

Viljar Jodaa

Et søk etter behovet for relativitetsprinsippet

Elevers møte med spesiell relativitetsteori gjennom utforskende undervisning

Masteroppgave i Fysikkdidaktikk

Veileder: Floor Kamphorst

Juni 2023

Viljar Jodaa

Et søk etter behovet for relativitetsprinsippet

Elevers møte med spesiell relativitetsteori gjennom utforskende undervisning

Masteroppgave i Fysikkdidaktikk
Veileder: Floor Kamphorst
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for samfunns- og utdanningsvitenskap
Institutt for lærerutdanning



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Kunnskapsløftet 2020, misoppfatninger som oppstår blant elever og en tradisjonsrik undervisningstilnærming peker alle mot potensialet som ligger i å møte spesiell relativitetsteori gjennom utforskende undervisning. Denne studien undersøkte hvordan utforskende undervisning kan spille en rolle i videregående skoleelevers møte med relativitetsprinsippet. Et undervisningsopplegg ble utviklet, der elever gruppevis diskuterte tankeeksperimenter som var designet for å utforske grunnleggende komponenter av relativitetsprinsippet. Opplegget ble utviklet gjennom det systematiske rammeverket conjecture mapping, og la til rette for at elevene gjennom å møte, reflektere rundt og bruke komponentene, skulle se en anledning for behovet for relativitetsprinsippet. Data ble samlet inn gjennom lydopptak av elevdiskusjoner og tegninger produsert av en gruppe på fire elever som hadde fysikk 1 ved en videregående skole. Analysen ble gjennomført ved å tolke data opp mot den utviklede conjecture mappen og annen relevant teori. Resultatene viser at to av de tre elever ble bedømt til å ha sett anledningen for behovet for relativitetsprinsippet, samtidig som det ble identifisert at den siste eleven hadde en positiv læringskurve knytt opp mot elevens grunnleggende forståelse av bevegelse. Det diskuteres også implikasjonene studien har for utforskende undervisningsmetoder innenfor spesiell relativitetsteori og fysikkundervisning generelt.

Abstract

“Kunnskapsløftet” 2020, misconceptions arising among students, and a traditional teaching approach all point to the potential that lies in meeting the special theory of relativity through inquiry learning. This study examined how inquiry learning can play a role in high school students' encounter with the principle of relativity. A teaching method was developed, where a group of students engaged in discussions of thought experiments designed to explore the central components of the principle of relativity. The program was developed using the systematic framework of conjecture mapping and facilitated students' engagement, reflection, and application of the components to recognize the need for the principle of relativity. Data were collected through audio recordings of student discussions and drawings from a group of four students studying “fysikk 1” at “videregående skole”. The analysis involved interpreting the data through the lens of the developed conjecture map as well as other relevant theories. The results indicate that two out of three students were assessed to have recognized the need for the principle of relativity, while it was identified that the remaining student had a positive learning curve concerning their basic understanding of motion. The implications of the study for inquiry teaching in special relativity theory and physics education in general are also discussed.

Forord

Det er med stor glede at jeg endelig presenter masteroppgaven min. Den markerer slutten på et 5-årig studieløp med mange oppturer og nedturer. Skriveprosessen har vært en utfordrende, men også berikende opplevelse, og jeg er stolt over å kunne dele resultatene med dere.

Jeg vil gjerne takke min veileder Floor for veiledningen, støtten og ekspertisen som har vært avgjørende for utviklingen av denne oppgaven. Uten hennes innsikt i forskningsfeltet, og hennes tips til akademisk skriving ville arbeidet være mye tyngre og sluttproduktet være på et mye lavere nivå. Videre vil jeg også uttrykke min takknemlighet overfor deltakerne i studiet, det ville ikke bli noen oppgaver uten frivillige elever som er med på å pushe forskningen framover. Det må også rettes en stor takk til læreren som hjalp meg å sette opp forskningsprosjektet, som lot meg låne elevene dens, og som deltok på prosjektoppgaven min i høst. Din innsikt i fysikkundervisning har vært svært nyttig for meg.

En spesiell takk rettes også til venner og familie. Takk til familien som var samlet under en tøff periode som preget starten på oppgaven. Takk til kompiser som har dratt meg ut på livet om man sitter for mye på sal og mister motet. Spesiell takk til Mamma som har hjulpet med korrekturlesning. Takk, Elias, Martin, Jørgen, Bendik og resten av vennene jeg har fått meg på LUR. De har vært støttende når motivasjonen var lav og morsomme og livlige når motivasjonen var på topp og har alle sammen vært med på å skape en fantastisk studietid. Spesielt vil det rettes en takk til Svein som har kokt meg kaffe hver dag, og som til tross for utsatt frist satt til langt på kvelden for å holde meg med selskap min siste dag på sal.

Jeg håper at denne masteroppgaven kan bidra til å inkludere utforskende undervisning i fysikk-klasserom, og at den kan være til nytte for andre forskere og lærere. Spesiell relativitetsteori var det som inspirerte meg til å studere fysikk på et høyere nivå, og jeg håper at funnene i oppgaven kan være med på å inspirere andre elever til å gjøre det samme.

Til slutt, takk til Trondheim, NTNU, nye venner, gamle venner, forelesere, kollegaer, elever, bussjåfører, måker, kråker, hunder og katter, og alle de som har vært med på å forme studielivet mitt. Det har vært en utrolig lærerik reise som har vært med på å forme meg som menneske. Det har vært lettis! Jeg håper du som leser vil oppleve oppgaven som interessant og informativ. Takk for at du tar deg tid til å lese forordet, og jeg ønsker deg god lesning av masteroppgaven!

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	1
Abstract	2
Forord	3
Innledning	9
<i>Bakgrunn</i>	9
<i>Problemstilling og forskningsspørsmål</i>	13
<i>Kort om metode</i>	14
Teori	15
<i>Overordnet teori</i>	15
Den spesielle relativitetsteorien (SR).....	15
Referansesystem, treghetssystem og relativitetsprinsippet (RP).....	16
Intelligent observatør.....	18
<i>Læringsteori</i>	18
Konstruktivistisk læringsteori	18
Sosiokulturell læringsteori	19
Utforskende undervisning og inquiry based learning.....	20
Tankeeksperimenter	20
Hvordan få elever til å gjennomgå conceptual change i SR.....	22
Tegning i SR.....	23
Hvorfor og hvordan bruke utforskende undervisning i SR?	23
<i>Substansielle teorier og annen empirisk forskning på temaet</i>	24
Misoppfatninger og lærevansker	24
Spontan kinematikk.....	24
Absolutte størrelser.....	25
Spontane ideer om lyshastigheten	26
Elevers forståelse og bruk av RP, de tre betydningene av RP	26
Relativistiske effekter som en optisk illusjon.....	27
Relativistisk støy	28
Elevers misoppfatninger av referansesystem	28

<i>Forventninger av funn ut fra annen forskning</i>	29
Elementer knyttet til bevegelse som forstyrrer elevens forståelse av relativitetsprinsippet:	29
Andre elementer som forstyrrer elevens forståelse av relativitetsprinsippet:	29
<i>Hva ligger til grunne for konseptuell forståelse av RP?</i>	30
De syv læringsmålene	31
Metode og empiri	34
<i>Conjecture mapping</i>	35
<i>Dobbeltrollen lærer/forsker</i>	36
<i>Tegning som analyseverktøy</i>	37
<i>Datainnsamlingsmetode</i>	37
<i>Enheter som er studert</i>	37
<i>Etiske betraktninger</i>	38
Undervisningsopplegget	39
<i>Overordnet om opplegget</i>	39
<i>Galileos romekspedisjon</i>	39
Generelle conjectures	40
Oppgave 1: Et relativt møte (5 min)	43
Oppgave 2: Kollisjonen (5 min)	45
Oppgave 3: Dyttet – (5 min)	48
Oppgave 4: Romskipet kommer - 7 min	48
Oppgave 5: Gummikuler - 8 min	51
Oppgave 6: Formulering av RP - 15 min	54
Analyse av data og resultater	56
<i>Deskriptiv analyse</i>	57
Oppgave 1: Et relativt møte	57
Oppgave 2: Kollisjonen	61
Oppgave 3: Dyttet	64
Oppgave 4: Romskipet kommer	66
Oppgave 5: Gummikuler	69
Oppgave 6: Formulering av RP	74
<i>Teoretisk analyse</i>	82

