS. Vi vil i kapittel 2.6 beskrive en revidert versjon av Blooms taksonomi, samt rammeverket brukt i sammenheng med TIMSS.

De ulike domenene som Nilsen (2015) presenterer er begreper, representasjoner, modeller, eksperimenter, matematikk og kommunikasjon. Nilsen (2015) beskriver disse domenene som egne kompetanseområder som elevene trenger kognitive og affektive evner innen. Nilsen (2015) eksemplifiserer sammenhengen mellom den kognitive dimensjonen og de ulike domenene ved å vise til at en elev kan ha matematisk kunnskap uten nødvendigvis å kunne anvende denne i fysikk. Selv om domenene i modellen kan sees på som kognitive domener er de ikke del av den kognitive dimensjonen til Nilsen (2015) da denne er forbeholdt de ulike kognitive ferdighetene. Hvorvidt de tre dimensjonene i modellen er uavhengige av hverandre er, ifølge Nilsen (2015, s. 20), usikkert.

I vårt prosjekt ser vi ikke på den affektive dimensjonen i modellen til Nilsen (2015) som relevant når det kommer til en beskrivelse av elevenes kompetanse. Dolin (2002, s. 373) trekker frem at engasjement ikke skal vurderes i den danske skolen. I Norge er det kun i faget kroppsøving at innsatsen til elevene skal være en del av grunnlaget for vurderingen i faget (Forskrift til

opplæringslova, 2006, § 3-3). Det faktum at oppgavene som studeres i dette prosjektet er hentet fra prøver i faget ville også kunne påvirke den affektive dimensjonen. Elevenes motivasjon og engasjement for faget kan være vesentlig forskjellig i en prøvesammenheng enn ellers i faget.

Når vi senere i denne oppgaven omtaler elevenes kompetanse i fysikk mener vi derfor kun den kognitive dimensjonen og de ulike domenene i modellen til Nilsen (2015). Kompetansen til elever i fysikk skal i dette prosjektet forstås som elevenes evne til å delta i ulike kognitive aktiviteter for å løse oppgaver de blir stilt overfor i en prøvesammenheng, uavhengig av motivasjonen bak. Elevenes evne til å delta i en problemløsende form for arbeid vil også inkluderes som en del av denne fysikkfaglige kompetansen, noe vi vil komme tilbake til i kapittel 2.4.

2.2. Fysikk som komplisert kunnskap

I det følgende vil vi kort drøfte trekk ved selve fysikkdisiplinen som kan gjøre at læring i fysikkfaget av mange oppleves som vanskelig. Det er vår oppfatning at dette vil kunne knyttes til elevers utfordringer ved løsning av oppgaver.

Det finnes flere definisjoner av fysikk som vitenskapsdisiplin, og vi vil ta utgangspunkt i en av disse. Angell et al. (2011, s. 32) viser til en forståelse om at fysikkfaget handler om å beskrive virkeligheten ved hjelp av matematiske modeller som formuleres ved hjelp av matematikk og abstrakte begreper. Ved hjelp av disse kan vi beskrive og forutse fenomener i virkeligheten, og på denne måten danne en form for generalisert kunnskap om den materielle verden (Angell et al., 2011, s. 147). Ifølge Angell et al. (2011, s. 147) kan dette for øvrig være kilde til forvirring hos elever når avstanden mellom den etablerte fysikkunnskapen og det som kan observeres i hverdagen, eller i laboratoriet, blir stor. Vi vil i det følgende vise til hvordan abstraktheten i fysiske begreper og bruddet med hverdagsforestillinger kan skape en slik avstand mellom elevenes forståelser og fysikkens forklaringer.

Angell et al. (2011, s. 31) peker blant annet på at avstanden mellom fysikkunnskapen og elevenes erfaringsverden kan variere mellom ulike deler av fysikkfagets tematikk. For eksempel tar astrofysikken for seg størrelsesordener som er så store at de kan være vanskelig å begripe, mens kjernefysikk involverer størrelsesordener som er tilsvarende små. Relativitetsteori innebærer en ny forståelse av forholdet mellom tid og rom, mens moderne fysikk kan innføre betraktninger av fysiske systemer gjennom flere enn fire dimensjoner. Elevenes erfaringsverden er ikke tilstrekkelig for å forklare disse konseptene, og således må de i stor grad forklares gjennom det abstrakte. Noen deler av fysikken kan dermed oppleves som utfordrende ved at konseptene eller fenomenene kan være vanskelig å forestille seg.

Fysikk representeres på forskjellige måter, gjennom det som kalles representasjonsformer (Angell et al., 2011). Ifølge Dolin (2002, s. 159) er representasjonsformene forskjellige måter å studere et objekt eller et fenomen på og er i stor grad bestemt ut ifra fagets tradisjoner. Bruk av forskjellige representasjonsformer i fysikkfaget kan hjelpe elever med å utvikle sin forståelse, og Dolin (2002, s. 172) hevder videre at læring skjer i det elevene klarer å gå fra en representasjonsform til en annen. Det påpekes samtidig at dette kan være svært vanskelig, og Dolin (2002, s. 172) viser til at elever som behersker to representasjonsformer likevel har en tendens til kun å benytte seg av den ene. Fra dette kan vi trekke ut at fysikk kan oppleves som vanskelig for elever ved at de må forholde seg til mange forskjellige representasjonsformer, i tillegg til at de må å kunne gå mellom dem.

Videre viser Angell et al. (2011, s. 148) til at fysikkfagets idéer og begreper i mange tilfeller representerer brudd med forestillinger elevene har fra hverdagen om hvordan den fysiske verden fungerer. En typisk hverdagsforestilling innen mekanikk kan være: «Hvis det er bevegelse, må det være en kraft» (Angell et al., 2011, s. 276). I tillegg pekes det på at i noen tilfeller blir begreper som elevene allerede bruker i sitt hverdagslige språk tilført ny og mer spesifikk betydning. For eksempel kan begrepet «kraft» ha tvetydig betydning i dagligspråket, og Angell et al. (2011, s. 275) skriver: «Vi kan føle oss «fulle av krefter» en dag; vi hører om prisene på elektrisk kraft, vi kan koke suppe på kraft (...)». Angell et al. (2011, s. 150) viser til at læring i fysikkfaget i mange tilfeller krever at elevenes hverdagsforestillinger brytes ned eller endres, og dette blir trukket frem som en sentral faktor for hvorfor fysikkfaget kan oppleves som vanskelig. Angell et al. (2011, s. 153) viser for eksempel til at elever, når de ble bedt om å gjøre rede for når tyngdekraften virker på et fallende eple, gjerne forestiller seg at det kun virker en kraft på eplet når det er i bevegelse. Naturligvis vil enkelte begreper eller konsepter i større grad enn andre være preget av elevenes hverdagsforestillinger, noe som gjør at kravene til endring av elevenes forståelse vil kunne variere.

Hensikten med denne seksjonen er å vise at noen idéer i fysikk kan være vanskeligere å forstå enn andre på grunn av trekk ved selve fysikkfaget. Noen begreper representerer tydelige brudd med elevenes hverdagsforestillinger, mens andre krever bruk av representasjonsformer de ikke behersker. I tillegg har vi pekt på at noen fysiske konsepter kan være vanskelige å forholde seg til gitt elevenes erfaringsverden. Med dette ønsker vi å belyse at noen deler av fysikkens tematikk kan oppfattes som mer komplisert enn andre, og når vi senere omtaler fysisk teori som komplisert vil det være dette vi viser tilbake til. Det er videre vår oppfatning at en gitt oppgaves opplevde vanskelighetsgrad på denne måten vil avhenge av hvor kompliserte de fysiske ideene som inngår i problemet er.

2.3. utfordringer tilknyttet det å uttrykke forståelse gjennom et skriftlig språk

At elevene kan uttrykke sin forståelse gjennom språk er en viktig målsetning i fysikk, noe som både kommer frem av beskrivelsen av kompetanse (Dolin, 2002; Nilsen, 2015) og i læreplanen (Utdanningsdirektoratet, 2006). Å kunne uttrykke seg skriftlig i fysikkfaget er blant annet en av de fem grunnleggende ferdighetene som læreplanen legger opp til. Det innebærer at elevene skal,

(...) beherske et presist og entydig språk, blant annet å skille mellom dagliglivets bruk av begreper og fysikkens bruk av de samme begrepene (Utdanningsdirektoratet, 2006, s. 4).

Angell et al. (2011) viser til at å lære å skrive gode tekster innen fagets sjangre, som forklaringer og eksperimentrapporter, er et mål i seg selv, men at skriving også er viktig for å lære innholdet i faget. Det skriftlige språket stiller store krav til sammenheng og struktur i setningsoppbygningen, noe som tvinger elevene til å gjennomføre fullstendige resonnement (Angell et al., 2011, s. 233). Elevene må derfor øve på å uttrykke seg skriftlig fordi det stiller andre krav til presisjon enn hva en muntlig måte å uttrykke sine tanker på vil gjøre. Kvalitetskriterier og tilbakemeldinger fra læreren kan hjelpe elevene med å fokusere på det faglige innholdet i det skriftlige arbeidet. Angell et al. (2011, s. 243) beskriver hvordan elevenes skriving av lengre utgreiinger kan ende opp i en oppramsing av fakta, der de fysiske prosessene uteblir, dersom læreren ikke er bevisst på å utfordre elevene på sammenhengene gjennom kvalitetskriteriene.

Å be elevene om å uttrykke seg skriftlig i et svar på en oppgave kan med andre ord medføre utfordringer for elever dersom de ikke er vant med denne måten å arbeide på. Oppgaver som ber elevene komme med skriftlige forklaringer kan også brukes i en prøvesammenheng. I dette prosjektet har vi for øvrig begrenset oss til å beskrive oppgaver som kan karakteriseres som problemløsende oppgaver. Dette innebærer at en nærmere beskrivelse av utfordringer knyttet til oppgaver som ber elevene om å gi svar i form av en tekst, ikke er innenfor prosjektets omfang. Oppgavetyper vil kommenteres da den er en man kan forvente å finne på en prøve i fysikk, men vil kun diskuteres i den grad lærerne selv trekker det inn som en forutsetning for forståelsen av mer problemløsende oppgaver. Av hensyn til prosjektets omfang og fokus vil vi ikke fokusere på en nærmere beskrivelse av de krav som stilles ved formulering av en tekst som svar på en oppgave.

2.4. Problemløsningsoppgaver

Dette prosjektet har som mål å utforske problemløsende oppgaver på prøver i fysikkfaget. For å undersøke problemløsningsoppgaver trengs for øvrig en definisjon av hva som menes med

problemløsning. I det følgende vil vi derfor diskutere noen aspekter ved problemløsning i naturfagene for å utdype hva vi vil legge i begrepet, og avgrense begrepet til dette prosjektet.

En definisjon av problemløsningsoppgaver

Yerushalmi og Eylon (2015) beskriver ulike aspekter ved problemløsning i naturfagene og definerer et problem på følgende måte,

A problem is often defined as an unfamiliar task that requires one to make judicious decisions when searching through a problem space with the intent of devising a sequence of actions to reach a certain goal (s. 787).

«Problem space» skal i sitatet forstås som ens representasjoner av objektene som inngår i en problemsituasjon, målet for problemsituasjonen og de ulike handlingene man kan foreta seg i problemsituasjonen (Greeno & Simon, referert i Yerushalmi & Eylon, 2015, s. 787). Jonassen (2000) beskriver «problem space» som en mental modell av problemet og skriver at konstruksjonen av denne kan være den mest kritiske delen av problemløsningen. Etter dette innebærer også problemløsning å manipulere den mentale modellen for å finne en løsning på problemet (Jonassen, 2000). Med andre ord kan problemløsning sies å være den kognitive prosesseringen som må til for å omforme en gitt situasjon til en målsituasjon uten at man har en kjent strategi (Mayer, referert i OECD, 2013, s.122).

Definisjonen vektlegger at et problem er en ukjent oppgave for problemløseren, og dette innebærer at hvorvidt en oppgave er et problem avhenger av erfaringer og kunnskaper hos den som skal løse den. OECD (2013, s. 123) skriver at det avgjørende ved et problem ligger i at elevene ikke er kjent med strategien for løsning av problemet. Som vi vil komme tilbake til i kapittel 2.7 er elevenes muligheter for å overføre den kunnskapen de har til nye situasjoner, og dermed kunne bruke den i løsningen av ukjente problemer, avhengig av elevenes forståelse av fagstoffet. Chi, Feltovich og Glaser (1981) fant at elevene gjenkjenner oppgaver på bakgrunn av overfladiske strukturer i oppgaven. Eksempler på overfladiske strukturer i oppgavene kan være at oppgaven omhandler elementer på et skråplan eller at oppgaven omhandler friksjon (Chi et al., 1981, s. 125). En konsekvens av dette kan være at en endring av slike overfladiske strukturer i oppgaven kan gjøre at elever ikke umiddelbart gjenkjenner hvordan problemet kan løses. Anvendelse av kunnskap i en ny kontekst kan da innebære at elevene ikke oppnår mestring, til tross for at oppgavens underliggende løsningsstruktur er lik en oppgave de tidligere har mestret. Et eksempel på en slik underliggende struktur kan være å identifisere at en oppgave kan løses ved energibevaring (Chi et al., 1981, s. 128).

I tillegg til å være et middel for å undersøke elevenes forståelse av fysisk teori behandler OECD (2013) problemløsning som en egen kompetanse i PISA-undersøkelsen. Problemløsning kan med andre ord sees som et mål i seg selv og et mål for å lære fysikkteori. I det følgende vil vi avgrense hva vi mener med et problem og hva som kjennetegner problemløsningskompetanse, før vi i kapittel 2.7 diskuterer problemløsningsoppgavers krav til overføring av kunnskap hos elevene. Betegnelsene *problemløsende oppgaver* og *problemløsningsoppgaver* forholder seg begge til definisjonen til et problem, som beskrevet ovenfor. I dette prosjektet vil disse ordene bety det samme.

Ulike typer problemer

Definisjonen av et problem som ble presentert tidligere åpner for en rekke ulike typer oppgaver (Yerushalmi & Eylon, 2015). Hvorvidt det er læreren eller eleven som definerer problemet og den videre fremgangsmåten er et eksempel (Yerushalmi & Eylon, 2015, s. 787). Jonassen (2000) viser til at problemer både kan variere i grad av struktur, kompleksitet og tilknytning til et bestemt fagfelt. Strukturen i oppgaven omhandler hvor tydelig det er for eleven hva målet for oppgaven er, hvorvidt informasjonen som trengs for å løse oppgaven blir tydelig presentert og om det finnes et begrenset antall måter å gå frem for å løse problemet. Kompleksiteten i problemet er blant annet bestemt av hvor mange utfordringer, variabler og funksjoner som er i problemet (Funke, referert i Jonassen, 2000, s. 67-68). Kjærnsli, Nortvedt og Jensen (2014, s. 11) skriver at kompleksiteten i en oppgave både kan øke som et resultat av flere steg i en løsningsprosess og flere elementer i oppgaven. Kompleksiteten er i stor grad avgjørende for problemets vanskelighetsgrad (Jonassen, 2000). Når informasjonsmengden i oppgaven øker vil vanskelighetsgraden øke fordi det blir krevende å holde oversikt over elementene som inngår i oppgaven (Kjærnsli et al., 2014, s. 11). En mer utfyllende beskrivelse av hvorfor mer komplekse oppgaver er antatt å medføre en høyere grad av opplevd vanskelighet vil vi komme tilbake til, da dette i stor grad spiller ball med kunnskapen til hver enkelt elev.

Det er imidlertid ikke slik at alle disse variasjonene av problemløsningsoppgaver er like relevante for dette prosjektet. Når det gjelder hvorvidt problemet er definert av læreren eller eleven virker det for eksempel nærliggende å anta at oppgaver som man vil finne i en prøvesammenheng er definert av læreren. Yerushalmi og Eylon (2015, s. 787) peker på at de ulike variasjonene lager et spektrum av oppgaver der man på den ene siden finner abstrakte og strukturerte problemer. På den andre siden av spektrumet finnes det virkelighetsnære prosjektoppgaver og oppgaver der elevene i stor grad definerer både problemet og fremgangsmåten (Yerushalmi & Eylon, 2015, s. 787). Cowie (2015) peker at denne sistnevnte typen problemstillinger gjerne løses som en gruppe, noe som aktualiserer skillet mellom individuell evne til problemløsning eller evne til

problemløsning i et samarbeid. Det finnes utfordringer ved å vurdere elevers evne til å løse problemer i samarbeid, som hvordan man skal avgjøre hver enkelt elev sitt bidrag til gruppen (Cowie, 2015).

I dette prosjektet vil vi avgrense vår definisjon av problemløsningsoppgaver til strukturerte oppgaver som er definert av læreren. Den skriftlige prøven har gjerne avgrenset tid og muligheten for samarbeidende problemløsning underveis i prøven er normalt ikke til stede. Når vi videre diskuterer problemløsning vil det derfor være med en forståelse av problemer som oppgaver der kompleksiteten kan variere, men der strukturen og målet for oppgaven er klart definert.

Problemløsningskompetanse

Problemene som elevene kan møte i prøvesituasjoner kan utfordre elever på mange områder og evnen til å drive problemløsning kan beskrives som en egen kompetanse. I det følgende vil vi beskrive denne kompetansen og vise til hvordan den henger sammen med den tidligere definisjonen av kompetanse i fysikk.

PISA forsøker å måle de kognitive prosessene som er fundamentale for problemløsning gjennom å lage ulike oppgaver som ikke krever ekspertkunnskap innen et emne (OECD, 2013, s. 120). Dette er en del av arbeidet med å kartlegge elevenes problemløsningskompetanse. Denne kompetansen blir av OECD (2013, s. 122) definert som elevenes evne til å delta i de kognitive prosessene som skal til for å løse et problem, men også som ønsket om å løse problemet for å oppnå sitt fulle potensiale som samfunnsborger. Som OECD (2013, s. 123) peker på, skal problemløsningskompetansen ikke bare hjelpe elevene med å håndtere omverdenen, men også med å forme den. Kompetansen innebærer muligheten elevene har til å bruke kunnskapen sin på nye måter gjennom kreative løsningsstrategier. Det innebærer en forståelse av problemsituasjonen og strategier som brukes av elevene for blant annet å dele opp problemet i delproblemer som kan løses (OECD, 2013, s. 123).

I møte med et problem lister OECD (2013, s. 126) opp fire hovedprosesser som inngår i problemløsning. Disse er «Exploring and understanding», «Representing and formulating», «Planning and executing» og «Monitoring and reflecting». Gjennom disse fire prosessene vises det tydelig hvordan problemløsningen starter i en forståelse av selve problemsituasjonen, noe vi tidligere har beskrevet som konstruksjonen av et «problem space». Videre innebærer løsningen en planlegging av veien videre og en konstant overvåking og evaluering av prosessen. Strategier for løsning av problemer, og metakognitive strategier for overvåking er med andre ord en del av elevenes kompetanse i problemløsning. En nærmere beskrivelse av slike strategier vil vi komme tilbake til i en diskusjon av elevers utfordringer knyttet til løsning av oppgaver i fysikk, se kapittel 2.7.

At problemløsning omtales som en egen kompetanse må sees i sammenheng med den tidligere diskusjonen og definisjonen av hva som menes med kompetanse. Problemløsningskompetansen som OECD (2013) beskriver er som nevnt ikke tiltenkt et spesifikt fag, men ment å gjelde generelt for problemløsning. Det er imidlertid vår mening at denne kompetansen kan kobles til den generelle fysikkkompetansen som er beskrevet tidligere. Evnen til å løse problemer i fysikk kan sees som en kombinasjon av elevenes kompetanse i fysikk og elevenes kompetanse innen generell problemløsning.

2.5. Modellering som problemløsning

Når det gjelder problemløsning i fysikk vil vi videre koble dette mot modellering, slik dette er beskrevet av Hestenes (1987). Modell er for øvrig et ord som kan ha flere betydninger i fysikk (Angell et al., 2011, s. 38), og vi vil derfor begynne med å avgrense hva som menes med en modell i dette prosjektet, før vi beskriver nærmere hva som kjennetegner modellering som problemløsningsaktivitet.

Én type modell finner vi i de vitenskapelige modellene i fysikk som er resultat av at fysikk kan beskrives som en vitenskap som handler om å lage modeller av virkeligheten. Angell et al. (2011) viser til denne siden ved fysikk når de skriver at,

Fysikk dreier seg om å lage (matematiske) modeller av virkeligheten. Å arbeide med fysikk dreier seg i økende grad om å utvikle, teste og bruke *modeller* (...) (s. 199).

Noen slike modeller, som eksempelvis standardmodellen, kan bestå av svært omfattende kunnskapsstrukturer (Angell et al., 2011, s. 38). Andre modeller i fysikk er pedagogiske og ment for å forklare vitenskapelige modeller (Angell et al., 2011, s. 195). Eksempel på slike modeller kan være analogier (lys som bølger i vann) og skalamodeller (en skalert modell av solsystemet) (Angell et al., 2011, s. 196). Disse modellene kan være nyttige for å skape forståelse (Angell et al., 2011), men vil ikke diskuteres videre da de ikke er relevante for prosjektet.

Den type modeller som vil omhandles i dette prosjektet er modeller som blir konstruert for å løse et problem i en spesifikk situasjon i fysikk. Disse modellene skiller seg fra fysikkvitenskapens modeller da de ikke er omfattende kunnskapsstrukturer som har som mål å gi en generell beskrivelse i form av teori med tilhørende begrepssett. De er heller ikke modeller som har en pedagogisk hensikt. Angell et al. (2011, s. 199) beskriver hvordan modeller kan utvikles av elever for å beskrive noen aspekter ved et fenomen i en konkret situasjon. Her legges det blant annet vekt på at elever kan konstruere og vurdere matematiske modeller gjennom å bruke ulike representasjonsformer. Hestenes (1987, s. 449) hevder at modellering er en

problemløsningsstrategi som har et bredt bruksområde i naturfagene. I det følgende vil vi beskrive modellering som bygging av matematisk formulerte modeller som brukes for å løse problemer i fysikk. Det er elevene selv som konstruerer modellene for å løse problemer de møter på prøvene. Før vi diskuterer denne prosessen mer utfyllende vil vi beskrive noen kjennetegn ved matematiske modeller i fysikk.

Matematiske modeller i fysikk

En fysisk modell for en konkret situasjon eller hendelse er matematisk formulert og beskriver derfor virkeligheten gjennom kvantitative størrelser (Hestenes, 1987, s. 441). I modellen inngår objekter med tilhørende beskrivende variabler, matematiske formler som eventuelt sier noe om tidsutviklingen til systemet, og en tolkning av modellen. En spesifikk situasjon som kan modelleres kan eksempelvis være bevegelsen til en gjenstand som blir kastet. Hestenes (1987, s. 444) eksemplifiserer flere slike kinematiske modeller for å beskrive bevegelsen til gjenstander i ulike situasjoner.

De beskrivende variablene som tilhører objektene som inngår i modellene kan, ifølge Hestenes (1987, s. 441), være av tre ulike typer. Den første av disse, objektvariabler, beskriver egenskaper som hører til objektet i seg selv. Hvilke objektvariabler man har er avhengig av hvilke objekter man har i modellen, men typisk vil størrelser som masse og ladning være slike variabler. Hestenes (1987, s. 441) peker imidlertid på at i noen situasjoner, som når man studerer en rakett som skytes opp, vil massen være en variabel som ikke er konstant. I disse tilfellene er massen en tilstandsvariabel som endrer seg med tiden. Den siste formen for beskrivende variabler er vekselvirkningsvariabler. Disse variablene sier noe om hvordan eksterne objekter påvirker objektet som blir modellert, for eksempel gjennom en beskrivelse av systemets krefter og potensielle energi (Hestenes, 1987, s. 441).

De matematiske ligningene som inngår i en modell beskriver typisk en tidsutvikling for modellsituasjonen (Hestenes, 1987, s. 441). Et viktig element når det kommer til modellen og disse matematisk formulerte ligningene som inngår, er den avsluttende tolkningen. En slik tolkning innebærer at eleven oversetter modellens resultat til noe som gir mening i problemsituasjonens opprinnelige kontekst. Hestenes (1987) peker på at denne tolkningen noen ganger blir liggende så skjult at det kan virke som om de matematiske ligningene er selve modellen og at elever trenger hjelp til å se hvordan tolkningen skal gjøres. Uten denne tolkningen har de matematiske formlene ingen mening utover å være relasjoner mellom matematiske variabler. Hestenes (1987, s. 442) hevder at dette trolig ikke er langt unna den måten mange elever oppfatter de matematiske ligningene som inngår i fysiske modellsituasjoner.

Problemløsning gjennom modellering

Når de fysiske teoriene brukes for å lage en modell for å løse en problemsituasjon beskriver Hestenes (1987, s. 443) dette som modellering. Problemløsning er, ifølge Hestenes (1987, s. 444), en modelleringsaktivitet og har fire steg som til sammen er en strategi for løsning av fysikkfaglige problemer. Disse stegene kan sees på som steg i modelleringsprosessen (Hestenes, 1987, s. 444). Den trinnvise inndelingen av modelleringsaktiviteten til Hestenes (1987) finner vi relevant for å beskrive elevers problemløsning i programfaget fysikk.

Det første steget i Hestenes (1987) sin beskrivelse av modellering, er en beskrivelse av systemet der alle objektene beskrivende variabler blir identifisert. Her blir det avgjort hvilken type situasjon man har og følgende hvilken type modell man er på jakt etter. I tillegg til å beskrive de ulike tilstandsvariablene blir situasjonens utvikling kvalitativt beskrevet i sin helhet. I denne delen av modelleringen identifiseres og beskrives også vekselvirkningsvariablene. Dette gjøres, ifølge Hestenes (1987, s. 445), kvalitativt og gjerne ved bruk av ulike diagrammer som kraftdiagrammer eller energidiagrammer. Hestenes (1987, s. 445) skriver at det er viktig at elevene får øve seg på å lage slike diagrammer og bruke dem i problemløsningssituasjoner og at den pedagogiske betydningen av å tegne slike diagrammer ikke må undervurderes. Denne første fasen av modelleringen innebærer en innledende analyse av problemsituasjonen som dermed kan støttes gjennom utvikling av et diagram. I en situasjon der en bevegelse skal beskrives kan et diagram for eksempel vise fart og akselerasjon til et legeme på ulike steder i kastebevegelsen (Hestenes, 1987). Den beskrivende delen av modelleringssekvensen er typisk en del der elever opplever store utfordringer (Hestenes, 1987, s. 445).

Det neste steget i modelleringssekvensen er formuleringssteget. I denne delen av modelleringen blir de fysiske prinsippene som er identifisert, brukt til å sette opp matematiske formler for problemsituasjonen. Å løse ligningene som disse formlene setter opp er det tredje steget i modelleringen. Dette steget er derfor, som Hestenes (1987) peker på, svært matematisk. Det siste steget i modelleringen er et evaluerende steg der modellen og løsningen blir evaluert. Hestenes (1987) hevder at dette er noe mange elever har problemer med og forklarer dette med elevers manglende bevissthet omkring den underliggende modellen som blir brukt.

Hvorvidt det Hestenes (1987) presenterer om begrunnelsen for elevenes utfordringer med validering av svaret også er gyldig i en norsk videregående kontekst er ikke sikkert. Kunnskap om matematikk som grunnlag for modellering er nevnt som en del av hovedområdet «Å beskrive naturen med matematikk» i læreplanen for fysikk (Utdanningsdirektoratet, 2006). Modeller og modellering har derfor et fokus i programfaget, noe som kan tenkes å påvirke elevenes kjennskap til modellens rolle i faget.

En fordel med å beskrive problemløsning gjennom modellering, slik vi ser det, er at det gir en løsningssekvens som den som er presentert over. Dermed er det lettere å beskrive de ulike stegene i problemløsningen. Selv om vi her har beskrevet problemløsning gjennom modellering mener vi at det likevel finnes problemløsningsoppgaver som kan løses uten modellering. Som vi vil komme tilbake til er modellen i noen oppgaver så å si gitt til elevene. I slike tilfeller kan det tenkes at elevene bruker en modell uten selv å utvikle den. Der dette er tilfellet vil vi videre omtale elevenes løsning som en standardisert problemløsning.

2.6. Ulike rammeverk for kategorisering av oppgaver

I det følgende vil vi presentere ulike rammeverk som kan brukes for å analysere oppgaver. Disse rammeverkene belyser hver for seg ulike tanker og vurderinger tilknyttet kategorisering av oppgaver. Flere av disse har fungert som inspirasjon i vårt arbeid og vært påvirkende for utformingen av en taksonomi i prosjektet. Vi vil også presentere noen relevante utfordringer knyttet til de ulike rammeverkene som gjør at vi ikke har funnet noen av rammeverkene fullgodt egnet til dette prosjektets formål.

Taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001)

Gjennom en videreutvikling av Blooms taksonomi for det kognitive området presenterer L. W. Anderson og Krathwohl (2001) en generell taksonomi for læringsmål. L. W. Anderson og Krathwohl (2001) peker på at verbene i slike læringsmål gjerne avgjør hvilke kognitive prosesser som kreves av elevene. Her skiller det mellom seks ulike nivåer av kognitive prosesser som befinner seg langs en skala av kognitiv kompleksitet. De ulike kognitive prosessene deles inn i følgende grupper: Remember (*å huske*), Understand (*å forstå*), Apply (*å anvende*), Analyze (*å analysere*), Evaluate (*å vurdere*) og Create (*å skape*), som vist i tabell 2.

Tabell 2: Viser strukturen for de kognitive prosessene i taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001, s. 67-68).

1. Remember		
1.1	Recognizing (Identifying)	Retrieve relevant knowledge from long-term memory.
1.2	Recalling (Retrieving)	
2. Understand		
2.1	Interpreting (Clarifying, paraphrasing, representing, translating)	Construct meaning from instructional messages, including oral, written, and graphic communication.
2.2	Exemplifying (Illustrating, instantiating)	
2.3	Classifying (Categorizing, subsuming)	
2.4	Summarizing (Abstracting, generalizing)	
2.5	Inferring (Concluding, extrapolating, interpolating, predicting)	
2.6	Comparing (Contrasting, mapping, matching)	
2.7	Explaining (constructing models)	
3. Apply		
3.1	Executing (Carrying out)	Carry out or use a procedure in a given situation.
3.2	Implementing (Using)	
4. Analyze		
4.1	Differentiating (Discriminating, distinguishing, focusing, selecting)	Break material into its constituent parts and determine how the parts relate to one another and to an overall structure or purpose.
4.2	Organizing (Finding coherence, integrating, outlining, parsing, structuring)	
4.3	Attributing (Deconstructing)	
5. Evaluate		
5.1	Checking (Coordinating, detecting, monitoring, testing)	Make judgements based on criteria and standards.
5.2	Critiquing (Judging)	
6. Create		
6.1	Generating (Hypothesizing)	Put elements together to form a coherent or functional whole; reorganize elements into a new pattern or structure.
6.2	Planning (Designing)	
6.3	Producing (Constructing)	

Som vist i tabell 2 inneholder hver gruppe flere kognitive prosesser som kan knyttes til hva et undervisningsmål eller en gitt oppgave ber elevene om å gjøre. Det nederste kognitive nivået, *å huske*, inkluderer for eksempel både evne til å gjenkjenne og å gjengi kunnskap (L. W. Anderson & Krathwohl, 2001, s. 66). I sammenheng med programfaget fysikk kan det tenkes at dette innebærer at en elev er i stand til å fremkalle fra hukommelsen at joule er enheten til energi, eller at eleven i det minste er i stand til å gjenkjenne dette dersom det oppgis som et alternativ i en

oppgave. Det neste nivået, *å forstå*, inneholder en rekke undergrupper og kan i korte trekk forstås som evnen til å skape mening fra fagstoffet som presenteres (L. W. Anderson & Krathwohl, 2001, s. 70). I fysikksammenheng kan dette for eksempel inkludere det å kunne forklare et fysikkonsept. Det tredje nivået, *å anvende*, innebærer evnen til å bruke kunnskap og utføre prosedyrer, og i fysikksammenheng kan dette eksemplifiseres med oppgaver som ber elevene om å bruke Newtons andre lov til å regne ut massen til et legeme (L. W. Anderson & Krathwohl, 2001, s. 77).

Å analysere innebærer ifølge L. W. Anderson og Krathwohl (2001, s. 79) å bryte ned fagstoff til sine bestanddeler og avgjøre hvordan disse er relatert til hverandre og en overordnet struktur. I fysikksammenheng kan dette relateres til elevens evne til å skille mellom relevante og irrelevante opplysninger i en oppgavetekst. Det femte nivået, *å vurdere*, innebærer evnen til å gjøre vurderinger basert på bestemte kriterier (L. W. Anderson & Krathwohl, 2001, s. 83). Med dette presiserer L. W. Anderson og Krathwohl (2001, s. 83) at dette kognitive nivået ikke er ment til å omslutte alle former for vurdering. For eksempel regnes ikke evnen til å kunne vurdere om to elementer i et fysisk system er forskjellige fra hverandre som del av dette nivået, ved at vurderingen ikke gjøres innenfor rammene av tydelig definerte kriterier. «Er elektriske biler mer miljøvennlige enn andre biler?» er et eksempel på et spørsmål som kan stilles i programfaget fysikk som kan relateres til dette kognitive nivået. Det øverste nivået, *å skape*, innebærer evnen til å sette sammen elementer til en ny, sammenhengende og fungerende helhet (L. W. Anderson & Krathwohl, 2001, s. 84). Dette krever med andre ord et innslag av kreativitet av elevene og L. W. Anderson og Krathwohl (2001, s. 85) eksemplifiserer denne kognitive prosessen i fysikksammenheng med en oppgave som ber elevene om å skissere en plan for å avgjøre hvilken av tre faktorer som er avgjørende for en pendels svingefrekvens.

I tillegg til de ulike kognitive nivåene operer også L. W. Anderson og Krathwohl (2001) med følgende fire kunnskapstyper: Factual Knowledge, Conceptual Knowledge, Procedural Knowledge og Meta-Cognitive Knowledge. Kunnskapstypene og de kognitive nivåene danner sammen en todimensjonal tabell som kan brukes til å kategorisere ulike undervisningsmål. For eksempel kan et mål være at elever skal bli i stand til å anvende prosedyrekunnskap, mens et annet kan være evne til å gjengi faktakunnskap.

Som vi har beskrevet i kapittel 1.1 er taksonomien generell, og L. W. Anderson og Krathwohl (2001) hevder at ideelt sett bør hver fagdisiplin ha sin egen taksonomi. I det følgende vil vi gå inn på grunner til hvorfor bruk av taksonomien i sin opprinnelige form kan være utfordrende i forbindelse med programfaget fysikk.

L. W. Anderson og Krathwohl (2001) inkluderer ikke en kategori for problemløsningsoppgaver i sin taksonomi. Dette gjør taksonomien vanskelig å bruke i forbindelse med problemløsning i

fysikkfaget. L. W. Anderson og Krathwohl (2001, s. 312) forsvarer valget med å peke på at problemløsningsoppgaver typisk vil involvere prosesser som går på kryss og tvers av taksonomitabellen og at de dermed kan være vanskelig å kategorisere entydig. For eksempel kan en problemløsningsoppgave innebære at en elev analyserer et system (*å analysere*) for deretter å generere en plan for løsning (*å skape*). Gjennomføring av planen kan involvere den kognitive prosessen *å anvende*, og i noen tilfeller kan det tenkes at eleven i tillegg må vurdere om det endelige svaret er fornuftig eller ikke (*å vurdere*). Det er vår oppfatning at taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) i sin opprinnelig form ikke er ideell for bruk i forbindelse med programfaget fysikk ved at den ikke legger til rette for entydig kategorisering av oppgaver av denne typen.