Elev 3 og Conceptual change	82
Elev 2 og en spredt argumentasjon.....	86
Elev 1 et søk om årsak og en drivkraft i gruppedynamikken	88
Drøfting av forskningsspørsmål	91
<i>Hvilke elementer inngår i forståelse av relativitetsprinsippet?</i>	91
<i>Hvilke misoppfatningers dukker opp under innlæringen av spesiell relativitetsteori hos elever?</i>	94
<i>Hvordan ser læringsprosessen til elever ut i et utforskende undervisningsopplegg om RP med fokus på elevenes forståelse for bevegelse?</i>	95
Diskusjon	99
Begrensninger knyttet til elevenes forståelse for postulatene	99
Et foretrukket referansesystemet knyttet til oppgavens formulering	100
Utforskende undervisnings rolle i fysikkundervisning	101
Den tredje betydningen av RP og elevers forståelse gjennom krefter	101
Hvordan relativistisk støy påvirker undervisningen.....	102
<i>Utvikling av undervisningsopplegget videre</i>	<i>103</i>
Rollen som lærer/forsker	103
Gruppekompisjjon/ Skalering til fullt klasserom	103
Tegning som hjelpeverktøy til diskusjonsoppgaver	104
Betragtninger rundt de konkrete oppgavene	105
Hva fungerte bra - Implikasjoner til utforskende undervisning i fysikk	106
<i>Metodologisk drøfting</i>	<i>107</i>
Studiens begrensninger.....	107
Rollen Lærer/forsker	108
Valg av fysikk 1	108
Utelatelse av elev 4 fra analysen	109
Avslutning og konklusjon	111
<i>Hvilke nye spørsmål er blitt reist og forslag til ny forskning.....</i>	<i>111</i>
<i>«Hvordan kan et utforskende undervisningsopplegg som fokuserer på elevers forståelse av bevegelse hjelpe elevene med å konstruere en betydning for, samt skape en anledning for behovet for relativitetsprinsippet i spesiell relativitetsteori?»</i>	<i>112</i>
Kildeliste	115

Innledning

Bakgrunn

I 1. september 2017 ble det fastsatt en ny overordnet del av læreplanen med hjemmel i opplæringsloven § 1-5 (Kunnskapsdepartementet 2017: 7). Den overordnede delen av læreplanen omfatter hele grunnopplæringen i Norge, og utdyper verdigrunnlaget til opplæringens formålsparagraf, samt grunnopplæringens overordnede prinsipper. Den overordnede delen gir retning for fagenes opplæring, og gir grunnsynet til pedagogisk praksis i grunnopplæringen. En av disse verdiene læreplanen bygger på er utforskende undervisning (1.4) (Kunnskapsdepartementet, 2017). Spesiell relativitetsteori lar elevene møte dette på en unik måte i den videregående skolen (heretter vgs.), gjennom diskusjoner rundt teoriens kjerne i form av tankeeksperimenter.

Den spesielle relativitetsteorien bygger på to postulater. Det første lyder som at «fysikkens lover har samme form i alle treghetssystemer» (Angell et al., 2019, s.347). Dette er kjent som relativitetsprinsippet, og er en utvidelse av den mekaniske formuleringen av prinsippet som er kjent som det Galileiske relativitetsprinsippet (Galilei, 1632/ 1967). Det Einstein (1905) gjorde, var at han utvidet ideen til å inkludere alle fysikkens lover, altså optiske og elektromagnetiske lover ble inkludert. Det andre postulatet kalles for lyspostulatet og det sier at lysfarten i vakuum er konstant lik c og er uavhengig av lyskildens bevegelse (Angell et al., 2019, s.347). Dette er to påstander som i klassisk fysikk kan virke paradoksale og selvmotsigende, men som ender opp med å ha fundamentale konsekvenser for hvordan vi tolker universet rundt oss. Tid og lengder kan ikke bli sett på som absolutte størrelser, men er relative størrelser definert ut fra referansesystem. Hendelser består som absolutte, men hendelsers samtidighet, må også defineres relativt observatøren. Tid og rom blir da sammenhengende i et firedimensjonalt tidrom som avskriver ideen om et privilegert absolutt referansesystem som beskriver verden på «riktig» måte (Einstein, 1905; Goldstein, 2002, s.277-279).

Læringspotensialet som er knyttet til teorien kan sies å være stort, da den inviterer elever til en dyp refleksjon over nøkkelbegreper innenfor fysikken, samt den gir grunnlaget for å kunne oppnå en helt ny virkelighetsforståelse (Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002, Alstein et. al., 2021). Slik knytter spesiell relativitetsteori en bro mellom vitenskap og filosofi som få andre tema får til å gjøre på denne måten. Teorien inneholder også mange interessante paradokser

som elever kan få møte gjennom tankeeksperiment, noe som gir elevene rom for å utforske og diskutere i felleskap ved hjelp av logiske resonneringer og metaforer, og uten et behov for å bruke matematiske formler (Velentzas & Halkia, 2013). Slik får elevene muligheten til å utvikle forståelse for, samt diskutere betydningen for sentrale begreper som påvirker alle grenene i fysikken. Spesiell relativitet er også en teori som revolusjonerte fysikken og erstattet den klassiske fysikken med et relativistisk verdenssyn. Dette er altså en unik mulighet til å la elever se hvordan nye teorier kan vokse fram og endre på vår forståelse av verden totalt. Dette kan ha verdier opp mot å trekke linjer mellom teori og forskning, samt er en god mulighet til å se utviklingen av vitenskap i et historisk perspektiv (Dimitriadi og Halkia, 2012; Angell et al., 2019, s.347-356).

Det gamle læreplanmålet for fysikk 2 lød slik: «Elevene skal kunne gjøre rede for postulatene som er grunnlag for den spesielle relativitetsteorien, drøfte kvalitativt noen av konsekvensene av denne teorien for tid, bevegelsesmengde og energi, og gi en kvalitativ beskrivelse av den generelle relativitetsteorien» (LK-06) (Utdanningsdirektoratet, 2006). Ser man på verbene i lys av verbbeskrivelsen knyttet til LK20 ser man at «gjøre rede for» knyttes opp mot postulatene, mens «kvalitativ beskrivelse» knyttes opp mot konsekvensene av teorien. «Gjøre rede for» går under kategorien, «gjennomføre», og defineres som noe som skal utføres, fullføres eller noe man skal kunne gi en faglig begrunnet forklaring for. Dette er et verb som har mindre vekt bak seg enn «å drøfte» som sier at elevene skal trekke fram forskjellige argumenter, diskutere og komme fram til en konklusjon. Slik kan det tolkes som at læreplanen legger vekt på at elevene skal lære seg å regne med Lorentz-transformasjoner og diskutere konsekvensene av teorien. Dette stemmer overens med hvordan undervisningen var under egen opplæring, og oppfatningen kan støttes opp av prosjektoppgaven, hvor en erfaringsrik fysikklærer gav inntrykk av at postulatene ble dominert av formelverket (Jodaa, 2022).

Dette endret seg i LK-20 da læreplanmålet ble endret til at elevene skulle kunne: «Beskrive de sentrale prinsippene i den spesielle og generelle relativitetsteorien og gjøre rede for hvordan disse har endret vår forståelse av tid, rom og felt». (Lk-20) (Utdanningsdirektoratet, 2018) Hvis man ser på verbbruken i lys av hvordan utdanningsdirektoratet har definert bruken deres, kan man tolke det som at elevene blir bedt om å kunne skildre eller gjengi postulatene, men det kan også tolkes som at «elevene skal være i stand til å bruke relevante fagbegreper for å systematisere kunnskap om emnet» (Utdanningsdirektoratet, 2020). Derfor gir det rom for å argumentere for å legge vekt på at elevene skal danne en forståelse av postulatene som ligger til grunn for teorien samt de komponentene som bygger dem opp, da dette er en nøkkel for at

elevene skal kunne systematisere deres kunnskap om emnet som helhet. Det at elevene skal gjøre rede for konsekvensene dette har for tid og rom, viser også at det ses på som viktig at elevene skal klare å trekke en linje mellom postulatene og konsekvensene av teorien.

Prinsippene som teorien bygger på og konsekvensene av teorien blir ikke lenger delt opp, men koblingen mellom dem kan tolkes som verdifull igjennom læreplanmålet. Dette har åpnet en dør for en undervisning av spesiell relativitetsteori i norsk skole, slik at lærere kan velge å bruke tiden på å la elevene forstå Einsteins postulater, og derav vil ha et sterkere grunnlag for å tolke implikasjonene av teorien når man undersøker dem i etterkant. Dette er noe som kan gi store utslag for hvordan elever oppfatter konsekvensene av teorien, da tidligere studier indikerer at ulike misoppfatninger er utbredt blant alt fra elever som introduseres til teorien for første gang opp til fullt opplærte masterstudenter (Saltiel & Malgrange, 1980; Villani & Pacca, 1987; Panse et. al., 1994; Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Scherr, et.al., 2001; Bandyopadhyay, 2009; Dimitriadi og Halkia, 2012; Otero et. al., 2015; Kamphorst et. al., 2019; Alstein, et. al 2021).

Forskning gjort av Saltiel & Malgrange (1980) viser til at studenter har en mangelfull og spontan resonnering når det kommer til oppgaver som handler om bevegelse. Kort oppsummert vil det si at legemer har en naturlig «ro», og at all bevegelse er knyttet til en utløsende kraft som sender legemene ut av deres naturlige tilstand. Villani og Pacca (1987) fant også ut at studenter har en tendens til å resonnerer med ulike spontane ideer da det kommer til postulatet om lyshastigheten. Videre fant Panse et.al. (1994) ut at elever ofte så på referansesystemer som en ramme knyttet til et legeme som bare beskrev en begrenset bit av rom. Denne misoppfatningen kan da gi rom for at relativistiske effekter kan co-eksistere med et absolutt referansesystem, som en form for observasjonsfenomener, noe som er et fenomen man kan se eksempler i studiene av Scherr et. al. (2001) og Otero et.al. (2015).

I forskning på relativitetsprinsippet kom Bandyopadhyay (2009) fram til at studenter på flere nivåer ikke klarte å skille mellom tre ulike betydninger av relativitetsprinsippet. Det eksisterer ikke et referansesystem i absolutt ro, det er umulig å bestemme farten til et referansesystem ut fra målinger gjort på systemet selv, og det er ikke noen hastighetskomponenter knyttet til referansesystemet i de pseudokreftene som virker på et akselerert referansesystem. Mangelen på forståelse på prinsippet, resulterte blant annet i at studentene unngikk å benytte seg av det i oppgaveløsning (Pietrocola & Zylbersztajn,1999; Bandyopadhyay, 2009). Kombinert med intervjuet jeg hadde med en fysikklærer i prosjektoppgaven min (Jodaa, 2022), funnene til Dimitriadi og Halkia (2012) Otero, et. al. (2015) og funnene til Pietrocola og Zylbersztajn

(1999) har dette ledet meg til en hypotese om at den manglende forståelsen er koblet til at begrepet er for vidt og abstrakt for at elevene i vgs. skal ha mulighet til å konstruere en betydning for prinsippet, samt å finne områder å anvende det på. Mange tunge begreper, kombinert med en mangel på en tydelig bruksverdi, gjør at det kan være en utfordring for dem å trekke ut en konkret og håndfast mening for relativitetsprinsippet. Jeg tror derfor det å utforske de komponentene som inngår i relativitetsprinsippet, og la elevene selv få danne seg en betydning av dette, kan gi positive resultater.

I lys av konsekvensene som kommer med den spesielle relativitetsteorien, er det gjort en del forskning på hvordan man skal endre elevens oppfatning knyttet til konsepter man har mange forkunnskaper og ideer om. I lys av konstruktivistisk læringssyn viser Hewson (1982) til hvordan en fysikklærer gjennomgikk en kognitiv konflikt hvor deres eksisterende tanker og ideer ble utfordret, og hvordan det å sette opp denne kognitive konflikten er viktig for å endre individets metafysiske oppfatninger. Analysen er gjort på et høyere nivå, og analogisk tror jeg at det kan være en god idé å utfordre elever til å oppnå kognitive konflikter i lys av en sosiokulturell tilnærming. Altså at elevene danner seg felles oppfatninger og ideer i grupper. Slik kan elever som trolig har færre reflekterte oppfatninger, danne seg en eksplisitt idé seg imellom, som en lærer kan ta del i å utforme, noe som blir støttet av ulik forskning på temaet (Scherr, et. al., 2002; Scherr, 2007; Velentzas og Halkia, 2013; Otero et.al., 2019).

Det å gruppevis utforske RP kan også motiveres med hvordan Scherr et. al (2002) undersøkte hvordan studenter fikk til å endre på synet sitt om samtidighet. Der kom de fram til at disse kognitive konfliktene var viktige for elevene, men at de var vanskeligere å illustrere for elevene som hadde en manglende forståelse for grunnleggende konsepter. Studenter har gjerne ureflekterte og vage oppfatninger om de sentrale grunnleggende kunnskapene som bygger opp teorien. Derfor sier de at disse kognitive konfliktene er noe som elevene må få møte på og arbeide seg igjennom selv. Denne konflikten er noe jeg tror elevene vil tjene på å møte i felleskap, slik at man som lærer kan observere og lede elevene gjennom disse. Dette vil jeg i undervisningsopplegget forsøke å la elevene møte gjennom tankeeksperimenter samt bruk av illustrerende metaforer (Scherr et. al., 2002; Velentzas og Halkia, 2013).

Dimitriadi & Halkia (2012) designet et undervisningsopplegg for elever på 15-16 år i upper secondary school i Hellas. Opplegget ble evaluert i lys av tester og intervju av elevene, og det kom fram at ideer om et absolutte referansesystem eksisterte, legemer var knyttet til absolutte størrelser og at hendelser er uavhengig av hva man observerer, altså at man kun observerer

optiske illusjoner. De nevnte også at resultatene av undervisningen deres impliserer at man må fokusere mer på relativitetsprinsippet for å avdekke og forsøke å møte problemene elevene kan ha med prinsippet. Relevansen dette hadde i norske klasserom, ble tydeliggjort under et forprosjekt i høst da en erfaringsrik fysikklærer kom med kommentarer som: «Det med at de må ha samme form i alle referansesystem (...) Det blir vanskelig å gjøre til elevenes eiendom» og «Boka er litt tung på referansesystem og treghetssystem, og overlater det veldig til leseren å henge med på resonnement i teksten, så der må det gjøres noe, for du må ha det litt i blodet, for hvis ikke blir det en grøt» (Jodaa, 2022). Dette er faktorer som leder meg til å tro at det kan ligge en verdi i å la elever utforske komponentene som bygger opp det første postulatet i relativitetsteorien, slik at elevene selv klarer å konstruere en betydning for relativitetsprinsippet, samt at det hjelper dem å se et behov for det og dets bruksområder.

Problemstilling og forskningsspørsmål

Kombinerer man verdiene i læreplanen (Kunnskapsdepartementet, 2017), med en undervisningstradisjon for å møte spesiell relativitetsteori gjennom tankeeksperimenter (Einstein, 1905; Velentzas & Halkia, 2013; Gim, 2016), og anbefalingene som kommer i lys av annen forskning (Scherr et. al., 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Velentzas & Halkia, 2013; Alstein et. al., 2021). Kan man se at alt peker på at elever gruppevis bør utforske tankeeksperimenter for å danne en forståelse for innholdet i den spesielle relativitetsteorien. Inngangen til den spesielle relativitetsteorien skjer gjennom postulatene, og flere studier peker på relativitetsprinsippet som det mest problematiske for elever å konstruere en betydning for (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Bandyopadhyay, 2009; Dimitriadi & Halkia, 2012; Jodaa, 2022). Denne problematikken kommer ofte fra en rekke grunnleggende misoppfatninger knyttet mot blant annet bevegelse og referansesystemer (Saltiel & Malgrange, 1980; Panse et. al., 1994; Dimitriadi & Halkia, 2012), og utvikler seg ofte til større misoppfatninger som viser seg i hvordan elevene tolker teorien (Scherr et. al. 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et. al., 2015, Alstein et. al., 2021). Dette har da ledet til at oppgaven vil undersøke problemstillingen:

«Hvordan kan et utforskende undervisningsopplegg som fokuserer på elevers forståelse av bevegelse hjelpe elevene med å konstruere en betydning for, samt skape en anledning for behovet for relativitetsprinsippet i spesiell relativitetsteori?»