Likevel har de kognitive nivåene i taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) fungert som et utgangspunkt for dette prosjektet. De kognitive nivåene er formulert gjennom verb for å være på samme form som typiske læringsmål, som gjerne formuleres som «eleven skal kunne...» (L. W. Anderson & Krathwohl, 2001, s. 307). Med dette ønsker L. W. Anderson og Krathwohl (2001) at taksonomien skal være intuitiv for lærere å bruke. Som nevnt innledningsvis beskriver L. W. Anderson og Krathwohl (2001, s. 10) også at taksonomien kan brukes for å oppnå en større sammenheng mellom mål, undervisning og prøveoppgaver. Her er det også en fordel at taksonomien bruker samme ord som det man typisk vil finne i læringsmål, da dette gjør det lettere å vurdere taksonomiens kategorier mot målene. Vi opplever at taksonomien er intuitiv i sin organisering, men at den som nevnt ovenfor møter noen sentrale utfordringer når det kommer til å kategorisere problemløsende oppgaver i fysikk. Andre rammeverk har blitt utviklet spesifikt for å kategorisere oppgaver i fysikk. Vi vil i det følgende presentere styrker som noen av disse rammeverkene har, og som kan utfylle taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001).

TIMSS

Oppgavene som blir gitt innen fysikk på den internasjonale undersøkelsen TIMSS Advanced er kategorisert gjennom et rammeverk som skiller mellom ulike kognitive domener og ulike innholdsdomener (Jones, Wheeler & Centurino, 2014). Garden et al. (2006, s. 38) skriver at TIMSS Advanced er ment for elever som tar de mest avanserte fysikkfagene og som typisk planlegger å studere dette videre. Garden et al. (2006) og Jones et al. (2014) beskriver rammeverkene som ble brukt for fysikkoppgavene i henholdsvis TIMSS Advanced 2008 og TIMSS Advanced 2015. Både Garden et al. (2006) og Jones et al. (2014) peker på at rammeverket utvikler seg og endrer seg noe mellom de ulike gjennomføringene av TIMSS, men at de generelt sett likevel er like. I det videre vil vi hovedsakelig beskrive rammeverket som ble brukt for TIMSS Advanced 2015.

Når det gjelder innholdsdimensjonen i oppgavene i TIMSS Advanced deler Jones et al. (2014) inn de tre domenene: «(...) mechanics and thermodynamics, electricity and magnetism, and wave phenomena and atomic/nuclear physics» (s. 17). Disse domenene er med andre ord delt inn etter hvilket fysisk tema oppgaven tar for seg, og kategoriene sier dermed også noe om hvilke temaer som blir testet i TIMSS. Den kognitive dimensjonen for oppgavene i TIMSS har Jones et al. (2014) delt inn i de tre forskjellige domenene «(...) knowing, applying, and reasoning» (s. 17). Vi vil i det følgende diskutere domenene i den kognitive dimensjonen, da det er disse som er aktuelle for prosjektet.

Opgavene som blir gitt i det første av de kognitive domenene skal ifølge Jones et al. (2014) teste elevenes kjennskap til blant annet begreper, prosesser og fakta. Disse oppgavene ber elevene om å beskrive fenomener, gjengi fakta, gjenkjenne symboler eller gi eksempler på fenomener. Oppgavene som blir gitt innen det kognitive domenet «*applying*» skal utfordre elevene på å bruke den kunnskapen de har om blant annet begreper, fakta og prosesser i kjente situasjoner (Jones et al., 2014). Disse oppgavene ber elevene om å forklare observasjoner, finne løsninger og tolke diagrammer, modeller eller grafer (Jones et al., 2014). Domenet inkluderer med andre ord både oppgaver som ber elevene om å komme med en kvalitativ forklaring og oppgaver som ber elevene om å anvende en fysisk formel for å finne et svar.

Når elevene møter oppgaver som involverer løsning av ukjente og mer kompliserte problemer beskriver Jones et al. (2014, s. 23) dette som oppgaver som hører til domenet «*reasoning*». Oppgavene her kan, ifølge Garden et al. (2006, s. 33), kreve at elevene kan analysere og dele opp et problem for å avgjøre hvilke fysiske prinsipper som gjelder og lage en plan eller strategi for løsning. Å utvikle hypoteser og trekke konklusjoner på bakgrunn av data er også noe oppgavene innen dette nivået kan kreve. Garden et al. (2006) skriver at selv om det finnes et visst hierarki mellom de tre domenene kan man likevel finne oppgaver av ulik vanskelighetsgrad i alle tre.

Rammeverket som blir brukt for å kategorisere oppgavene i TIMSS Advanced tegner med sine tre domener i den kognitive dimensjonen, et bilde av oppgavens kognitive nivå. De tre domenene er imidlertid færre og mindre spesifikke enn kategoriene i taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001), og de tegner derfor et grovere bilde som gjør at nyanseforskjeller mellom oppgaver kan forsvinne. På den andre siden kan det argumenteres for at færre domener vil kunne være fordel i forbindelse med bruk av rammeverket. Når lærere skal kategorisere egne oppgaver vil det være enklere å gjøre dersom det er færre kategorier å forholde seg til.

En utfordring med bruk av rammeverket fra TIMSS Advanced, slik vi ser det, er at rammeverket ikke beskriver nyansene i de ulike kravene til problemløsning. Problemløsningsoppgaver tilhører domenet «*reasoning*», men som vi har beskrevet i sammenheng med modellering som

problemløsning, involverer problemløsning en rekke steg som i dette rammeverket blir samlet under en felles betegnelse. En annen utfordring med å bruke dette rammeverket til vårt formål er at Garden et al. (2006) involverer evne til å lage hypoteser og generalisere fra data. Som nevnt tidligere har vi avgrenset prosjektet til kun å gjelde strukturerte problemer som er definert av læreren. Disse delene av rammeverket, som i stor grad tilhører domenet «reasoning», anses dermed ikke som relevant for prosjektet.

Dickie (2003) sin organisering av kognitive prosesser

Dickie (2003) gjennomførte en studie blant annet for å undersøke hvilke intellektuelle krav summative vurderingsformer stiller til elevene. I studien tar Dickie (2003) utgangspunkt i den originale utgaven av Blooms taksonomi. Dickie (2003) hevder at mange fysikkoppgaver kan løses mer eller mindre uten forståelse, gjennom en form for mekanisk anvendelse. Ifølge Dickie (2003) burde denne typen oppgaver ha sin egen kategori i et rammeverk for kategorisering av fysikkoppgaver, og denne burde plasseres under det kognitive nivået *forståelse*. Det blir pekt på at *anvendelse* i Blooms taksonomi anses for å være av høyere kognitiv kompleksitet enn *forståelse*, noe som Dickie (2003) oppfatter som lite intuitivt i forbindelse med denne typen oppgaver.

Dickie (2003) foreslår følgende fire betegnelser av kategorier for fysikkoppgaver: *memorering*, *mekanisk anvendelse av en prosedyre*, *anvendelse av en prosedyre som krever begrenset forståelse*, og til slutt *forståelse av prinsipper som krever mer enn reproduksjon av en gjennomgått prosedyre*. I utgangspunktet virker disse kategoriene å være gode, men Dickie (2003) påpeker at det i noen tilfeller kan være utfordrende å velge kategori for en gitt oppgave, og at dette kan variere fra lærer til lærer. Spesielt kunne Dickie (2003) vise til at det var vanskelig for lærerne som deltok i studien å skille mellom memorering og forståelse (henholdsvis første og siste nivå), og det var mellom disse to kategoriene det oppsto størst grad av inkonsistens mellom lærerne. Dette antyder at kategorisystemet kan være noe vanskelig å bruke, og det er spesielt uheldig at det høyeste og laveste nivået av kognitiv kompleksitet ikke enkelt kan skilles fra hverandre. I tillegg åpner de fire kategoriene i liten grad for en nyansert beskrivelse av de kognitive prosessene oppgavene krever, utover hvorvidt de krever forståelse.

TIPP

Teodorescu, Bennhold, Feldman og Medsker (2013) har utviklet taksonomien «A Taxonomy of Introductory Physics Problems» (TIPP) for kategorisering av fysikkoppgaver for nybegynnere. Taksonomien er en videreutvikling av taksonomien «The New Taxonomy of Educational Objectives» (NTEO) (Marzano & Kendall, referert i Teodorescu et al., 2013). Der NTEO er en

generell taksonomi for kategorisering av utdanningsmål uavhengig av fagdisiplin er TIPP spesielt tilpasset fysikkfaget.

I likhet med taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) har NTEO sin taksonomi to dimensjoner. Den ene dimensjonen består av et kognitivt system som deles inn i fire hierarkisk organiserte nivåer (*gjengivelse, forståelse, analyse og anvendelse*). Den andre dimensjonen i NTEO består av følgende tre dimensjoner av kunnskap: informasjon, mentale prosedyrer og psykomotoriske prosedyrer. Vår oppfatning er at de mentale prosedyrene tilsvarer det L. W. Anderson og Krathwohl (2001) omtaler som Procedural Knowledge. Teodorescu et al. (2013, s. 3-4) hevder at psykomotoriske metoder ikke er relevante for oppgaver som løses ved hjelp av blyant og papir, og dermed utgjør den heller ikke en del av TIPP. Informasjonsdimensjonen omfatter ifølge Teodorescu et al. (2013, s. 3) *hva* en oppgave dreier seg om eller inneholder, og elementer av denne dimensjonen kan for eksempel være faktakunnskaper eller fysikkfaglige konsepter. Tilsvarende beskriver dimensjonen av mentale prosedyrer *hvordan* en oppgave skal løses, og dette omslutter blant annet algoritmer og strategier elever benytter seg av for å løse oppgaver.

De fire nivåene innenfor det kognitive systemet deles videre inn i en rekke undernivåer (Teodorescu et al., 2013, s. 3), som vises i tabell 3. Hvert undernivå kan videre forstås i lys av de to ulike kunnskapsdimensjonene. Eksempelvis kan nivå *1a «recalling and recognizing»* både beskrive oppgaver som krever at elevene kan gjengi faktakunnskap (informasjonskunnskap), men også oppgaver som krever at elevene gjengir i hvilke situasjoner en gitt fremgangsmåte kan brukes (mentale prosedyrer). Det eneste unntaket er nivå *1b «executing»*, som ifølge Teodorescu et al. (2013, s. 3) kun kan forstås i lys av mentale prosedyrer, da det er snakk om utførelse. Teodorescu et al. (2013, s. 6) skriver videre at kategorisering av fysikkoppgaver ved hjelp av TIPP blir gjort ved å identifisere de høyeste kognitive kravene som stilles i forhold til de to ulike kunnskapsdimensjonene. Dermed kan en gitt oppgave kategoriseres som (I:1, MP:1) dersom oppgaven krever at elevene gjengir en fysisk lov samt når den kan brukes.

Tabell 3: Viser de kognitive nivåene i taksonomien til Teodorescu et al. (2013, s. 3) (TIPP).

Level 1: Retrieval	<p>a) Recalling and recognizing – producing or recognizing basic physics knowledge related to the problem (but not necessarily understanding the structure of the knowledge).</p> <p>b) Executing – performing a procedure or task needed to solve the problem without significant error (but not necessarily understanding how and why the procedure works).</p>
Level 2: Comprehension	<p>a) Integrating – identifying the basic structure of the physics knowledge and separating the critical from the noncritical characteristics of the problem.</p> <p>b) Symbolizing – constructing an accurate symbolic image of the information or mental procedure needed to solve the physics problem.</p>
Level 3: Analysis	<p>a) Matching – identifying similarities or differences and relationships between the physics problem components.</p> <p>b) Classifying – identifying superordinate and subordinate categories into which physics knowledge related to a problem can be organized.</p> <p>c) Analyzing errors – making reasonable assumptions and estimates related to the physics knowledge involved in the problem.</p> <p>d) Generalizing – constructing new generalizations or principles from available physics knowledge.</p> <p>e) Specifying – generating new applications or logical consequences from available physics knowledge.</p>
Level 4: Knowledge utilization	<p>a) Decision making – selecting between two or more alternatives.</p> <p>b) Overcoming obstacles (<i>problem solving</i>) – accomplishing a goal or task for which obstacles or limiting conditions exist.</p> <p>c) Experimenting – generating and testing hypotheses for the purpose of understanding phenomena, using rules of evidence that adhere to statistical hypothesis testing.</p> <p>d) Investigating – generating and testing hypotheses about past, present and future events, using well-constructed and logical arguments as evidence.</p>

Vår oppfatning er at taksonomien til Teodorescu et al. (2013) gir en nyansert beskrivelse av problemløsende oppgavers kognitive krav. For øvrig finner vi taksonomien noe kompleks som et verktøy som lærere kan bruke for å analysere oppgaver. Teodorescu et al. (2013) viser i sin gjennomgang til at flere av oppgavetyperne fra de forskjellige kategoriene sjeldent er å finne i fysikklæreverk som benyttes i forbindelse med undervisning. Riktignok beskriver ikke dette norske forhold, men vår oppfatning er at oppgavetyperne som de her refererer til heller ikke er vanlig forekommende i norsk undervisning. Taksonomien legger videre stor vekt på å beskrive oppgaver som er ment for å teste elevenes prosedyrekunnskaper i sammenheng med problemløsning. Selv om problemløsningsoppgaver ikke bare krever at elevene vet *at*, men også at de vet *hvordan*, ser vi ikke oppgaver som utelukkende har som mål å teste elevenes prosesskunnskaper som relevante for dette prosjektet.

TIPP inneholder for øvrig idéer som vi anser som relevante for kategorisering av oppgaver i programfaget fysikk. Taksonomien åpner for kategorisering av problemløsningsoppgaver, noe

som ikke er mulig med taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001). I tillegg åpner Teodorescu et al. (2013), på samme måte som Dickie (2003), for at det finnes en form for anvendelse av kunnskap for å løse problemer som ikke krever konseptuell forståelse av elevene. Dette gjelder oppgaver vi tidligere har omtalt som oppgaver som krever en form for standard problemløsning. Slike oppgaver blir kategoriseres på nivå 1b (se tabell 3) i Teodorescu et al. (2013) sin taksonomi, og befinner seg altså under det som betegnes som «comprehension» eller forståelse.

Utvikling av en taksonomi for å analysere oppgaver i fysikk

De ulike rammeverkene vi har presentert over har ulike styrker og svakheter i sammenheng med kategorisering av oppgaver i fysikk. For å studere hvilke krav de ulike oppgavene på prøvene stiller til elevenes faglige resonnering mener vi det vil være formålstjenlig å ta med idéer fra de ulike rammeverkene. Vi vil kort peke på noen av ideene fra de presenterte rammeverkene som ble viktige for oss i det videre arbeidet.

Det er vår oppfatning at taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) gir nyanserte beskrivelser av oppgavers kognitive krav. Derfor ønsket vi å bruke denne taksonomien som et utgangspunkt, til tross for at den ikke kan brukes til å kategorisere problemløsende oppgaver i sin opprinnelige form. I den forbindelse hentet vi inspirasjon fra blant andre Teodorescu et al. (2013), som åpner for kategorisering av slike oppgaver. I tillegg opplevde vi at idéen om en kategori for oppgaver som kan løses ved en form for *anvendelse* av kunnskap som ikke krever fysikkforståelse, var relevant for oppgaver i programfaget fysikk. Dette er, som beskrevet ovenfor, en kategori som både Teodorescu et al. (2013) og Dickie (2003) operer med og vi valgte derfor å undersøke hvorvidt denne endringen kunne brukes i utviklingen av en taksonomi. Et annet alternativ finnes i rammeverket for å kategorisere oppgaver i TIMSS. Her blir oppgaver som ber elevene om å forklare og anvende formler plassert innen samme domene.

I utviklingen av en taksonomi for kategorisering av fysikkoppgaver har vi også hentet inspirasjon fra den øvrige teorien som er presentert ovenfor. Teorien som vil presenteres under gir en beskrivelse av elevens utfordringer i møte med oppgaver i fysikk som utfyller den tidligere beskrivelsen av kjennetegn på oppgaver. I kapittel 3.7 vil vi beskrive nærmere hvordan teorien har blitt brukt i utvikling av taksonomien, før den ferdig utviklede taksonomien presenteres i kapittel 4.2 der vi beskriver prosjektets funn.

2.7. Elevers utfordringer i oppgaver i fysikk

Vi har til nå diskutert teori knyttet til ulike kjennetegn ved oppgaver i fysikk som har vært påvirkende i arbeidet med å utvikle en taksonomi for kategorisering av prøveoppgaver i programfaget fysikk. I det følgende vil vi nærmere beskrive hva elever kan oppleve som utfordrende med oppgaver i programfaget og hvorfor. Vi vil begynne med å diskutere elevenes strategier for løsning av oppgaver, før vi går videre til elevers evne til overføring av kunnskap for løsning av nye problemsituasjoner. Underveis vil vi vise til koblinger til allerede presentert teori for å vise hvordan den kommende diskusjonen utfyller den allerede presenterte teorien.

Faktorer som påvirker elevers evne til problemløsning

Om elevene ikke mestrer en oppgave kan dette si noe om fysikkkompetansen til elevene. Jonassen (2000) peker for øvrig på at det er mange faktorer som kan påvirke hvorvidt elevene mestrer en problemløsningssituasjon. I tillegg til grad av struktur og kompleksitet, som ble nevnt tidligere, kan også måten problemene blir representert på og individuelle forskjeller, påvirke elevenes løsning av problemer. I det følgende vil vi vise til forskjellige aspekter ved problemløsningsoppgaver som kan være avgjørende for hvorvidt elevene vil mestre problemene.

Jonassen (2000) beskriver hvordan interne faktorer, som elevenes kjennskap til problemsituasjonen og elevenes fagkunnskaper, vil påvirke elevenes møte med problemsituasjonen. I tillegg til disse faktorene, peker Jonassen (2000, s. 69) også på at stress og engstelse vil påvirke elevenes evne til å løse et problem. Dette er noe vi anser som spesielt betydningsfullt når det kommer til løsning av problemløsningsoppgaver i en prøvesammenheng.

Jonassen (2000) trekker også frem elevenes metakognisjon og selvregulering som viktig for evnen til å mestre problemløsningssituasjoner. Elever som blant annet kan overvåke egen problemløsningsprosess og evaluere denne opp mot målsituasjonen har for eksempel vist seg å være gode problemløsere i matematikk (Gourgey, referert i Jonassen, 2000, s. 70). Mayer (1998) skriver at metakognisjon hos elevene er viktig fordi elever trenger å vite når ulike strategier kan anvendes og hvordan de kan overvåke sine strategier og effekten av disse, for å delta i problemløsning. Dette har vi også vist til i diskusjonen av problemløsningskompetanse i kapittel 2.4.

Hvilke strategier elevene velger å anvende er avgjørende for evnen til problemløsning (Jonassen, 2000, s. 72). En vanlig tilnærming blant nybegynnere i fysikk er strategien kjent som *means-end-analysis* som vi i det følgende vil omtale som middel-mål-analyse (Larkin, 1981). J. R. Anderson (1993, s. 37) beskriver begrepet ved hjelp av to prosesser som ofte observeres i forbindelse med problemløsning, nemlig *difference reduction* og *subgoaling*. Den førstnevnte handler om

problemløseres tendens til å gjøre grep for å oppnå en tilstand av systemet som ligner mer på måltilstanden enn utgangspunktet (J. R. Anderson, 1993, s. 37). For eksempel hevder J. R. Anderson (1993, s. 37) at problemløserne ofte vegrer seg for å gjøre grep som midlertidig bringer dem vekk fra det som er målet. *Subgoalting* handler om å danne seg passende delmål som i seg selv ikke umiddelbart løser et problem, men som er nødvendige for å kunne løse problemet (J. R. Anderson, 1993, s. 37). Ifølge J. R. Anderson (1993) kan middel-mål-analyse beskrives som en strategi for problemløsning som kombinerer begge disse prosessene, og i korte trekk går strategien ut på å identifisere den største forskjellen mellom utgangspunktet og målet, for deretter å danne seg et eller flere delmål for å eliminere denne forskjellen.

I fysikk innebærer middel-mål-strategien typisk å skrive ned en formel eller ligning som inneholder størrelsen man er ute etter for deretter å identifisere hvilke ukjente størrelser som må bestemmes for å løse problemet (Larkin, 1981, s. 13). Således behøver ikke elevene nødvendigvis å vurdere de underliggende fysiske prinsippene i et gitt problem, så lenge de er i stand til korrekt å identifisere sentrale variabler og formler og beherske bruken av dem. J. R. Anderson (1987, s. 196) påpeker at metoden i liten grad utnytter særegne trekk ved det spesifikke fagområdet som problemet omhandler, og middel-mål-analyse blir av den grunn betegnet som en svak form for problemløsning. Jonassen (2000, s. 72) peker på at eksperter eller vellykkede problemløserne benytter seg av sterkere former for problemløsning som blant annet kjennetegnes nettopp ved at de tar utgangspunkt i strategier som er domenespesifikke. En slik tilnærming involverer gjerne analyse av de underliggende fysiske prinsippene og konseptene i problemet, og vi vil senere komme tilbake til hvordan fysiske problemrepresentasjoner kan bidra til mer effektiv løsning av fysikkoppgaver.

Oppgavers krav til overføring av kunnskap i nye problemsituasjoner

Problemløsning innebærer å anvende kunnskap i nye kontekster, noe vi videre vil omtale som å overføre. Skolen har både som mål å støtte elevenes evne til å gjengi kunnskap og å overføre kunnskap (L. W. Anderson & Krathwohl, 2001, s. 63). Her forstås det å gjengi som det å kunne gjenkjenne eller gjengi noe man husker i en senere situasjon, mens å overføre betyr å kunne bruke det som er lært tidligere til å løse fremtidige problemer (L. W. Anderson & Krathwohl, 2001, s. 63). Bransford, Brown og Cocking (2000, s. 51) skriver at noen typer læringsaktiviteter kan bidra til at elevene kan gjengi kunnskap i tillegg til å kunne overføre den, mens andre typer læringsaktiviteter vil kunne resultere i at elevene kun kan gjengi kunnskapen uten å kunne overføre.

I dette prosjektet vil vi bruke en forståelse av overføring som tar utgangspunkt i at for at overføring skal skje, må elevene kunne gjengi kunnskap. Vi vil likevel gjøre som L. W. Anderson og Krathwohl (2001) og skille overføring fra gjengivelse. Dette gjør vi for å vise at overføring krever gjengivelse,

mens gjengivelse ikke krever overføring. Sasson og Dori (2012) peker på at det finnes mange forskjellige nyanser av begrepet slik det blir forstått i ulike studier.

Et aspekt som påvirker graden av overføring hos elever har vist seg å omhandle selve forståelsen elevene oppnår gjennom undervisningen (Bransford et al., 2000). Når elevene blir gitt tid til, og tilbakemeldinger som hjelper dem med, å utvikle en dypere forståelse for et emne har dette vist seg å ha positive effekter på elevenes overføringsevne (Bransford et al., 2000). Dersom elevene derimot får lite tid til å jobbe med nytt materiale eller at tilbakemeldinger underveis ikke er fokusert mot elevenes forståelse, kan dette føre til at elevene heller ender opp med løsrevne fakta som i liten grad er organiserte i kognitive strukturer (Bransford et al., 2000).

Bransford et al. (2000) peker også på at det kan være hensiktsmessig å hjelpe elevene med spesifikt å se hvordan det som læres kan overføres til andre situasjoner. I tillegg til å la elevene delta i undervisning som drar veksler på flere ulike kontekster kan læreren hjelpe elevene med å overføre sin forståelse gjennom å utfordre fleksibiliteten i elevenes forståelse (Bransford et al., 2000). For å hjelpe elever med å utvikle denne fleksibiliteten, kan læreren la elevene jobbe med å se hvordan løsningen på en oppgave endrer seg dersom man endrer oppgavekonteksten. Fleksibiliteten kan også utvikles ved å utfordre elevene på å finne løsninger på en oppgave som er generelle slik at svaret ikke er spesielt bundet til en bestemt kontekst (Bransford et al., 2000).

Tilrettelegging for overføring er ikke dette prosjektets fokus. Når vi likevel inkluderer en beskrivelse av undervisningsmessige praksiser som kan hjelpe elevene å gjennomføre overføring, er dette fordi vi antar at elever som evner å overføre sin kunnskap har oppnådd en dypere og mer generell forståelse for fagstoffet. Vi vil komme tilbake til dette senere, men først beskrive hvordan elevenes bruk av ulike problemrepresentasjoner kan påvirke deres muligheter til å løse ukjente problemsituasjoner der de må overføre sin kunnskap.

Problemrepresentasjoner hos nybegynnere og eksperter

Bransford et al. (2000) peker også på at når elever fikk hjelp til å bygge mer generelle representasjoner av problemer hjalp dette dem med å identifisere underliggende strukturer som økte deres evne til å overføre og bruke kunnskapen sin i nye situasjoner. Chi et al. (1981) definerer problemrepresentasjoner som: «(...) a cognitive structure corresponding to a problem, constructed by a solver on the basis of his domain-related knowledge and its organization» (s. 121-122). Chi et al. (1981) peker på at det er en forskjell på eksperter og nybegynnere sine representasjoner av problemer og at kvaliteten på problemrepresentasjonene avgjør hvor lett det er for personer å løse problemer. De måtene nybegynnere og eksperter lager sine representasjoner av problemer kan derfor være med å forklare hvorfor eksperter er bedre på å løse problemer enn nybegynnere.

Larkin (1981) skiller mellom tre typer problemrepresentasjoner: naive, fysiske og matematiske. De naive representasjonene er koblet til kjente og visuelle størrelser som lar en person simulere hva som vil skje i en gitt problemsituasjon (Larkin, 1981, s. 4). De fysiske representasjonene inneholder derimot abstrakte størrelser som kun gir mening i fysikk. I motsetning til de naive representasjonene, trenger ikke de fysiske representasjonene å forholde seg til systemets lineære tidsutvikling (Larkin, 1981). Larkin (1981) peker på at eksperter evner til å bruke de fysiske representasjonene kan forklare hvorfor eksperter er bedre på problemløsning enn nybegynnere. Nybegynnere benytter seg ofte av matematiske representasjoner, som ifølge Larkin (1981) kan være et sett av ligninger som beskriver et fysisk system. Tidligere har vi beskrevet middel-mål-analyse, og Larkin (1981) hevder at dette er en vanlig strategi blant nybegynnere som gjennom matematiske representasjoner av problemet løser oppgaver uten egentlig å ta stilling til fysikken i problemet.

Kognitive skjemaer for løsning av problemer

Cooper og Sweller (1987) beskriver ulike utfordringer som elevene kan møte på når de løser problemer. En av disse er at det kan være utfordrende for elever å innse at de kan bruke den kunnskapen de har for å løse et problem og se sammenhenger mellom ulike problemer (Cooper & Sweller, 1987). Som nevnt i kapittel 2.4 fant Chi et al. (1981) at nybegynnere og eksperter innen en disiplin valgte å kategorisere oppgaver på forskjellige måter. Der ekspertene kategoriserte problemene på bakgrunn av måten de kunne løses på og hvilke prinsipper som inngikk, delte nybegynnerne inn problemene etter mer overfladiske strukturer i oppgavene (Chi et al., 1981). Eksperter gjenkjenner derfor i større grad problemer på bakgrunn av hvordan de kan løses, enn hva nybegynnere gjør.

Elever kan før øvrig også ha utfordringer med å løse problemer selv om de får oppgitt at den kunnskapen de har kan brukes til å løse et problem (Cooper & Sweller, 1987). Cooper og Sweller (1987, s. 347) skriver at i slike tilfeller har teori om skjemabygging blitt brukt for å forklare hvorfor elevene ikke klarer å løse problemene. Skjemaer er strukturen på den informasjonen som blir lagret i langtidsminet (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Cooper og Sweller (1987, s. 348) definerer skjemaer som et konstrukt som hjelper problemløsere å kategorisere oppgaver etter hvilke løsninger de har. Sett i sammenheng med studiet til Chi et al. (1981) som ble nevnt i forrige avsnitt kan dette nå leses som at eksperter har bedre utviklede skjemaer enn nybegynnere.

Sweller et al. (1998) beskriver hvordan langtidsminet vårt ikke består av løsrevne fakta, men kan være sammensatt av store mengder kunnskap som henger sammen basert på hvordan informasjonen skal brukes. Skjemaene skiller nybegynnere fra eksperter der ekspertene har mer komplekse skjemaer enn nybegynnere (Sweller et al., 1998). I tillegg til å strukturere

arbeidsminnet gjør nemlig de mer komplekse skjemaene eksperter til mer effektive problemløsere innen et område fordi skjemaene hjelper ekspertene med å løse problemet uten å overbelaste arbeidsminnet (Sweller et al., 1998). Sweller et al. (1998, s. 252) setter likhetstegn mellom menneskets arbeidsminnet og bevissthet, og påpeker at vi bare kan overvåke informasjonen som blir håndtert i arbeidsminnet. Ifølge Sweller et al. (1998) har arbeidsminnet klare begrensninger for hvor mye informasjon som kan prosesseres samtidig, og informasjonsmengden er begrenset til rundt syv elementer. Flere og mer komplekse skjemaer i langtidsminnet kan gjøre at informasjonen som kan håndteres i arbeidsminnet likevel kan tenkes å være tilnærmet ubegrenset (Sweller et al., 1998, s. 256). Når skjemaene blir brukt for å løse problemer fungerer de nemlig som enkeltelementer i arbeidsminnet (Sweller et al., 1998).

Det siste punktet som Cooper og Sweller (1987) peker på som kan gjøre at elever ikke klarer å løse en oppgave på handler om hvorvidt de ovenfor nevnte skjemaene er automatiserte. Sweller et al. (1998, s. 256) peker på at når vi bruker skjemaer kan dette enten gjøres bevisst eller automatisk. Når skjemaene brukes automatisk opptar disse ikke kognitiv kapasitet i arbeidsminnet, og muliggjør derfor løsning av mer kompliserte og nye problemstillinger (Sweller et al., 1998). Sweller et al. (1998, s. 256) peker på at slik automatisering oppstår som en konsekvens av mye øvelse.

Cooper og Sweller (1987) peker også på at mange nybegynnere, i møte med problemer, bruker strategier som legger stor belastning på arbeidsminnet. Middel-mål-analyse, slik den er beskrevet tidligere, er en slik strategi som krever mye av elevens arbeidsminne, og det kan forekomme at en oppgave krever løsning av så mange delmål at hovedmålet midlertidig glemmes (J. R. Anderson, 1990, s. 222). Mer automatiserte skjemaer vil i slike tilfeller kunne gi elevene mer ledig arbeidsminne til å kunne jobbe med problemene (Cooper & Sweller, 1987, s. 358).

Sweller et al. (1998) beskriver arbeid gjort for å undersøke den kognitive belastningen som en person utsettes for i møte med en oppgave. Kognitiv belastning kan deles inn i mental belastning, som er den kapasiteten som en gitt oppgave krever, og mental innsats, som er mengden innsats en person legger i eller tildeler et arbeid (Sweller et al., 1998, s. 266). Sweller et al. (1998, s. 266) skriver at å avgjøre den kognitive belastningen er en utfordrende oppgave fordi det er et sammensatt konstrukt.

Målet i vårt prosjekt er ikke å måle den kognitive belastningen en oppgave vil medføre for en elev. Prosjektet er mer rettet mot å avgjøre hvilke kognitive prosesser en oppgave krever enn hvor krevende disse er for en persons arbeidsminne. For å skille forskning på kognitiv belastning fra vårt mål i dette prosjektet har vi valgt å ikke bruke betegnelsen kognitiv kapasitet eller kognitiv belastning når det kommer til kategorisering av oppgaver. Teorien som er presentert om

skjemabygging og overføring er likevel relevant for prosjektet. I sammenheng med diskusjonen av problemløsning ble det nevnt at økt kompleksitet ville føre til økt vanskelighet i et problem. Jonassen (2000, s. 68) skiver at dette kommer av at økt kompleksitet vil føre til økt belastning på arbeidsminnet. Jo større kompleksitet det er i oppgaven, jo vanskeligere vil det derfor være for elevene å holde alle elementer av oppgaven i arbeidsminnet samtidig (Jonassen, 2000, s. 68). Siden bedre utviklede og automatiserte skjema kan lette den kognitive belastningen, vil elever som har slike skjema lettere kunne klare å løse vanskelige oppgaver. På denne måten vil oppgaver som stiller større krav til faglig resonnering også stille større krav til elevenes konseptuelle forståelse gjennom godt utviklede skjema.

Overføring som verktøy for videre læring

Bransford et al. (2000) peker på at overføring fra en situasjon til en annen må sees på som en aktiv og dynamisk prosess. Studier viser at overføring i stor grad må sees som en elevs mulighet til å lære noe nytt fortere, fremfor et syn på overføring som en evne til å bruke noe som tidligere er lært direkte i en ny situasjon (Bransford et al., 2000, s. 66). Bransford og Schwartz (1999) peker på dette som en tankegang innen teorien som utvider begrepet overføring og kaller dette alternative synet for «preparation for future learning». Med dette synet på overføring finner man ofte overføring i situasjoner som et mer tradisjonelt syn på overføring kan overse. Bransford og Schwartz (1999, s. 69) viser blant annet til at elever, i arbeid med å overføre sine kunnskaper om en tekstbehandler til en ny tekstbehandler, har vist større grad av overføring etter en viss tid. Dette står i kontrast til et syn på overføring som en evne til å anvende kunnskap mer umiddelbart fra en tidligere kontekst i en ny situasjon.

Vi vil i denne oppgaven bruke et syn på overføring som elevers evne til å bruke kunnskap lært i en situasjon til å løse et problem i en senere vurderingssituasjon. Det er imidlertid viktig å være bevisst at dette er en avgrensning av begrepet og at dette synet kan utvides gjennom et syn på overføring som et verktøy for videre læring.

3. Metode

Forskningsspørsmålene som prosjektet har jobbet etter har blitt presentert tidligere. En utdyping av prosessen rundt utformingen av spørsmålene er imidlertid nødvendig og vi presenterer dem her igjen,

- 1) Hvilke ulike krav til faglig resonnering hos elevene stiller ulike problemløsende oppgaver på prøver i programfaget fysikk?
- 2) Hva legger lærere til grunn for utforming og valg av oppgaver på sine prøver i programfaget fysikk?

Forskningsspørsmålene har vært styrende for prosjektet både når det kommer til valg av tilnærming, datamateriale og den videre analysen i prosjektet. Samtidig har ikke denne prosessen vært lineær. Det andre forskningsspørsmålet ble for eksempel utviklet parallelt med valg av den kvalitative tilnærmingen til det første forskningsspørsmålet. Prosessen frem mot endelig formulering av forskningsspørsmålene har således vært mer dialektisk enn hva den lineære oppbygningen i teksten kan gi inntrykk av.

I det følgende vil vi begrunne den kvalitative tilnærmingen i prosjektet før vi vil diskutere begrepene validitet, reliabilitet og generaliserbarhet. I sammenheng med denne diskusjonen vil vi også vise til generelle grep som er gjort for å øke validiteten, reliabiliteten og generaliserbarheten i prosjektet. Etter dette vil vi beskrive våre metodiske valg knyttet til hvilke data vi så som nødvendig for å svare på forskningsspørsmålene før vi beskriver analysen som er gjennomført i prosjektet. Vi vil avslutte kapitlet med en diskusjon av etiske aspekter og vurderinger som er gjort i sammenheng med prosjektet.

3.1. En kvalitativ tilnærming

Vi har valgt å tilnærme oss forskningsspørsmålene gjennom en kvalitativ tilnærming av et utvalg prøver gitt i programfaget fysikk. Patton (2002) peker på at hvorvidt man velger å gå for en kvalitativ eller en kvantitativ tilnærming avhenger av hva man ønsker å finne svar på. De to tilnærmingene har ulike styrker. Der en kvantitativ tilnærming gir mulighet til å undersøke et stort antall og trekke generaliserte konklusjoner på bakgrunn av dette, gir den kvalitative tilnærmingen mulighet til å undersøke et emne i dybden, men med begrenset mulighet for generalisering (Patton, 2002). Hsieh og Shannon (2005) peker på at studier av tekstdata tidligere har vært gjort både kvalitativt og kvantitativt. At vi i dette prosjektet har valgt en kvalitativ tilnærming henger sammen med prosjektets forskningsspørsmål.