For å få en mer oversiktlig tilnærming til problemstillingen ble den delt opp i mindre forskningsspørsmål:

Hvilke elementer inngår i forståelse av relativitetsprinsippet?

Hvilke misoppfatninger dukker opp under innlæringen av spesiell relativitetsteori hos elever på vgs.?

Forskningsspørsmål ble brukt til å utvikle et utforskende undervisningsopplegg som ble gjennomført med en gruppe elever i en videregående skole. I etterkant er det analysert hvilken effekt opplegget hadde i lys av forventinger dannet av å arbeide med forskningsspørsmålene for å svare på et siste forskningsspørsmål:

Hvordan ser læringsprosessen til elevene ut i et slikt undervisningsopplegg?

Kort om metode

Studien er et kvalitativt forskningsprosjekt, og ble utført på en gruppe på fire elever. Elevene har fysikk 1 i vgs. og melte seg alle som frivillige. Studien er et utviklingsarbeid rundt et undervisningsopplegg som har blitt utarbeidet fra et omfattende litteraturarbeid og som har blitt testet med elevene som ble nevnt over. Undervisningsøkten ble ledet av meg, i en kombinert lærer/forskerrolle. Data ble samlet inn ved å gjøre taleopptak av at elevene diskuterte ulike tankeeksperimenter sammen i en gruppe. Som støtte hadde elevene også et felles ark de kunne tegne på og diskutere rundt. Analysen av dataen ble gjort ved å sammenligne elevargumentasjonen opp mot et teoretisk rammeverk som skulle identifisere elevargumentasjon, samt bedømme hvorvidt elevene nådde ulike læringsmål. Utformingen av opplegget og analysen av prosessen ble gjort ved å følge modellen til conjecture mapping (Sandoval, 2014).

Teori

Overordnet teori

Den spesielle relativitetsteorien (SR)

Den spesielle relativitetsteorien (SR) ble introdusert for verden igjennom Albert Einstein i «On the electrodynamics of moving bodies» i 1905. Teorien introduseres ved å motivere for å utvide det Galileiske relativitetsprinsippet til å også gjelde for optiske og elektromagnetiske fenomener, noe som resulterte i en forening av to tidligere delte grener innenfor fysikken, nemlig elektromagnetismen og mekanikken. Denne utvidelsen av relativitetsprinsippet kalles Einsteins første postulat, og kan formuleres som at «the laws of physics are the same to all inertial observers» (Goldstein, 2002, s.277), noe som kan oversettes til at naturlovene er like i alle treghetssystem. En ekvivalent formulering er at det er umulig ved mekaniske, optiske eller elektromagnetiske metoder å bestemme et legemes hastighet i henhold til det tomme rom (Bandyopadhyay, 2009). Teorien bygger også på et annet postulat som kalles lyspostulatet. Dette postulatet sier at lyshastigheten, c , i vakuum er den samme uavhengig av bevegelsen til lyskilden (Einstein, 1905).

Konsekvensene av de to postulatene var revolusjonerende for hvordan mennesker forsto seg på universet. Tid og rom kunne ikke lenger ses på som uavhengige av hverandre, men de påvirket hverandre i et sammenhengende firedimensjonalt tidrom. Man kan beskrive dette tidrommet gjennom tre romkoordinater x , y og z og en tidsdimensjon t . I et slikt tidrom kalles et punkt for et «event» eller en hendelse. Man beskriver gjerne avstanden mellom hendelser i dette tidrommet gjennom Minkowski-metrikken (Goldstein, 2002, s. 278):

$$(ds)^2 = (cdt)^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2) \quad (1)$$

Her refererer $(ds)^2$ til en infinitesimal størrelse som beskriver avstanden mellom to hendelser i det firedimensjonale tidrommet som kalles Minkowski-rom. t , x , y og z er koordinatene til de to hendelsene, og c er lyshastigheten, merk at produktet av lyshastigheten og tiden gir oss en enhet i meter (Goldstein, 2002, s.278).

I dette tidrommet er hendelser absolutte, mens hendelsers samtidighet er relative til observatøren. Slik kan man se at konseptet samtidighet, samt fysiske størrelser som tid og lengde også blir relative. Disse kan analyseres på tvers av treghetssystemer igjennom Lorentz-

transformasjoner. Vi kan se på et eksempel av en Lorentz-transformasjon mellom referansesystemer s og s' , hvor s og s' beveger seg relativt hverandre med en hastighet v langs x -aksen. Dette resulterer i følgende forhold mellom koordinatene i de to referansesystemene.

$$ct' = \frac{ct - \frac{vx}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1)$$

$$y' = y \quad (4)$$

$$z' = z \quad (5)$$

Her kan man se at tidsintervallet av en hendelse er på sitt korteste i referansesystemer hvor hendelsene blir definert som stillestående, og vil oppfattes som lengre av en observatør som har en hastighet relativt hendelsen. Det samme gjelder lengder, da et legeme har sin lengste utstrekning i et referansesystem som beskriver det som, mens utstrekningen i bevegelsesretningen til et legeme som beveger seg relativt observatøren vil være kortere. Einstein generaliserte senere teorien til den generelle relativitetsteorien, knytter gravitasjon opp mot en geometrisk beskrivelse av tidrommet (Einstein, 1915/1952).

Elever i videregående, eller på et liknende nivå, møter gjerne en forenklet versjon av SR. Dette møter de gjennom tankeeksperimenter som forenkler og oversetter ulike konsepter i teorien (Gim, 2016). Minkowski-metrikken uteblir, men de matematiske uttrykkene for tidsdilasjon, lengdekontraksjoner og relativ samtidighet ofte tas opp (Alstein, et al., 2021). Matematikken tradisjonelt brukt i SR er langt over nivået på vgs. og SR presenteres ofte i lærebøker på en forenklet måte (Arriasecq & Greca, 2007). Elever oppnår dermed en mer deskriptiv forståelse, og elevenes tolkning av konseptene blir avgjørende for hvordan de tolker implikasjonene som følger med teorien.

Referansesystem, treghetssystem og relativitetsprinsippet (RP)

Referansesystem kan beskrives som et grunnlag for entydige resultater gjort ved målinger. I et referansesystem gis hendelser koordinater knyttet opp mot tid og rom som vil måles likt for alle observatører som defineres i ro i dette referansesystemet (Goldstein, 2002, s.278) (Alstein et al., 2021). I spesiell relativitetsteori analyserer man situasjoner gjennom en spesiell form for referansesystem som kalles for treghetssystem eller inertialsystem. Dette er et

referansesystem der Newtons 1. lov gjelder (Goldstein, 20 s.276). Det vil si at et legeme som beskrives i et treghetssystem vil forbli i ro eller bevege seg i konstant rettlinjert bevegelse med mindre det påvirkes av en kraft. Treghetssystemer er sentrale for forståelsen for relativitetsprinsippet, da noe av det relativitetsprinsippet i SR gjør er at det likestiller alle treghetssystemer (Einstein, 1905). RP i SR er en utvidelse av det Galileiske relativitetsprinsippet som sier at de mekaniske lovene er lik i alle treghetssystem.