En kvantitativ tilnærming kunne gitt statistisk generaliserbare mål på hvor mange lærere som lagde oppgaver av en spesiell type. Dette ville imidlertid krevd et tilfredsstillende rammeverk som kunne gitt de nødvendige kategorier til en kvantitativ studie. Som vi har vist til tidligere foreligger ikke et slikt. Den kvalitative tilnærmingen gav oss mulighet til å bruke dataene som inngår i prosjektet induktivt som grunnlag for en ny innsikt rundt oppgavenes krav til faglig resonnering. Vi ønsket en analyse som, selv om den var informert av teori, ikke var avgrenset av forhåndsbestemte analysekategorier. En kvalitativ tilnærming gav oss også mulighet til å undersøke lærernes ulike begrunnelser for utforming av valg av oppgaver, uten behov for forhåndsdefinerte kategorier.

Ulike former for innholdsanalyse

Vi har tidligere vist til ulike rammeverk for å kategorisere oppgaver. Noen av rammeverkene, som taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001), er generelle og ment å kunne brukes for flere ulike fag. Andre rammeverk er mer fagspesifikke og rettet mot fysikkfaget (Dickie, 2003; Garden et al., 2006; Jones et al., 2014; Teodorescu et al., 2013). Problemstillingen som dette prosjektet tar for seg er med andre ord ikke ny, og det finnes allerede teori på feltet. I en slik situasjon skriver Hsieh og Shannon (2005) at man gjennom bruk av en «directed content analysis» kan videreutvikle eksisterende teori kvalitativt. Metoden er en av flere som har vært utviklet for å analysere og gi mening til tekstdata, noe som blant annet inkluderer både transkriberte intervjuer og tekstdokumenter (Hsieh & Shannon, 2005). Om metoden skriver Hsieh og Shannon (2005),

The goal of a directed approach to content analysis is to validate or extend conceptually a theoretical framework or theory. Existing theory or research can help focus the research question. It can provide predictions about the variables of interest or about the relationships among variables, thus helping to determine the initial coding scheme or relationships between codes (s. 1281).

Teorien som finnes rundt problemløsning og kategorisering av oppgaver har vært veiledende for oss i prosjektet. Assarroudi, Nabavi, Armat, Ebadi og Vaismoradi (2018) peker på hvordan valget av en «directed content analysis» vil påvirke hvordan man går frem for å skaffe nødvendige data i et prosjekt. Når vi videre beskriver hvordan vi har gått frem for å skaffe nødvendige data til å kategorisere oppgavers krav til faglig resonnering, vil vi samtidig peke på hvordan denne prosessen har vært informert av blant annet Assarroudi et al. (2018) sin beskrivelse av fremgangsmåten for en «directed content analysis».

Prosjektet har også hatt som mål å identifisere lærernes begrunnelser for utforming og valg av oppgaver til bruk på prøver. Denne delen av prosjektet har i langt mindre grad vært styrt av teori,

og vi har i større grad arbeidet i tråd med det Hsieh og Shannon (2005) beskriver som en «conventional content analysis». Denne formen for innholdsanalyse blir ofte anvendt når målet for prosjektet er å beskrive et fenomen fra et nytt perspektiv (Hsieh & Shannon, 2005, s. 1279). Vi har med andre ord to uavhengige analyser i prosjektet. Identifiseringen av behov for data har således vært styrt av et ønske om data som kunne belyse begge de to forskningsspørsmålene.

Validitet, Reliabilitet & Generaliserbarhet i kvalitativt forskningsarbeid

Validiteten til en studie omhandler i hvor stor grad studiens funn rettmessig representerer virkeligheten (Merriam, 1998, s. 201). En grunnleggende antagelse i kvalitativt forskningsarbeid er imidlertid at alle mennesker har sin egen opplevde virkelighet (Nilssen, 2012, s. 25). Den virkeligheten man i kvalitative studier undersøker er menneskers vurderinger, opplevelser og forståelser av omverdenen (Merriam, 1998). Gitt antagelsen om at virkeligheten, i betydningen av våre opplevelser og tolkninger, er konstruert av mennesker gjennom sin forståelse av virkeligheten, er validitet derfor en styrke i det kvalitative forskningsarbeidet. Når forskeren er sitt eget forskningsinstrument er man nærmere denne virkeligheten enn dersom man skulle forsøke å undersøke virkeligheten gjennom et mellomliggende instrument, skriver Merriam (1998, s. 203).

Når forskeren er sitt eget forskningsinstrument er troverdigheten til forskningen imidlertid avhengig av forskerens dyktighet og kompetanse (Patton, 2002, s. 14). Forskeren vil gjennom sin tilstedeværelse påvirke de situasjonene man selv ønsker å studere samtidig som forskerens forståelse også er farget av ens egen subjektivitet (Nilssen, 2012). Nilssen (2012, s. 139-140) peker på at denne subjektiviteten ikke er noe man kan unngå, men at man gjennom en reflektert og bevisst holdning til effektene dette har, kan begrense effektene av den og produsere troverdige tolkninger. Dette krever at forskeren er i stand til å «(...) utforske egen subjektivitet, identifisere den, beskrive den og rapportere den i det enkelte forskningsarbeidet» (Nilssen, 2012, s. 140). En studie som er utført uten tilstrekkelig kartlegging av personlig subjektivitet risikerer blant annet funn som er ubalanserte eller personlige (Peshkin, 1988, s. 20).

I kapittel 2 la vi frem det teoretiske perspektivet som ligger til grunn for vår forståelse i dette prosjektet. Nilssen (2012, s. 68) peker på at forskeres forforståelse også er preget av mer enn bare ens teoretiske perspektiv. Forforståelsen blir også påvirket av språk, holdninger og erfaringer (Nilssen, 2012, s. 68). Vi har derfor forsøkt å forholde oss åpne og reflekterte til egne forforståelser som kunne prege prosjektet. I kapittel 1.2 diskuterte vi for eksempel formuleringen «faglig resonnering» opp mot den mer avgrensede betegnelsen «kognitive prosesser». Vi påpekte her at vi ønsket å åpne for alternative perspektiver og innfallsvinkler, og derfor gikk vi for den noe åpnere formuleringen for ikke å avgrense vår forståelse. I den videre beskrivelsen av prosjektet

vil vi vise til ulike vurderinger vi har gjort oss i forbindelse med validitet i prosjektet og også peke på konkrete grep som er gjort for å øke validiteten.

Som med validiteten til en studie, er også reliabiliteten avhengig av forskerens kompetanse som forskningsinstrument og evne til å avdekke egen subjektivitet (Merriam, 1998). Reliabiliteten til forskning er tradisjonelt ansett for å være et mål på hvorvidt andre i en senere situasjon kan gjenta forskningen og reprodusere de samme funnene (Merriam, 1998, s. 205). Dette bygger på en tanke om at gjentatt studering av en ekstern virkelighet vil produsere samme resultat dersom den blir studert på samme måte. Merriam (1998, s. 206) peker imidlertid på at denne tanken vanskelig lar seg overføre til en kvalitativ sammenheng fordi det som studeres er i endring og er svært kontekstuel. I tillegg vil forskerens kompetanse kunne avgjøre hva som blir funnet. Nilssen (2012, s. 142) peker på at det avgjørende spørsmålet derfor er hvorvidt funnene som er gjort er i samsvar med datamaterialet. Jobben for forskeren i det kvalitative forskningsarbeidet er derfor å forsikre om at funnene som er gjort gir mening i lys av datamaterialet for prosjektet (Merriam, 1998, s. 206).

Vi vil senere beskrive hvordan vi gikk frem for å skaffe nødvendige data, hvordan disse ble analysert og hvilke funn vi gjorde. Hensikten med denne beskrivelsen er å gjøre det mulig for andre å vurdere hvorvidt funnene gir mening i lys av det aktuelle datamaterialet og det presenterte teoretiske perspektivet. Med dette er målet å legge til rette for at andre kan vurdere reliabiliteten. I tillegg vil denne beskrivelsen kunne gjøre det mulig for andre å gjennomføre lignende studier og produsere sammenlignbare resultater.

Reliabiliteten og validiteten til forskningsarbeid kan styrkes gjennom triangulering (Merriam, 1998). Merriam (1998, s. 204) viser til at triangulering innebærer bruk av flere forskere, flere kilder til datamaterialet eller flere analysemetoder for å bekrefte funn. I dette prosjektet har vi vekslet mellom å jobbe med prosjektet sammen og hver for oss i alle faser av prosjektet. Prosjektets begrensede ressurser har ikke åpnet for en triangulering av metode for innsamling av data som er noe Merriam (1998, s. 207) trekker frem som spesielt egnet for å styrke validitet og reliabilitet. At vi i prosjektet har vært to studenter som tidvis har jobbet uavhengig av hverandre har gjort at vi likevel har kunnet oppnå en form for triangulering. Det forekommer oss at det å være to forskere kan ha hjulpet oss med å avdekke vår individuelle forutinntatthet. En forutsetning for å bygge videre på tolkninger og refleksjoner vi har gjort oss i løpet av prosjektet har vært å kunne demonstrere overfor hverandre nøyaktig hvordan disse kan knyttes til datamaterialet.

Hvorvidt studiens funn er interessante og gyldige i andre kontekster kalles studiens generaliserbarhet eller ytre validitet. Firestone (1993) peker på tre ulike argumenter for

generaliserbarhet fra en studies funn: generalisering fra et utvalg til en større populasjon, analytisk generalisering og overføring fra kontekst til kontekst. Den første av disse, generalisering fra et utvalg til en større populasjon, bygger på store tilfeldige utvalg og statistiske mål (Firestone, 1993). Dette er derfor ikke et argument som brukes for å underbygge funnene i vårt prosjekt.

Analytisk generalisering bygger på en studies mulighet til å knytte funnene til en større teori. Studier kan på denne måten øke sin generaliserbarhet ved at de bygger på, og samtidig videreutvikler, en teori (Firestone, 1993). I dette prosjektet har vi jobbet for å utvikle en taksonomi som kan gi innspill til videreutvikling av teori. Arbeidet med utviklingen av taksonomien har vært informert av teori i alle deler av prosjektet. Beskrivelsen til Firestone (1993) av analytisk generalisering er derfor et av hovedargumentene for muligheten for å generalisere fra funnene i dette prosjektet. I kapittel 5.1 vil vi komme nærmere tilbake til hva funnene i dette prosjektet kan bidra med.

Overføring fra kontekst til kontekst er også noe Firestone (1993) peker på som et argument som hører godt sammen med kvalitativt arbeid. For å overføre resultater fra et studie til en annen kontekst er det imidlertid avgjørende at konteksten for studien er nøye beskrevet. Det er nødvendig at forskerens beskrivelse av konteksten for forskningen er slik at leseren er i stand til å vurdere overførbarheten (Firestone, 1993, s. 18).

Vi vil videre redegjøre for de valgene vi har gjort for å skaffe det datamaterialet som prosjektet bygger på, og gjøre rede for konteksten for undersøkelsen. Vi vil diskutere tilfeller der vår for forståelse kan ha påvirket våre tolkninger og hvordan vi arbeidet for å unngå dette. Disse beskrivelsene er i seg selv inkludert for å underbygge validiteten, reliabiliteten og overførbarheten til prosjektet. Vi vil underveis også peke på, og reflektere over, konkrete designvalg som er gjort med mål om å øke prosjektets validitet, reliabilitet og generaliserbarhet.

3.2. Datamateriale

For å kunne besvare forskningsspørsmålene for dette prosjektet har vi tatt utgangspunkt i oppgaver på prøver fra det norske programfaget fysikk. Vi har fått tilgang til skriftlige prøver fra et utvalg fysikklærere, og oppgavene disse prøvene inneholder utgjør en del av datamaterialet. Vi har også gjennomført intervjuer med lærerne, og transkripsjonsdokumenter fra disse intervjuene utgjør resten av datamaterialet. I utviklingen av en taksonomi for å svare på forskningsspørsmål 1, brukte vi både intervjuene og prøveoppgavene i kombinasjon med teori på feltet, dette er nærmere beskrevet i kapittel 3.7. For å kategorisere lærernes begrunnelser for valg av oppgaver, og dermed besvare forskningsspørsmål 2, har vi utelukkende brukt datamaterialet fra intervjuene. Vi har ikke samlet inn elevbesvarelser i forbindelse med prøvene, og selv om det kan

tenkes at dette ville komplimentere det øvrige datamaterialet er det vår vurdering at en slik analyse ville blitt for omfattende gitt tidsrammene til dette prosjektet. I det følgende vil vi begrunne nærmere valget av datamateriale for prosjektet.

Hvorfor oppgaver fra prøver i faget?

Ved å ta utgangspunkt i oppgaver fra læreres fysikkprøver håpet vi å fange de mest sentrale kompetansene og ferdighetene det er forventet at elevene tilegner seg gjennom undervisningen. Videre kunne vi gjennomføre intervjuer med lærerne og dermed få innsikt i bakgrunnen for valg og utforming av oppgavene, samt hvilke erfaringer de kunne ha gjort seg i ettertid. I tillegg ville vi kunne få innsikt i læringssituasjonene som ledet opp mot prøven slik at vi mer presist kunne beskrive resonneringen som krevdes for å løse en gitt oppgave. Til slutt vil vi påpeke at en delhensikt med dette prosjektet er å utvikle et verktøy som lærere kan bruke i skriftlig prøvesammenheng, og da opplever vi det som naturlig at analysen er gjort på grunnlag av et datamateriale som er knyttet til nettopp dette.

Vi vurderte for øvrig andre kilder til oppgaver, som å gjøre et utvalg av oppgaver fra fysikklæreverk. Som nevnt ovenfor ønsket vi et datamateriale bestående av oppgaver som fanger de mest sentrale kompetanser i faget. Det er ikke sikkert vårt utvalg av oppgaver, som i læreverkene gjerne er beregnet for bruk i opplæringsfaser, ville sørget for dette i like stor grad som prøveoppgaver. I tillegg vurderte vi å ta utgangspunkt i oppgaver fra prøveforslag fra ulike læreverk, eller i oppgaver fra skriftlig eksamen i faget. Skriftlig eksamen i fysikk blir for øvrig utelukkende avholdt i Fysikk 2, og vi ønsket å utvikle en taksonomi som også bygget på oppgaver fra Fysikk 1. Vi ønsket også innsikt i bakgrunnen for utforming og valg av oppgaver gjennom intervjuer med utviklerne av oppgavesettene. Gitt rammene til dette prosjektet var det praktisk enklere å organisere intervjuer med lærere, fremfor å kontakte utviklerne av fysikklæreverk eller skriftlig eksamen i faget.

Hvorfor intervju lærere?

Vi fant det som nærliggende at lærerne som har laget prøvene har kjennskap til hvilke oppgaver elevene har arbeidet med før prøven. Det ble antatt at slik innsikt ville være nødvendig for å avgjøre hvilke krav til resonnering en oppgave stiller. Senere fant vi flere fordeler og muligheter med de planlagte intervjuene. Blant annet var vår tilnærming til oppgaver og deres krav til faglig resonnering mer eller mindre utelukkende teoretisk, mens det kunne tenkes at en lærer ville ha en tilnærming som også skjeler til praksis og erfaring. Videre har vi som studenter lite erfaring med elevs oppgavejobbing sammenlignet med fysikklærere. Dermed anså vi intervjuene som en mulighet til å få et rikere datamateriale. Forskningsspørsmålet vedrørende lærernes

begrunnelser for valg av oppgaver ble utviklet mer eller mindre parallelt med planleggingen av intervju som metode for å svare på det første forskningsspørsmålet.

3.3. Deltakere i prosjektet

Patton (2002, s. 244) påpeker at det innen kvalitativ utforskning ikke finnes bestemte regler for størrelsen på et utvalg. Hvor mange deltakere et prosjekt bør ha avhenger av hva prosjektet ønsker å svare på og hvor rike dataene i prosjektet er (Patton, 2002, s. 244). Basert på omfanget av prosjektet og vårt ønske om å studere temaet i dybden landet vi på at 6-8 deltakere ville være et passende antall.

Utvelgelsen av deltakere til prosjektet har fulgt det Patton (2002, s. 245) beskriver som «purposeful sampling», noe vi vil omtale som formålsrettet sampling. Gjennom en formålsrettet sampling vurderes metoden for å skaffe deltakere opp mot studiens målsetning (Patton, 2002, s. 245). Dette skiller metodikken fra den logikken som underbygger generaliserbarheten i studier som bruker det Patton (2002) beskriver som «probability sampling». I den sistnevnte tilnærmingen er utvalgets størrelse og tilfeldige fordeling i forhold til gruppen den representerer et mål på funnenes generaliserbarhet.

Når vi i prosjektet ønsket å få innsikt i flest mulig av lærernes begrunnelser for valg av oppgaver og hvilke ulike krav til faglig resonnering som oppgaver krever av elevene, så vi det som ønskelig med en variasjon i materialet. Assarroudi et al. (2018, s. 49) peker på at flere metoder for utvelgelse er mulige med tanke på å sikre variasjon og oppnå metning. Metning oppnås når det ikke lenger kommer nye perspektiver inn. I dette prosjektet har ikke tidsrammene åpnet for at vi har kunnet fortsette datainnsamlingen til metning var oppnådd. Selv om vi ikke kunne planlegge for å oppnå metning, vil en variasjon gi et rikere og mer fullstendig bilde. Patton (2002, s. 109) skriver at man kan unngå ensidighet ved å velge ut et utvalg på en slik måte at man oppnår størst mulig variasjon. Merriam (1998, s. 212) peker også på at større variasjon i datamaterialet vil kunne styrke ytre validitet i funnene fordi de da er relevante for flere situasjoner. Med større variasjon i datamaterialet representerer funnene bedre den variasjonen som finnes på feltet.

Slik vi så det vil lærere innad på en skole gjerne dele både prøveoppgaver og tanker om begrunnelser for oppgavene som blir gitt. Vi vurderte det derfor slik at lærere fra forskjellige skoler i denne sammenhengen ville fremme variasjon bedre enn flere lærere fra en skole. Hvorvidt en skole er plassert i sentrum eller ikke ville også tenkes å kunne påvirke datamaterialet slik vi så det. Vi ønsket derfor lærere fra sentrumsskoler og skoler utenfor sentrum, uten flere lærere fra samme skole. Selve utvelgelsen av lærere ble gjort ved først å trekke tilfeldig mellom de ulike

skolene innad i sentrum og utenfor sentrum. Deretter ble én lærer som underviste i programfaget fysikk tilfeldig valgt ut ved hver av disse skolene.

Av de lærerne vi kontaktet var syv positive til å delta i prosjektet. Vi kontaktet flere lærere som av ulike grunner takket nei til å delta. Av de syv lærerne som deltok i prosjektet er alle fra forskjellige skoler i Bergensområdet. Fire av disse var fra det vi tidligere har omtalt som sentrumsskoler og tre lærere fra skoler utenfor sentrum. Av lærerne som valgte å delta i prosjektet er det både lærere som underviser i Fysikk 1 og Fysikk 2. At det er lærere fra begge fag ser vi på en styrke med tanke på variasjonen i datamaterialet.

3.4. Tilgang til prøver

Valg av ønskede tema for prøvene

En viktig del av datamaterialet i prosjektet er prøveoppgavene som vi fikk tilgang til gjennom lærerne som deltok i prosjektet. Valget av hvilke forskjellige temaer vi ønsket for prøvene var for øvrig ikke tilfeldig og i det følgende vil vi diskutere grunnlaget for valget av temaer.

For å sikre at våre kunnskaper om det fysikkfaglige temaet for prøvene var utfyllende nok, ønsket vi å begrense antallet forskjellige temaer. Ved å ha et mindre antall temaer å forholde oss til kunne vi i større grad tilegne oss fysikkfaglige kunnskaper som ville gjøre oss i stand til å diskutere oppgavenes løsning med lærerne. Det ble derfor besluttet at vi ville spørre lærerne om å få tilsendt prøver med noen utvalgte temaer.

Valget av antallet temaer var naturligvis begrenset av antallet prøver vi ønsket å samle inn fra hver lærer. Da vi startet kontakten med lærerne var vi kommet desember 2018 og vi så det slik at det ikke kunne tas for gitt at lærerne hadde gjennomført mer enn omtrent 2-3 prøver dette skoleåret. Når vi kom til intervjuet så vi det også som et poeng at antallet prøver som kunne diskuteres ikke var for stort. En fordel med et større utvalg av prøver fra hver lærer var at dette gav et større utvalg av oppgaver som vi kunne diskutere. En fordel med et mindre utvalg prøver var at lærerne i noe større grad kunne gi oss tilgang til prøver som de selv hadde valgt ut fordi lærerne ønsket å diskutere nettopp disse oppgavene. Dette forutsatte imidlertid at lærerne selv fikk velge hvilke prøver og temaene for disse. Vi endte til slutt opp med å be lærerne gi oss tilgang til to av sine prøver.

For å oppnå variasjon i datamaterialet ble bruken av matematikk i fysikken en viktig forskjell mellom de ulike temaene. Noen av temaene, som mekanikk og elektrisitetslære, er svært matematiske slik vi oppfattet dem. At matematikken preger disse temaene kan sees gjennom at læreplanen, som i følgende kompetansemål, eksplisitt uttrykker det å kunne gjøre beregninger,

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne (...) gjøre rede for situasjoner der friksjon og luftmotstand gjør at den mekaniske energien ikke er bevart, og gjøre beregninger i situasjoner med konstant friksjon (Utdanningsdirektoratet, 2006, s. 5)

Andre tema, som astrofysikk eller moderne fysikk, er mer beskrivende slik de fremstår gjennom læreplanen. Et eksempel på et kompetansemål i astrofysikk for Fysikk 1 er for eksempel,

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne (...) beskrive stjerners livssykluser og forklare hvordan grunnstoffer blir bygd opp i stjerner (Utdanningsdirektoratet, 2006, s. 5)

Selv om matematikken kommer tydelig frem i kompetansemålet som er tilknyttet mekanikk, viser kompetansemålet også at elevene skal kunne mer enn å gjøre beregninger. Samtidig finnes det også kompetansemål innen astrofysikk som uttrykker at elevene skal kunne gjøre beregninger. Forskjellen mellom de to er i større grad bygget på vår opplevelse av undervisningen i de forskjellige emnene som videre kan sees i sammenheng med tendenser i læreplanen.

For øvrig så vi det som ønskelig at prøvene som lærerne gav oss tilgang til var så nye som mulig slik at lærerne husket noe av tankegangen bak oppgavene. Læreplanen legger i seg selv ingen bestemte føringer for hvilken rekkefølge temaene i faget skal undervises i. Vi valgte derfor å studere de forskjellige lærebøkene for programfaget og rekkefølgen de ulike temaene blir presentert her. Oppbygningen av kapitlene til de tre læreverkene «Ergo», «Rom Stoff Tid» og «Kraft» ble sammenlignet for både Fysikk 1 og Fysikk 2. Læreverket «Kraft» for Fysikk 2 var ennå ikke lansert da denne sammenligningen ble gjort. Kapitler som omhandlet tema som finnes både i Fysikk 1 og Fysikk 2 ble identifisert sammen med plasseringen til disse i de ulike bøkene. Temaene mekanikk, elektromagnetisme og kjernefysikk ble identifisert som temaer som var felles for både Fysikk 1 og Fysikk 2.

Oppbygningen i lærebøkene er forskjellig. Variasjonen var så stor at vi ikke klarte å identifisere to temaer der vi kunne garantere at alle lærerne ville ha gjennomført en prøve. Vi valgte derfor å bruke alle de tre temaene som vi hadde identifisert som felles for de to fagene og lot lærerne selv velge prøver fra to av disse temaene. Vi ba med andre ord lærerne om å sende oss prøver innen to av de tre temaene mekanikk, elektrisitet / magnetisme eller kjernefysikk / kvantefysikk. Dette gav en naturlig begrensning på hvor mange tema som inngikk i prosjektet, samtidig som det åpnet for at det var sannsynlig at lærerne kunne etterkomme våre ønsker. Alle syv lærere som deltok i prosjektet hadde mulighet til å etterkomme ønsket om tema. Noen av prøvene inneholdt for øvrig andre tema i tillegg til temaene vi på forhånd hadde spurt om.

Innledende analyse av prøver

Før intervjuene ble gjennomført med lærerne gjorde vi en innledende analyse av hver enkelt prøve. Et eksempel på notater fra en innledende analyse finnes i vedlegg 3. På bakgrunn av den innledende analysen ble det avgjort hvilke oppgaver som ville diskuteres mer spesifikt under hvert intervju. Utvalget ble gjort for å unngå at intervjuet ble en overfladisk diskusjon av en mengde oppgaver. Analysen ble gjort ved å forsøke å bruke de ulike rammeverkene vi tidligere har beskrevet. Taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) ble forsøkt brukt i analysen for alle prøvene. I løpet av den innledende analysen ble det avdekket elementer og idéer ved de ulike oppgavene som vi ønsket å vite mer om. Eksempelvis var hovedfokuset i et av de første intervjuene på flervalgsoppgaver og elevers løsning av disse. Dette gjorde at vi i senere analyser kunne planlegge å diskutere andre typer problemløsende oppgaver i andre intervjuer.

I noen tilfeller var mer informasjon også nødvendig for å kunne kategorisere oppgavene. Et eksempel på en slik oppgave er gjengitt i figur 1.

Gjennomfør en utledning av formelen for potensiell energi i radielt elektrisk felt $E_p = \frac{kQq}{r}$

Figur 1: Viser en oppgave fra Erik sin prøve i elektromagnetisme.

I utgangspunktet kan gjennomføringen av en utledning både være en form for gjengivelse eller basert på en elevs generelle kunnskaper og fysisk og matematisk kreativitet. Å utlede formelen i figur 1 uten å ha sett en utledning av formelen før er ikke bare en vanskelig oppgave, det stiller også krav til elevenes evne til å lage en strategi for å løse et ukjent problem og legge en plan. Dette er elementer som L. W. Anderson og Krathwohl (2001) legger til de høyeste nivåene av kognitive prosesser, vist i tabell 2. Dersom elevene derimot har sett hvordan en slik utledning skal gjennomføres og selv har gjort dette tidligere, er oppgaven i større grad kjennetegnet av at elevene skal kunne gjengi dette, en oppgave som L. W. Anderson og Krathwohl (2001) tilegner de laveste nivåene av kognitive prosesser. Å diskutere oppgaven med læreren var derfor nødvendig for å oppnå mer kunnskap som kunne hjelpe oss å avgjøre hvilke krav disse oppgavene stilte til elevenes faglige resonnering.

3.5. Intervju og intervju kvalitet

Intervjuene ble gjennomført på skolene til lærerne i prosjektet, og som nevnt tidligere ble det gjennomført syv intervjuer totalt. Kun en av oss var tilstede ved hvert intervju, og vi utførte tre og fire intervjuer hver. Hvert intervju varte i omtrent én time og det ble tatt lydopptak av hvert intervju. Som nevnt tidligere utgjør intervjuene en stor del av datamaterialet for dette prosjektet, og å sikre kvalitet på datamateriale vil dermed innebære å sikre kvalitet på intervjuene. Kvale og

Brinkmann (2009, s. 164) skriver at kvaliteten på analysen og eventuelle funn er helt avhengig av kvaliteten på selve intervjuet som blir gjennomført. I det følgende vil vi beskrive vår tilnærming til, og våre erfaringer fra, intervjuene.

Utvikling av intervjuguide for semistrukturerte intervjuer

Patton (2002, s. 342) beskriver tre tilnærminger til kvalitative forskningsintervjuer og vi har valgt å følge det som omtales som «The general interview guide approach». Denne tilnærmingen samsvarer godt med det Kvale og Brinkmann (2009) omtaler som semistrukturerte intervjuer, og vi vil heretter bruke begrepet *semistrukturert* om intervjuene som ble gjennomført i dette prosjektet. Et semistrukturert intervju tar typisk utgangspunkt i en intervjuguide som inneholder en rekke forhåndsbestemte spørsmål og holdepunkter, men intervjueren vil ha mulighet til å følge opp aktuelle sidespor som dukker opp underveis (Kvale & Brinkmann, 2009). Bruk av intervjuguide er ifølge Patton (2002, s. 344) en fordel ved gjennomføring av systematiske intervjuer av flere personer ved at utgangspunktet for intervjuene er det samme. Flexibiliteten ved det semistrukturerte intervjuet sørger likevel for at intervjueren kan følge opp særegne momenter som den enkelte intervjupersonen introduserer. Videre kan en intervjuguide sørge for at tiden man har til rådighet blir brukt best mulig (Patton, 2002, s. 344).

Før intervjuene ble gjennomført utviklet vi en felles intervjuguide, se vedlegg 2. Kvale og Brinkmann (2009, s. 134) peker på at det første spørsmålet i et intervju bør ta utgangspunkt i en konkret situasjon, og derfor har vi innledet hvert intervju med et spørsmål om en konkret oppgave fra prøven. Intervjuguiden ble utviklet med utgangspunkt i forskningsspørsmålene, men ingen av disse ble stilt eksplisitt i løpet av intervjuet. Kvale og Brinkmann (2009) skriver at forskningsspørsmål typisk inneholder formelle formuleringer og teoretiske begreper, men at selve intervju spørsmålene bør formuleres ved hjelp av hverdagslig språk og begrepsbruk. Generelt har vi forsøkt å la være å introdusere teoretiske begreper i intervjusituasjonen som intervjupersonene ikke selv bringer frem. På denne måten ville vi sørge for å unngå uklarheter rundt hva som var ment med et gitt intervju spørsmål. Eksempelvis har vi unnlatt å spørre eksplisitt om hvilke «kognitive krav» en gitt oppgave stiller til elevenes faglige resonnering. I stedet har vi bedt lærerne om å forklare hvordan elevene må gå frem og hva de må kunne for å løse en oppgave.

Kvale og Brinkmann (2009, s. 164) hevder at det ikke finnes en absolutt oppskrift på hvordan et intervju bør gjennomføres, men de trekker uansett frem en rekke kjennetegn på kvalitet i forbindelse med semistrukturerte intervjuer. Blant annet inkluderer disse at korte intervju spørsmål resulterer i lange svar fra intervjupersonene, i tillegg til høy grad av relevans, spontanitet og spesifisitet i svarene (Kvale & Brinkmann, 2009, s. 164). Dette ble fulgt opp

underveis i selve intervjuperioden ved at vi delte våre erfaringer med hverandre og reflekterte over hvilke spørsmål som fungerte etter sin hensikt, og hvilke som kanskje burde omformuleres eller fjernes. Intervjuguiden ble dermed vurdert og revidert fortløpende. Opprinnelig var for eksempel intervjuets åpningsspørsmål «Hva forventer du at elevene typisk vil streve med på denne oppgaven?». Dette endret vi etter hvert til «Hvordan må en elev gå frem for å løse denne oppgaven?», da vi opplevde at det siste spørsmålet gav rikere svar fra lærerne.

Gjennomføring av intervjuene

Kvale og Brinkmann (2009, s. 164) hevder at intervjuets kvalitet avhenger av at intervjueren har god kjennskap til det som er temaet for intervjuet. For å forberede oss best mulig til intervjuene utforsket vi det vi oppfattet som relevant teori på området. Som nevnt tidligere gjennomførte vi i tillegg analyser av oppgavene fra de aktuelle prøvene. Vi avholdt også prøveintervjuer med hverandre for å trene på selve gjennomførelsen av intervjuene.

Kvale og Brinkmann (2009, s. 164) peker videre på at i et ideelt intervju bør meningen til det intervjupersonen sier tolkes og bekreftes underveis i selve intervjuet. Ifølge Kvale og Brinkmann (2009, s. 249) er dette vesentlig for å sørge for validitet. For å oppnå dette forsøkte vi å gjøre tolkninger av lærersvarene underveis, for deretter å stille spørsmål for å bekrefte eller avkrefte våre tolkninger. Dette gjorde vi blant annet ved å stille spørsmål som «Forstår jeg deg rett dersom...?». Hsieh og Shannon (2005, s. 1281) viser til at i en «directed content analysis» innledes det gjerne med åpne spørsmål før intervjueren stiller mer målrettede spørsmål for å undersøke de forhåndsbestemte kategoriene. Vi brukte oppfølgingsspørsmål til å undersøke hvorvidt lærernes utsagn kunne passe med idéer fra teorien.

En videre utfordring vedrørende validiteten i intervjuene omhandler hvordan vi som intervjuere kan ha påvirket intervjupersonene underveis. Hsieh og Shannon (2005, s. 1283) viser til at intervjueren gjennom sine teoretiske forberedelser ved studier som følger «directed content analysis» gjerne er mer tilbøyelig til å tolke svar i lys av forhåndsbestemte kategorier eller teoretiske idéer. Dette kan i noen tilfeller påvirke hvordan intervjupersonene svarer på spørsmålene som stilles,

(...) in answering the probe questions, some participants might get cues to answer in a certain way or agree with the questions to please researchers. (Hsieh & Shannon, 2005, s. 1283)

Med andre ord kan det tenkes at vi som intervjuere kan ha påvirket lærerne til å svare i samsvar med våre oppfatninger basert på vår teoretiske tilnærming. Dette kan forekomme både gjennom ledende spørsmål, men også gjennom kroppsspråk i form av anerkjennende smiling eller

bekreftende nikkning. I tillegg kan delene av lærernes svar som intervjueren velger å følge opp videre i intervjuet fungere som subtile hint om hvordan det er ønskelig at intervjupersonen svarer (Kvale & Brinkmann, 2009, s. 172). Vi forsøkte å begrense vår påvirkning blant annet ved eksplisitt å presisere at det var lærernes perspektiv vi var ute etter, og vi prøvde i tillegg å overvåke og kontrollere hvordan vi selv responderte på det lærerne sa underveis.

Kvale og Brinkmann (2009, s. 171-172) peker på at validiteten i intervjuer delvis avhenger av hvor påvirkelige intervjupersonene er. Her pekes det for eksempel på at små barn typisk vil la seg påvirke av intervjupersonen, men dette var ikke vår opplevelse når vi som lærerstudenter intervjuet etablerte lærere. Vi opplevde for eksempel ved flere anledninger at lærerne kunne avvise det vi oppfattet som ledende spørsmål. Kvale og Brinkmann (2009, s. 172) viser videre til at bevisst bruk av ledende spørsmål i kvalitative studier kan bidra til å styrke reliabiliteten i svarene, i tillegg til at de åpner for verifisering av intervjueren sine tolkninger. Ved å gjenta et tidligere spørsmål gjennom en ny formulering, som kanskje forsøker å lede intervjupersonen til å svare noe annet enn tidligere, vil man kunne undersøke hvorvidt intervjupersonen virkelig står inne for det som blir sagt. Ifølge Kvale og Brinkmann (2009, s. 173) er ikke utfordringen ved det kvalitative intervjuet hvorvidt spørsmålene som stilles er ledende eller ikke, men snarere om svarene de produserer representerer intervjupersonens perspektiv eller ikke, og om de kan stoles på. Som vi har nevnt ovenfor forsøkte vi derfor å tolke intervjuene underveis, for deretter å stille passende oppfølgingsspørsmål for å få dem bekreftet eller avkreftet.

Utfordringer for kvaliteten på intervjuene i vårt prosjekt

Til tross for forberedelser opplevde vi intervjuene som utfordrende, og det var spesielt vanskelig å skulle avgjøre hvilket moment som var det mest fruktbare å følge opp i en gitt situasjon. Et lærersvar kunne være langt og inneholde mange interessante momenter, og når det ene ble fulgt opp kunne vi risikere å gå glipp av andre fruktbare spor. Når vi senere så over transkripsjonene så vi at vi til tider har latt være å følge opp til dels svært spennende idéer. Dette er et eksempel på hvordan vår mangelfulle erfaring som intervjuere kan være en utfordring for kvaliteten på de gjennomførte intervjuene. Videre innebar våre teoretiske forberedelser at vi kunne forstå, og snakke om, oppgaver i lys av andre begreper enn lærerne. Tolkningene vi gjorde oss underveis var dermed preget av vår teoretiske tilnærming, og dette kunne i enkelte tilfeller gjøre det vanskelig å oppnå presise bekreftelser ved at intervjuer og intervjuperson rett og slett kunne snakke forbi hverandre. Samtidig kan den innledende analysen som ble gjort i forkant av intervjuene ha gjort at vi, mer eller mindre bevisst, prøvde å finne bekreftelser på det vi hadde tenkt på forhånd.

Kvale og Brinkmann (2009, s. 128) trekker frem viktigheten av å opprette god kontakt mellom intervjuer og intervjuperson før intervjuet begynner. Intervjupersonen skal i løpet av intervjuet gi intervjueren, en fremmed, innblikk i sine erfaringer og synspunkter og det bør dermed legges til rette for at dette skal føles naturlig for deltakeren (Kvale & Brinkmann, 2009, s. 128). En utfordring vi opplevde i sammenheng med å dette var at intervjuene har dreiet seg om prøvene som lærerne selv har laget og at spørsmålene vi stilte dermed kunne oppfattes som en form for kritikk eller gransking. Som nevnt tidligere oppfattet vi det i utgangspunktet som en fordel at lærerne kjente til oppgavene det var snakk om, men vi innser at dette også kan ha ført til en opplevelse av å bli gransket. I verste fall kan dette ha hatt negativ innvirkning på deltakernes opplevelse av trygghet i intervjusituasjonen, og dette kan igjen ha påvirket kvaliteten i det resulterende datamaterialet. Dette var naturligvis noe vi forsøkte å unngå, og vi vil understreke at vi ikke opplever at dette har vært et omfattende problem, og at vi kun ved et par anledninger fikk denne følelsen.

3.6. Transkripsjon av intervju

I etterkant av intervjuene ble hvert intervju transkribert (totalt 88 sider / ca. 52000 ord). I denne prosessen ble det fokusert på å få gjengitt lærernes forklaringer og meninger på en mest mulig korrekt måte på en skriftlig form. Kvale og Brinkmann (2009) beskriver hvordan prosessen med å gjøre muntlig tale om til en skriftlig form involverer flere ulike valg som man som forsker må gjøre. Det må blant annet avgjøres i hvilken grad transkripsjonen skal holde på en ordrett og muntlig form i språket, eller prøve å formulere det som ble sagt i en mer skriftlig form. Vi vil i det følgende redegjøre for de valgene som ble gjort i transkriberingen av intervjuene. Et utdrag fra et av de transkriberte intervjuene kan sees i vedlegg 4 der mye av det som er redegjort for kan finnes eksemplifisert.

Kvale og Brinkmann (2009, s. 180) peker på at valgene man gjør i transkripsjonsprosessen er avhengige av hvordan man vil bruke transkripsjonene. Vårt prosjekt er ikke en lingvistisk studie av språkbruk, og en detaljert beskrivelse av lærernes uttrykksmåter ble derfor ikke ansett som nødvendig. I transkripsjonene valgte vi å gjengi det som ble sagt i intervjuene ordrett i størst mulig grad, men uten å inkludere alle pauseord som «eh» og «hmm». Disse ble imidlertid inkludert noen ganger dersom lærerne uttrykte slike ord i forkant av lengre tenkepauser eller lignende. At lærerne tok pauser for å tenke opplevde vi som informasjon som transkripsjonene burde inneholde da dette blant annet kunne si noe om hva lærerne opplevde som vanskelig å svare på. Vi opplevde også det muntlige språket i intervjuene som langt mer ufullstendig i setningsoppbyggingen enn det som er naturlig i skriftlig tekst. Setninger stopper opp underveis og blir omformulert etter hvert som setningen bygges opp. Slik vi ser det kunne vi risikere å miste

noe informasjon fra intervjuene dersom vi valgte å skrive om setningene til en skriftlig form underveis i transkriberingen. Der setningene opplevdes ufullstendige, og derfor var unaturlige å avslutte med et punktum, ble setningene avsluttet med tre punktum. Vi opplevde at denne merkingen naturlig kommuniserte at det som kommer videre henger sammen med det forrige, selv om setningsoppbyggingen ikke gir mening slik man er vant til å lese dette.

Kvale og Brinkmann (2009, s. 178) peker på at lydopptaket er en abstraksjon av intervjuene og transkripsjonene er igjen en abstraksjon av intervjuopptakene. Underveis i denne prosessen forsvinner både kroppsspråk og tonefall bort, og man sitter igjen med en dekontekstualisert gjengivelse fra intervjuene (Kvale & Brinkmann, 2009, s. 178). Svarord som vi uttrykte underveis i lærernes forklaringer, som «ja...», var ofte ment for å vise interesse og signalisere til lærerne at vi lyttet. Dermed er disse med på å påvirke situasjonen, men det er av vår oppfatning at vårt kroppsspråk underveis påvirket lærerne i minst like stor grad. Siden dette kroppsspråket som nevnt forsvinner i transkripsjonen valgte vi også å ta bort de små svarordene. Det ble ikke ansett som at disse bidro til informasjon som ville være nyttig for vårt prosjekt, og derfor bare virket forstyrrende. Lærernes svarord og kommentarer underveis i spørsmålene våre var noe vi derimot anså som viktig informasjon da de forteller noe om reaksjonen underveis i spørsmålet. Disse ble derfor inkludert i transkripsjonene i parenteser.

Intervjuene handlet i stor grad om spesifikke oppgaver på prøver og i løpet av intervjuene ble det derfor henviset til ulike oppgaver flere ganger. Oppgavene hadde vi liggende fremfor oss på papir, noe som gjorde at lærerne ofte refererte til en oppgave ved å peke på den aktuelle oppgaven. Siden denne pekingen ikke kommer frem på lydopptaket var det viktig at transkripsjonen av intervjuene ble gjennomført så snart som mulig etter intervjuene, og helst før neste intervju. På den måten kunne vi i transkripsjonsprosessen identifisere hvilke oppgaver som ble diskutert på bakgrunn av vår kjennskap til prøvene og med intervjuet friskt i minnet. Dersom vi hadde ventet lengre med transkripsjonen kunne verdifulle minner fra intervjuene vært glemt eller forvekslet med informasjon fra andre intervjuer, noe som kunne gjort transkripsjonene mindre verdifulle. Merknader som kunne hjelpe oss å senere identifisere hvilke oppgaver som ble diskutert og annen informasjon om intervjusituasjonen som det ville være viktig å huske i etterkant, ble i transkripsjonen notert i klammer ([]).

Transkripsjonene ble skrevet på bokmål, noe som gjorde at noen ord måtte byttes ut for å passe inn i målformen. Der det ble identifisert at dette ikke fullstendig dekket lærerens egen uttrykksmåte og språk ble det lagt igjen en kommentar i klammer slik at vi her kunne gå tilbake til lydfilet. Informasjon som ble gitt i intervjuene som i seg selv kunne virke identifiserende ble også tatt ut og byttet ut med en kommentar. Dette ble gjort for at transkripsjonene skulle være anonyme og er en del av arbeidet med å sikre konfidensialitet og anonymitet i prosjektet.

Lyddopptakene har vi hatt tilgjengelig gjennom hele analysen slik at vi, der transkripsjonene ikke strakk til, kunne gå tilbake til disse for å lytte til intervjuet.

Kvale og Brinkmann (2009, s. 180) beskriver transkripsjonen av intervjuene som en innledende del av analysen av materialet. Når man gjennomfører transkripsjonene selv lærer man mye om egen intervjueteknikk, samtidig som man også begynner en analysering av meningen bak det som blir sagt (Kvale & Brinkmann, 2009, s. 180). Idéer og refleksjoner vi gjorde oss underveis i transkripsjonsprosessen ble nedtegnet i transkripsjonene i kursiv. Gjennom å notere tanker og idéer underveis var vi tryggere på å ikke glemme dem senere og bruken av kursiv font gjorde at vi ikke forvekslet refleksjonene med resten av transkripsjonen. I det følgende vil vi redegjøre for hvordan vi gjennomførte den videre analysen av datamaterialet.

3.7. Analyse av problemløsende oppgavers krav til faglig resonnering

Den innledende analysen som ble gjort av oppgavene på prøven er allerede beskrevet. I denne delen vil vi presentere arbeidet vi gjorde for å analysere datamaterialet i forhold til å svare på hvilke krav til faglig resonnering som stilles av ulike problemløsende oppgaver. Som nevnt tidligere har vi arbeidet for å svare på dette forskningsspørsmålet gjennom en «directed qualitative content analysis», slik dette er beskrevet av (Assarroudi et al., 2018).

Pendling mellom teori og empiri

Assarroudi et al. (2018, s. 50) skriver at i arbeidet med en «directed qualitative content analysis» blir kategoriene for analysen bestemt på bakgrunn av eksisterende teori og forskning på feltet. De ulike rammeverkene som ble presentert i kapittel 2.6 og ideene som disse rammeverkene introduserte for oppgaver i fysikk, ble grunnlaget for en innledende taksonomi som ble brukt for å studere oppgavene i prosjektet. Lærernes tanker om de ulike oppgavene ble her brukt for å hjelpe til å avgjøre hvilken kategori de ulike oppgavene tilhørte.

Hsieh og Shannon (2005, s. 1282) peker på at tekst som ikke passer inn i de teoridefinerte kategoriene er grunnlaget for nye kategorier. Når vi fant det utfordrende å kategorisere en oppgave, brukte vi lærernes forklaringer fra intervjuene i kombinasjon med teori for å identifisere tanker og idéer som kunne forbedre de innledende kategoriene. Patton (2002, s. 465-466) peker på at analysen nettopp er en slik stegvis prosess der man går frem og tilbake mellom dataene i prosjektet og kategoriene for å avgjøre om kategoriene er meningsfulle og hvor dataene passer inn. I det følgende vil vi beskrive de avgjørende dilemmaene og utfordringene som vi møtte på i møtet mellom datamaterialet for prosjektet og teori, og hvordan dette hjalp oss å videreutvikle kategoriene i prosjektet til vi endte opp med prosjektets funn.

Utfordrende kategorisering gav rom for nye idéer

Som med den innledende analysen tok også denne analysen utgangspunkt i de kognitive prosessene i taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001), som er presentert tidligere i prosjektet og vist i tabell 2. I motsetning til i den innledende analysen hadde vi nå tilgang på de transkriberte intervjuene og dermed tanker fra lærerne om de ulike oppgavene som kunne hjelpe oss i kategoriseringen. Som nevnt tidligere var L. W. Anderson og Krathwohl (2001) sin plassering av det å anvende kunnskap over det å forstå noe både Dickie (2003) og Teodorescu et al. (2013) har gjort annerledes. Vår egen erfaring tilsa også at denne organiseringen kanskje ikke var beskrivende for alle problemløsende prøveoppgaver i fysikk. Med denne spenningen som utgangspunkt gikk vi derfor nøye gjennom transkripsjonene av intervjuene for å se etter hva lærerne sine utsagn kunne fortelle oss. Mange av lærerne fortalte om en spenning mellom det å regne og det å forklare der det virket som lærerne mente at disse testet forskjellige deler av elevenes kunnskap innen fysikk, noe som talte for en endring av taksonomien. Anders poengterer i følgende sitat at en oppgave i fysikk kan kreve en metodisk innsikt og forståelse, men at dette ikke alene sikrer at elevene har forstått den fysikkfaglige teorien,

(...) Du har testet at de behersker de regne... eller metodegreiene knyttet til et emne, men har de en forståelse? (...)

Noen slike oppgaver som krever en standardisert problemløsning gjennom anvendelse, krever kanskje ikke konseptuell forståelse av fysikkteorien. Samtidig finnes det også oppgaver som ber elevene anvende sin kunnskap til å gjennomføre blant annet forklaringer av fenomener og begreper, men som ikke krever den samme tekniske forståelsen. Det ville derfor ikke blitt riktig å simpelthen bytte om rekkefølgene på kategoriene i taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) og plassere en kategori for oppgaver som krever en konseptuell forståelse over en kategori for standard problemløsning. I arbeidet med å videreutvikle taksonomien valgte vi derfor å plassere disse to ulike aspektene ved siden av hverandre i taksonomien for å signalisere at de hver for seg innebærer en forståelse av forskjellige deler av fysikken. Denne endringen minner derfor noe om organiseringen i rammeverket som er brukt for å kategorisere oppgaver i TIMSS der oppgaver som ber elevene om å anvende en formel og oppgaver som ber elevene komme med en forklaring er plassert innen samme domene. Etter at denne endringen ble implementert gikk vi igjen tilbake til de transkriberte intervjuene og oppgavene på prøvene for å etterprøve endringene og se etter andre spenninger mellom datamaterialet og taksonomien.

L. W. Anderson og Krathwohl (2001) sin beskrivelse av den kognitive prosessen *analyse* var også noe vi opplevde som utfordrende i arbeidet med å kategorisere oppgavene. Som den korte beskrivelsen i tabell 2 viser, forklarer L. W. Anderson og Krathwohl (2001) analyse som en evne

til å identifisere og organisere de underliggende strukturene i et fagstoff. Svært mange oppgaver på de studerte prøvene krever en form for analyse av elevene, men denne analysen er, slik vi forstår lærerne, ofte en analyse av en situasjon som elevene blir stilt ovenfor i oppgaveteksten og som er en begynnende del av en større problemløsning. Vi har tidligere vist til hvordan taksonomien TIPP, utviklet av Teodorescu et al. (2013), omslutter problemløsning i motsetning til taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001).

Hestenes (1987) sin beskrivelse av problemløsning gjennom modellering, som er beskrevet i kapittel 2.5, ble sentral for den videre utformingen av taksonomien. I teorien om modellering fant vi et godt samsvar med lærernes beskrivelser av hva oppgavene ville kreve av elevene. Hestenes (1987) sin beskrivelse av modelleringssekvensens første steg, den deskriptive fasen, var blant annet noe som samsvarte godt med lærernes beskrivelser av den analysen som elevene må gjøre i starten av mange problemløsende oppgaver. Taksonomien ble derfor endret for å etterkomme teorien om modellering og den nye organiseringen ble igjen forsøkt brukt for å kategorisere de ulike oppgavene.

Kreativitet, det øverste nivået i taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001), ble etter hvert et element vi brukte energi på å få til å passe inn taksonomien. Flere av lærerne nevnte i sammenheng med enkelte av oppgavene hvordan elevene måtte gjennomføre kreative løsninger der de måtte sette sammen kunnskap på en ny måte. Dette ble, på linje med plasseringen til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) av denne kategorien, sett på som utfordrende for elevene og noe som gjorde de aktuelle oppgavene vanskelige. Erik peker blant annet i følgende sitat på at to oppgaver, som hadde flere fellestrekk, skilte seg fra hverandre fordi elevene i den ene måtte bruke en løsningsmetode de ikke er vant med å anvende i denne sammenhengen. Erik sier,

(...) når de løser den oppgaven, så kan de bruke den formelen slik som den er, men når de løser oppgave 6 så kan de ikke bruke formelen slik som den er. For da regner de først ut energien og så tar de 20% av det. Altså, det er ikke en big deal, men det var det jeg skulle frem til: at de måtte gjøre det på en litt annen måte. Så det er forskjeller mellom de to oppgavene.

(...) Fordi at i denne oppgaven så er formlene akkurat slik som du lærer de, mens i denne her så var det en liten forandring. Så de kan ikke bruke formelen akkurat slik som den er i boken. (...)

Dette fysikkfaglige og matematiske innslaget av kreativitet i løsningen av oppgavene var noe taksonomien måtte ta høyde for. Som nevnt hadde vi kommet frem til at teori om modellbygging var godt egnet for å beskrive elevenes møte med problemløsningsoppgaver og den innledende analysen som mange oppgaver krever. Hestenes (1987) beskriver hvordan elevene, etter å ha

gjennomført en beskrivelse av situasjonen, kommer til en del av modelleringen som handler om å sette opp de aktuelle ligningene for prosessen. Denne prosessen er, ifølge Hestenes (1987, s. 445), slett ikke rett frem og det ble innledende tenkt at denne prosessen måtte tilhøre det øverste nivået av faglig resonnering i taksonomien. Denne plasseringen gjorde imidlertid at elementet av kreativitet som noen oppgaver krever, forsvant i kategoriseringen til tross for at flere av lærerne og taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) trekker frem denne kreativiteten. For å imøtekomme denne spenningen i taksonomien la vi derfor til en egen kategori for utprøvende og kreativ modellbygging som kunne fange opp denne nyansen og henvendte oss igjen til prøvene og intervjuene for å avgjøre om taksonomien nå fanget opp elementet av kreativitet som lærerne hadde trukket frem.

Slik fortsatte vi å videreutvikle taksonomien til den etter hvert samsvarte med oppgavene på prøvene og det lærerne hadde fortalt om oppgavene på prøvene. At den analytiske prosessen er drevet av dataene vil nettopp si at man ikke gir seg før funnene inkluderer det dataene krever (Patton, 2002, s. 58). Vi har tidligere pekt på at validiteten og reliabiliteten til prosjektet avhenger av at funnene stammer fra datamaterialet, og vi sa oss derfor ikke fornøyd med funnene før vi opplevde at de rettmessig representerte dataene i prosjektet.

Utsagnene som ikke passet inn

I tillegg til de utfordringene som vi allerede har beskrevet, trakk også lærerne frem andre sider ved oppgavene som vi ikke klarte å få til å passe inn blant de kognitive prosessene. Selv om det lærerne sa ikke passet inn i den daværende taksonomien ble de likevel ansett som viktige for de kravene som oppgavene stilte til elevenes faglige resonnering. Lærerne nevnte blant annet at elevene hadde større problemer med noen temaer enn andre og at flere objekter i oppgavebeskrivelsen ville innebære en utfordring for elevene. Siden vi ikke fant noen god måte å inkludere disse i de kognitive prosessene ble derfor besluttet å undersøke hvorvidt supplerende dimensjoner utenfor de kognitive prosessene kunne hjelpe oss å beskrive den faglige resonneringen mer nyansert.

Vi la til to supplerende dimensjoner for å beskrive hvor kompliserte sammenhenger som inngikk i oppgavene og hvor stor kompleksiteten i hver oppgave var. Dersom sammenhengene som inngår i en oppgave er kontraintuitive eller krever stor grad av abstrakt tenkning, vil dette, som forklart i kapittel 2.2, medføre at sammenhengene som inngår også blir mer kompliserte. Kompleksiteten ved oppgaven er bestemt av antallet fakta, elementer og operasjoner som inngår i oppgaven og løsningen av denne. En nærmere beskrivelse vil bli gitt i kapittel 4.1. Dimensjonene samsvarte godt med lærernes uttalelser og vi besluttet derfor å holde på de to dimensjonene utenfor de kognitive prosessene i taksonomien. Denne utvidelsen gjorde at taksonomien etter hvert ble mer

enn en ren beskrivelse av de kognitive prosessene som inngår i oppgavene. Krav til faglig resonnering har i økende grad gjennom prosjektets gang blitt forstått som tilsvarende for det som utgjør den opplevde vanskeligheten til en problemløsende oppgave.

Taksonomien, slik den til slutt ble organisert, er beskrevet i kapittel 4.1 og vist i tabell 5. I kapittel 4.1 vil vi knytte spesifikke prøveoppgaver og forklaringer fra lærerne til beskrivelsen for å eksemplifisere og nyansere taksonomien.

3.8. Analyse av lærernes begrunnelser for valg av oppgaver

Som beskrevet tidligere ønsket vi også å utvikle en oversikt over lærernes ulike begrunnelser for utforming og valg av oppgaver. I denne delen vil vi beskrive hvordan vi gikk frem for å analysere intervjuene for å finne svar på det andre forskningsspørsmålet for prosjektet.

En induktiv analyse

Der analysen tilhørende utviklingen av en taksonomi for å beskrive oppgavenes krav til faglig resonnering i stor grad var inspirert av teori, var analysen knyttet til lærernes begrunnelser for valg av oppgaver i større grad en rent induktiv analyse. Nilssen (2012, s. 65) skriver imidlertid at en tanke om at forskeren i en åpen koding kan legge fra seg teorier er en utopisk tanke og at koding og kategorisering alltid vil være påvirket av forskerens erfaringer og kunnskaper. Det avgjørende er, ifølge Nilssen (2012, s. 65), at forskeren i en induktiv metode ikke har forhåndsdefinerte kategorier. Dette står i kontrast til arbeidet med analysen av oppgavenes krav til faglig resonnering, der de teoretisk definerte kategoriene nettopp var utgangspunktet for analysen. I en induktiv analyse oppdages mønstre, temaer og kategorier i dataene i samspillet mellom forskeren og datamaterialet (Patton, 2002, s. 453).

Analysen av lærernes begrunnelser er en analyse av tekstdata som tilhører det Hsieh og Shannon (2005) beskriver som «Conventional Content Analysis». Kategoriene blir i en slik analyse til gjennom at forskeren, på bakgrunn av et dypdykk i datamaterialet, oppnår ny innsikt og identifiserer kategorier og navn på kategorier (Hsieh & Shannon, 2005, s. 1279). Før datamaterialet er behandlet på denne måten hersker kaoset som følger den komplekse virkeligheten (Patton, 2002, s. 463). Nilssen (2012, s. 82) skriver at første steg i prosessen tilknyttet å redusere og forenkle denne kompleksiteten er koding. Vi vil i det følgende beskrive hvordan prosessen med datareduksjon og koding ble gjennomført før vi går videre til å beskrive hvordan denne prosessen ble brukt for å utvikle de endelige kategoriene.

Datareduksjon og koding

Det første som ble gjort for å undersøke de begrunnelsene som lærerne hadde for sine valg av oppgaver var å identifisere de delene av intervjuene der lærerne begrunnet sine valg av oppgaver. Vi leste nøye gjennom transkripsjonene og hørte på lydfilene for å skille ut disse delene. Ved å bruke dataprogrammet NVivo til denne innledende utvelgelsen kunne vi enkelt merke deler av intervjuene uten å redigere det originale datamaterialet. Dette gav oss også muligheten til enkelt å gå tilbake til transkripsjonene slik at de delene vi hadde merket av igjen kunne leses i sin kontekst. I denne utvelgelsen valgte vi å gå bredt ut og inkludere alle delene av transkripsjonene der vi opplevde at lærerne begrunnet valg de hadde gjort i utvelgelsen, og utformingen av oppgaver. Dette ble gjort fordi vi så det som naturlig at lærerne også ville begrunne sine valg i diskusjonen av oppgavene og ikke kun når dette ble etterspurt eksplisitt. Gjennom den innledende avgrensningen fikk vi redusert den store mengden tekst i transkripsjonene til mer avgrensede deler av intervjuene som vi deretter kunne studere nærmere.

Etter dette begynte en prosess for å sortere og finne mening i lærerne sine uttalelser. Vi gikk derfor nøye gjennom hver av de avmerkede passasjene i de transkriberte intervjuene for å finne ut hva læreren mente i hvert tilfelle. Hvor godt dette lar seg gjøre og hvor sikre vi kan være på at vi har forstått lærerne riktig, er avhengig av hvordan intervjuet ble gjennomført. Som nevnt peker nemlig Kvale og Brinkmann (2009, s. 164) på at et ideelt intervju er selvforklarende og derfor ikke trenger tolkning i etterkant av intervjuet. Hver av begrunnelse vi fant ble så kortfattet reformulert i dataprogrammet OneNote med en referanse som viste tilbake til den aktuelle plasseringen av det originale sitatet. Dette gjorde at passasjer fra forskjellige steder i transkripsjonene kunne kobles til samme tanke eller idé. For eksempel uttrykte flere av lærerne seg om hvor viktig eksamen i Fysikk 2 var for valget av oppgaver. Hver gang en lærer begrunnet et valg av en oppgave med eksamen i faget kunne vi derfor putte den samme «koden» til denne tanken. Denne delen av kodingsprosessen ligner på det Nilssen (2012, s. 82) beskriver som åpen koding. Etter denne prosessen satt vi etter hver igjen med en lang liste med kortfattede begrunnelser som til sammen sa noe om lærernes begrunnelser for valg av oppgaver. På bakgrunn av disse begynte vi utviklingen av kategoriene.

Utvikling av kategorier

Den innledende kodingen av datamaterialet gjorde at vi etter hvert satt igjen med noen begrunnelser for valg av oppgaver som kun var nevnt en gang, mens andre begrunnelser var nevnt flere ganger, som i tilfellet med eksamen. I noen tilfeller hadde også flere begrunnelser noen fellestrekk. Patton (2002, s. 465) skriver at forskeren, gjennom å identifisere elementer som gjentar seg, kan oppdage mønster i dataene som kan bli utgangspunkt for kategorier. Flere lærere

nevnte for eksempel at de, for å ivareta elevenes beste, gjorde grep i oppgaveteksten for å passe på å ivareta elevenes selvtillit og mestringsfølelse. Dette ble imidlertid gjort på ulike måter. Der noen lærere brukte kjente navn i oppgaveteksten la andre lærere opp oppgavene på en bestemt måte. Felles for dem begge var imidlertid at dette ble gjort for å ivareta elevenes selvtillit. Gjennom å identifisere slike underliggende begrunnelser og gruppere sammen forskjellige «koder», avdekket vi noen hovedkategorier som kunne svare på forskningsspørsmålet.

I utviklingen av kategoriene oppdaget vi at vår opplevelse av konseptet «constructive alignment» som sentralt, påvirket kategoriseringen. I arbeidet med å gruppere sammen de ulike kodene, kategoriserte vi begrunnelser som vi knyttet til konseptet «constructive alignment» i samme kategori. Lærerne nevnte imidlertid aldri begrepet selv, og vi oppdaget etter hvert at disse begrunnelsene hadde store likhetstrekk med begrunnelser i andre kategorier. Det ble besluttet at kategorien var et produkt av vår forutinntatthet, og vi gikk derfor bort fra denne. Dette er et eksempel på hvordan vi har arbeidet for å avdekke, men også forhindre, påvirkning fra vår subjektivitet på prosjektets funn. I kapittel 5.2 vil vi komme tilbake til en diskusjon vedrørende begrunnelser som kan knyttes til konseptet «constructive alignment».

Patton (2002, s. 465-466) lister opp noen kriterier som de ulike kategoriene bør oppfylle. To slike kriterium er intern homogenitet og ekstern heterogenitet. Intern homogenitet innebærer at data som tilhører samme kategori naturlig passer sammen i kategorien, mens ekstern heterogenitet innebærer at det er tydelige forskjeller på de ulike kategoriene. I vårt prosjekt ble det innledende identifisert fem kategorier. Disse kategoriene av begrunnelser var: Testteoretiske, læringsmålorienterte, pedagogiske, praktiske og kollegiale. Noen data var ikke mulige å plassere i noen av disse kategoriene og ble derfor plassert i en egen kategori. Etter en nøye gjennomgang av disse ble det identifisert at dataene i denne kategorien ikke naturlig hørte sammen, kategorien hadde med andre ord ikke intern homogenitet. Det ble derfor videre identifisert to begrunnelser fra denne kategorien som i større grad oppfylte kriteriet om intern homogenitet. Disse kategoriene inkluderte begrunnelser som var fysikktradisjonelle eller opplærende.

Patton (2002, s. 464) peker på at man kan oppnå en analytisk triangulering dersom kodingsskjemaet for en studie blir utviklet individuelt av ulike forskere for så å sammenlignes. For å dra nytte av denne effekten brukte vi tid på å prøve de ulike kategoriene til å organisere datamaterialet hver for oss, og deretter sammenligne resultatene. Noen ganger når vi sammenlignet våre resultater var vi uenige om hvilken kategori de ulike sitatene tilhørte. Dette kunne i utgangspunktet tolkes som at kategoriene ikke var tydelig nok definerte og at den eksterne heterogeniteten var lav. Vår veileder gjorde oss imidlertid oppmerksomme på at når en begrunnelse kunne tilhøre flere kategorier kunne dette også være fordi det ikke var entydig hva læreren hadde ment. Kategorisering av tilfeller som ville kreve tolkning av lærernes forklaringer

ville kunne komme til å basere seg på vår subjektivitet, noe som ville vært en utfordring for validiteten til funnene. Dette gjorde at vi gikk tilbake til datamaterialet for å avgjøre hvilke av begrunnelsene som kunne tolkes ulikt.

Etter å ha gått gjennom datamaterialet og luket ut begrunnelsene som kunne tolkes ulikt, ble noen av kategoriene tydeligere skilt fra hverandre. Dette gjorde det lettere å plassere dataene i de ulike kategoriene. Det kom også tydelig frem at den opprinnelige kategorien for pedagogiske begrunnelser inneholdt to store tanker som, selv om de kunne relateres til hverandre, var mer naturlig å plassere i to ulike kategorier. Dette ble grunnlaget for to kategorier for forberedende og betryggende begrunnelser. Samtidig oppdaget vi at noen av kategoriene hadde så store fellestrekk at de kunne tilhøre en mer overordnet kategori. Kategorien for fysikktradisjonelle begrunnelser falt også bort fordi det ikke fremgikk tydelig hva lærerne her hadde ment. Etter å ha gjennomført disse endringene i kategoriene satt vi til slutt igjen med seks ulike kategorier som er beskrevet i kapittel 4.2. Disse er begrunnelser som er *Testteoretiske*, *Læringsmålorienterte*, *Betryggende*, *Forberedende*, *Praktiske* eller *Opplærende*. Alle de eksplisitte begrunnelsene i datamaterialet kunne nå kategoriseres under en av disse begrunnelseskategoriene, noe Patton (2002, s. 466) peker på som et viktig kriterium for kategoriernes kompletthet.

3.9. Etiske vurderinger i prosjektet

All forskning er et etisk anliggende. Allerede i formålet og utformingen av forskningsspørsmålene for prosjektet ligger det en etisk vurdering knyttet til hvem som vil kan komme til profittere på prosjektet. Patton (2002, s. 408) peker på at man både bør vurdere hvordan prosjektet kan ha verdi for samfunnet og for deltakerne. «What's in it for the interviewee?» spør Patton (2002, s. 408). Som vi tidligere har beskrevet har målet for prosjektet vært å svare på forskningsspørsmålene på en måte som lærere i programfaget fysikk kan dra nytte av. Slik sett har målet med prosjektet hele tiden vært at lærere selv skal kunne profittere på prosjektet.

Som vi påpekte i sammenheng med beskrivelsen av validitet og reliabilitet i prosjektet, vil forskerens tilstedeværelse i det kvalitative forskningsarbeidet påvirke de situasjonene man selv ønsker å studere. Patton (2002, s. 269) peker på at dette har ført til en diskusjon angående hvorvidt deltakerne i et forskningsprosjekt skal være klar over at de blir studert. Data som stammer fra uinformerte kan være nærmere den virkeligheten man selv ønsker å studere, men diskusjonen er også en etisk diskusjon. Med tanke på de tidligere nevnte kravene om respekt for menneskeverd, integritet, frihet og medbestemmelse er det ikke vanskelig å se at uinformert eller ufrivillig deltagelse i forskning er problematisk. Nilssen (2012, s. 144) fremhever at kvalitativ forskning er avhengig av deltakere. I forskningsarbeidet kommer man tett på disse deltakerne

gjennom deres tanker og skrevne tekster, og de etiske kodene for kvalitativ forskning er derfor strenge (Nilssen, 2012, s. 144). I Norge er det et formelt krav om et informert samtykke før innhenting av personopplysninger (Datatilsynet, 2018).

Diskusjonen har også vært sentrert rundt i hvilken grad forskningsdeltakerne skal være informert om hensikten til forskningen (Patton, 2002, s. 270). Patton (2002, s. 271) trekker frem eksempler fra USA for å illustrere hvordan forskning som har tilbakeholdt denne typen informasjon har gått ut over mennesker, spesielt de mest sårbare i samfunnet. Systemer som her er laget for å beskytte mennesker anerkjenner viktigheten av å behandle alle mennesker med respekt (Patton, 2002, s. 271). Nilssen (2012) peker på at «(...) respekt for menneskeverdet og respekt for integritet, frihet og medbestemmelse (...)» (s. 145) er overordnede krav i retningslinjer utarbeidet av Den nasjonale forskningskomité.

I Norge hjelper Norsk senter for forskningsdata (NSD) forskere med å avgjøre om forskningsprosjekter innfrir kravene i personvernlovgivningen. Første steg i arbeidet med å skaffe de nødvendige data til vårt forskningsprosjekt var derfor å sende inn søknad til NSD for behandling. Her la vi ved en tidlig beskrivelse av formålet med forskningen i tillegg til informasjon om hvilke data vi ville ha bruk for og hvordan vi ville gå frem for å skaffe og håndtere disse dataene. Et samtykkeskjema, se vedlegg 1, ble utarbeidet etter mal fra NSD og gitt til alle lærerne som viste interesse for å delta i prosjektet.

Gjennom detaljert informasjon til deltakerne i prosjektet har vi, så langt det har latt seg gjøre, forsøkt å gi deltakerne våre mulighet til å ta stilling til prosjektet på en informert måte. Nilssen (2012) peker på at i tillegg til informasjon om hensikten bør man også informere om hvilke aktiviteter deltakelse vil innebære og mulige tilknyttede belastninger. Samtykkeskjema som ble utformet og brukt for dette prosjektet, se vedlegg 1, gir også informasjon til deltakerne om deres mulighet til å trekke seg fra studien. Det frivillige samtykket skal ikke være bindende og det har vært viktig for oss at deltakerne har vært klar over at de kan trekke seg også etter at prosjektet har startet. Vi har også forsøkt å være fleksible i våre avtaler med lærerne slik vi kunne gjennomføre intervju på tidspunkt som passet inn i deres timeplaner. Nilssen (2012) peker også på deltakerne må ha en faktisk mulighet til å si nei. Vi ser det derfor som positivt at noen av lærerne vi kontaktet ikke ønsket å delta. Dette indikerer at lærerne opplevde deltakelse som frivillig.

Nilssen (2012) peker på at de etiske vurderingene i prosjektet må gjøres gjennom hele prosjektet for å unngå skade på deltakerne. De som deltar i forskningen bidrar med tanker og informasjon som andre kan ha interesse av å holde skjult, og som derfor kan gjøre at de som deltar kan bli oppfattet som varslere (Nilssen, 2012, s. 148). Dette aktualiserer viktigheten av konfidensialitet

og anonymitet i forskningsarbeidet. I vårt prosjekt har hvem som er deltakere vært noe vi har holdt konfidensielt for å beskytte deltakernes mulighet til å uttale seg fritt uten at dette skal få konsekvenser for dem i etterkant. Datamaterialet vi har jobbet med har blitt anonymisert underveis på en slik måte at det ikke inneholder identifiserende opplysninger. Her har både navn på deltakere og deltakernes arbeidssted blitt anonymisert. Datamateriale som ikke har vært mulig å anonymisere, som lydopptakene fra intervjuene, har kun vært tilgjengelig for oss som har jobbet med prosjektet.

Som Nilssen (2012, s. 150) påpeker kan det imidlertid være vanskelig å sikre anonymiteten på lokalt plan. Rektorene ved de ulike skolene vet blant annet hvem vi har vært i kontakt med fra deres skole. Lærere og elever ved skolene kan også tenkes å kunne identifisere idéer og lignende fra datamaterialet. Dette kan være en utfordring når det kommer til ivaretagelse av anonymiteten, og en løsning kunne være å ikke koble sammen ulike utsagn og eksempeloppgaver slik at det ble vanskeligere å skaffe et komplett bilde av deltakerne. Vi ser det imidlertid som et poeng at leseren, for å kunne vurdere troverdigheten bak funnene, kan koble sammen tanker som kommer frem med eksempel på oppgaver underveis. Av den grunn har vi valgt å gi pseudonymer til alle lærerne som deltok i prosjektet. Gjennom prosjektet vil vi referere til lærerne gjennom følgende pseudonymer: Anders, Bjarte, Christian, Dagny, Erik, Fredrik og Geir.

4. Funn

På bakgrunn av analysen som ble gjort har vi funnet svar på forskningsspørsmålene for prosjektet og i det følgende vil funnene bli presentert og eksemplifisert. Gjennom presentasjonen av funnene i prosjektet vil det flere ganger bli vist til utdrag fra de transkriberte intervjuene. Disse utdragene inneholder tegn og markeringer fra transkripsjonsprosessen. Utdragene er klippet til for få uttalelser tydeligere frem og deler av svarene som ikke er relevante har blitt utelatt. Der vi har klippet i et svar er dette markert slik: (...). En fullstendig oversikt over tegn og markeringer som er brukt finnes i tabell 4.

Tabell 4: Oversikt over tegn og markeringer, med betydninger, som har blitt brukt i utdragene fra intervjuene.