Relativitetsprinsippet (RP) kan formuleres på ulike måter, men den jeg har møtt i norske lærebøker, og som presenteres i «fysikkdidaktikk» er formulert som «Fysikkens lover har samme form i alle treghetssystemer» (Angell et al., 2019, s.347), noe som er det Bandyopadhyay referer til som den første betydningen av relativitetsprinsippet. Den andre betydningen kan formuleres ved å si at det er umulig ved observasjoner eller målinger i henhold til referansesystemet selv å bestemme systemets absolutte hastighet (Bandyopadhyay, 2009). Dette er da en annen måte på å si at det ikke eksisterer et absolutt referansesystem hvor størrelser som hastighet er definert ut ifra. Den siste og tredje betydningen av relativitetsprinsippet kan leses ut fra de fiktive kreftene som oppstår i ulike referansesystemer fra Newtons andre lov:

$$m \vec{a} = \vec{F} - m \vec{\alpha} - 2m(\vec{\omega} \times \vec{u}) - m \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) \quad (2)$$

\vec{r} , \vec{u} og \vec{a} refererer henholdsvis til posisjon, fart og akselerasjon til et legeme beskrevet i referansesystemet. Komponentene $\vec{\alpha}$ og $\vec{\omega}$ er henholdsvis systemets akselerasjon og vinkelfart på systemet, egenskaper knyttet til referansesystemet selv. Merk at farten på referansesystemet altså ikke inngår som en komponent. Ser man på et treghetssystem vil også den absolutte akselerasjonen og vinkelfarten være null ($\vec{\alpha} = \vec{\omega} = 0$), noe som tilsier at alle treghetssystemer er likeverdige. Disse tre betydningene er ekvivalente, men de ulike formuleringene kan hjelpe å knytte RP opp mot ulike bruksområder.

Av disse tre betydningene har den andre betydningen vært hovedfokus i undervisningsopplegget, da dette er noe er vurdert som mulig for elevene å selv komme fram til som en konklusjon i et utforskende undervisningsopplegg. Det blir også vektlagt å knytte betydning én og to sammen, mens betydning tre er utelatt fra undervisningsopplegget da elevene ved vgs. i Norge ikke har tilstrekkelige forkunnskaper til å analysere betydning tre. Elevene skal få utforske relativitetsprinsippet og referansesystemer ved å ta rollen som en intelligent observatør.

Intelligent observatør

En intelligent observatør kan forklares som vår tilgang til informasjon i et referansesystem. Scherr et. al. (2001) beskriver en observatør som en som kan bestemme tid og posisjon for alle hendelser i et referansesystem. Begrepet utvides også ved at det sier at en intelligent observatør kan avgjøre hendelser som skjer i ulike posisjoner ved hjelp av synkroniserte klokker, slik tar den også hensyn til signalets reisetid. Alle observatører som ikke beveger seg relativt hverandre, altså som er i samme referansesystem, vil måle samme tider, posisjoner og hendelsesforløp.

Læringsteori

Konstruktivistisk læringsteori

Konstruktivistisk læringsteori omhandler modeller for den indre læringsprosessen som foregår hos elever (Säljö, 2000/2010, s. 66). Piagets beskrivelse av denne prosessen uttrykkes gjennom begrepene «schema» (skjema), «Disequilibrium» (kognitiv ubalanse) «assimilation» (assimilering) og «accomodasjon» (akkomodasjon). Skjema kan ses på som individets indre strukturering av forståelse. Dette skjemaet fylles opp ved assimilering. Dette vil si at individet bygger opp erfaringer og trekker sammenhenger gjennom interaksjoner med omverden. Møter elever på informasjon som ikke kan assimileres, gjør dette at elevene går inn i en fase av kognitiv ubalanse. Dette kan føre til at individet må forkaste foregående ideer ved den siste prosessen som kalles akkomodering.

Posner et al. (1982) undersøkte hvordan studenter av SR undergikk en «Conceptual change» i lys av deres introduksjon til nye ideer. Undersøkelsen blir lagt fram i lys av de tre stegene som inngår i et konstruktivistiske læringssyn, og de kommer fram til at individer ofte behøver flere grunner til å gjennomgå akkomodasjon. Av disse presenteres fire hovedgrunner. Disse har er her valgt å omformulere til å tilhøre en elev, og ikke inkludere forskningsmiljø for å rette det inn mot hvordan elever lærer.

Det må oppstå en misnøye med eksisterende oppfatninger. Altså vil ikke en elev endre på sine oppfatninger så lenge eleven ikke vet at dens nåværende oppfatninger ikke er tilstrekkelig. Det nevnes at elevene også bør møte flere slike situasjoner.

Det nye konseptet må være forståelig for elevene. Elevene må ha muligheten til å oppleve hvordan de nye konseptene påvirker oppfatningen deres. Her nevnes det at det kan være lurt å møte elevene med metaforer og analogier for å hjelpe dem å tilegne mening til de nye konsepter.

Det nye konseptet må i utgangspunktet virke mulig for elevene. Dermed nevnes den nye oppfatningen må hjelpe dem å løse de problemene de til nå har møtt på grunn av den gamle oppfatningen. Klarer ikke elevene å se hvordan det nye konseptet hjelper dem, vil det være vanskeligere å akseptere. Hvordan det stemmer overens med tidligere kunnskap er også en faktor i hvilken grad man vil vurdere teorien.

Det nye konseptet skal også legge opp til ny forskning. Det vil si at det nye konseptet skal gi elevene mulighet til å utforske nye temaer, tanker og ideer.

Sosiokulturell læringsteori

Sosiokulturell læringsteori er en teori som kobles opp mot psykologien utviklet av Vygotsky, og er modell på hvordan mennesker som individer utvikler seg gjennom samspill med andre mennesker og kulturen de er en del av (Säljö, 2000/2010, s. 37). Hvordan eleven formulerer seg, og uttrykker seg via «språklige uttrykk, termer og ord» (Säljö, 2000/2010, s. 85) ses på som et sentralt redskap i denne teorien, og kan ses på som en form for konstruktivistisk læringsteori, men understreker da viktigheten av samhandlingen mellom indre og ytre prosesser. Læringen må skje gjennom en form for kommunikasjon slik at elevene skal få formulert tankene sine og uttrykke dem gjennom språk. Denne teorien legger opp til at elevene skal holde seg innenfor det som kalles «den proksimale utviklingssonen» (Wozniak, 1980). Dette er et konsept som bygger på at elevene må være i en balanse mellom utfordring og mestring som gjør at de får utviklet og utvidet kunnskapene sine, samtidig som oppgavene ikke blir så vanskelige at de bare står og stanger. For at elever skal holde seg i denne sonen er medelever og lærere viktige støttespillere ved at de utfordrer og støtter eleven i deres læringsprosess.

Lærerens rolle i slik undervisning kan forklares gjennom å knytte den opp mot begrepet «Scaffolding» eller på norsk «stilasbygging». (Hmelo-Silver et.al., 2007; Bjønnes & Kolstø, 2015). Dette kan beskrives som tiltakene læreren gjør for å forenkle den kognitive prosessen elevene må gjennom i problemløsning. Her skiller man mellom «rammer» og «støttestrukturer». Rammer kan beskrives som en overordnet struktur eller begrensning som

er ment å gi retning og fokus for elevenes utforskning, mens støttestrukturer, derimot, er mer spesifikke verktøy eller ressurser som læreren gir elevene for å støtte deres utforskning.