Oversikt over tegn og markeringer i utdragene fra intervjuene	
...	Indikerer ufullstendig setning.
(...)	Indikerer at deler av lærersvaret er utelatt i utdraget.
L:	Indikerer at det er lærer som snakker.
I:	Indikerer at det er intervjuer som snakker.
[tekst]	Teksten i klammene gir informasjon om intervjukonteksten.

Vi vil også vise til eksempeloppgaver fra prøvene i prosjektet. Oppgavene som er vist her er standardiserte av oss og er dermed ikke direkte utklipp fra prøvene. Alle oppgavene som blir vist her har samme font og er skrevet på bokmål, uavhengig av font og målform i den opprinnelige oppgaven. Dette er gjort som en del av arbeidet med å sikre konfidensialitet i prosjektet. Et unntak fra dette finnes i de oppgavene som inneholder illustrasjoner. Her er illustrasjonene originale.

Alle navn som kommer frem i eksempeloppgaver og i utdrag fra transkripsjonene er byttet ut. De stedene der læreren har nevnt sitt eget navn i intervjuet eller i oppgaveteksten har navnet blitt byttet ut med pseudonymet som vi har gitt læreren.

4.1. Taksonomi for problemløsende oppgaver i fysikk

I det følgende vil vi presentere taksonomien som er utviklet for å svare på hvilke krav til faglig resonnering som stilles av ulike problemløsende oppgaver i fysikk. I utviklingen av taksonomien har vi hentet inspirasjon fra teorien som er presentert tidligere, men taksonomien er også basert på datamaterialet i prosjektet. Taksonomien, som er vist i tabell 5, består av tre dimensjoner: *Komplisitet*, *Kompleksitet* og *Kognitive prosesser*. De tre kategoriene er uavhengige analytiske dimensjoner som kan brukes for å beskrive en oppgaves krav til faglig resonnering. Dette innebærer at en oppgaves vanskelighet ikke alene kan beskrives gjennom en av disse. Som nevnt tidligere peker Garden et al. (2006) blant annet på at oppgaver som befinner seg innen samme

kognitive domene kan variere i vanskelighetsgrad. Som tabell 5 viser, er de kognitive prosessene mest utfyllende beskrevet. Dette henger sammen med prosjektoppgavens fokus og teoretiske utgangspunkt som i stor grad har fokusert på de kognitive prosessene som inngår i løsning av oppgaver.

I kapittel 2.2 beskrev vi hvordan noen sammenhenger i fysikk kan være mer krevende å forstå enn andre, og dermed er mer kompliserte. Med ordet *komplisitet* som navn på den ene dimensjonen i taksonomien ønsker vi å vise til ordet *komplisert*. Vi ønsket et navn på dimensjonen som var lett å referere til, og i mangel på et bedre ord endte vi opp med *komplisitet*. En nærmere beskrivelse av innholdet i dimensjonen vil bli presentert nedenfor.

I det følgende vil vi beskrive de ulike kategoriene nærmere og vise til aktuelle idéer fra prøvene og fra intervjuene med lærerne som eksemplifiserer hva som er ment og nyanserer kategoriene.

Tabell 5: Taksonomi utviklet for å beskrive de ulike oppgavenes krav til faglig resonnering.

Kognitive prosesser	3. Modellere	3. Kreativ modellbygging	
		2. Modellbygging	
		1. Beskrivende analyse	
	2. Forstå	a. Teknisk forståelse	b. Konseptuell forståelse
	1. Gjengi	Fakta, begreper & definisjoner	
Kompleksitet	Antallet informasjonsbiter som til sammen legger press på elevens arbeidsminne		
Komplisitet	Hvor krevende det er å forstå sentrale begreper og idéer i oppgaven		

Komplisitet

Komplisiteten til en oppgave er avhengig av de sentrale begrepene, sammenhengene og idéene som inngår i oppgaven, noe vi har beskrevet i kapittel 2.2. Noen sammenhenger og idéer som inngår i de ulike begrepene er mer kompliserte, og dermed mer krevende å forstå. Videre kan noen idéer i fysikk være kontraintuitive fordi de går mot elevenes hverdags erfaringer, noe som kan innebære at idéene derfor blir vanskeligere å forstå. Når begrepene i tillegg inneholder abstrakte idéer som elevene kan ha vanskelig for å kunne knytte til sine erfaringer, bidrar dette også til en økt komplisitet. Lærerne viste ved flere tilfeller til fysikktematikk som de visste elevene erfaringsmessig har vanskelig for å forstå. Dette har vi tolket som et anliggende ved teoriens komplisitet.

I intervjuet nevner Anders at han normalt pleier å gi elektromagnetisme som tema på en egen prøve fordi det er vanskelig å forstå. Anders sier,

Så vet jo vi at elektromagnetismen er krevende og hvis vi har muligheten til det så ønsker vi gjerne å gi en prøve som begrenser seg til det.

Uttrykt gjennom vår taksonomi kunne vi, på bakgrunn av det Anders sier, beskrevet elektromagnetisme som et tema der idéene og begrepene som inngår er kompliserte å forstå. Christian kommer med en utfyllende beskrivelse av hva det er som gjør at noen sammenhenger, som for eksempel elektriske felt, er lettere å forstå for elevene. Christian sier,

L: (...) Ellers så er dette... akkurat dette her med elektriske felt inni sånn som dette her, dette er... ganske grei skuring for de fleste, og det ser jeg òg når jeg sensurerer eksamen. Dette er ikke noe spesielt vanskelig, sant, for de som tar det, så...

I: Hva er det som gjør det, vil du si?

L: Det er nok fordi at det... sant, det er enkle ting, sant... Det er lett å fremstille, lage bilde på det, siden alt er todimensjonalt, i motsetning til når du kommer til magnetfelt, når alt blir tredimensjonalt. Sant, enkle sammenhenger, som blir veldig mye mer komplisert når du kommer til induksjon, sant, som er grådig vanskelig for dem. Og formlene som inngår her [elektriske felt] er kjempevanskelige, nei, lette, mener jeg, sant, og så er det lett å knytte det til ting de kjenner godt fra før, sant, dette her med skråkast og ting de lærte i førsteklasse, sant. (...) Så, samlet sett så pleier dette å være ganske greit, og det ser jeg som sagt igjen når jeg sensurerer eksamen òg, at... disse elektriske... rene elektriske feltoppgavene pleier å være ganske greie. I alle fall når du har homogene felt, litt verre den oppgaven på andre siden når du har inhomogene felt.

Christian peker her på at noen idéer kan være vanskeligere for elevene å forstå. En tredimensjonal visualisering er, som Christian peker på, gjerne vanskeligere for elevene. Dette, sammen med formlene som inngår, bidrar dermed til oppgavens komplisitet gjennom komplisiteten til teorien som inngår i oppgaven. Utover det som er presentert over tror vi mange lærere har en intuitiv forståelse for hvilke idéer og begreper som er krevende for elevene å forstå og som dermed har høy komplisitet. Hvordan lærerne skal vurdere komplisiteten i en oppgave tror vi derfor at i stor grad må knytte seg til hver enkelt lærers erfaring med de ulike begrepene og ideene som inngår.

Kompleksitet

Kompleksiteten i taksonomien er ment som et mål på antallet idéer, fakta og gjenstander som inngår i oppgaven. Vi vil i det følgende kalle disse for informasjonsbiter. For hver informasjonsbit

som elevene blir presentert for i oppgaven eller må koble inn i løsningen av oppgaven vil arbeidsminnet til eleven bli ytterligere belastet slik dette er beskrevet i kapittel 2.7. En økt kompleksitet i oppgaven legger derfor press på elevenes arbeidsminne og vil derfor gjøre oppgaven mer kognitivt krevende. Til sammen kan kompleksiteten og komplisiteten som inngår i problemløsende oppgaver forklare hvorfor oppgaver som kategoriseres på samme nivå innen dimensjonen *kognitive prosesser*, kan ha ulike vanskelighetsgrader. I det følgende vil vi presentere ulike former for kompleksitet.

Flere lærere peker i intervjuene på at noen oppgaver kan være vanskeligere enn andre, ikke nødvendigvis fordi situasjonen er ny eller fordi komplisiteten er spesielt høy, men rett og slett fordi det inngår mange elementer i det fysiske systemet. Figur 2 viser et eksempel på en slik oppgave fra en av Eriks elektrisitetsprøver.

Tre identiske små metallkuler A, B og C ligger på samme linje og har samme ladning $q = 3.0 \cdot 10^{-9}C$. Avstanden mellom to nabokuler er 10 cm. Kule C har masse lik 0,010 gram.

Kule A og B er i ro, mens kule C sendes med startfarten v_0 rett mot B.



Hvilken startfart v_0 må C ha for at kulen skal snu 1,0 cm fra B?

Figur 2: Viser en oppgave fra Erik sin prøve i elektromagnetisme.

Erik sier blant annet følgende om oppgaven,

(...) Denne tok jeg bevisst med fordi at det er veldig få som klarer den. Fordi det er veldig få som tar med alle bidragene som skal tas med. For her... Nå skal jeg bare se om jeg husker den. Ja, det er kule c som driver og sendes mot B, og da er det på en måte størst... altså da er det kule B som påvirker mest, men kule A påvirker òg. Men det er en del som glemmer litt bidraget fra kule A. Så det er en oppgave som skiller folk litt. (...)

Erik viser til at elevene typisk glemmer å inkludere et bidrag når de skal vurdere kreftene som virker på kule C, og at dette gjør oppgaven vanskelig. I beskrivelsen av komplisitet viste vi til et sitat hvor Christian beskrev elektriske felt som bestående av enkle sammenhenger, noe som støtter tanken om at det ikke er oppgavens komplisitet som gjør den vanskelig i dette tilfellet. Figur 3 viser hvordan oppgaven kunne sett ut dersom kule A ble fjernet.

To identiske små metallkuler B og C ligger på samme linje og har samme ladning $q = 3.0 \cdot 10^{-9} \text{C}$. Avstanden mellom kulene er 10 cm. Kule C har masse lik 0,010 gram.

Kule B er i ro, mens kule C sendes med startfarten v_0 rett mot B.



Hvilken startfart v_0 må C ha for at kule C skal snu 1,0 cm fra B?

Figur 3: Viser en alternativ variant av oppgaven fra figur 2.

Det er vår påstand at de fysiske sammenhengene som inngår i oppgavene fra henholdsvis figur 2 og figur 3 er de samme, og at det er antall informasjonsbiter som inngår som skiller dem når det gjelder vanskelighetsgrad.

Videre kan oppgaver inneholde informasjonsbiter som ikke er nødvendige for løsningen av oppgaven. Dette kan villedde elever som kanskje blir usikre på sin egen fremgangsmåte dersom ikke alle opplysninger i teksten blir brukt. Bjarte sier for eksempel følgende,

(...) Altså jeg tror at jeg personlig liker å ha ganske så ryddige oppgaver når jeg skal teste grunnleggende forståelse. Så, det er klart at det er også en kompetanse å klare å trekke ut informasjon fra større tekster, eller fra forvirrende tekst. Men... den har jeg ikke... jeg har ikke fokusert så mye på å få testet den... (...) Jeg synes ikke man skal forvirre elever med vilje, heller.

Bjarte peker her på at evne til å sortere ut relevant informasjon kan anses som en egen kompetanse, men at det ikke er noe han fokuserer på å teste. Geir sier for øvrig at i enkelte tilfeller, spesielt dersom oppgaven inneholder enkle sammenhenger, kan det være et poeng å inkludere unødvendige informasjonsbiter for å teste om elevene kan gjennomføre denne sorteringen,

(...) og det er også en grunn til at jeg velger den, sant, fordi du trenger ikke bruke «6,40» og det er jo en liten felle sånn sett, men regningen er jo veldig enkel sant, fordi det er jo bare strekning er lik fart ganger tid på x-retningen på den der, sant.

Her beskriver Geir en oppgave som inkluderer to oppgitte strekninger, der kun den ene er nødvendig for løsningen av oppgaven.

Videre peker Fredrik på at mengden tekst i en oppgave kan gjøre oppgaven vanskeligere for elevene. Han sammenligner to oppgaver, og vurderer den ene som lettere enn den andre, på grunn av forskjellige mengder oppgavetekst. Fredrik sier,

På en måte er den litt lettere. Fordi at det står ikke noe sånn... Den andre har mye tekst som... Du snakker om et høyhus så det er lett å begynne å innbille seg de tingene og så tar du deg selv bort fra oppgaven heller enn i oppgaven ikke sant. Så mye sånn tekst som ligger rundt... Hvis

du lager... Hvis du padder for mye med det som jeg vil kalle for unødvendig tekst da, så er det en sjanse for at elevene rett og slett går tapt i det.

En omfattende mengde oppgavetekst kan altså, ifølge blant andre Fredrik, bidra til økt kompleksitet i en oppgave, noe som kan gjøre den vanskeligere å løse.

Et ytterligere moment som flere lærere peker på er rett og slett antall steg i løsningsmetoden. Erik viser for eksempel til en oppgave, se figur 14, som han mener er utfordrende blant annet fordi oppgaven ikke er delt opp i deloppgaver. Erik sier blant annet,

(...) Den er... den tenker jeg på som litt mer utfordrende for du ser også at denne oppgaven kunne blitt stykket opp mer i sånn a, b, c, men den er bevisst laget slik fordi at her skal vi på en måte avdekke hvem som virkelig har forstått stoffet. (...)

I oppgaven skal elevene beregne et energitap, og Erik påpeker at elevene selv må planlegge gjennomføringen av hvert trinn, istedenfor at de blir ledet gjennom oppgaven av deloppgaver som ber dem gjøre utregningene som trengs. Dette vil belaste elevenes arbeidsminne, og oppgaver som løses over flere steg blir av flere lærere trukket frem som vanskelige. I vår taksonomi vil dette forklares blant annet ved at dette fører til at kompleksiteten øker.

Kognitive prosesser

De ulike kategoriene innen dimensjonen kognitive prosesser er, som vi tidligere har vist til, inspirert av oppbygningen i andre rammeverk. Tidligere har vi beskrevet at både konseptuell kunnskap og strategier står sentralt i løsningen av problemløsende oppgaver, og i vår taksonomi har vi forsøkt å inkludere begge disse aspektene. De to nederste kategoriene i de kognitive prosessene er felles med de nederste nivåene i taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001), som er gjengitt i tabell 2. I motsetning til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) har vi imidlertid valgt å plassere anvendelse av fagstoff gjennom standardisert problemløsning (*2.a. Teknisk forståelse*) ved siden av konseptuell forståelse (*2.b. Konseptuell forståelse*). En begrunnelse for dette vil følge når vi senere beskriver disse underkategoriene. Kategoriene *1. Gjengi* og *2. Forstå* kan med andre ord beskrives som relativt like de tre nederste kategoriene til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) selv om organiseringen er noe endret.

Det øverste nivået innen dimensjonen av kognitive prosesser, *3. Modellere*, består av tre underkategorier, se tabell 5. Nivå *3. Modellere* tilsvarer i vår taksonomi de tre øverste kognitive nivåene i taksonomien til L. W. Anderson og Krathwohl (2001) som vises i tabell 2. Bruken av ordet *Modellere* tror vi vil falle mange lærere naturlig og intuitivt å forstå og bruke, og som vi har beskrevet i kapittel 2.5 kan modellering forstås som en strategi for problemløsning i fysikk.

Vi har valgt å omtale dimensjonen av kognitive prosesser som hierarkisk. I det vil vi legge at høyere nivåer suksessivt vil kreve at en elev mestrer de lavere liggende nivåene. I tillegg til en oppgaves *Kompleksitet* og *Komplisitet*, som vi tidligere har beskrevet, vil også et høyere nivå av *kognitive prosesser* øke oppgavens krav til faglig resonnering.

1. Gjengi

Oppgavene i denne kategorien krever at elevene kan gjengi fakta, begreper og definisjoner. Det kreves ikke at elevene kan anvende disse, men at de er i stand til å huske og gjenfortelle det de tidligere har memorert. Oppgavene er ikke i seg selv problemløsende, men for å løse problemløsningsoppgaver må elevene kunne gjengi kunnskap. I noen tilfeller, som i flervalgsoppgaver, kan oppgavene innen denne kategorien kreve at elevene er i stand til å gjenkjenne, istedenfor å gjengi, det riktige svaret. Et eksempel på en slik oppgave er vist i figur 4. Her skal elevene gjenkjenne at ett av alternativene ikke er riktig enhet for elektrisk felt.

Hvilken av disse er *ikke* en korrekt enhet for elektrisk felt?

- a) V/m
- b) N/C
- c) N/m
- d) J/Cm

Figur 4: Viser en oppgave fra Fredrik sin prøve i elektrisitet.

Et eksempel på en oppgave der elevene i større grad blir bedt om å gjengi informasjon, uten at de kan gjenkjenne et riktig alternativ, vises i figur 5.

- a) Hva mener vi med å si at atomenes energi er kvantisert?
- b) Gjengi, eller fortell med dine egne ord, innholdet av Bohrs to postulater.

Figur 5: Viser to deloppgaver fra Dagny sin prøve i kjernefysikk.

Når Dagny beskriver hva elevene typisk sliter med i disse deloppgavene trekker hun spesielt frem at elevene kan ha problemer med å huske hva ordet kvantisert betyr. Dagny sier,

Så jeg ser jo det at, bare ordet kvantisert er vanskelig, er et fremmedord. Så det forstår de ikke. (...) Og inne i det [svaret på deloppgave b)] så kan kanskje forklaringen på a) komme selv om det står «husker ikke» på a). «Har glemt det», eller «Har det på tungen» eller et eller annet sånt er jo ofte svar på oppgaven.

Dagny påpeker at det kan være at elevene husker betydningen av at energien er kvantisert, men dersom de ikke klarer å knytte dette til begrepet «kvantisert», vil de ikke kunne svare på oppgaven. Dagny begrunner dette med at flere av elevene, i svaret til oppgave b), kunne gjengi betydningen av at energien er kvantisert selv om de ikke klarte dette i oppgave a).

Den hierarkiske organiseringen av de kognitive prosessene innebærer at kunnskapen som etterspørres av oppgaver fra kategorien 1. *Gjengi* er nødvendig for løsning av alle fysikkoppgaver. Erik peker i følgende sitat på at elevene for eksempel kan ha utfordringer med å tegne inn kreftene som virker på et legeme dersom de ikke husker hva som er viktig når det kommer til å tegne inn slike krefter,

L: Det er mange som roter med det. Den ene tingen de roter med er jo at... Det går litt tid før folk forstår at såkalte avstandskrefter, slik som gravitasjonskrefter skal tegnes fra sentrum av gjenstanden eller personen, mens disse her... normalkraften i dette tilfellet... kontaktkrefter, de skal tegnes i kontaktpunktet. (...)

I: Men tror du det er fordi elevene tenker at det ikke har noe å si eller er det mer fordi...?

L: De vet at den har noe å si, men... det er rett og slett fordi å tegne krefter er bare to av 197 ting de skal huske på. Hadde de bare jobbet med å tegne piler så hadde de gjort det kjempebra, men når de skal gjøre alt mulig så flyter det litt.

Erik peker videre på at det ikke alltid er slik at elevene husker alt som blir gått gjennom i timen og derfor kanskje ikke klarer å huske alt som er viktig å tenke på når de skal tegne kraftpiler. Når elevene skal tegne piler for å illustrere kreftene som virker i en situasjon, en kognitiv prosess som vi senere vil beskrive som en innledende analyse i en modelleringsammenheng, kan det være at elevene ikke mestrer oppgaven fordi de ikke er i stand til å gjengi nok kunnskaper om representasjonsformen. At elevene er i stand til å gjengi kunnskaper er derfor helt essensielt for elevenes løsning av alle typer oppgaver.

2. Forstå

Når vi i løpet av intervjuene har snakket om oppgavetyper skiller de fleste lærerne mellom det de kaller teorioppgaver og regneoppgaver. Noen identifiserer dette som ulike oppgavetyper, mens andre lærere trekker frem forskjellen mellom en fysikkteoretisk og en regnemessig tilnærming til en oppgave som forskjellige aspekter ved fysikken som elevene må mestre. De to underkategoriene av denne kategorien er gitt tilnavnene a. og b. for å tydeliggjøre at de er ment å være sidestilte i taksonomien slik at den ene ikke befinner seg over den andre. Dette gjenspeiler at de to kategoriene er tenkt å være uavhengige av hverandre slik at den ene ikke bygger på den andre.

2.a. Teknisk forståelse

Oppgaver i kategorien 2.a. *Teknisk forståelse* krever forståelse av de tekniske operasjonene som må gjøres for å løse en oppgave. Oppgaven krever typisk ikke en omfattende konseptuell

forståelse, men kan løses ved å identifisere en fysisk formel som passer til situasjonen og anvende denne for å løse problemet. Lærerne uttrykker at dette er en oppgavetype som de fleste elevene mestrer, og oppgavetypen blir av flere omtalt som en slags standardoppgave i fysikkfaget. Geir sier for eksempel følgende,

Ja, at de vanlige oppstilte oppgavene der de får oppgitt de og de faktaene, den strekningen, den tiden og den startfarten, og så skal du da regne akselerasjon, du skal regne slutfart og til slutt strekning og sånt, og så gjerne bremsing og så blir det ny strekning til å... og sånt, og det er de vant til, og det går greit, så... (...)

Her beskrives det som oppfattes som en typisk oppgave i fysikk der nødvendige opplysninger blir oppgitt og elevene kan bruke kjente formler i løsningen. Geir antyder videre at dette er en oppgavetype elevene er komfortable med. Figur 6 viser et typisk eksempel på en slik oppgave.

Lisa sykler nedover en bakke.
I bakken øker farten jevnt fra 3,0 m/s til 7,0 m/s på tiden 8,9s.

- a) Regn ut akselerasjonen?
- b) Hvor lang er bakken?

Figur 6: Viser en oppgave fra Bjarte sin prøve i mekanikk.

For å løse både deloppgave a) og b) er det vår oppfatning at elevene ikke behøver å gjøre mer enn å identifisere henholdsvis akselerasjonen og strekningen som ukjente størrelser. Deretter må de finne en formel som inneholder denne størrelsen, samt de andre kjente opplysningene fra oppgaveteksten. Vi mener dette vil være mulig å gjøre uten egentlig å vurdere fysikken i problemet. For å regne ut akselerasjonen basert på en initialhastighet og en endelig hastighet over en gitt tid er det ikke et krav å forstå kvalitativt hvordan akselerasjon relateres til de andre størrelsene, så lenge man kan bruke følgende formel,

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t}$$

Videre er det vår oppfatning at elevene ikke behøver å forholde seg til selve situasjonen oppgaven beskriver. Å gjennomføre en fysikkfaglig analyse av hvilke faktorer som kan spille en rolle når Lisa sykler nedover en bakke, er ikke nødvendig for å løse oppgaven. Å gjøre slike vurderinger tilhører et høyere nivå av kognitive prosesser i vår taksonomi.

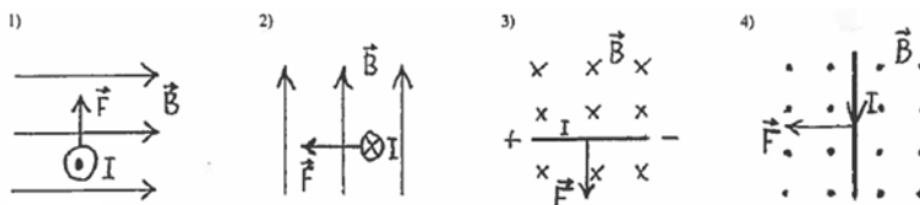
Å trekke ut opplysninger og finne en aktuell formel uten egentlig å tenke over fysikken i problemet er et gjennomgående tema i læreintervjuene vi har gjennomført. Mange lærere peker på dette som en vanlig tilnærming blant elever, og Christian sier blant annet,

«(...) Du ser veldig tydelig på de svake elevene når de får en oppgave, det første de gjør det er å hive seg over formelsamlingen for å finne en formel som passer til oppgaven, sant. Og, de nest-flinkeste, sant, de på midten der, de leser igjennom oppgaven og lurere litt granne, og så begynner de å lete. (...) det er formlene som gjelder, sant. Det å sette seg ned og lese igjennom og prøve å skjønne fysikksituasjonen, det er kun fra firerne og oppover, sant. Som først leser igjennom, og så tenker, og kanskje lager en figur og analyserer situasjonen. (...)»

Det er oppgaver som kan løses alene ved denne formel-tilnærmingen vi ønsker å kategorisere ved nivået 2.a. *Teknisk forståelse*, mens oppgaver som krever at eleven forholder seg til fysikken i en problemsituasjon er forbeholdt 3. *Modellere*. Slik vi ser det er modellen så å si gitt i oppgaver av denne typen, slik at elevene selv ikke behøver å lage en modell. I kapittel 2.7 beskrev vi middel-mål-analyse som er ansett for å være en svak problemløsningsmetode som typisk tar utgangspunkt i matematiske, fremfor fysiske representasjoner av problemet (J. R. Anderson, 1987; Jonassen, 2000; Larkin, 1981). Vi opplever at denne metoden samsvarer godt med lærernes beskrivelse av elevenes tilnærming for å løse oppgaver som krever teknisk forståelse.

Videre inkluderer kategorien 2.a. *Teknisk forståelse* oppgaver som ber elevene om å demonstrere at de behersker tekniske algoritmer. Et godt eksempel er oppgaven som vises i figur 7 der elevene skal bruke høyrehåndsregelen til å avgjøre om retningen til kraftvektoren er riktig.

a) \vec{B} og strømretningen er korrekte.
Hvilke av kraftretningene er da korrekte?



Figur 7: Viser en deloppgave fra Anders sin prøve i elektromagnetisme.

Anders sier følgende om hva som er formålet med oppgaven,

(...) Altså, hele oppgaven er jo egentlig eh... kan du si, bare en kontroll på at du behersker høyrehåndsreglene godt da. (...)

(...) Det er jo ikke så stor forståelsesdimensjon her da. Det er jo rett og slett å plassere fingre og tomler i rett retning i henhold til de... (...)

Oppgaven krever med andre ord ikke at elevene kvalitativt forstår sammenhengene mellom de fysikkfaglige konseptene som inngår i problemet. Det er tilstrekkelig at de vet hvordan

høyrehåndsregelen anvendes. Dette viser igjen hvordan noen former for anvendelse ikke nødvendigvis krever konseptuell forståelse.

Selv om vi hevder at det ikke kreves særlig grad av kvalitativ forståelse av de fysikkfaglige begrepene og momentene som inngår i løsningen av de ulike oppgavene, ønsker vi ikke å antyde at denne oppgavetypen bør nedprioriteres. Erik forteller for eksempel om en oppgave som krever utregning og omforming av matematiske uttrykk, og i den forbindelse trekker han frem det vi kaller for teknisk forståelse som noe av det mest sentrale i faget,

(...) Altså, for en ting som elever generelt sliter litt med, det er algebra og formelomgjøring, og det er jo det viktigste du må beherske i fysikk. (...)

Her ønsker vi for øvrig igjen å vise til den hierarkiske organiseringen av de kognitive prosessene i taksonomien. Teknisk forståelse er en nødvendig forutsetning for å løse oppgaver fra nivå 3. *Modellere*. Oppgaver som kategoriseres som 2.a. *Teknisk forståelse* gjør det for øvrig mulig å teste denne forståelsen mer eksplisitt.

2.b. Konseptuell forståelse

Oppgaver i denne kategorien kjennetegnes typisk ved at de eksplisitt etterspør en form for kvalitativ forklaring eller vurdering i lys av fysikkfaglige begreper eller konsepter. Der oppgaver av kategorien 2.a. *Teknisk forståelse* kan løses uten at det stilles krav til elevenes konseptuelle forståelse av konseptene som inngår, er det nettopp den konseptuelle forståelsen som blir etterspurt i oppgaver i kategorien 2.b. *Konseptuell forståelse*. Oppgavene som denne kategorien omslutter betegner lærerne gjerne som forklaringsoppgaver eller teorioppgaver, og er sjeldent problemløsende i seg selv. Forståelsen som kreves av oppgaver i denne kategorien er imidlertid nødvendig for å kunne løse problemløsningsoppgaver gjennom modellering, noe vi vil komme tilbake til i beskrivelsen av nivå 3. *Modellere*. Figur 8 viser et eksempel på en typisk oppgave fra kategorien 2.b. *Konseptuell forståelse*,

Vi ser på kjernereaksjonen ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2{}^1_1\text{p}$ som blant annet skjer på solen.

- a) Hvorfor er det vanskelig å føre sammen de to opprinnelige heliumkjernene?
Hva må til for at denne reaksjonen skal skje?

Figur 8: Viser en deloppgave fra Bjarte sin prøve i kjernefysikk.

Bjarte betegner denne deloppgaven som en ren forklaringsoppgave. Videre forteller han at slike oppgaver, i tillegg til noen varianter av flervalgsspørsmål, representerer gode utgangspunkt for å teste elevenes forståelse. Bjarte sier,

(...) Den type oppgaver kan man jo også ha litt mer av. Men... flervalgsspørsmålene skal jo til en viss grad ta forståelsesmessige ting, på den andre siden så vil jo sånne forklaringsoppgaver si mer om forståelsen, tross alt. (...)

Flere lærere viser også til at elever gjerne opplever denne oppgaveformen som krevende, blant annet ved at det er vanskelig å formulere seg presist. Anders peker for eksempel i følgende sitat på at gode begrunnelser gjerne krever at elevene har kontroll på begrepsbruken sin,

(...) Du skal jo ha en fysisk logisk begrunnelse da, og da må du ha mer kontroll på begrepsbruken da. Og du er kanskje ikke vant med å formulere deg da. (...)

Her vises det til at elevene kanskje ikke er vant til å komme med presise, fysiske formuleringer. Videre peker Anders på at mangelfulle elevsvar ikke nødvendigvis handler om mangel på forståelse, og han sier blant annet,

(...) Det er jo ikke det at de ikke forstår det, men de klarer ikke å formulere det på en presis måte... Jeg er nok mest opptatt av forståelsen (...) Men i slike oppgaver så er det slik at du da eventuelt blir straffet for at du ikke er presis nok da. Så... vi er nok generelt... Altså, vi blir jo veldig glad hvis de har skjønt et konsept da. Det er ikke slik at vi nødvendigvis tenker at det er så farlig hvis de ikke nødvendigvis er så presise da i... begrepsbruken. For eksempel.

Anders påpeker altså at elever kan forstå hva en oppgave dreier seg om, men at de rett og slett sliter med å formulere forståelsen sin presist. Vi har i kapittel 2.3 pekt på at det er en egen vanskelighet tilknyttet formulering av skriftlige svar i fysikk. Denne vanskeligheten vil vi ikke gå nærmere inn på, men det er viktig å være klar over at den eksisterer. Ifølge Anders er det forståelsen som er det viktigste, og i løpet av intervjuet peker han på at elevene blir flinkere til å formulere seg presist i løpet av skolegangen, nettopp gjennom arbeid ved slike oppgaver.

Flere lærere peker også på at bruken av denne typen oppgaver varierer mellom de ulike temaene. Fredrik peker på at oppgavetyperen er mer brukt innenfor noen spesifikke tema, som når elevene skal ha prøve i relativitetsteori. Fredrik sier,

(...) neste gang vi skal ha prøve så skal vi ha prøve i relativitetsteori og kvantefysikk. Og hvis du har sett på antallet ligninger du kan bruke der så er det ikke mye altså. Og det står egentlig at... i relativitetsteori der har du ganske mange ligninger i kapitlet, men det står egentlig at alt dette skal læres kvalitativt. (...)

I hvor stor grad det forekommer oppgaver som tilhører kategorien *2.b. Konseptuell forståelse* på en prøve, vil derfor kunne avhenge av temaet for prøven.

Til slutt ønsker vi å vise til at det er forståelsen som oppgavene krever, og ikke formen på svaret, som avgjør hvorvidt en oppgave tilhører denne kategorien. For eksempel ber noen oppgaver om en forklaring, selv om de først og fremst krever at elevene husker fremfor å forstå fysiske sammenhenger. Fredrik beskriver forskjellen på slike oppgaver ved å vise til et spørsmål fra en tidligere eksamen,

(...) Det var aller, aller første... det var litt sånn: «skriv ned symbolene» eller «Faradays induksjonslov kan skrives som...» og så «...forklar hva symbolene står for». Det er jo bare for at elevene skal vise det at de har... de skjønner hva symbolene er. Det er jo ikke så mye resonnering i det hele tatt (...)

(...) Så da blir det eventuelt etterpå så må du da forklare noe mer komplekst i... altså sånn «Hva er det som gjør at vi har induksjon?». Eller «Hva er forutsetningen for at induksjon skjer?» eller «Hva er årsaken til at vi observerer induksjon?». Det ville kanskje vært et mer komplekst spørsmål der de måtte da forklare litt og tenke litt. (...)

Fredrik påpeker her at å skrive ned fysiske lover og gjøre rede for hva de ulike symbolene står for ikke nødvendigvis krever særlig grad av faglig resonnering hos elevene. Dersom man for øvrig stiller mer inngående og teoretiske spørsmål, vil man i større grad stille krav til elevenes kvalitative forståelse av konseptene. Eksempelspørsmålene som Fredrik foreslår anser vi dermed som gode eksempler på oppgaver i kategorien *2.b. Konseptuell forståelse*.

3. Modellere

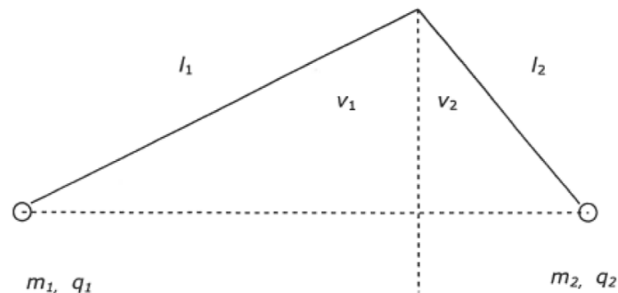
Det øverste nivået i vår taksonomi har vi valgt å beskrive gjennom modellering slik dette er presentert i kapittel 2.5. Kategorien er forbeholdt oppgaver som tar utgangspunkt i et fysisk system der løsningen innebærer en innledende form for kvalitativ analyse, og eventuelt en matematisk beskrivelse, av systemet. Oppgaver innen kategorien *3. Modellere* skiller seg dermed fra oppgavene som tilhører *2.a. Teknisk forståelse* ved at de krever at elevene faktisk forholder seg til fysikken i problemet.

Kategorien *3. Modellere* er videre delt i tre ulike underkategorier: *3.1. Beskrivende analyse*, *3.2. Modellbygging* og *3.3. Kreativ modellbygging*. Som det fremgår i tabell 5 er disse tre nivåene av modellering hierarkisk organisert. Vi vil i det følgende beskrive oppgaver tilknyttet hver underkategori og samtidig vise til lærernes beskrivelser av kjennetegn på resonnering som sammenfaller med hver av dem.

3.1. Beskrivende analyse

Opgaver som etterspør en beskrivende analyse ber elevene om å beskrive en situasjon gjennom fysiske termer og dermed analysere fysikken i problemet. Typiske problemstillinger kan være å tegne inn kreftene som virker i et system. Disse oppgavene kan typisk være de første deloppgavene i en lengre problemløsningsoppgave. Figur 9 viser et eksempel på en slik oppgave.

To kuler med masser m_1 og m_2 og ladninger q_1 og q_2 henger i ro i hver sin snor med lengde l_1 og l_2 , slik som figuren nedenfor viser. Snorene danner vinklene v_1 og v_2 med loddlinjen. Kulene er på samme horisontale nivå.



a) Tegn inn kreftene som virker på hver av de to kulene.

Figur 9: Viser en deloppgave fra Anders sin prøve i elektromagnetisme.

Når Anders forteller om denne oppgaven i intervjuet sier han at oppgaven krever at elevene kan tegne kreftene på figuren mens de samtidig tar høyde for flere fysiske prinsipper som er aktuelle for situasjonen. Anders sier,

L: Når de skal tegne der så må de jo da... Newtons første lov må jo være oppfylt for begge to... og samtidig så må jo de elektriske kreftene, altså de kan jo enten begrunne med Newtons tredje lov eller Columbs lov, men de må jo være like da. (...)

I: Ja, så kreftene har riktig størrelse innad og i forhold til hverandre.

L: Ja, totalt sett òg da.

Når elevene må tegne kreftene samtidig som de tar høyde for de fysiske prinsippene som inngår i situasjonen, stiller dette krav til elevenes evne til å gjennomføre en beskrivende analyse. Et annet eksempel på en oppgave som krever en beskrivende analyse av elever i Fysikk 1 vist i figur 10.

Rektor på SKOLE vgs elsker å kjøre heis. Særlig når heisen stopper, kiler det så godt i magen. Fysikkelevne forklarer rektor at det er fordi heisen akselererer.

Tegn gravitasjonskraften og normalkraften med RIKTIG lengde på rektor i tre situasjoner:

- Rett etter heisen starter (på vei oppover med positiv akselerasjon)
- Når den går med konstant fart mellom etasjene
- Like før heisen stopper (det innebærer at vi har negativ akselerasjon)

Figur 10: Viser en oppgave fra Erik sin prøve i mekanikk.

Oppgaven illustrerer hvordan elevene må vurdere hvordan en endring i situasjonen i oppgaven medfører en endring i de fysiske størrelsene som inngår i beskrivelsen av systemet. Vi har tidligere vist til at Erik mente at å tegne krefter kunne by på utfordringer fordi elevene måtte huske hva som er viktig å ta høyde for. I følgende sitat utfyller Erik denne beskrivelsen og peker på en annen utfordring knyttet til det å tegne kreftene som virker i en situasjon, nemlig det å forstå hvorfor det skal være forskjellig lengde på pilene,

(...) og så er det lengden på pilene. Og det som gjør det ekstra... Det var noen her som på en måte hadde kontroll med at denne normalkraften drev og endret seg i de tre ulike situasjonene når de tegnet pilene til de, men det de rotet med det var jo det at de serverte ulike lengder av gravitasjonskraften. Og den er nå den samme i alle tre tilfellene. Så det å være konsekvent når de tegner piler, det er det ikke alle som er like flinke til.

(...) Denne oppgaven tester jo på en måte flere ting. Det ene er jo å tegne pilene, men det aller viktigste er jo å forstå hvorfor disse tre situasjonene fører til ulike pillengder. Så den er i hvert fall veldig aktuell for vg2-elever.

At elevene forstår hvordan pillengdene må endre seg i de tre situasjonene er ifølge Erik det viktigste elevene må kunne. Å tegne et kraftdiagram er med andre ord en sammensatt prosess. Forståelse av den fysiske situasjonen legger føringer for tegningen, men elevene må også huske vesentlig informasjon, som hvor angrepspunktet til en kraft skal være. I tillegg må de kunne gjennomføre tegningen rent teknisk, for eksempel ved hjelp av en blyant eller et digitalt verktøy.

En beskrivende analyse kan være et ledd i en større problemløsningsoppgave, noe Geir peker på i følgende sitat,

De har, altså de har en standard oppskrift som de har fått fra meg stort sett fra når det gjelder alle oppgavene og den vil jeg at de skal bruke på den oppgaven òg, og det er rett slett å tegne situasjonen, og så sette opp alle tall som de vet, og så må de tenke seg om, er det noen konstanter som de tror de får bruk for her. Og så eventuelt når de da har gjort det, så er det da hvilke formler er aktuelle her, og dette er jo sirkelbevegelse sant, så da må de jo hive opp disse formlene. (...)

(...) Det blir nok tegningen [som er det vanskeligste i den prosessen], og så at de tegner normalkraften for eksempel oppover der, og så tyngdekraften innover, og så er sentripetalkraften da summen av de to kreftene og at da får du G minus N og den der «minus N »'en der tror jeg er den som de bommer med, fordi, de har ikke hatt en oppgave som dette før, der de kjører over på en hump.

Geir understreker her betydningen av, og vanskelighetsgraden som er tilknyttet, å gjennomføre en beskrivende analyse. Som nevnt tidligere trekker også Hestenes (1987) frem det innledende beskrivende steget i modelleringsprosessen som det elevene har størst problemer med. I den innledende analysen vurderer elevene situasjonen for å avdekke hvilke fysiske prinsipper som gjelder og hvordan de fysiske størrelsene i situasjonen henger sammen og påvirker hverandre. Dette er en kvalitativ tilnærming til problemet og er utgangspunktet for elevenes forståelse av oppgaven og dermed også for den videre modellbyggingen som vi vil beskrive.

3.2. Modellbygging

Når elevene møter oppgaver innen kategorien *3.2. Modellbygging* skal de, på bakgrunn av den beskrivende analysen, finne en kvantitativ modell for problemsituasjonen. Bruken av betegnelsen «finne en kvantitativ modell» for situasjonen viser til at oppgavene som tilhører dette nivået av kognitive prosesser innebærer en anvendelse av en eller flere modeller som allerede eksisterer i fysikkteorien. Å finne en modell for en situasjon kan innebære å anvende en modell på en ukjent måte, eller å kombinere ulike modeller sammen. Oppgaver som i større grad ber elevene om å komme med kreative løsningsstrategier tilhører *3.3. Kreativ modellbygging*. De oppgavene som tilhører *3.2. Modellbygging* kan ligne på oppgaver som tilhører *2.a. Teknisk forståelse*, men oppgavene som tilhører *3.2. Modellbygging* krever at elevene har en forståelse for problemsituasjonen og fysikken som inngår. Modellbyggingen kan også inkludere en manipulasjon av den kvantitative modellen og en tolkning av modellens betydning for den originale problemsituasjonen, som beskrevet i kapittel 2.5.

Der den beskrivende analysen av en problemsituasjon krever at elevene er i stand til å avdekke hvilke fysiske størrelser som er involvert og hvilke fysiske prinsipper som er gyldige, vil oppgaver som krever modellbygging ta dette noe lenger og kreve at elevene kan finne kvantitative mål på størrelsene som inngår. Et eksempel på en oppgave innen *3.2. Modellbygging* vises i figur 11.

Bildet nedenfor [bildet er tatt bort] viser en Van de Graaf-generator og en bit gullfolie som svever over generatoren. Kulen i generatoren er positivt ladd. Gullfolien har masse $m = 0,024$ g og er i ro over kulen i Van de Graaf-generatoren. Anta at kulen i generatoren og gullfolien kan betraktes som punktlegermer der all ladning er samlet i et punkt. Avstanden mellom «punktlegermene» er 15,0 cm. Gullfolien har en ladning som er 10 % av ladningen på kulen i Van de Graaf-generatoren.

- a) Regn ut kreftene som virker på biten av gullfolie.
- b) Hvor stor er ladningen på kulen i Van de Graaf – generatoren?

Figur 11: Viser to deloppgaver fra Christian sin prøve i elektrisitet.

Denne oppgaven krever at elevene først identifiserer hvilke krefter som virker og at Newtons 1. lov er gyldig i situasjonen. Dette er prosesser som tilhører *3.1 Beskrivende analyse*. Oppgaven krever for øvrig at elevene også kan bruke det faktum at Newtons første lov er gyldig til å finne kvantitative mål på størrelsene som inngår. For å gjøre dette må de først finne ut hvordan de kan bruke opplysningene som inngår i oppgaven ved å bruke eksisterende modeller i fysikken. Når elevene har identifisert en passende modell for situasjonen må de videre gjøre beregninger der de bruker de opplysningene som er oppgitt, for å finne størrelsen på kreftene. Denne matematiske delen av problemløsningen blir etterfulgt av en tolkning av svaret der elevene oversetter svaret tilbake til konteksten.

Den kvantitative beskrivelsen av en problemsituasjon som gis som svar på oppgavene i denne delen av taksonomien, må imidlertid ikke alltid uttrykkes som tall. Noen «forklaringsoppgaver», som vi tidligere har beskrevet i sammenheng med kategorien *2.b. Konseptuell forståelse*, er tilstrekkelig situasjonsbetonet, slik at elevene blir nødt til å bygge en modell og kanskje gjøre enkelte beregninger for å kunne komme med forklaringen oppgaven etterspør. Dermed kan det i enkelte tilfeller være nødvendig å gjøre en vurdering på om en «forklaringsoppgave» skal kategoriseres som *2.b. Konseptuell forståelse* eller *3.2. Modellbygging*. Oppgavene her kan også kreve at elevene setter opp et matematisk uttrykk for en størrelse eller gir svaret i form av en grafisk representasjon av en modell. Oppgaven som er gjengitt i figur 12 er et eksempel på en oppgave der elevene skal lage en grafisk representasjon som viser endringen av farten til et akselerert legeme.

Lille Klara sitter på fanget til storesøster Kari på et akebrett på et horisontalt underlag. Klara har masse $9,0 \text{ kg}$ og Kari har masse $18,0 \text{ kg}$. Akebrettet har masse $3,0 \text{ kg}$.

- b) Pappa dytter jentene bortover den horisontale bakken. Han dytter med en konstant kraft, slik at jentene får en konstant akselerasjon på $2,0 \text{ m/s}^2$. Jentene starter i ro. Skisser fartsgrafene til bevegelsen.

Figur 12: Viser en deloppgave fra Dagny sin prøve i mekanikk.

I intervjuet forteller Dagny denne oppgaven krever at elevene må kunne bruke matematikken som inngår og samtidig forstå hvordan konstant akselerasjon fungerer. Det kreves med andre ord forståelse av fysikken som inngår. Dagny er først og fremst interessert i elevenes konseptuelle forståelse, men samtidig peker hun på matematikken som et verktøy i faget. Dagny sier,

Fordi det er jo farten og det her med konstant akselerasjon som man ønsker å vurdere. Og så er det jo slik som jeg sier at fysikken er praktisk matematikk sånn at vi bruker matematikken på samme måte som vi bruker formelsamlingen for å slå opp i tabeller eller

altså... Det er hjelpemiddelet vårt. (...) sånn at hvis du sliter med matematikken så er den graftegningen, den er en barriere. Men du vet kanskje fortsatt hva konstant akselerasjon betyr. Og det er det vi ønsker å vurdere (...)

Dagny ønsker dermed at oppgaven skal si noe om elevenes forståelse av konstant akselerasjon. Dette er eksempel på det som kan omtales som konseptuell forståelse. Oppgaven tester denne forståelsen gjennom en grafisk representasjon av modellen som brukes til å beskrive situasjonen. I tillegg til den konseptuelle forståelsen må elevene forstå hvordan modellen kan illustreres grafisk, og identifisere og gjennomføre de beregninger som er nødvendige for å kunne tegne selve illustrasjonen.

Oppgavene som tilhører kategorien 3.2. *Modellbygging* kan også be elever om å kombinere kjente formler sammen til en ny modell. Et eksempel på en oppgave der elevene må kombinere formler og prinsipper for å svare på oppgaven er vist i figur 13.

En container skal trekkes (langs et skråplan) opp på en lastevogn. En stålvaier, som er koplet til en elektrisk motor, festes derfor i containeren. Når vi starter motoren, trekker den containeren oppover skråplanet med en konstant fart.

Tegn inn kreftene som virker på containeren når den befinner seg midt på skråplanet (inkludert alle relevante komponenter), og vis at trekkraften fra vaieren på containeren kan uttrykkes ved formelen

$$S = mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

Figur 13: Viser en oppgave fra Anders sin prøve i mekanikk og elektrisitet.

Anders sier at denne oppgaven kan oppleves som utfordrende av elevene fordi fremgangsmåten ikke er kjent. Elevene må her kombinere flere forskjellige uttrykk for kreftene som inngår, som de kommer frem til ved å dekomponere systemet. Til sammen blir dette en modell for akkurat denne situasjonen, men den baserer seg på kjente modeller som elevene manipulerer. Selv om elevene kanskje ikke har satt sammen en modell for akkurat denne situasjonen før, er det nok ikke første gangen elevene anvender dekomponering på et skråplan. Anders peker, i sammenheng med oppgaven som tidligere er vist i figur 9, på at en oppgave vil kreve mer av elevene dersom de må anvende dekomponering i en sammenheng der de ikke er vant med å dekomponere. Anders sier,

L: (...) Det har jo litt med å se... Det ligger jo litt i oppgavens natur at her er det snakk om dekomponering. Det ser jo vi som fysikklærere med en gang, men elevene tenker jo ikke sånt da. Hadde de tenkt at: «å, her er det dekomponering» så er det jo det de skal svare på når du kommer nedover.

I: Ja, ikke sant da. Så når ikke den informasjonen er gitt så kan det bli vanskeligere for elevene å se at de må bruke dekomponering? Eller er det...?

L: Ja, eller. Her er det jo snakk om ladninger og da tenker jo de... de tenker elektrisitetsskapittelet. Og der er det jo ikke nødvendigvis dekomponering, mens vi vil jo tenke at når du får tegn kreftene så ligger dekomponering i bakhodet. Mens de, når de tenker Coloumbs lov så er de i et annet kapittel og ser litt sånn isolert på det da (...)

Her peker Anders på at elevenes oppfattelse av oppgaven er styrt av temaet for problemsituasjonen, og ikke den underliggende strukturen. Dette diskuterte vi i sammenheng med elevers evne til å overføre kunnskap i kapittel 2.7 der det ble vist til at studier har funnet at nybegynnere på et område gjenkjenner oppgaver på mer overfladiske kjennetegn enn eksperter (Chi et al., 1981). Vi regner med at mange elever er vant til å anvende dekomponering i situasjoner som involverer skråplan, og oppgaven i figur 13 kombinerer dermed kjente strategier. Derfor tilhører oppgaven 3.2. *Modellbygging*. Når oppgavene derimot ber elevene om å koble sammen idéer og sette sammen kunnskap på en ny måte, befinner oppgaven seg ikke lengre innen kategorien 3.2. *Modellbygging*. Oppgaver som i større grad krever kreative løsningsstrategier der elevene må sette sammen kunnskapsbiter eller kombinere løsningsstrategier på en måte de ikke tidligere har sett, tilhører kategorien 3.3. *Kreativ modellbygging* som vi videre vil diskutere.

3.3. Kreativ modellbygging

Oppgavene som tilhører kategorien 3.3. *Kreativ modellbygging* krever at elevene bygger modeller av en problemsituasjon gjennom å kombinere elementer på en ny måte. All problemløsning i fysikk involverer anvendelse av prinsipper eller lover, men dersom en elev må bruke to prinsipper sammen for første gang vil dette stille krav til elevens kreativitet. På denne måten må elevene bygge en modell som svarer til en ny og større forståelse.

Løsning av oppgaver innen denne kategorien handler, på samme måte som for oppgaver i kategorien 3.2. *Modellbygging*, om å kombinere elementer for å lage en modell for en situasjon. Forskjellen mellom de to nivåene ligger i hvorvidt elevene må koble sammen nye idéer, og om elevene må bruke idéer og løsningsstrategier fra annet område for å bygge modellen. Løsning av oppgaver innen denne kategorien vil derfor kunne stille store krav til overføring av kunnskap, slik dette er presentert i kapittel 2.7. Kategorien 3.3. *Kreativ modellbygging* er plassert øverst av de kognitive prosessene, tilsvarende L. W. Anderson og Krathwohl (2001) sin plassering av den kognitive prosessen kreativitet. Figur 14 viser en oppgave som kategoriseres under 3.3. *Kreativ modellbygging*.

Både fysikkelevne og Joar synes at Erik drikker aldeles for mye kaffe, og bestemmer seg for å bli kvitt den hersens termosen. Så de åpner vinduet og kaster termosen ut med en utgangsfart på 5,0 m/s. Vinduet befinner seg 5,0 meter over bakken. Termosen har en masse på 1,0 kg. Mens termosen «flyr» gjennom luften går 20% av energien «tapt» i form av termisk energi til omgivelsene pga luftmotstand.

Hva er farten til termosen når den lander på bakken?

Figur 14: Viser en oppgave fra Erik sin prøve i mekanikk.

Oppgaven har noen likhetstrekk med en annen oppgave på prøven, men i sammenligning av de to oppgavene sier Erik følgende,

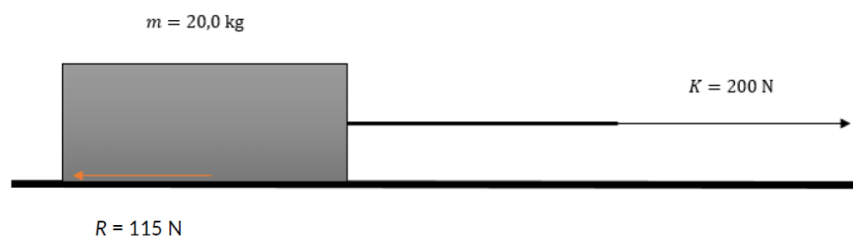
(...) men når de løser oppgave 6 [se figur 14] så kan de ikke bruke formelen slik som den er. For da regner de først ut energien og så tar de 20% av det. Altså, det er ikke en big deal, men det var det jeg skulle frem til: at de måtte gjøre det på en litt annen måte. (...)

(...) Så de kan ikke bruke formelen akkurat slik som den er i boken. Det var det som var hele poenget.

Erik poengterer her at elevene ikke bare kan bruke en ferdigstilt formel fra læreboken, slik de er vant til å gjøre etter at den innledende analysen er unnagjort. Elevene må selv komme frem til denne nye måten å bruke formelen på, og det er dette som gjør at oppgaven kategoriseres på dette nivået.

Et annet eksempel på en oppgave som tilhører kategorien 3.3. *Kreativ modellbygging* er oppgaven som er vist i figur 15.

- En kasse har massen $m_k = 20,0 \text{ kg}$. I kassen er det festet en vaier med masse $m_v = 4,5 \text{ kg}$. Vi strekker vaieren så den er parallell med gulvet, og drar i den med en kraft $K = 200 \text{ N}$. Friksjonen mellom kassen og gulvet er $R = 115 \text{ N}$.
- Regn ut akselerasjonen til kassen.
 - Regn ut kraften fra vaieren på kassen.



Figur 15: Viser en oppgave fra Bjarte sin prøve i mekanikk.

Bjarte sier følgende om oppgaven,

(...) Mange av disse her er jo ting som vi har regnet på mange ganger, bare med forskjellige tall, mens denne her kanskje er en litt ny problemstilling. Selv om de har, ja, gjerne regnet

på at du drar to klosser, eller at et tog med flere vogner og kraften mellom dem og sånn, og de har regnet gjerne på... snorer og sånt som ikke veier noe i forhold til resten av systemet. Sånn at... her var det nok, er det nok tenkt at... skal ha litt utfordring, da, på slutten av prøven (...)

Her peker Bjarte på at denne oppgaven, i motsetning til de andre prøveoppgavene, introduserer en ny problemstilling, nemlig at vaieren som trekker kassen ikke er masseløs. Løsning av denne oppgaven krever dermed at elevene setter opp Newtons andre lov på en ny måte, og dette gjør at oppgaven tilhører denne kategorien.

Kreativitet i løsningen av oppgaven kan også innebære at oppgaver stiller krav om at elevene må betrakte fagstoff på en ny måte. Oppgaven som er vist i figur 16 er et eksempel på en slik oppgave.

En romsonde blir skutt opp fra en ukjent planet. En kort tid etter starten stopper motoren. Bevegelsen er hele tiden loddrett, massen til sonden er konstant lik 1500 kg og motoren gir konstant skyvekraft. Figuren viser en mulig fartsgraf for oppskytningen [figuren er tatt bort].

- f) Under oppskytningen vil massen til sonden avta. Hvorfor?
Vurder hva dette har å si for akselerasjonen mens motoren er i gang.

Figur 16: Viser en deloppgave fra Christian sin prøve i mekanikk.

At massen til et legeme endrer seg vil vi anta at for de fleste elever representerer et brudd med vanlig bruk av Newtons andre lov. Dette innebærer at oppgaven gjør en objektvariabel om til en tilstandsvariabel, slik vi beskrev disse i kapittel 2.5 i sammenheng med modelleringsdefinisjonen til Hestenes (1987). Dersom elevene har jobbet med avtakende masser i undervisningen vil det fremdeles være en komplisert sammenheng som kan bryte med elevenes hverdagsforestillinger, noe som ville tilsi at *komplisiteten* i oppgaven er høy. Dersom elevene derimot ikke har møtt denne problemstillingen tidligere, vil oppgaven i tillegg innebære et skifte som vil kreve kreativitet av elevene.

Kategoriens definisjon krever at elevene setter sammen prinsipper på en måte som de ikke tidligere har gjort, og innebærer derfor at hvilke oppgaver som tilhører denne kategorien vil være kontekstavhengig. Konteksten som oppgaven må vurderes ut ifra må i denne sammenhengen forstås som undervisningen som elevene har fått, og ikke hver enkelt elev sin oppfatning. Dersom elevene har jobbet med oppgavene som er blitt presentert over før de møter dem i en prøvesammenheng, vil oppgavene ikke lenger kreve elevenes kreative løsning fordi de allerede har jobbet med kombinasjonen av prinsippene. Oppgavene kan være vanskelige likevel, men dette må da forklares ut ifra de øvrige dimensjonene i taksonomien.

I kapittel 5. vil vi komme tilbake til en diskusjon av mulige utfordringer med taksonomien slik vi har utformet den. Vi vil også drøfte implikasjoner ved bruk av taksonomien, i tillegg til å vise til sammenhenger mellom taksonomien og de øvrige funnene som er gjort i prosjektet. I det videre vil vi presentere prosjektets funn vedrørende forskningsspørsmålet som tar for seg hvilke begrunnelser lærerne legger til grunn for valg og utforming av oppgaver.

4.2. Lærernes begrunnelser for valg av oppgaver

Som vi pekte på i kapittel 2.6 kan et rammeverk for kategorisering av oppgavers krav til kognitive prosesser blant annet brukes til å skape en sammenheng mellom målene for opplæringen, undervisningen og senere prøveoppgaver. Slike rammeverk kan med andre ord brukes i sammenheng med målene for undervisningen for å begrunne valg av oppgaver på prøver. Det er imidlertid også slik at lærere som underviser i skolen har flere hensyn å ta når de lager prøver. Lærerne vi har snakket med har i løpet av intervjuene kommet med flere ulike begrunnelser for sine valg av oppgaver og begrunnelser for hvorfor oppgavene på prøven er som de er. Disse begrunnelsene nyanserer lærernes valg og viser at det å lage en prøve er en sammensatt prosess der mange hensyn skal tas. Av de begrunnelsene lærerne har kommet med har vi identifisert seks ulike typer begrunnelser som er gjengitt i tabell 6. I det følgende vil vi beskrive hver av disse nærmere. I slutten av presentasjonen vil vi også beskrive hvordan de ulike begrunnelsene representerer ulike hensyn som balanseres mot hverandre.

Tabell 6: De ulike kategoriene for lærernes begrunnelser for utforming og valg av oppgaver til prøver.

Begrunnelser for valg av oppgaver

Testteoretiske – Oppgavene skal skille elevene og skape et rettferdig inntrykk av hva elevene kan

Læringsmålorienterte – Oppgavene skal reflektere læreplanens beskrivelse av faget

Betryggende – Oppgavene skal bidra til elevenes trygghet i prøvesituasjonen

Forberedende – Oppgavene skal forberede elevene på andre testsituasjoner, som eksamen

Praktiske – Oppgavene skal passe inn i de praktiske rammene for vurderingssituasjonen

Opplærende – Oppgavene skal hjelpe elevene til økt forståelse

Testteoretiske begrunnelser

Angell et al. (2011, s. 407) skriver at testteori referer til prinsipper som tar for seg prøvens funksjon som en måling. Når lærerne kommer med det vi kategoriserer som testteoretiske begrunnelser refererer lærerne til oppgavens kvaliteter som en del av den større vurderingsformen. Oppgavene som lærerne gir på prøven skal danne grunnlag for å avgjøre hvor

godt hver enkelt elev har forstått teorien som prøven omhandler eller hvor godt de mestrer de aktuelle problemstillingene. Christian peker i følgende sitat på at en oppgave på prøven var lagt til for å skille elevene fra hverandre,

Det er sånn at, ideelt sett, jeg sier ikke at jeg alltid får det til, selvfølgelig, men. Ideelt sett så skal det være sånn at alle nivåer skal få strekke seg så langt de klarer, sant, men det... er ikke alltid like lett å få til, spesielt på sånne småprøver. Men du må i alle fall ha med én sånn som skiller femmeren fra sekseren, for eksempel.

Christian peker på at oppgavene på prøven skal kunne skille elevene, samtidig som at de skal gi dem mulighet til å vise hva de kan. Særlig peker Christian på at en prøve bør inneholde i hvert fall én oppgave som kan skille de aller flinkeste fra resten. Både dette med at alle skal få mulighet til å strekke seg, samt at oppgavene bør gi differensieringsgrunnlag er noe som går igjen i flere av intervjuene. Christian peker her også på at dette ikke alltid er like lett å få til, noe som belyser hvordan ulike begrunnelser i noen tilfeller må veies opp mot hverandre. Dette vil vi spesielt komme tilbake til ved gjennomgang av de praktiske begrunnelsene, da det ofte viser seg at praktiske utfordringer bringer med seg visse rammer og begrensninger for lærernes utforming av prøvene.

Et annet hensyn som er blitt trukket frem i intervjuene er at lærerne også må forsikre seg om at oppgaven er forståelig for alle elever slik at lærerne er sikre på at det er fysikkunnskapen som blir testet på prøven. Geir peker blant annet på at språket er en utfordring for enkelte elever, og at dette derfor er noe han må ta hensyn til når han velger ut og utformer oppgaver,

(...) Men en annen ting som jeg må ta med her er jo at vi har en del som ikke har norsk som hovedmål innimellom, så (ja), og da må jeg passe på at det ikke blir en norskprøve, sant (...).

Læringsmålorienterte begrunnelser

De læringsmålorienterte begrunnelsene er kjennetegnet av at lærerne viser til programfagets innhold og mål. Lærerne begrunner valg av oppgaver både ved å vise til konkrete kompetanssmål fra læreplanen, men også elementer fra ulike læreverk. Det er her tenkt at begrepet læringsmål skal omslutte begge disse dimensjonene.

Den faktoren som lærere flest peker på er nettopp læreplanen som normativt definerer hva som skal vektlegges i faget. Dette er noe blant andre Dagny peker på når hun uttrykker at,

(...) kanskje vi skulle ha tatt opp læreplanmålene og sett hvordan de gjenspeilet prøven
(...) for det må jo være styrende for alt vurderingsarbeidet, altså hva skal vi vurdere av
elevene? Jo, vi må jo vurdere kompetansen i læreplanmålene.

Her peker Dagny nettopp på viktigheten av å sammenligne oppgavene på prøven med læreplanen,
og dette er et syn som kom frem også i andre intervjuer.

Bjarte peker i følgende sitat på at læreboken, og oppgavene som blir gitt her, noen ganger også
kan være førende for hvilke oppgaver som kommer på prøven,

Du kan si det at... denne oppgaven her var nok et resultat av at... det med radioaktive serier
står litt om i læreboken, og at det var et par oppgaver der de skulle gjøre sånn som det der
da. (...)

Bjarte peker imidlertid også på at læreboken ofte inkluderer mye mer enn det læreplanen legger
opp til og at han derfor må være bevisst på, og informere elevene om, hva som er hovedpunktene
i temaet som det jobbes med.

(...) det er de punktene som står i læreplanen, og det er de tingene jeg kommer til å spørre
om, selv om læreboken inneholder mye annet (mm). (...) Sånn som i mange andre kapitler,
så er det veldig mye sånn innledende kapittel med oppgaver som er laget... og temaer som
er laget for at de skal forstå det, som ikke er direkte knyttet til læreplanen, til
kompetansemålet, men bare indirekte (...)

Ekstramaterialet i lærebøkene representerer gjerne nyttig tilleggsinformasjon som skal hjelpe
elevene med å forstå helheten av kapittelet, men Bjarte peker på at det er kompetansemålene som
skal være styrende for hvilke oppgaver som kommer på prøven.

Betryggende begrunnelser

De betryggende begrunnelsene som lærerne gir for valg av, og utforming av, oppgaver til prøvene,
kan beskrives som tiltak som lærerne gjør for å ivareta elevenes trygghet i møte med
prøvesituasjonene. Christian påpeker hvordan alle elever som kommer i en situasjon der de skal
testes må vite hva de kan forvente å møte. Christian sier,

(...) Og det... Ja, det gjelder jo alle som skal opp til et eller annet sånt test-greier, sant. Skal
du opp og testes i noe så må du jo være... Du må ha en viss idé om rammene rundt, og hva
du skal testes i.

Christian peker også senere på at han opplever det som viktig at elevene får oppgaver på prøven som reflekterer det som er brukt mye tid på i timen, og at noe annet kan føre til at elevene blir stresset i prøvesituasjonen.

Dagny beskriver hvordan hun, i arbeidet med utviklingen av prøvene, legger opp oppgavene i en spesiell rekkefølge.

Jeg prøver jo alltid å starte med en til to oppgaver som er oppvarming. Eh... som jeg kaller det. Eller... òg som får tankene i gang og som kan gi hvert fall svake elever selvtillit da. Sånn at de... (...) Ja, det skal være noen lunde sånn rett frem på de første oppgavene.

Dagny innleder altså med et par enkle oppgaver slik at så godt som alle elevene skal kunne oppleve mestring ved starten, og kanskje dermed ha bedre forutsetninger for å mestre de resterende oppgavene. I tillegg kan det tenkes at enkelte elever ikke ville oppleve mestring i det hele tatt dersom de letteste oppgavene var mot slutten, og elevene hadde mistet motet før de kom dit.

Å skape gode testsituasjoner for elevene kan også gjøres på andre måter. Erik beskriver hvordan han gjør grep med oppgaveteksten for å få elevene til å oppleve trygghet.

(...) jeg vet at de syns det er litt gøy når plutselig navnene deres figurerer i en oppgave. Og så så du kanskje også at jeg brukte navnet Erik en del, og det er meg. (...) Og så ser du kanskje på oppgave 1, det handler jo om at de begynner å fantasere seg bort fra dagens fysikkprøve, så alt liksom... For å få det... For å skape litt stemning.

(...) Jeg vet i alle fall at når jeg lager prøver og bruker navnene deres så opplever jeg ofte at... av og til så er det noen som begynner å humre litt under prøven. Altså det er et eller annet med at det blir en god atmosfære. Fordi at jeg er jo òg... men dette har jo ingen ting med prøven å gjøre, men generelt for å lykkes på skolen så er det to ting som på en måte må være til stede. Det ene er jo at det skal skje læring selvfølgelig, men så må det være en god atmosfære. Altså de må føle seg trygge (...).

På denne måten kan oppgaveformuleringen brukes som et ledd i arbeidet med å skape et godt miljø der elevene kan oppleve læring. Erik peker også på at en oppgaves funksjon på en prøve kan være å skape selvtillit hos elevene,

(...) Den oppgave 7 pleier de å klare lett, og derfor tok jeg den, fordi hvis du ser tidspunktet like før jul, og da har jeg faktisk en slik bevisst tankegang om at nå er det viktig å gi de litt selvtillit før... Altså, det er slutten av terminen, jeg har lyst at det skal føle at de mestrer det litt. (...)

Forberedende begrunnelser

De forberedende begrunnelsene er kjennetegnet av at læreren, gjennom sitt ønske om det beste for elevene, lager oppgaver som ligner på det de antar elevene kan møte senere. Lærerne begrunner dermed valget av oppgaver ved at det er viktig å forberede elevene på spesielle emner og metoder. I denne sammenhengen er det ofte eksamen lærerne viser til. De forberedende begrunnelsene kan tilsynelatende minne om de betryggende ved at begge er tuftet på lærernes ønske om det beste for elevene. En kort redegjørelse for dette skillet vil bli gitt nedenfor.

Erik viser til at arbeidet med fysikk 2 er spesielt påvirket av den skriftlige sentralgitte eksamen som elevene kan bli trukket opp i.

(...) mens vg2 så er fysikk et muntlig-praktisk fag hvor de kan ende opp med en muntlig-praktisk eksamen, så er vg3 slik at nesten alle kommer opp i skriftlig eksamen. (...) Og når vi forbereder elevene mot skriftlig eksamen, så gjør vi det ved å bruke eksamensoppgaver. Så, det er ikke alle her som er eksamensoppgaver, men det er mye eksamensoppgaver.

I: Ja, så eksamen påvirker litt hvordan...

L: Påvirker mye (...)

Erik forteller videre at skriftlig eksamen i fysikk 2 er spesielt styrende for hvordan han utformer prøvene sine,

L: (...) men jeg skulle ønske at vi hadde hatt litt mer frihet på vg3. Men jeg vet at hvis jeg gjør det litt for mye på min måte, så tror jeg at de vil tape på det når de skal ha eksamen. Og da får de dårligere karakter og da får de et dårligere utgangspunkt. Så man lar seg på en måte styre litt (...) Det viktigste er jo at de blir best mulig forberedt til eksamen for da kan de få en karakter som gjør at de kan få gå videre med det de ønsker.

I: Og når de skal bli best mulig forberedt så bør de jobbe med en oppgavetype som...

L: ... som matcher det som er på eksamen.

Her viser Erik til at dersom oppgavene i undervisningen ikke samsvarer med eksamensoppgavene risikeres det at elevene er dårlig forberedt. Dette kan igjen føre til at elevene får et dårlig utgangspunkt ved endt skolegang, da eksamenskarakterer kan være avgjørende for veien videre.

De forberedende begrunnelsene henger sammen med de betryggende gjennom at de begge tar utgangspunkt i det læreren mener er til elevenes beste. Christian beskriver hvordan læreren ikke bør gi oppgaver som elevene ikke er forberedt på på en prøve på samme måte som læreren bør legge opp til at oppgavene på en prøve gjør elevene forberedt til eksamen.

Og det gjør jo at jeg har jo òg gått igjennom oppgaver, med samme typen problemstilling, selvfølgelig, sånn at... for jeg synes... hvis de aldri... hvis vi ikke har regnet på sånne formuleringer før, og vært borti det før og så bare få det på en prøve, så synes jeg det blir for drøyt for dem, da får de en formulering som de ikke er vant til, som er såpass vanskelig at... Det er jo det som er hele poenget mitt med å gi denne, fordi det var så populært å gi på eksamen. Så, man kan jo si masse om eksamen, positivt og negativt, men det legger veldig føringer på hvordan du må legge opp undervisningen, både med tidspress og trene dem på... også på eksamensoppgavene.

De forberedende begrunnelsene kan derfor, som Christian beskriver det her, sees på som begrunnelser som kan virke betryggende i fremtiden. Der de betryggende begrunnelsene for valg av oppgaver og utforminger er ment for å gjøre elevene tryggere i en nåværende prøvesituasjon, er de forberedende begrunnelsene fokusert mot at oppgavene skal gjøre at elever ikke opplever utrygghet i fremtidige situasjoner de kan møte og der læreren ikke lenger har kontrollen.

Praktiske begrunnelser

Noen ganger må lærerne gjøre valg av oppgaver og spørsmål på bakgrunn av praktiske hensyn. Vi har valgt å kalle slike begrunnelser for praktiske begrunnelser da begrunnelsene ofte viser til hva lærerne mener de kan få til med de ressursene de har til rådighet. Bjarte peker blant annet på at noen oppgaver blir valgt fremfor andre oppgaver fordi de tar mindre tid å rette for læreren.

(...) Den typer oppgaver [forklaringsoppgaver] kan man jo også ha litt mer av. Men... flervalgsspørsmålene skal jo til en viss grad ta forståelsesmessige ting, på den andre så vil jo sånne forklaringsoppgaver si mer om forståelsen, tross alt. Men jeg må jo innrømme at på grunn av arbeidsmengde og tidspress så velger man kanskje vekk de oppgavene i litt større grad fordi at... De er mer arbeidskrevende å rette. Du må lese igjennom og du må vurdere resonneringsgraden nøye. Er det som står her rett? Mener han det rett, men skriver det feil? Osv. Så... jeg liker jo ha med noen sånne oppgaver, kanskje ha med en sånn på hver prøve (mm). Men, av tidsmessige og arbeidskrevende hensyn så tar man kanskje ikke med så mange sånne (...).

Det er imidlertid ikke bare lærerens tid som er begrenset. Dagny peker i følgende sitat på at hvordan man lager oppgavene på prøvene må sees i sammenheng med hva elevene vil kunne forventes å få til på den tiden de har til rådighet.