Utforskende undervisning og inquiry based learning

Utforskende undervisning er et begrep er inkludert i læreplanen LK20 (Kunnskapsdepartementet 2017), men det kan være en prosess som er vanskelig å direkte definere på norsk da det kan kobles opp mot en rekke internasjonale begreper. I verbbeskrivelsen til læreplanverket defineres å utforske som «Å utforske handler om å oppleve og eksperimentere og kan ivareta nysgjerrighet og undring. Å utforske kan bety å sanse, søke, oppdage, observere og granske. I noen tilfeller betyr det å undersøke ulike sider av en sak gjennom åpen og kritisk drøfting. Å utforske kan også bety å teste eller prøve ut og evaluere arbeidsmetoder, produkter eller utstyr.» (Utdanningsdirektoratet, 2020)

Dette kan sammenlignes med begrepet «Inquiry» som kan oversettes som å søke etter informasjon ved å stille et spørsmål. Man skiller mellom «Scientific inquiry», «Inquiry learning» og «inquiry teaching» som referer henholdsvis til naturviteres prosess, en læringsprosess elever kan gå igjennom, og pedagogikken lærere bruker i en slik prosess. (Anderson, 2002). Man kan trekke tråder mellom «Scientific inquiry» og «Inquiry learning» ved at de baserer seg på å stille spørsmål, gjøre observasjoner, utføre eksperimenter og trekke konklusjoner. Slik får elevene en dypere forståelse av emnet og det stimulerer til kreativitet og nysgjerrighet. Inquiry teaching kan knyttes opp mot «stilasbygging» beskrevet tidligere, og er måten læreren guider elevene gjennom læringsprosessen i «inquiry learning», og er viktig for at elevene skal ha utbytte av det (Hmelo-Silver et.al., 2007). Forskning nevner også hvordan det er viktig i en utforskende undervisningsprosess å finne en balanse mellom struktur og frihet, slik at elevene får undersøkt de elementene de er nysgjerrige på, samtidig som de ikke skal spore av (Bjønnes & Kolstø, 2015).

Tankeeksperimenter

Tankeeksperimenter er en sentral del av SR, og var måten Einstein (1905) introduserte teorien på. Velentzas og Halkia (2013) nevner at tankeeksperimenter fremdeles er et verktøy som brukes når man skal lære SR, og de finnes ofte i skolebøker som illustrerende eksempel (Gim, 2016). I artikkelen gis en rekke ulike definisjoner på hva et tankeeksperiment er, blant annet sier Brown at et tankeeksperiment ikke behøver en presis definisjon, men beskriver det som et oppsett et individ forestiller seg, som individet deretter undersøker resultatene av. (Velentzas

& Halkia, 2013) Definisjonen til Galli presenteres derimot som et sett med hypotetiske, deduktive konsiderasjoner om et bestemt fenomen som utøveren av tankeeksperimentet skal resonnerer rundt gjennom et bestemt teorigrunnlag eller verdenssyn.

Dette teorigrunnlaget elevene skal resonnerer ved, må altså være på plass for at riktige konklusjoner skal komme ut av tankeeksperimentet, noe som viser til hvorfor det er vektlagt å sette søkelys på de grunnleggende kunnskapene til elevene i tankeeksperimentet (Scherr et.al, 2002). Det trekkes også fram hvordan tankeeksperimentet er designet for å utforske spørsmål gjennom diskusjon, refleksjon og logiske slutninger (Dimitriadi & Halkia, 2012), noe som kan kobles opp mot utforskende undervisning (Anderson, 2002). Derfor ser man på det som nærliggende å møte undervisningen av RP ved hjelp av tankeeksperimentet.

Når det kommer til hvordan elevene drar nytte av tankeeksperimentene, kom Velentzas & Halkia (2013) fram til at deres narrative form og minimale matematiske formalisme var en nøkkel til å motivere elever til å følge de logiske konseptene i teoriens kjerne og gi dem en grunnleggende forståelse for SR. For å hjelpe i framtidig undervisning ved tankeeksperimentet, kom de med forslag til elementer som bør være med i undervisning som innebærer tankeeksperimentet. Blant disse finner man at elevene må klare å se for seg situasjonene. Dette er viktig da elevene utfordres i både fantasi og forståelse, og de må både forestille seg situasjonene samtidig som de skal resonnerer innenfor dem. Derfor blir det også viktig at valg er presist begrunnet og forklart, slik at oppsettet gir mening for elevene, noe som også kan kobles opp mot modellen til Posner et. al. (1982). Ikke minst slik at de har mulighet for å komme til riktige konklusjoner ved å følge riktige logiske resonnerer. Det nevnes også som viktig for elevens utvikling at de fikk være med på gruppediskusjoner og interaksjoner hvor de fikk utveksle sine egne tanker og ideer, slik at utviklingen skjedde i et felleskap mellom elevene. Slik kan man trekke linjer til elementer av sosiokulturell læringsteori og hvordan elevene da uttrykker og konstruerer kunnskapene sine i dialog med medelevene. De kan da, etter å ha formulert dem, utvikle ideene i fellesskap, for deretter å trekke ut meninger av dette (Säljö, 2000/2010, s.60 - 69). Disse forutsetningene er derfor tatt hensyn til når tankeeksperimentet ble utviklet.

Hvordan få elever til å gjennomgå conceptual change i SR

P.W. Hewson gjennomførte en studie på hvordan en fysikklærer gjennomgikk «Conceptual change» (1982). Denne studien undersøkte hvordan tidligere kunnskaper påvirket prosessen. Studien indikerte at metafysiske oppfatninger hos individer, som individet selv ikke behøver å være klar over, kan fungere som en hindring for individets evne til å gjennomgå en conceptual change. I studien påstås det at for å oppnå ønsket effekt må individet selv innse egne oppfatninger, før derav å se konsekvensene av denne oppfatningen, før det vil danne seg en ny oppfatning. Man kan derfor argumentere for at lærere må hjelpe elevene å formulere sine egne oppfatninger, før de forsøker å endre på dem (Posner et. al., 1982; Hewson, 1982; Scherr, 2007).

Dette kan være med på å forklare hvorfor Scherr et. al. (2002) nevner det er viktig å arbeide med de grunnleggende komponentene i SR for å få elevene til å endre virkelighetssyn. Sammen med at annen forskning som peker på at elever forestiller seg referansesystemer som tillater at absolutte størrelser og relativistiske fenomener eksisterer samtidig (Panse et.al., 1994, Dimitriadi & Halkia, 2012). Dette kan føre til at elevenes kunnskaper ikke har strukket til i den ubalanserte fasen, noe som resulterer i at kunnskapen bare legges til deres eksisterende modell, når det egentlig bør ha oppstått en kognitiv konflikt hos elevene hvor ny forståelse måtte blitt formulert (Posner et. al., 1982, Hewson, 1982, Säljö, 2000/2010, s.66). Denne kognitive konflikten må gjøres eksplisitt for elevene, og den må sitte ved dem for at de skal oppnå akkomodasjon. Måten Scherr et. al. (2002). løser dette på, er at de designer opplegg som illustrerer konsekvenser ved misoppfatninger av teorien gjennom metaforer. Valget av metaforer kan også kobles opp mot et sosiokulturelt læringsperspektiv gjennom hvordan Säljö (2010, s.23-25) nevner at språklige bilder og metaforer styrer oppfatningen på læring. Resultatene til Scherr et. al. (2002) pekte på at da disse konsekvensene ble gjort eksplisitt for elevene, bidro dette positivt til at flere av elevene fikk til å endre syn, sammenlignet mot et undervisningsopplegg hvor de ikke inkluderte dette. Artikkelen anbefaler også at elevene får diskutert og utfordret oppfatningene sine i grupper, slik at man ser eventuelle problemer med egen argumentasjon, og den sier at elever ikke kan oppnå denne samme meningsfulle læringen ved instruksjon. Dette er noe flere andre undersøkelser også har pekt på (Velentzas & Halkia, 2013; Otero et.al., 2019).

Tegning i SR

Kamphorst et. al. (2019) presenterer hvordan «event diagrams», eller systematiske tegninger kan hjelpe elevene å forestille seg ideene sine i tankeeksperimenter. Resultatene indikerte at dette var et støttende hjelpemiddel for elevene da det kom til å bytte mellom referansesystemer, og da det kom til å formulere egen tankegang. Dette gir også innsikt i elevenes tankegang.

Hvorfor og hvordan bruke utforskende undervisning i SR?

Her vil det følge en oppsummering av punkter som er med å begrunne hvorfor man bør involvere utforskende undervisning i SR. Deretter følger elementer som er identifisert som viktige å inkludere i et slikt undervisningsopplegg. Disse punktene er brukt til å utforme og begrunne valgene tatt i undervisningsopplegget som presenteres senere i oppgaven.

- Elever har ikke tilstrekkelige matematiske kunnskaper til å kunne se implikasjonene av teorien uten at man formulerer dem via tankeeksperimenter. Disse tankeeksperimentene bør være noe elevene utforsker gruppevis da det er et behov for å trekke riktige konklusjoner basert på eksplisitte oppfatninger som kan bli påvirket av lærer (Scherr et. al., 2002; Velentzas & Halkia, 2013; Gim, 2016; Otero et.al., 2019).
- Elever har ikke sterke nok forhold til egne metafysiske oppfatninger til å se konsekvensene av dem i lys av ny teori og må derfor formulere dem før man kan se konsekvensene av dem (Posner, et. al., 1982; Hewson, 1982; Scherr, 2007).
- Utforskende undervisning er en læringsform som er med på å simulere den vitenskapelige prosessen, og tankeeksperimenter er viktig del av vitenskapen som elevene får møtt på få andre steder (Angell et. al., 2019, s. 347 – 356; Velentzas & Halkia, 2013; Gim, 2016).

Hva som bør inngå i undervisningsopplegget.

- Undervisningsopplegget bør utfordre til gruppevis elevdiskusjon slik at elevene kan spille på hverandre og dermed diskutere tankene og ideene de har rundt oppgavene (Scherr et. al., 2002; Velentzas & Halkia, 2013; Otero et.al., 2019).
- Tankeeksperimentet bør følge et narrativ (Velentzas & Halkia, 2013).
- Undervisningsopplegget bør ha et fokus på basisferdigheter (Scherr et. al., 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012).

- Undervisningsopplegget bør utfordre elevene til å møte kognitive konflikter som gjør konsekvensene av elevens oppfatninger eksplisitt for dem (Posner, et.al., 1982; Hewson, 1982; Scherr et.al., 2002)
- Undervisningsopplegget bør legge opp til at elevene får et mer bevisst forhold til egne metafysiske oppfatninger (Posner, et.al. 1982; Hewson, 1982; Scherr, 2007).
- Tegning bør inkluderes for å hjelpe elevene formulere egne tanker og ideer (Kamphorst et. al., 2019).

Substansielle teorier og annen empirisk forskning på temaet

Misoppfatninger og lærevansker

For å hjelpe elever å tolke deres egne oppfatninger, og derav støtte læringsprosessen deres best mulig, er det viktig å kjenne igjen og kategorisere misoppfatningene deres (Scherr, 2007, Alstein et. al., 2021). Gjennom forskning på elevoppfatninger i SR er det avdekket en rekke misoppfatninger som kan oppstå blant elever (Saltiel & Malgrange, 1980; Villani & Pacca, 1987; Panse et.al., 1994; Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Scherr et. al., 2001; Bandyopadhyay, 2009; Dimitriadi & Halkia, 2012; Kamphorst et. al., 2019). Dette kan deles opp i misoppfatninger knyttet til forståelsen av referansesystemer, forståelsen av postulatene og forståelsen av relativistiske effekter. Elevene kan ha misoppfatninger på alle disse områdene parallelt og de kan derav uttrykke seg på en rekke måter (Alstein et.al. 2021). Disse misoppfatningene er ofte knyttet sammen, og derfor vil det bli forsøket å reflektere rundt sammenhengen mellom de ulike misoppfatningene, forsøke å forstå hvordan de uttrykker seg, samt forsøke å danne best mulig grunnlag til å møte dem.

Spontan kinematikk

Saltiel & Malgrange (1980), utførte et forskningsprosjekt på en gruppe med 80 elleveåringer og 700 universitetsstudenter, hvor de undersøkte hvordan de spontant resonerte i oppgaver om elementær kinematikk. I artikkelen identifiseres noen av de uformelle og intuitive måtene elever tenker om bevegelse og kinematikk i fysikk. Av kjennetegn som man kan se etter nevnes blant annet at elever kan:

Se på hastighet som en størrelse som gradvis øker eller minker, i stedet for å forstå det som en konstant størrelse. Slik har objekter en naturlig «ro» de vil nå etter hvert.

Se på retning som en viktig faktor for bevegelse uten å forstå vektoren som representerer bevegelsens retning.

Forveksle akselerasjon med hastighet eller bevegelse generelt.

Tro at bevegelse avhenger av kraften som brukes på et objekt, i stedet for å forstå at kraften påvirker akselerasjonen.

Se på posisjon og bevegelse i forhold til faste referansepunkter, som kan være relative i forhold til forskjellige observatører.

Disse intuitive tenkemåtene er viktige å forstå når man underviser i fysikk, og det har blitt formulert ulike illustrerende metaforer for å hjelpe elevene å overkomme disse misoppfatningene, og for å hjelpe elevene med å utvikle et mer formelt fysisk konseptuelt rammeverk. Kjennetegnene presentert over vil bli brukt i analysedelen av oppgaven til å identifisere elevenes argumentasjon som spontan kinematikk.

Absolutte størrelser

En annen form for misoppfatninger som kan være knyttet mot elevers forståelse av bevegelse knyttet opp mot elevers oppfatninger av referansesystem. Med absolutte størrelser mener man at man tror på eksistensen av et underliggende referansesystem som inneholder alle «riktige» verdier til størrelser som fart, tid og lengder (Dimitriadi & Halkia, 2012). Denne ideen ble argumentert mot av Einstein (1905) da han introduserte SR. I et absolutt referansesystem vil en observatør kunne bestemme farten til sitt eget referansesystem ved å gjøre målinger knyttet mot dette absolutte referansesystemet, noe som er umulig ifølge RP (Bandyopadhyay, 2009). I et absolutt referansesystem er tid uavhengig av rom og bevegelse, og det er slik Newton tolket tid (Arriasecq & Greca, 2007). Dette skiller seg fra Einsteins tidrom, hvor alle fysiske størrelser defineres relativt til observatøren (Einstein, 1905). Absolutte referansesystemer har blitt funnet ut å være en vanlig misoppfatning hos fysikkelever, ikke bare når det gjelder tid, men det kan også innebære andre element som fart og posisjon (Panse et.al., 1994; Scherr et. al., 2001; Dimitriadi & Halkia, 2012). Absolutte referansesystemer og spontan kinematikk er ikke eksklusive, og elever kan ha argumentasjon som er preget av begge. Man kan kjenne igjen absolutte størrelser i elevers argumentasjon ved:

At man tilegner hastigheter til referansesystemer. Dette kan være ved at de foreslår at et referansesystem har en hastighet. Dette kan også være at de beskriver et legeme som

står stille i henhold til referansesystemet de analyserer situasjonen i som å være i bevegelse (Panse et.al., 1994; Bandyopadhyay, 2009).

Indikasjoner om at de tror på absolutte hastigheter. Dette kan for eksempel vise seg ved at man referer til at noe «egentlig» beveger seg, selv om man beskriver noe som i ro i et referansesystem (Scherr et. al., 2001; Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et.al., 2019).

At man foretrekker enkelte referansesystemer. Dette kan vise seg via ved at man ønsker å bruke enkelte referansesystemer over andre, for eksempel jordens. Det kan også knyttes mot at de bestemmer seg et bestemt referansesystem som beskriver hva som «egentlig» skjer (Dimitriadi & Halkia, 2012; Alstein et.al, 2021).

I analysedelen vil disse kjennetegnene bli brukt for å gjenkjenne om elevene resonnerer absolutte størrelser.

Spontane ideer om lyshastigheten

Som Saltiel & Malgrange (1980) undersøkte Villani og Pacca (1987) elevens spontane ideer om lyshastigheten. Som i «spontaneous kinematics» (Saltiel & Malgrange, 1980) viste det seg at elevene resonnerer med spontane ideer som kunne utvikle seg til større misoppfatninger. De kunne de trekke ut mange misoppfatninger elevene satt med. Blant annet at:

Noen elever tror at hastigheten til lys avhenger av kilden til lyset.

Enkelte elever tror at det er mulig for lyset å ha en uendelig hastighet, eller at hastigheten kan øke til uendelig.

Elever kan også tro at lyskilden påvirker bølgelengden til lyset, for eksempel at lys fra en raskt bevegelig kilde har en annen bølgelengde enn lys fra en stillestående kilde.

Disse misoppfatninger som kan stamme fra at måten elever tolker lyspostulatet på har også vist seg i annen forskning (Kamphorst et. al., 2019).