Ja, du har jo energinivåene her sant, ferdig regnet ut sant. Sånn at... eh... hvis de skulle regnet selv så hadde de måttet regne ut energinivå først og så undersøkt differanse mellom energinivå og så setter det litt større krav til matematikk uten at det er altså avskrekkende

kompetanse... (...) Men da må vi droppe den andre oppgaven igjen som er... Ja, det er litt sånn tidsvurdering og ja.

Opplærende begrunnelser

I likhet med de forberedende begrunnelsene tar også opplærende begrunnelser utgangspunkt i lærernes ønsker om å tilrettelegge for elevenes fremtidige mestring. De opplærende begrunnelsene bygger imidlertid på et perspektiv på prøven som en lærings situasjon. En opplærende begrunnelse for å inkludere en gitt oppgave på en prøve kan dermed være et ønske å vise elevene noe der og da, eller å bruke oppgaven som et utgangspunkt for videre arbeid etter prøven. Disse begrunnelsene tar med andre ord ikke utgangspunkt i at elevene skal forberedes til å møte en spesiell type situasjon på en kommende prøve eller eksamen, men mer som et ledd i å utvikle elevenes generelle ferdigheter og forståelse i faget. Anders peker blant annet på at noen oppgaver kan inkluderes på en prøve fordi de kan være interessante å diskutere senere for å oppnå videre læring.

(...) jeg tenker egentlig at en prøve egentlig er litt sånn «learning by failing». Altså at det er ikke noe poeng at de skal få det til på prøven her... (...) [Den vanskelige] oppgaven er interessant å diskutere etterpå da. (...) Det er gjerne da oppgaver som... den må jo være interessant. Det må jo ha noe for seg sånn i forhold til eksamen eller et eller annet opplegg. (...) for eksempel dette her med luftmotstand da. Da har de jobbet med det engasjert og litt irritert. De er liksom klar da. Og når vi bruker to timer når de får igjen prøven da til å bearbeide det. Der ligger jo læringen da, sant. Og så kommer jo dette... og så plutselig dukker det opp senere og da har de jo... kunnskaper som de kan hvert fall... beslektet ting som de kan ta med seg senere da. (...) Så... og jeg er jo ikke så opptatt av prøven som en sånn sorteringsmekanisme, men mer som en slags... en del av læringsprosessen da...

Anders nevner her eksamen som noe som kan gjøre oppgaven interessant å se nærmere på, men viser også samtidig at målet ikke bare er å gi elevene trening på en type oppgave. Målet er å bruke oppgaven, og det faktum at det er en prøveoppgave, i senere undervisning.

Bjarte peker på at læreplanen er spisset og at han som lærer derfor noen ganger må jobbe med å se hva elevene trenger å kunne for å oppnå målene i læreplanen. I dette arbeidet blir noen oppgaver slik at de ikke er direkte knyttet til et kompetansemål, men heller knytter seg til det Bjarte mener er omliggende fagstoff som kan hjelpe elevene med å forstå.

Og så vil man jo gradvis bytte ut med ting som man selv, holdt på å si, er opptatt av eller mener er viktig i faget. Det er klart, i energikapittelet, for eksempel, så har jeg fokusert mye på... ja, ren forståelse av disse setningene om kinetisk energi. Jeg har innført at endring i

potensiell energi er lik minus potensialkraften sitt arbeid og sånt, som ikke står i læreboken. (...) Så da tar jeg jo inn sånne ting etter hvert, det som vi har jobbet mye med i timene og i gjennomgangen av stoffet, så har jeg sagt, dette kommer dere til å få spørsmål om. (...) Så, da tar man jo litt fra ut i fra gamle prøver og litt ut i fra det som jeg selv synes er viktig i faget, vil jeg vel si.

Læreren kan altså, som Bjarte her peker på, inkludere fagstoff i oppgavene som læreren selv mener er viktig for at elevene skal forstå. Oppgaven kan også brukes som et ledd i formativ vurdering. Dagny sier følgende om bakgrunnen for å ha med en relativt *åpen* oppgave på prøven,

(...) Men at du bare ser hvor eleven tenker... eh... At den sier «svømme» for eksempel sant. Så vet du «okay, det tenker den eleven...» mens det er en som har hull på oksygentanken som begynner å koble det opp mot Newtons lover, og det var jo ikke det jeg hadde helt tenkt meg, men... Og veldig... Altså, du bare ser hvordan de skriver fritt og det er liksom litt tanken bak eh... oppgaven da. At, hva gjør du når du ikke får bestemte forhold, bestemte tall...

Dagny peker her på at den åpne oppgaven gir mulighet for å identifisere hvordan en elev tenker. Dette kan brukes som et ledd i en formativ vurdering der målet til slutt er å hjelpe elevene videre og lære mer.

Forskjellige hensyn balanseres mot hverandre

Når vi ovenfor har presentert lærernes ulike begrunnelser kan de adskilte kategoriene gi et inntrykk av at lærerne har en bestemt begrunnelse for hver oppgave på prøven og at alle oppgavene derfor har en bestemt funksjon. Lærerne beskriver derimot en prosess der mange hensyn veies mot hverandre i utvelgelse og utforming av oppgaver. Hver oppgave på prøven befinner seg med andre ord i en dragkamp mellom forskjellige begrunnelser som lærerne veier opp mot hverandre. Lærerne har flere ganger beskrevet hvordan de opplever å bli dratt i retning av ulike hensyn når de skal lage en prøve og i det følgende vil vi trekke frem noen slike situasjoner for å vise hvordan lærernes valg av oppgaver slett ikke alltid er en enkel og rettlinjert prosess.

Fredrik beskriver hvordan han opplever at flervalgsoppgaver kan straffe elever på en urettferdig måte fordi det å velge feil alternativ gir null poeng selv om eleven har valgt et alternativ som er nesten helt riktig. Det finnes med andre ord ingen nyanser i vurderingen av problemløsningsoppgaver, og svaret er enten feil eller rett. I lys av funnene i oppgaven er Fredrik tilsynelatende lite fornøyd med denne oppgaven av testteoretiske begrunnelser. Oppgavene gir ikke et godt nok bilde av elevenes forståelse og danner et svakt grunnlag for å kunne skille mellom elevene. Fredrik vil likevel ikke kutte ut oppgavetyper da dette er en typisk form for oppgave

elevene kan møte på eksamen. På denne måten kan oppgaven inkluderes på prøven av forberedende begrunnelser. Fredrik sier,

(...) Altså, jeg har et litt sånn ambivalent forhold til flervalgsoppgaver. Jeg bruker de ofte fordi eksamen bruker det. De kan til en viss grad misforståes, men noen oppgaver har sånn... Hvis du bommer på et fortegn, altså hvis du bommer på en ladning, så er det av og til at plutselig så få du feil svar. Du får full feil for noe som er nesten rett, ikke sant.

Også Geir uttrykker at det er et problem med oppgavetyper at elevene ikke får uttelling for et svar som er nesten riktig, og foreslår muligheten for å kunne gi halv uttelling til svar som er nesten helt riktige. Dette anser vi da som et grep som Geir foreslår med en testteoretisk begrunnelse.

I sammenheng med det Dagny sier i forbindelse med presentasjonen av de praktiske begrunnelsene, pekes det på at man som lærer må veie ulike begrunnelser opp mot hverandre. Selv om Dagny beskriver at hun kunne utformet oppgaven slik at elevene måtte regne ut energinivåene i en atommodellen, har hun landet på å oppgi disse i en figur i oppgaven. Dagny forklarer hvordan oppgaven hadde endret vanskelighetsgrad dersom elevene selv måtte regne ut energinivåene i modellen. Valget om å bruke figuren fremfor å la elevene regne dette ut selv er begrunnet gjennom en praktisk begrunnelse.

I intervjuet med Fredrik fant vi videre et eksempel på hvordan ulike begrunnelser noen ganger også kan peke i samme retning. Fredrik gir to grunner til hvorfor han valgte bort det han kaller «tekstoppgaver», der elevene må skrive et lengre svar, på de tidligste prøvene i skoleåret. For det første tar disse oppgavene lengre tid for elevene å gjøre, noe vi tolker som en praktisk begrunnelse. En annen grunn er at elevene skal få bli vant med «tekstoppgaver» før disse dukker opp på prøven, og dette tolker vi i retning av Fredrik tar hensyn til elevenes trygghet i prøvesituasjonen. Dette kan knyttes til de betryggende begrunnelsene. Her er ikke de ulike begrunnelsene i konflikt med hverandre, men taler begge for å velge en oppgavetype fremfor en annen.

Lærernes begrunnelser for oppgaver utgjør, med andre ord, del av en sammensatt prosess der lærerne veier ulike hensyn mot hverandre for å ivareta både fag og elever. Noen ganger peker flere begrunnelser i samme retning, andre ganger oppstår det en konflikt og det må gjøres en avveining. Å skape de gode prøvene vil derfor ikke kunne gjøres ved kun å vurdere ett perspektiv. Selv om en oppgave på en prøve gir et rettferdig inntrykk av elevene og er tro mot læreplanen, vil ikke dette nødvendigvis innebære at prøven er en ideell prøve. Lærernes kjennskap til elevene, hva de har behov for og hva de vil komme til å trenge senere, er også faktorer som lærerne tar hensyn til i utvikling av oppgavene. Lærergjerningen er en sammensatt prosess, også når det kommer til utvikling av oppgaver på prøver.

5. Diskusjon

5.1. Taksonomi for problemløsende oppgaver i fysikk

I utviklingen av taksonomien har vi funnet det hensiktsmessig å skille mellom de tre dimensjonene *komplisitet*, *kompleksitet* og *kognitive prosesser*. Dimensjonen komplisitet er bestemt av hvor krevende det er å forstå sammenhengene i teorien som inngår i en oppgave. Dette påvirkes av hvor abstrakt kunnskapen som inngår er og således hvor stor avstanden er mellom elevenes og fysikkens forståelse. Kompleksiteten er på sin side bestemt av antallet informasjonsbiter som elevene samtidig på behandle i arbeidsminnet. Denne dimensjonen påvirkes av antallet vekselvirkende objekter i oppgaven, antallet opplysninger som er oppgitt og antallet steg som må gjennomføres i løsningen av problemet.

Den tredje dimensjonen er de hierarkisk organiserte kognitive prosessene. Her har vi funnet det nyttig å skille mellom tre ulike hovedkategorier, nemlig *1. Gjengi*, *2. Forstå* og *3. Modellere*. Oppgaver innen kategorien *1. Gjengi* krever at elevene kan reprodusere fakta, begreper og definisjoner. Dette skiller seg fra oppgavene i kategorien *2. Forstå* som krever at elevene besitter enten en konseptuell forståelse eller en teknisk forståelse for å kunne løse oppgaven. Når oppgaven krever at elevene kombinerer en konseptuell og teknisk forståelse for å bygge en modell for en problemsituasjon, tilhører oppgaven *3. Modellere*. Innad i denne kategorien har vi funnet det hensiktsmessig å skille mellom de tre kategoriene *3.1. Beskrivende analyse*, *3.2 Modellbygging* og *3.3. Kreativ modellbygging*. En kvalitativ beskrivelse av problemsituasjonen, som gjerne gjøres ved hjelp av en figur, tilhører *3.1. Beskrivende analyse* og skiller seg fra oppgaver som krever at elevene formulerer en kvantitativ modell for en situasjon som tilhører *3.2. Modellbygging*. Hvorvidt elevene må koble sammen idéer på en ny måte de ikke tidligere har sett avgjør om oppgaven tilhører kategorien *3.3. Kreativ modellbygging*.

I det følgende vil vi diskutere noen utfordringer knyttet til selve taksonomien før vi senere beskriver hvordan taksonomien kan brukes. Vi vil starte med å drøfte oppgaver som er formulert ved at det endelige svaret er gitt, og diskutere hvordan denne typen formulering kan påvirke hvilke kognitive prosesser som inngår i løsning av oppgaven.

Vis-at-formuleringer

Vi vil betegne vis-at-oppgaver som oppgaver hvor det endelige svaret er gitt og der elevenes oppgave er å vise fremgangsmåten som gir svaret. Typisk skal elevene komme frem til et gitt matematisk uttrykk, eller et numerisk svar, ut ifra et konkret fysisk system eller sett av formler. Dette er en vanlig forekommende oppgavetype som blant annet gjør det mulig å løse deloppgaver

som krever bruk av resultater fra tidligere deloppgaver. Deloppgave a) fungerer dermed ikke som en terskel for løsning av de resterende oppgavene. Det er for øvrig vår oppfatning at det å gi elevene svaret kan påvirke hvordan de går frem for å løse oppgaven.

Figur 13, som er vist i kapittel 4.1, viser en typisk vis-at-oppgave der elevene blir introdusert for et fysisk system og et matematisk uttrykk som skal utledes. Oppgaven ble presentert i gjennomgangen av nivå 3.2. *Modellbygging*. Anders sier følgende om oppgaven,

(...) Ja, det er jo «vis at», så du får jo svaret. Så om du har regnet feil så kan du jo gå tilbake og så... Så du er jo tryggere på at du har tenkt rett. Det kan jo være du har tenkt feil og så får du et svar som du... så det er jo ulempen med sånn «vis at»-oppgaver da. (...) Og da blir det litt sånn at du forstår det ikke helt, men du klarer å jekke det til slik at du får fasitsvaret. Så kan du jo bare prøve deg fram og så: «Oj, der fikk jeg det til» (...)

Anders poengterer at når fasiten er gitt kan elevene prøve seg frem til de finner en fremgangsmåte som gir det riktige svaret. Dette kan gi riktige løsninger til tross for noe manglende fysikkforståelse. Anders sier videre,

(...) Altså det er noen som ikke klarer å komme i mål og så tar de en spansk en og så... Men det mest irriterende er når det er tangens... står ikke det her da. Da bryr de seg ikke om fysikk i det hele tatt og så bare tegner de opp en trekant med tangens og så klarer de på en eller annen måte å komme frem til svaret... uten at de kanskje har fått tak i fysikken. (...)

Anders viser her til en variant av vis-at-oppgaver som kan løses ved kun å forholde seg til trigonometri. Vi tolker Anders dithen at slike oppgaver kan løses uten å forholde seg til fysikken i problemet, noe som samsvarer med nivå 2.a. *Teknisk forståelse*.

I noen tilfeller kan det tilsynelatende være vanskelig å skille mellom 2.a. *Teknisk forståelse* og 3.2. *Modellbygging*. Dette kan oppfattes som en naturlig konsekvens av vår hierarkiske organisering av de kognitive prosessene i taksonomien. Som beskrevet tidligere krever nivået 3. *Modellere* at en elev mestrer de kognitive prosessene fra lavereliggende nivåer, og således er det rimelig at oppgaver fra ulike nivåer har visse likhetstrekk. Oppgaver fra begge kategorier involverer utregning, og utfordringen er å avgjøre hvorvidt løsningen krever konseptuell forståelse av fysikksituasjonen.

Når det gjelder oppgaven fra figur 13 ønsker vi å holde fast ved nivået 3.2. *Modellbygging* som riktig kategori. Riktignok kan det tenkes at svaret gir elevene noen hint om hvilke variabler som er aktuelle, samt forholdet mellom dem. Elevene må uansett tegne kreftene som virker på containeren og dekomponere systemet for å kunne anvende Newtons andre lov, noe som samsvarer med nivå 3. *Modellere*. Konsekvensen av vis-at-formuleringen i denne oppgaven er

altså ikke at oppgaven endrer kognitivt nivå, men at den kanskje blir noe enklere å løse. I lys av taksonomien kan vi si at graden av kompleksitet minker ved at elevene ikke behøver å forholde seg til informasjonsbiter som ikke er del av svaret.

Dersom oppgaven fra figur 13 ikke hadde vis-at-formuleringen kunne spørsmålet ha vært følgende,

(...) og finn et uttrykk for trekraften S fra vieren på containeren.

Her må elevene i større grad ta utgangspunkt i det fysiske systemet, men en ulempe kan være at oppgaven ikke gir tydelige indikasjoner på hvordan uttrykket for S burde se ut. Dette kan resultere i usikre elever og variasjon i elevsvarene. Det kan blant annet bli utfordrende å vurdere hva som representerer et fullgodt elevsvar.

Er de ulike dimensjonene i taksonomien uavhengige av hverandre?

Vi presiserte, i sammenheng med presentasjonen av den utviklede taksonomien, at de tre dimensjonene (*kognitive prosesser, kompleksitet og komplisitet*) er uavhengige av hverandre. Dette innebærer derfor også at de tre kan visualiseres som tre normale akser i et koordinatsystem. Uavhengigheten mellom de tre dimensjonene er imidlertid verdt å diskutere.

Uavhengigheten mellom de kognitive prosessene og komplisiteten som inngår i oppgaven er, etter vår mening, tydelig. Vi mener det vil være mulig å lage oppgaver innen alle de ulike taksonomiske nivåene uavhengig av det fysikkfaglige temaet for oppgaven. For øvrig vil vi presisere at vi ikke ønsker å antyde at dette nødvendigvis blir gjort eller bør gjøres. For eksempel uttrykte lærerne flere ganger at temaet for oppgavene er avgjørende for hva elevene blir bedt om å gjøre. Christian sier blant annet,

I: Ja, vil du si at det er noen tema som er enklere... eller... er det noen oppgavetyper som er mer vanlig å gi i enkelte temaer enn andre?

L: Jada, det er jo klart. Som for eksempel... i fysikk 2, når du kommer til relativitetsteori og kvantefysikk, og spesielt det siste, der... altså man har jo ikke... verken jeg eller elevene har forutsetninger for å gå inn matematikken bak det, sant, så der vil det jo bli veldig mye teori og sant... (...)

Christian peker her på at innen kvantefysikk er de matematiske sammenhengene så kompliserte at verken elevene eller læreren har forutsetninger for å diskutere disse nærmere. Vi tolker Christian dit at dette medfører at oppgavene derfor typisk vil kreve gjengivelse, eller i noen tilfeller konseptuell forståelse, og at få oppgaver vil etterspørre modellering. Selv om

komplisiteten og de kognitive prosessene i utgangspunktet er uavhengige kan det, med andre ord, tenkes å være en statistisk sammenheng mellom dem i prøvesammenhenger i skolen.

Vi vil imidlertid påpeke at den kognitive prosessen *2.b. Konseptuell forståelse* tilsynelatende har visse fellestrekk med dimensjonen *Komplisitet*, ved at begge kan relateres til elevenes konseptuelle forståelse. Vi vil kort presisere forskjellen mellom dem. Kategorien *2.b. Konseptuell forståelse* viser til hvilken kognitiv prosess en oppgave etterspør, og som vi har beskrevet kan dette typisk innebære forklaring av et konsept. *Komplisiteten* sier i den forbindelse noe om hvor komplisert konseptet som forklares er, eller hvor krevende det er å forstå den fysiske sammenhengen. Dermed kan *komplisiteten* forklare hvorfor noen oppgaver innen nivået *2.b. Konseptuell forståelse* kan oppleves som vanskeligere enn andre. Til tross for at begge kan knyttes til elevenes konseptuelle forståelse mener vi basert på dette at de likevel er uavhengige.

Uavhengigheten mellom kompleksiteten og de kognitive prosessene i oppgavene kan det imidlertid stilles spørsmål ved. Når kompleksiteten i oppgaven øker, vil antallet informasjonsbiter øke og situasjonen bli mer uoversiktlig. Oppgaven blir vanskeligere å løse, men det kan også argumenteres for at problemsituasjonen i større grad vil stille krav til en kvalitativ analyse. Dersom dette stemmer, ville det innebære at økt kompleksitet i oppgaven også medfører et steg opp til en kognitiv prosess av høyere nivå. Dette ville i så fall medføre at de to kategoriene ikke er uavhengige av hverandre. Det finnes likevel flere oppgaver som tilhører *3.2. Modellbygging* som har lav kompleksitet, men som krever en kvalitativ analyse og konseptuell forståelse av problemsituasjonen. At det kan finnes en sammenheng mellom kompleksiteten og de taksonomiske nivåene kan vi likevel ikke avkrefte, og det kan tenkes at oppgaver innen *2.a. Teknisk forståelse* med høy grad av kompleksitet sjeldent forekommer. Denne problemstillingen kan med fordel utforskes nærmere, men vil ikke bli videre diskutert her.

Kan oppgaver tilhørende 3. Modellering løses uten modellering?

Taksonomien vår skiller mellom *2.a. Teknisk forståelse* og *3. Modellere*. I det følgende vil vi kort diskutere hvorvidt det er mulig å løse oppgaver innen nivå *3. Modellere* uten å gjennomføre de kognitive prosessene fra dette nivået. Tidligere har vi beskrevet middel-mål-analyse, og til tross for at dette kan betegnes som en svak form problemløsning, kan elever forsøke å anvende en slik strategi for å løse ulike problemløsende oppgaver som tilhører nivået *3. Modellere*. Noen ganger vil nok også denne strategien føre frem.

Vår innstilling til dette er at modellering er én strategi for løsning av problemer i fysikk. Middel-mål-analyse er også en slik strategi, men den innebærer gjerne ikke modellering. Selv om vi skiller mellom disse som to ulike strategier tror vi også at de til en viss kan komme til å kombineres i løsningen av et problem. Modellering som problemløsning, som beskrevet av Hestenes (1987), er

en prosess som inneholder flere steg. I praksis tror vi likevel at elever også vil kunne komme til å gå frem og tilbake mellom de ulike fasene i modelleringen, og prøve seg frem, i løsningen av et problem. Dette er noe Hestenes (1987, s. 444) også peker på. Det er med andre ord mulig å anvende middel-mål-analyse på oppgaver som tilhører 3. *Modellere*, men oppgavene som befinner seg på dette nivået stiller krav til elevene om å vurdere problemsituasjonen på en måte som er kjennetegnet av en modellerende strategi.

Hva kan taksonomien brukes til?

Taksonomien som er utviklet gjennom prosjektet kan gi hjelpe lærere ved å gi et sett med analytiske dimensjoner som lærere kan bruke i arbeidet med å analysere sine egne oppgaver. I det følgende vil vi si noe om hva taksonomien kan brukes til, men også peke på noe taksonomien ikke sier noe om. Informasjonen blir gitt for å gi andre mulighet til å bruke taksonomien riktig.

De tre dimensjonene i taksonomien, *komplisitet*, *kompleksitet* og *kognitive prosesser*, er analytiske dimensjoner som gir informasjon om hva som må vurderes i en analyse av en oppgaves opplevde vanskelighet. I tillegg til disse tre har vi også pekt på at skriving av tekstlige svar kan være en utfordring for mange elever, men en beskrivelse av dette er ikke omfattet i dette prosjektet. Beskrivelsen av de tre dimensjonene gir begreper som kan brukes for å snakke om forskjellene mellom de ulike dimensjonene, men også for å skille innad hver av de ulike dimensjonene. Begrepene gir informasjon som, i arbeidet med å analysere egne oppgaver, kan bevisstgjøre lærere på de ulike dimensjonene som inngår. Samtidig gir beskrivelsen av taksonomien noen skiller som gir mulighet for å analysere en oppgave innad i de ulike dimensjonene. Dette kan bevisstgjøre lærere på sider ved en oppgave som de ikke ellers ville lagt merke til uten taksonomien. Dermed kan taksonomien hjelpe lærere å oppdage aspekt ved en oppgave de ellers kunne gått glipp av. Vi tror at taksonomien særlig kan være et godt verktøy for lærere som er nye i faget. For å gjøre det intuitivt å bruke taksonomien har vi bygd taksonomien rundt beskrivelser som vi erfarte at lærerne selv brukte. I kapittel 5.3 vil vi beskrive nærmere bruken av taksonomien i sammenheng med ulike begrunnelser for valg av oppgaver.

Våre funn bygger på både lærernes forklaringer og etablert teori, og et mål har også vært å kunne generalisere tilbake til teori slik som beskrevet i kapittel 3.1. Funnene i prosjektet foreslår et sett med kategorier og skiller som kan nyansere allerede eksisterende taksonomier. Kategoriene er utviklet for å fange opp nyanser knyttet spesielt til elevenes utfordringer med problemløsende oppgaver på vurderinger i programfaget fysikk. Som nevnt i kapittel 1.1 skriver L. W. Anderson og Krathwohl (2001) at det ideelt burde utvikles en egen taksonomi for hvert eneste fag. Idéene som kommer frem gjennom prosjektets resultater kan gi innspill til eksisterende teori på området og dermed representere idéer som kan brukes av andre til å videreutvikle teori.

En utfordring ved bruk av taksonomien finnes i dimensjonene *kompleksitet* og *komplisitet*. Vi har vist hva som kjennetegner begge de to dimensjonene og vist til eksempler på hva som kan påvirke de to dimensjonene, men uten en tilsvarende kategorisering som i beskrivelsen av de kognitive prosessene er det vanskelig å si noe endelig og konkret innen disse dimensjonene. I sammenligningen av to oppgaver kan man si at den ene vil ha høyere kompleksitet enn den andre, men gitt en enkelt oppgave kan ikke denne plasseres noe sted i dimensjonen. De to dimensjonene brukes derfor i taksonomien for å si noe om at innen en kategori av *kognitive prosesser* vil man kunne finne oppgaver som både er av ulik *kompleksitet* og *komplisitet*. Det er også mulig å si noe om hvorvidt det er trolig at *kompleksiteten* eller *komplisiteten* i seg selv vil være en utfordring for elevene. Utviklingen av kategorier i disse to dimensjonene, tilsvarende dem man finner for de kognitive prosessene, ville kunne styrke taksonomien. Her trengs det for øvrig mer arbeid, noe som ikke har vært innen dette prosjektets rekkevidde.

Som vi har nevnt i beskrivelsen av de praktiske begrunnelsene, forklarer lærerne at tidsrammene for en prøvesituasjon er avgjørende i utvelgelsen av oppgaver. Det er av vår oppfatning at det vil være naturlig at elevene vil trenge noe lengre tid på en oppgave av høy vanskelighetsgrad enn en med en lavere vanskelighetsgrad. Utover dette kan taksonomien imidlertid ikke brukes til å si noe om hvor lang tid elevene bør få på en oppgave. Til dette vil det kreves andre verktøy.

Til slutt vil vi presisere at taksonomien ikke er en normativ beskrivelse av hvordan en prøve bør være. Vi har blant annet omtalt dimensjonen av ulike kognitive prosesser som bestående av prosesser av høyere og lavere nivå. Dette kan gi et inntrykk av at noen oppgaver er bedre enn andre. Vi vil i kapittel 5.3 diskutere sammenhengen mellom lærernes begrunnelser og taksonomien. Det finnes både vurderinger som kan tale for å begrense vanskeligheten i en oppgave og for å utfordre elevene oppover mot større vanskelighetsgrad. I beskrivelsen av de ulike begrunnelsene lærerne har for valg av oppgaver, har vi vist at lærerne har mange ulike hensyn de tar i utformingen og utvelgelsen av oppgaver til en prøve. Hvordan en prøve bør være må vurderes av hver enkelt lærer i lys av de hensyn læreren ønsker å ta.

5.2. Lærernes begrunnelser for valg av oppgaver

De ulike begrunnelsene vi har funnet i lærernes forklaringer svarer på det ene forskningsspørsmålet for prosjektet. Vi har i prosjektet delt lærernes begrunnelser inn i seks ulike kategorier, som vist i tabell 6.

De *Testteoretiske* begrunnelsene knyttes til lærernes utforminger og valg av oppgaver som skiller elevene på et rettfærdig grunnlag. Begrunnelsene innen denne kategorien knyttes også til valg som er gjort for å sikre at det er fysikkunnskapen til elevene som skiller elevene. Begrunnelser som er

Læringsmålorienterte knytter seg til målene for faget, enten dette er læreplanen eller målsettinger fra læreboken i faget. Når lærerne velger å gi elevene bestemte oppgaver for å betrygge elevene i prøvesituasjonen, er dette *Betryggende* begrunnelser. Lærerne beskriver også hvordan de velger oppgaver for å forberede elevene på senere testsituasjoner de kan komme til å møte, noe som kategoriseres som *Forberedende* begrunnelser. De *Praktiske* begrunnelsene knytter seg til de praktiske rammene for prøvesituasjonene. Elevene har begrenset med tid på å gjøre oppgavene, noe lærerne må ta hensyn til. Lærerne velger også å gi elevene oppgaver på prøver fordi oppgavene inneholder interessante elementer som de senere ønsker å ta opp i undervisningen. I disse tilfellene benytter lærerne seg av *Opplærende* begrunnelser. I det følgende vil vi trekke frem noen refleksjoner vedrørende begrunnelseskategoriene og diskutere betydningen disse har for funnene som er gjort i prosjektet.

Uttalelser fra lærerne som kan knyttes til «constructive alignment»

I kapittel 3.8 beskrev vi hvordan vår forståelse av konseptet «constructive alignment» kunne påvirke analysen ved at vi identifiserte flere begrunnelser for valg av oppgaver som kan knyttes til konseptet. På grunn av rollen som idéen om «constructive alignment» har hatt i prosjektet, vil vi i det følgende vise til noen idéer fra lærerne som kan knyttes til konseptet.

En naturlig kobling mellom lærernes begrunnelser og «constructive alignment» finnes i de læringsmålorienterte begrunnelsene. Lærerne uttrykker her at de må sørge for at oppgavene på prøven reflekterer de målene som læreplanen setter for faget. Som nevnt i kapittel 1.1 er dette et mål på vurderingens validitet. Når lærerne på denne måten sammenligner målene for faget sammen med vurderingen i faget for å sikre sammenheng, kan dette øke prøvens validitet og er også en del av arbeidet i det som Biggs (1996) beskriver som «constructive alignment». I de læringsmålorienterte begrunnelsene finner vi stor sammenheng med tanker om «constructive alignment».

Som nevnt innledningsvis vil prøver ha stor innvirkning på hva elevene anser som viktig i faget. Flere lærere har pekt på at de bevisst utformer oppgaver til prøvene som elevene vil ha møtt i undervisningen. Dette har vi koblet til de betryggende begrunnelsene da dette ofte begrunnes med at elevene skal være trygge på hva de kan komme til å møte i en prøvesituasjon. Christian sier for eksempel,

(...) Uten at den blir helt utenfor boksen, for det vil være litt... ville ikke være rettferdig, for de har en forventning til at oppgaven skal være en viss stil, sant, og du skal gjøre sånn og sånn. Så du kan ikke gå for langt utenfor det de forventer.

Dersom vurderingen tar utgangspunkt i noe annet enn det undervisningen har fokusert på, ville elevene kunne oppleve vurderingen som urettferdig og gjøre at de havner i en situasjon der de opplever at undervisningen de får ikke er egnet til å forberede dem til prøven. Dette vil igjen kunne gjøre at elevene kan velge å nedprioritere undervisningen, noe Wilson (1994) beskriver. Ved at elevene i større grad opplever en sammenheng mellom undervisning og vurdering kan det tenkes at læringsutbyttet øker, noe Cohen (1987) viser til. Dermed kan grepene lærerne gjør i sammenheng med de betryggende begrunnelsene også resultere i at elevene lærer mer.

Utfordringer knyttet til å kategorisere lærernes begrunnelser

Kategoriene for ulike begrunnelser for utforming og valg av oppgaver har tatt utgangspunkt i lærernes forklaringer i intervjuene. Når kategoriene bygger på det lærerne har forklart, vil validiteten til vår kategorisering avhenge av at vi har forstått lærerne riktig i deres beskrivelser. I det følgende vil vi kort diskutere to ulike eksempler som viser utfordringer knyttet til vår kategorisering av lærernes begrunnelser.

Et sentralt spørsmål som dukket opp i analysen av lærernes begrunnelser, var hvorvidt de betryggende begrunnelsene kan være med på å styrke gyldigheten til en vurdering og dermed ha samme funksjon som de testteoretiske begrunnelsene. Dagny peker på at en mangel på trygghet kan gå ut over elevenes evne til å vise sin kompetanse på prøven. Videre sier Christian at man som lærer bør ta grep for å ivareta elevenes trygghet i prøvesituasjonen slik at dette ikke går ut over deres evne til å vise fysikkkompetanse. I kapittel 2.1 viste vi til at Nilsen (2015) fremhever at en fullstendig kompetansebeskrivelse i fysikk må inkludere et affektivt aspekt. Dersom elevene ikke selv har tro på at de kan løse en oppgave kan de, slik vi ser det, komme til å trekke seg uten å prøve på en løsning av oppgaven.

De testteoretiske og betryggende begrunnelsene kan med andre ord ha lignende utfall når det kommer til utforming og valg av oppgaver. Dette viser at begrunnelsene for valg av oppgaver ikke alltid kan knyttes direkte til resultatet av utformingen av prøvene. Dersom lærerne uttrykker at de ønsker å ivareta elevenes trygghet i en prøvesituasjon kan dette nemlig begrunnes både betryggende og testteoretisk. Denne doble tolkningsmuligheten illustrerer en utfordring når det kommer til vår kategorisering av lærernes begrunnelser. For at vår kategorisering skal være riktig er vi avhengige av at lærerne har gitt oss innblikk i de bakenforliggende hensynene som påvirket valgene av oppgaver. Utfordringer knyttet til vår kategorisering av lærernes begrunnelser begrenser seg likevel ikke til doble tolkningsmuligheter. I det følgende vil vi vise til hvordan en mulig ekstra kategori kan tenkes å eksistere selv om vi ikke kunne identifisere denne.

Vi beskrev i kapittel 3.8 hvordan en kategori for fysikkfaglige begrunnelser falt bort etter en sortering av de ulike begrunnelsene, fordi det ikke med sikkerhet kunne slås fast hva lærerne her

hadde ment. Denne kategorien inneholdt begrunnelser som tok utgangspunkt i at lærerne inkluderte oppgaver på grunn av tradisjoner i faget. Vi mener at det er grunn til å anta at denne kategorien kan eksistere selv om den ikke er fanget opp i våre kategorier. Det kan nemlig argumenteres for at slike begrunnelser er så underforstått hos lærerne at de kanskje ikke selv er eksplisitt klar over påvirkningen som tradisjoner i faget kan ha på valget av oppgaver. Alternativt kan de ha latt være å nevne dette fordi de oppfattet dette som åpenbart. Dolin (2002, s. 160) beskriver blant annet at lærere gjør tradisjonelt begrunnede undervisningsvalg gjennom pedagogisk bruk av de representasjonsformene de bruker. Disse representasjonsformene har vist seg nyttige for å utvikle forståelse i mange år, og er således naturlig for lærerne å bruke igjen da de representerer en tradisjon i faget.

For å klare å identifisere alle de begrunnelsene som lærerne gjør for valg av oppgaver ville vi, som i eksempelet med påvirkningen fra tradisjoner i faget, måtte klare å stille spørsmål og fange opp svar som kunne avsløre tanker hos lærerne som de kanskje ikke selv var bevisste. Dette representerer en svakhet i prosjektet som kan kobles til vår manglende erfaring. Mer erfarne intervjuere ville trolig kunne følge opp lærernes forklaringer på måter som kunne gitt rikere data. De begrunnelsene som i dette prosjektet talte for opprettelsen av en kategori for fysikktradisjonelle begrunnelser, var for implisitte til at vi kunne utelukke at idéen om denne kategorien stammer fra vår forutinntatthet. Mer forskning på området ville trolig kunne belyse eksistensen av en eventuell slik kategori tydeligere.

5.3. Sammenhengen mellom lærernes begrunnelser og taksonomien

I prosjektet har vi jobbet etter to forskningsspørsmål, noe som har gjort at analysen også har vært delt. De to spørsmålene og tilhørende funn er likevel relaterte til hverandre, og i det følgende vil vi diskutere sammenhengen mellom dem.

Vi viste i kapittel 5.2 til at noen av lærernes uttalelser om begrunnelser for valg av oppgaver kan kobles til en idé om «constructive alignment». Som nevnt i kapittel 1.1 kan en taksonomi hjelpe lærere i dette arbeidet, og vil kort drøfte hvorvidt taksonomien som er utviklet i dette prosjektet kan fungere på denne måten.

En utfordring med å bruke den utviklede taksonomien i arbeidet med «constructive alignment» er at taksonomiens språk ikke direkte kan sammenlignes med læreplanens språk. I utviklingen av taksonomien har vi prøvd å bruke lærernes språk slik at taksonomien skal være intuitiv og selvforklarende å bruke. Uten en nærmere studie av læreplanens språk, og da spesielt bruk av verb, kan ikke taksonomien uten videre brukes for å kategorisere de ulike kompetansemålene.

For å dra full nytte av taksonomien i sammenheng med «constructive alignment» trengs det derfor mer forskning som kan tydeliggjøre hvordan kompetansemålene kan kategoriseres.

Noen begrunnelser, som de testteoretiske, de læringsmålorienterte og de forberedende, taler gjerne for å åpne opp for en stor variasjon i vanskelighetsgraden i oppgavene på prøven. Anders uttrykker for eksempel at han ønsker at elevene skal ha vært borti mange ulike typer oppgaver slik at de har jobbet med de variantene av oppgaver de kan komme til å møte. Anders sier,

(...) Altså... at de skal ha vært borti forskjellige emner, men de skal også ha vært borti ulike typer oppgaver. Og... nå ble det jo mange av forskjellige typer oppgaver på samme prøve, men vertfall i løpet av året da så skal de helst ha vært borti de forskjellige typer oppgaver som de kan forvente å møte borti.

Henvisningen til senere situasjoner der elevene kan møte på en oppgavetype, gjør at begrunnelsen tilhører de *forberedende begrunnelsene*. Taksonomien er laget for å beskrive en bredde av forskjellige måter en oppgave kan stille krav til elevene på, og lærere kan bruke denne til å lage oppgaver på en prøve som innehar stor variasjon. Taksonomien og dens forskjellige dimensjoner beskriver nettopp en variasjon av nyanser og forskjeller som forekommer i problemløsende oppgaver.

Tilsvarende er det, av testteoretiske begrunnelser, nødvendig at oppgavene på prøven er av ulik vanskelighetsgrad. I denne sammenhengen kan taksonomien brukes for å undersøke den forventede vanskelighetsgraden til oppgavene fordi taksonomien gir læreren analytiske dimensjoner som kan brukes for å beskrive den opplevde vanskelighetsgraden i en oppgave. Dersom en prøve, for eksempel, inneholder flere oppgaver om et tema som alle kategoriseres noe likt i taksonomien, kan oppgaven justeres for å endre kompleksiteten eller de kognitive prosessene. Spesielt vil en endring i de kognitive prosessene gjøre at oppgaven etterspør andre deler av elevenes kompetanse i fysikk. Nilsen (2015) sin beskrivelse av kompetanse i fysikk og vår taksonomi har nemlig denne dimensjonen til felles. En endring i kompleksiteten vil på sin side påvirke de krav oppgaven stiller til elevenes arbeidsminne (Jonassen, 2000). En økning av kompleksiteten vil derfor gjøre at oppgaven stiller større krav til elevenes forståelse av teorien som inngår. Gjennom å vurdere oppgavene på denne måten kan man justere oppgavene slik at de i best mulig grad står i sammenheng med de testteoretiske begrunnelsene.

Der noen av begrunnelsene taler for en stor variasjon i oppgavene som elevene møter på prøvene, vil andre begrunnelser kunne tale for å begrense variasjonen. Dersom læreren for eksempel av betryggende årsaker ønsker at elevene skal være kjent med oppgavene de møter på prøven for å betrygge dem, kan læreren bruke taksonomien til å sjekke sine oppgaver mot de oppgavene som har vært brukt i undervisningen tidligere. Ved å bruke taksonomien til å beskrive oppgavenes

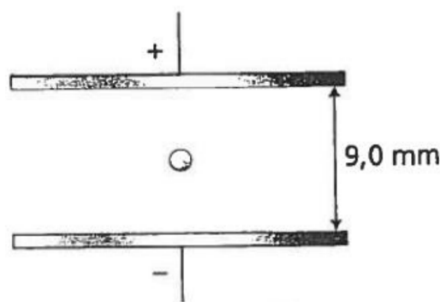
vanskelighetsgrad kan læreren også avgjøre hvilken rekkefølge oppgave bør legges i dersom elevene er spesielt vant med en type rekkefølge. Rekkefølgen på oppgavene er noe flere lærere har pekt på som viktig for å skape trygghet hos elevene.

Samtidig som noen av begrunnelsene kan relateres til tanker om å øke variasjonen av vanskelighetsgrader i oppgavene på prøven, taler også noen av begrunnelsene for å *flytte* fokuset for oppgavene. Lærerne begrunner ofte de opplærende og forberedende begrunnelsene med å gjøre oppgavene på prøvene vanskeligere for elevene. Dette kan for eksempel sees i sammenheng med Anders sin uttalelse i sammenheng med de opplærende begrunnelsene der han trakk frem at det ikke nødvendigvis var et poeng at elevene skulle få til oppgaven i selve prøvesituasjonen. Selv om elevene ikke mestret oppgaven på prøven ville den være interessant å diskutere i senere undervisning. De opplærende begrunnelsene kan legges til grunn for å inkludere oppgaver fra kategorien 3.3. *Kreativ modellbygging*, i håp om at elevene mestrer dem i selve prøvesituasjonen. Vi har pekt på at løsning av slike oppgaver innebærer at elevene bygger en ny modell ved å sette sammen elementer på en ny måte, og at dette svarer til ny og større forståelse. På denne måten kan slike oppgaver inkluderes på prøver gjennom et perspektiv på prøver som læringssituasjoner. I sammenheng med de forberedende begrunnelsene kan det også argumenteres for å utfordre elevenes kreativitet på en prøve. Slike oppgaver kan forberede elevene på at andre prøvesituasjoner, som for eksempel skriftlig eksamen, kan kreve slike kreative sprang av elevene.

5.4. Eksempel på klassifisering av oppgaver gjennom taksonomien

I det følgende vil vi bruke taksonomien til å klassifisere to prøveoppgaver for å demonstrere hvordan taksonomien kan anvendes i praksis. Oppgaven som er gjengitt i figur 17 er hentet fra en av Anders sine prøver og inkluderer to av originalt tre deloppgaver. Vi vil nedenfor begynne med å beskrive *komplisiteten* som er tilknyttet teorien som inngår i oppgaven, før vi diskuterer oppgavens *kompleksitet* og tilknyttede *kognitive prosesser*.

En platekondensator er plassert vannrett i tyngdefeltet. Det er vakuum mellom platene, og plateavstanden er 9,0 mm. Spenningen mellom platene er 450 V.



a) Finn den elektriske feltstyrken mellom platene.

En meget liten elektrisk ladd plastkule med massen $2,0 \cdot 10^{-6}$ kg holder seg svevende nøyaktig midt mellom platene.

b) Finn ladningen til plastkulen.

Figur 17: Viser en oppgave fra Anders sin prøve i mekanikk og elektrisitet.

Deloppgave a) i oppgaven som er gjengitt i figur 17 ber elevene om å finne den elektriske feltstyrken mellom platene i platekondensatoren. I kapittel 4.1, i beskrivelsen av komplisitet ble elektriske felt beskrevet som noe elever tradisjonelt ikke har store utfordringer med, spesielt når feltene er homogene. Basert på dette antar vi derfor at *komplisiteten* i teorien som er tilknyttet oppgaven er av moderat grad, og at denne ikke i seg selv burde gjøre at oppgaven blir vanskelig for elevene. Når det gjelder *kompleksiteten*, er denne lav i deloppgave a). Bruken av ordet platekondensator i oppgaveteksten vitner om at elevene er kjent med kondensatoren og det faktum at det vil oppstå et homogent elektrisk felt mellom platene. Videre er ikke den ladde kule enda presentert i oppgaven og det er derfor få elementer som inngår.

Når det kommer til de *kognitive prosessene* som kreves i deloppgave a), kan oppgaven klassifiseres under 2.a. *Teknisk forståelse*. Dette kommer hovedsakelig av at oppgaven introduserer spenning og avstand mellom platene og feltstyrken kan derfor finnes ved å anvende den forenklete formelen,

$$E = \frac{U}{d}$$

Dette krever at elevene er i stand til å kjenne igjen symbolenes betydning for å vite hvilke størrelser som er oppgitt, og gjøre en matematisk operasjon. For å finne svaret på oppgaven kreves det at elevene anvender denne fremgangsmåten i situasjonen. Samtidig krever ikke oppgaven at elevene gjennomfører en kvalitativ beskrivelse for å analysere problemsituasjonen, og oppgaven beveger seg derfor ikke opp på 3. *Modellere*.

Komplisiteten i deloppgave b) er nokså lik som i oppgave a). Vi tror ikke at kreftene som virker på ladde legemer i elektriske felter vil være mer komplisert enn det elektriske feltet i seg selv. *Kompleksiteten* i deloppgave b) er derimot høyere enn hva som var tilfelle i deloppgave a). Innføringen av den ladde plastkulen øker antallet elementer som vekselvirker i problemsituasjonen, uten at kompleksiteten av den grunn blir veldig høy. Vi nøyer oss med å si at oppgaven har høyere kompleksitet enn deloppgave a).

Innen de kognitive prosessene klassifiseres oppgaven under nivå 3. *Modellere*, nærmere bestemt tilhører den 3.2. *Modellbygging*. Oppgaven stiller krav til at elevene vurderer hvilke prinsipper som er gyldige i situasjonen og på grunnlag av dette analyserer hvilke krefter som er involvert og hvordan disse påvirker systemet. Elevene må videre selv identifisere hvordan de kan bruke opplysningene de har fått oppgitt til å lage en matematisk modell for situasjonen for å finne svar på oppgaven og løse problemsituasjonen. At oppgaven befinner seg på dette nivået innebærer at oppgaven er en problemløsningsoppgave der elevene ikke har blitt presentert for løsningen av oppgaven tidligere. Dette viser hvordan det er helt nødvendig å kjenne til konteksten for vurderingssituasjonen for å avgjøre hvordan oppgaven skal klassifiseres i taksonomien. Oppgaven er nærmest uten kontekstinformasjon, og dersom elevene har løst lignende oppgaver tidligere kan dette gjøre at oppgaven passer bedre under kategorien 2.a. *Teknisk forståelse* fordi den da ikke vil stille krav til kvalitativ analyse.

5.5 Videre arbeid på området

I dette prosjektet har vi jobbet for å utvikle en taksonomi som lærere kan bruke til å analysere vanskelighetsgraden i problemløsende oppgaver. Taksonomien foreslår et sett med skiller mellom de ulike dimensjonene som kan være innspill til annen og videre forskning på området.

I tillegg til dimensjonene som taksonomien består av antar vi at skriving i fysikk vil medføre vanskelighet, noe vi så vidt har berørt i kapittel 2.3. Oppgaver som etterspør elevsvar i form av tekst har ikke vært dette prosjektets anliggende. Det kan tenkes at taksonomien kan utvides til å inkludere også denne typen oppgaver, men da behøves det mer forskning. Mer forskning kan også tenkes å utvide taksonomien på en måte som gjør at den i større grad kan brukes som et redskap i forbindelse med «constructive alignment».

Lærere har mange hensyn å ta når oppgavene til en prøve skal utformes. Vi har i dette prosjektet beskrevet seks slike, men samtidig pekt på utfordringer knyttet til kategoriseringen. Mer forskning på dette området er nødvendig for å avgjøre eksistensen til eventuelle ytterligere kategorier.

Referanser

- Anderson, J. R. (1987). Skill Acquisition: Compilation of Weak-Method Problem Solutions. *Psychological Review*, 94(2), 192-210. doi:10.1037/0033-295x.94.2.192
- Anderson, J. R. (1990). *The adaptive character of thought*. Hillsdale, N. J: Lawrence Erlbaum Associates.
- Anderson, J. R. (1993). Problem Solving and Learning. *American Psychologist*, 48(1), 35-44. doi:10.1037/0003-066x.48.1.35
- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (Red.). (2001). *A Taxonomy for learning, teaching, and assessing : a revision of Bloom's Taxonomy of educational objectives* (Fullstendig (Complete) utg.). New York: Longman.
- Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E. K., Kolstø, S. D., Persson, J. & Renstrøm, R. (2011). *Fysikkdidaktikk*. Oslo: Cappelen Damm.
- Assarroudi, A., Nabavi, F. H., Armat, M. R., Ebadi, A. & Vaismoradi, M. (2018). Directed qualitative content analysis: the description and elaboration of its underpinning methods and data analysis process. *Journal of Research in Nursing*, 23(1), 42-55. doi:10.1177/1744987117741667
- Biggs, J. (1996). Enhancing teaching through constructive alignment. *Higher Education*, 32(3), 347-364. doi:10.1007/Bf00138871
- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. (2000). *How people learn : brain, mind, experience, and school*. (Utvidet (Expanded) utg.). doi:10.17226/9853
- Bransford, J. D. & Schwartz, D. L. (1999). Chapter 3: Rethinking Transfer: A Simple Proposal With Multiple Implications. *Review of Research in Education*, 24(1), 61-100. doi:10.3102/0091732x024001061
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices*. *Cognitive Science*, 5(2), 121-152. doi:10.1207/s15516709cog0502_2
- Cohen, A. S. (1987). Instructional Alignment: Searching for a Magic Bullet. *Educational Researcher*, 16(8), 16-20. doi:10.3102/0013189X016008016
- Cooper, G. & Sweller, J. (1987). Effects of Schema Acquisition and Rule Automation on Mathematical Problem-Solving Transfer. *Journal of Educational Psychology*, 79(4), 347-362. doi:10.1037/0022-0663.79.4.347
- Cowie, B. (2015). Problem Solving in Science, Assessment of the Ability to. I R. Gunstone (Red.), *Encyclopedia of Science Education* (s. 791-794). Dordrecht: Springer. doi:10.1007/978-94-007-6165-0_76-2
- Datatilsynet. (2018, 29.05.2018). Behandlingsgrunnlag. Hentet 27. mai 2019 fra <https://www.datatilsynet.no/regelverk-og-verktoy/veiledere/veiledere-om-behandlingsgrunnlag>
- Dickie, L. O. (2003). Approach to learning, the cognitive demands of assessment, and achievement in physics. *The Canadian Journal of Higher Education*, 33(1).

- Dolin, J. (2002). *Fysikfaget i forandring: læring og undervisning i fysik i gymnasiet med fokus på dialogiske processer, autenticitet og kompetenceudvikling*. (PhD), Roskilde: Roskilde Universitet.
- Dolin, J. (2015). Competence in Science. I R. Gunstone (Red.), *Encyclopedia of Science Education* (s. 185-188). Dordrecht: Springer. doi:10.1007/978-94-007-6165-0_430-1
- Firestone, W. A. (1993). Alternative Arguments for Generalizing from Data as Applied to Qualitative Research. *Educational Researcher*, 22(4), 16-23. doi:10.2307/1177100
- Forskrift til opplæringslova. (2006). Forskrift til opplæringslova (FOR-2006-06-23-724). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-06-23-724>
- Garden, R. A., Lie, S., Robitaille, D. F., Angell, C., Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Foy, P. & Arora, A. (2006). *TIMSS Advanced 2008 Assessment Frameworks*. Boston: TIMSS & PIRLS International Study Center.
- Hestenes, D. (1987). Toward a Modeling Theory of Physics Instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454. doi:10.1119/1.15129
- Hsieh, H.-F. & Shannon, S. E. (2005). Three Approaches to Qualitative Content Analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277-1288. doi:10.1177/1049732305276687
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63-85. doi:10.1007/Bf02300500
- Jones, L. R., Wheeler, G. & Centurino, V. A. S. (2014). TIMSS Advanced 2015 Physics Framework. I I. V. S. Mullis & M. O. Martin (Red.), *TIMSS Advanced 2015 Assessment Frameworks* (s. 17-25). Boston: TIMSS & PIRLS International Study Center.
- Kauertz, A., Neumann, K. & Haertig, H. (2012). Competence in Science Education. I B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Red.), *Second International Handbook of Science Education* (s. 711-721). Dordrecht: Springer. doi:10.1007/978-1-4020-9041-7_47
- Kjærnsli, M., Nortvedt, G. A. & Jensen, F. (2014). *Norske elevers kompetanse i problemløsning i PISA 2012*. Oslo: Institutt for lærerutdanning og skoleforskning, Universitetet i Oslo.
- Kvale, S. & Brinkmann, S. (2009). *InterViews: learning the craft of qualitative research interviewing* (2. utg.). Thousand Oaks, California: SAGE Publications.
- Larkin, J. H. (1981). *The Role of Problem Representation in Physics*. Paper presented at Mental Models Conference, University of California, San Diego, October, 1980: Carnegie-Mellon University, Department of Psychology.
- Mayer, R. E. (1998). Cognitive, metacognitive, and motivational aspects of problem solving. *Instructional Science*, 26(1), 49-63. doi:10.1023/a:1003088013286
- Merriam, S. B. (1998). *Qualitative research and case study applications in education* (2. utg.). San Francisco, California: Jossey-Bass Publishers.
- Nilsen, T. (2015). *Trends in Physics Competence. Using TIMSS for in-depth studies to characterize Norwegian students' physics competence and factors influencing and explaining changes in this competence* (PhD). Oslo: Universitet i Oslo.
- Nilssen, V. L. (2012). *Analyse i kvalitative studier : den skrivende forskeren*. Oslo: Universitetsforl.

- Norsk Senter for Forskningsdata (NSD). Om NSD. Hentet 2. juni 2019 fra <https://nsd.no/om/>
- OECD. (2013). *PISA 2012 Assessment and Analytical Framework: Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy*. Paris: OECD Publishing.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3. utg.). Thousand Oaks, California: SAGE Publications.
- Peshkin, A. (1988). In Search of Subjectivity—One's Own. *Educational Researcher*, 17(7), 17-21. doi:10.3102/0013189x017007017
- Salganik, L. H. & Rychen, D. S. (2003). *Key competencies for a successful life and a well-functioning society*. Göttingen, Tyskland: Hogrefe & Huber.
- Sasson, I. & Dori, Y. J. (2012). Transfer Skills and Their Case-Based Assessment. I B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Red.), *Second International Handbook of Science Education* (s. 691-709). Dordrecht: Springer. doi:10.1007/978-1-4020-9041-7_46
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *10*(3), 251-296. doi:10.1023/a:1022193728205
- Teodorescu, R. E., Bennhold, C., Feldman, G. & Medsker, L. (2013). New approach to analyzing physics problems: A Taxonomy of Introductory Physics Problems. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9(1), 1-20. doi:10.1103/PhysRevSTPER.9.010103
- Utdanningsdirektoratet. (2006). *Læreplan i fysikk - programfag i utdanningsprogram for studiespesialisering* (FYS1-01). Hentet fra <https://www.udir.no/kl06/FYS1-01>
- Utdanningsdirektoratet. (2015). *Naturfagene i norsk skole anno 2015 - Faggjennomgang av naturfagene - Rapport fra ekstern arbeidsgruppe oppnevnt av Utdanningsdirektoratet*. Hentet fra <https://www.udir.no/globalassets/filer/tall-og-forskning/forskningsrapporter/naturfag-rapport.pdf>
- Wilson, L. (1994). What Gets Graded Is What Gets Valued. *Mathematics Teacher*, 87(6), 412-414.
- Yerushalmi, E. & Eylon, B.-S. (2015). Problem Solving in Science Learning. I R. Gunstone (Red.), *Encyclopedia of Science Education* (s. 786-790). Dordrecht: Springer. doi:10.1007/978-94-007-2150-0_129

Vedlegg

Vil du delta i forskningsprosjektet

”Faglig resonnering i prøver i programfaget fysikk”?

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å undersøke på hvilke måter prøver i programfaget fysikk etterspør faglig resonnering hos elevene. Vi er to lektorstudenter som sammen skal skrive en masteroppgave knyttet til undervisning i programfaget fysikk. I dette skrevet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

Formål

Vi ønsker å utforske hva oppgavene fra et utvalg prøver i programfaget fysikk krever av faglig resonnering hos elevene. Målet er å kunne lage en oversikt over de ulike oppgavetyperne og på den måten kunne utvikle et verktøy for å analysere oppgaver i fysikkfaget. For å kunne lage en slik oversikt trenger vi imidlertid å få studere et utvalg prøver, og få innsikt i hvilke tanker lærerne som har laget prøvene gjør seg om prøvene. Informasjonen som vi får inn vil brukes i en masteroppgave, og kan gi ny innsikt i hvordan lærere tenker når de lager prøver i programfaget fysikk.

Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?

Universitet i Bergen er ansvarlig for prosjektet og gjennomføres ved Institutt for fysikk og teknologi. Ansvarlig for gjennomføring og veiledning på prosjektet er professor Stein Dankert Kolstø.

Hvorfor får du spørsmål om å delta?

Vi henvender oss til deg fordi du er lærer i programfaget fysikk ved en videregående skole. Det er viktig for oss å få innsikt i forskjellige prøver, og vi tar derfor kontakt med lærere tilknyttet forskjellige skoler. Vårt ønske er å kunne analysere oppgaver på prøver fra 6-10 lærere. Vi har fått dine kontaktopplysninger fra vår veileder, professor Stein Dankert Kolstø.

Hva innebærer det for deg å delta?

- Hvis du velger å delta i prosjektet, innebærer det at vi får tilgang til to til tre av dine prøver.
- Deltakelse i prosjektet vil også innebære et intervju hvor vi ønsker å få vite mer om blant annet prosessen bak prøvene, dine tanker om oppgavene og hva du forventer at elevene vil streve med. Vi vil gjennomføre lydopptak av, og skrive notater til, intervjuet.

Det er frivillig å delta

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykke tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle opplysninger om deg vil da bli anonymisert. 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 skrevet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

- Bare vår veileder og vi vil ha tilgang til originalprøver, lydopptak av intervju og informasjon om hvem som deltar i prosjektet.
- Navnet og kontaktopplysningene dine vil vi erstatte med en kode som lagres nedlåst i et dokument adskilt fra resten av datamaterialet. Dette gjør vi for å sikre din anonymitet.
- Det vil være aktuelt for oss å bruke utdrag fra prøver, samt sitater fra intervju i den publiserte oppgaven. Vi vil for øvrig gjøre dette på en måte som ivaretar din og skolens anonymitet.

Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?

Prosjektet skal avsluttes 30. juni 2019. Alle personopplysninger om deg vil da bli slettet, og prøver og intervju vil være fullstendig anonymisert innen denne dato.

Dine rettigheter

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

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- få slettet personopplysninger om deg,
- få utlevert en kopi av dine personopplysninger (dataportabilitet), og
- å sende klage til personvernombudet eller 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 Universitet i Bergen 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:

- Olve Flaten, masterstudent ved Institutt for fysikk og teknologi, Universitet i Bergen, telefon [REDACTED], mail [REDACTED]
- Håkon Mangersnes, masterstudent ved Institutt for fysikk og teknologi, Universitet i Bergen, telefon [REDACTED], mail [REDACTED]
- Stein Dankert Kolstø, Professor ved Institutt for fysikk og teknologi, Universitet i Bergen, telefon [REDACTED], mail [REDACTED], post Universitetet i Bergen Postboks [REDACTED]
- NSD – Norsk senter for forskningsdata AS, på epost [REDACTED] eller telefon: [REDACTED].

Med vennlig hilsen

Prosjektansvarlig
Stein Dankert Kolstø

Studenter
Olve Flaten & Håkon Mangersnes

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «Faglig resonnering i prøver i programfaget fysikk», og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å gi prosjektet tilgang til to til tre av mine prøver
- å delta i intervju

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet, ca. 30. juni 2019

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

Intervjuguide

Husk vedlegg:

- Samtykkeskjema for signering
- Prøveoppgaver med løsningsforslag

Nevnes før start

- Kort om formål, opplys om båndopptaker, hvem har tilgang
- Rettigheter?
- Har intervjuperson spørsmål før vi begynner?

Innledningsoppgaver

- Hvordan må en elev **gå frem** for å løse denne oppgaven?
- Hva forventer du at elevene **typisk vil streve** med på denne oppgaven?
- Er dette en oppgavetype elevene har **jobbet med** før prøven?
- Har du noen tanker om hva som var grunnen til at du valgte å ha akkurat denne oppgaven med på prøven?
- Dersom rettet, var det **samsvar** mellom det du forventet at elevene ville streve med og det elevbesvarelsene ga uttrykk for?
- Hvilke krav opplever du at denne oppgaven stiller til elevenes forståelse?

Sammenligning

- Vil du si at disse oppgavene er av ulik **vanskelighetsgrad**?
- Hva er det som gjør den ene oppgaven er lettere / vanskeligere enn den andre?
- Hvordan vil du vektlegge de ulike oppgavene ved vurdering av elevene?
- Har du noen tanker rundt hvilke forskjellige **oppgavetyper** som finnes?
- Hvilken oppgave ville du sagt var den vanskeligste på denne prøven?

Generelt

- Hva synes du er viktig å **ha fokus på** når du skal lage en prøve?
- Vi har bedt deg sende oss prøver fra forskjellige tema. Hvilke forskjeller tenker du at det finnes på oppgavene fra prøvene i de ulike temaene?
- Hva avgjør om en oppgave er lett eller vanskelig?
- Hvor finner du vanligvis inspirasjon til prøveoppgaver?

Kontekstspørsmål

- Vi har samlet inn to prøver fra deg. Når ble disse gjennomført?
- Evt. bekreft fra tidligere opplysninger.
- Hvor lang tid hadde elevene til rådighet for å gjennomføre prøven?
- Evt. bekreft fra tidligere opplysninger.

- Er det noe annet du har lyst til å nevne / trekke frem som vi ikke har snakket om?

Vedlegg 3: Eksempel på innledende analyse av prøve

Oppgave 1

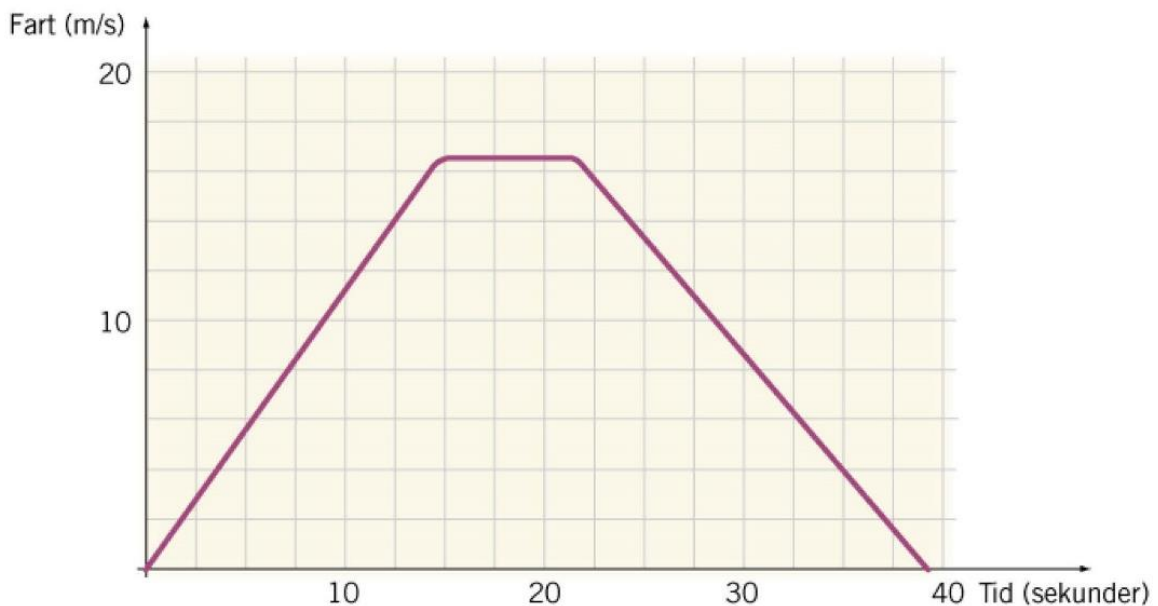
Vi kaster en stein rett oppover med fart 2,5 m/s fra en balkong med høyde 5,0 m over bakken.

- Finn hvor høyt ballen kommer over balkongen.
- Hva er farten når ballen er tilbake i balkongens høyde?
- Hvilken fart treffer ballen bakken med?

Oppgave 2

I en svært høy bygning i Taipei, Taiwans hovedstad, finnes verdens raskeste heis. Grafen til høyre viser farten til heisen som funksjon av tiden på en tur fra 1. til 89. etasje.

I denne oppgaven setter vi massen av heisen med passasjerer til $2,3 \cdot 10^4$ kg.



- Bruk grafen til å beskrive bevegelsen til heisen på denne turen.
- Bestem akselerasjonene til heisen i de første 10 s og de siste 10 s av turen opp til 89. etasje
- Bruk informasjon fra grafen og finn avstanden fra 1. til 89. etasje i denne bygningen.

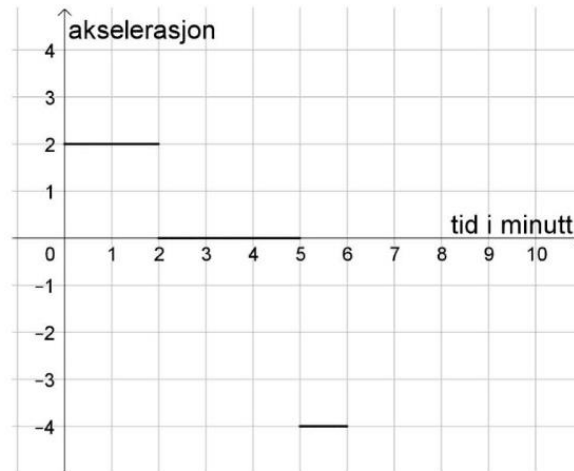
Oppgave 3

En rakett med masse $m = 18$ tonn blir skutt loddrett oppover fra jorden med konstant akselerasjon på 20 m/s^2 så lenge rakettmotoren virker. Etter 30 s stopper motoren.

- Tegn kreftene på raketten mens motoren virker og finn skyvekraften på raketten. Se bort fra luftmotstand.
- Finn høyden og farten til raketten i det motoren stopper.
- Finn den maksimale høyden raketten kommer opp i.

Oppgave 4

En gjenstand starter med akselerasjon som grafen viser under.



- Tegn en fartskurve for denne bevegelsen
- Finn avstanden tilbakelagt

Oppgave 5

En bil med masse 1000 kg og fart $v_0 = 20$ m/s bremses på en distanse på 100 m.

- Tegn alle kreftene som virker horisontalt på bilen når den bremses
- Hva blir bilens akselerasjon under nedbremsingen?
- Finn den gjennomsnittlige bremskraften som virker på bilen når den bremses?

Oppgave 6

En kule med fart 4,0 m/s og masse 0,150 kg på et glatt underlag kolliderer med en vegg og får en fart 2,0 m/s i motsatt retning. Kollisjonen tar 0,01 s.

- Finn akselerasjonen som kulan får på grunn av kollisjonen.
- Finn kraften som kulan virker på veggen med. Hvor stor kraft virker veggen på kulan med?

Oppgave 7

En kloss med masse 0,20 kg blir dratt bortover et bord med en kraft $F = 3,0$ N. Klossens fart er konstant. Farten til klossen er 2,0 m/s.

- Tegn alle kreftene som virker på klossen og forklar hvilken av Newtons lover som gjelder her.
- Finn størrelsene på alle andre krefter enn F .
- Vi øker F til 7,00 N. Forklar nå hva som skjer med klossen og finn ut hvilken akselerasjon den har. Alle andre krefter forblir like store.

Innledende analyse av Fredriks prøve i mekanikk

Dette er en digitalisert versjon av den innledende analysen som ble gjennomført for hver prøve. Analysen for denne prøven ble ført på papir.

Oppgave		Kognitiv prosess jf. Anderson og Krathwohl	Kommentar til oppgaven
Oppg. 1	a)	3.1	
	b)	3.1	
	c)	3.1	
Oppg. 2	a)	2.1	Aktuell. Representasjonsforståelse?
	b)	3.2	Anvende kunnskap med forståelse?
	c)	4.1 / 3.2	Virkelig problemløsning?
Oppg. 3	a)	2.1 / 3.1 / 3.2	Tegne og beregne?
	b)	3.1 / 3.2	
	c)	3.1 / 3.2	
Oppg. 4	a)	2.1	Sammenligne med oppg. 2a? Tegne vs. tolke
	b)	3.1 / 3.2	Samme som oppg. 2c?
Oppg. 5	a)	2.1	Tegneoppgave
	b)	3.1	
	c)	3.1	
Oppg. 6	a)	3.1	
	b)	3.1	
Oppg. 7	a)	2.1	Tegneoppgave
	b)	3.1 / 3.2	
	c)	2.5	Hva-hvis? <i>Forklar</i> hva som skjer.

Vedlegg 4: Eksempel på transkripsjon

- Viser et utdrag fra intervju med Christian. Seksjoner markert med fet skrift er sitert i prosjektet.

83. I: Mm. Jeg vet ikke om du husker helt men, oppgaven, men er det noe her du... er det en deloppgave her du vil trekke frem som den vanskeligste ved den... hva er det mest utfordrende for elevene?
84. L: Ja det er... Det er jo den, for den er litt... uvanlig her (oppgave d?), ja. Du har litt andre opplysninger enn hva som pleier å være oppgitt for å regne feltet der. Men ellers så... (det at...). **Ellers så er dette... akkurat dette her med elektriske felt inni sånn som dette her, dette er... ganske grei skuring for de fleste, og det ser jeg òg når jeg sensurer eksamen. Dette er ikke noe spesielt vanskelig, sant, for de som tar det, så...**
85. I: **Hva er det som gjør det, vil du si?**
86. L: **Det er nok fordi at det... sant, det er enkle ting, sant... Det er lett å fremstille, lage bilde på det, siden alt er todimensjonalt, i motsetning til når du kommer til magnetfelt, når alt blir tredimensjonalt. Sant, enkle sammenhenger, som blir veldig mye mer komplisert når du kommer til induksjon, sant, som er grådig vanskelig for dem. Og formlene som inngår her [elektriske felt] er kjempevanskelige, nei, lette, mener jeg, sant, og så er det lett å knytte det til ting de kjenner godt fra før, sant, dette her med skråkast og ting de lærte i førsteklasse, sant.** Og så er det til en viss grad, i alle fall, så er det kjente ting, sant, som spenning og strøm, sant, alt det der er kjente begrep. Så det eneste sånn nye begrepet som er innført her er jo dette med feltstyrke, at... hva et felt er. Men det har vi jo òg snakket litt om da vi... tidligere, i forbindelse med gravitasjon. **Så, samlet sett så pleier dette å være ganske greit, og det ser jeg som sagt igjen når jeg sensurerer eksamen òg, at... disse elektriske... rene elektriske felt-oppgavene pleier å være ganske greie. I alle fall når du har homogene felt, litt verre den oppgaven på andre siden når du har inhomogene felt.**
87. I: Ja. Og opplever du at disse... denne typen oppgave, som for eksempel oppgave a her, når du skal regne ut denne farten, at det... tester det på en måte at, eller... Er du sikret å sjekke om eleven virkelig forstår dette, eller kan eleven løse også denne typen oppgaver uten egentlig helt å forstå sammenhengen?
88. L: Denne oppgaven er nok... jaja, de må jo... sant, her må de jo bruke ting i fra mekanikken, plutselig sammen med ting her da, sant, elektriske feltene og sånt. Og da må de jo... det krever jo en viss forståelse for å se at, sant, ene er kinetisk energi... eller forskjellen i kinetisk energi og andre er kinetisk energi, men, når det er sagt, så er det jo sånn at 99% av elevene i videregående, hvis du sier kinetisk energi så tenker de $\frac{1}{2}mv^2$. Men at... de i alle fall til en viss grad ser at dette handler om tilført energi. Det du sjeldent får her, er jo selvfølgelig, sant, forutsetningen om at denne her startfarten er null. Sant, at de sier da at siden startfarten er null så får vi... sant, fordi at de tenker ikke over at det er en forskjell i kinetisk energi vi faktisk regner ut der. Det vil være de aller, aller flinkeste som husker på å gjøre, sant, tenker over at det er en forskjell i kinetisk energi. Så sånn sett så kunne du fort ha gjort oppgaven mye vanskeligere, altså gjort den ulik null (ja, nettopp, ja), sant, da hadde det vært mye vanskeligere.
89. I: Ja, for da ville den ikke blitt helt sånn (mm)... mulig å løse bare ved hjelp av...
90. L: Da måtte du ha tvunget dem til å tenke på at det er forskjellen her det er snakk om.