Elevens forståelse og bruk av RP, de tre betydningene av RP

Bandyopadhyay (2009) påpeker at det for studenter ofte kan oppstå forvirring mellom tre forskjellige betydninger av relativitetsprinsippet.

- 1: Det eksisterer ikke et referansesystem i absolutt ro.
- 2: Det er umulig å bestemme farten til et referansesystem ut fra målinger gjort på systemet selv.
- 3: Det at det ikke er noen hastighetskomponenter knyttet til referansesystemet i de pseudokreftene som virker på et ikke-inertialt referansesystem.

Dette er tre betydninger som i realiteten sier det samme, og er måter man kan formulere RP på. Slik kan man se at studenter sliter med å trekke linjer mellom de ulike betydningene av prinsippet, noe som igjen kan kobles opp mot funnet at elevene ofte valgte å benytte seg av andre verktøy til å løse oppgaver, om de var tilgjengelige (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Bandyopadhyay, 2009).

Pietrocola and Zylbersztajn (1999) undersøkte hvordan elever brukte RP i oppgaveløsning. Dette gjorde de ved å teste elevenes forståelse for RP ved at elevene blir plassert i et fiktivt tog som beveger seg i ulike hastigheter mens de skulle løse ulike fysikkoppgaver. De fant ut, som hos Bandyopadhyay (2009) at elever søkte etter å benytte seg av andre verktøy til å løse oppgaver framfor å resonnere ved å bruke relativitetsprinsippet. Dette indikerte at elever kan slite med å se prinsippets bruksområder og verdi utenfor det at den er en del av å formulere SR. Alle disse problemene kan peke mot at elevene ikke får til å konstruere en betydning for RP. Dette er et noe som også pekes på i flere i flere studier (Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et. al., 2015).

Relativistiske effekter som en optisk illusjon

Det at elever framstiller relativistiske effekter som optiske illusjoner er et fenomen som virker å kan knyttes opp mot absolutte størrelser, men også mot en ufullstendig forståelse av egne metafysiske oppfatninger og en ufullstendig tolkning av begrepet intelligent observatør (Panse et.al., 1994; Scherr et. al., 2001; Scherr et. al. 2002; Otero et.al., 2015; Otero et. al., 2019). Elever har en tendens til å tro at observasjoner knyttet til hendelser analysert relativt bare er oppfatninger, og ikke reelle tolkninger (Panse et.al., 1994; Scherr et. al., 2002; Otero, 2015). Dette er noe elevene kan trekke inn både før og etter introduksjonen av lyspostulatet (Panse et.al., 1994; Scherr et. al., 2002, Otero et.al., 2015). Forklaringen på oppfatningen kan virke å være knyttet til ulike andre misoppfatninger. Ved en upresis forståelse for hva et referansesystem er, kan slike spor av relativistiske effekter bestå (Panse et.al., 1994). En

upresis forståelse av intelligent observatør kan også føre til dette, og kobles ofte opp mot at elever misforstår samtidighet på grunn av signalets reisetid (Scherr et. al., 2001; Scherr, et. al. 2002). Slike relativistiske effekter virker altså å kunne oppstå hos elever i klassisk fysikk (Scherr et. al., 2001; Otero et.al., 2015), noe som kan være knyttet opp mot et fenomen som kalles relativistisk støy (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999).

Relativistisk støy

Relativistisk støy er et fenomen som oppstår når elever blander inn forkunnskaper eller misoppfatninger de har om SR inn i oppgaver, uten at de har en gjennomgående forståelse av hva disse innebærer. Ideene kan komme til elevene gjennom at de har møtt SR i media, populærkultur eller andre informasjonskanaler (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Scherr et. al., 2002). Relativistisk støy kan vise seg på flere måter i elevenes argumentasjon, og for eksempel dukke opp ved at relativistiske effekter kan foreslås i klassiske fysikkeksperimenter (Scherr et al., 2001; Otero et.al., 2015).

Elevers misoppfatninger av referansesystem

Panse et.al. (1994) undersøkte hvordan studenter forsto seg på referansesystem. Her viste det seg at elevers tolking av referansesystem gjerne var at de så på det som en bit av rom bundet til et legeme, med andre relevante legemer tilknyttet referansesystemet alle innenfor et slags ramme som lar observatøren beskrive situasjonen. Har man av denne oppfatningen av referansesystem, gir det rom for at man kan observere relativistiske effekter knyttet til et referansesystem, samtidig som man lar et absolutt referansesystem bestå da de ikke lengre må være motsigende. Undersøkelsen til Dimitriadi og Halkia (2012) indikerte også at elever hadde en tendens til å gi enkelte referansesystem en spesiell status, som for eksempel jordens referansesystem. Det nevnes blant annet i litteraturoversikten til Alstein et.al. (2021) at ideen om et foretrukket referansesystem kan knyttes opp mot tanken om et absolutt referansesystem. De nevner også at det ikke er gjort forskning på om tankeeksperimenter i det tomme rom vil eliminere denne misoppfatningen, noe som derfor er brukt i undervisningsopplegget.

Forventninger av funn ut fra annen forskning

Elementer knyttet til bevegelse som forstyrrer elevens forståelse av relativitetsprinsippet:

Redegjørelsen over viser at det er en rekke misoppfatninger som forstyrrer elevenes forståelse av SP. Kombinerer man dette med den sammensatte naturen i SR, bekrefter analysen at det er mange misoppfatninger som må tas hensyn til når man lærer om RP og SR. Argumentasjonen som er forventet av elevene kan deles opp i ulike kategorier knyttet opp mot ulike temaer, og som nevnt i problemstillingen min vil hovedfokuset være på bevegelse.

- *Spontan kinematikk.* Spontan kinematikk virker å være en argumentasjonsform som dukker opp hos mange elever, spesielt under spontane situasjoner som i gruppediskusjoner. Argumentasjonsformen vil bli kjent igjen ved trekkene nevnt under teoriintroduksjonen.
- *Absolutte størrelser.* Absolutte størrelser og referansesystem virker å være en utbredt oppfatning blant elever, og kan knyttes opp mot både bevegelse og referansesystem. Argumentasjonsformen vil bli kjent igjen ved trekkene nevnt under teoriintroduksjonen.

Andre elementer som forstyrrer elevens forståelse av relativitetsprinsippet:

I lys av de mange misoppfatningene som kan dukke opp i SR vil det også kunne dukke opp misoppfatninger på andre former. Blant disse har man:

- *Relativistisk støy.* Elevene kan komme til å ha forstyrrende oppfatninger om relativitet som gjør at elevene kan blande inn relativistiske effekter uten å ha tilstrekkelige forkunnskaper til å forklare hvorfor eller hvordan de påvirker situasjonen (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Scherr et. al., 2002; Otero et.al., 2019).
- *Betydningen av RP.* Elevene kan blande betydninger av RP og slite med å tolke og anvende det i oppgaver (Bandyopadhyay, 2009).
- *Referansesystem knyttet til legemer.* Elever kan ha misoppfatninger knyttet til hva et referansesystem er, og se på det som en bit rom knyttet til et legeme (Panse et.al., 1994).
- *Misoppfatninger knyttet til lyshastigheten.* Elever kan ha misoppfatninger om lyspostulatet som kan stamme fra hvordan de tolker postulatet (Villani & Pacca, 1987; Kamphorst et. al., 2019).

- *Relativistiske fenomen er optiske illusjoner.* Elever kan ha en tendens til å tro at relativistiske fenomener opplevd av en observatør kun er optiske illusjoner, og ikke en likeverdig representasjon av hva som skjer (Scherr et. al., 2002). Dette kan også utarte ved at elever observerer relativistiske effekter i klassiske forsøk (Scherr et. al., 2001; Otero et.al., 2015).

Hva ligger til grunne for konseptuell forståelse av RP?

Når det kommer til forståelse av RP så kan man si den er bygd opp av flere grunnleggende komponenter. Alstein et. al. (2021) illustrerer hvordan ideene som bygger opp SR, bygger på hverandre, noe som fører til at man må forstå en rekke grunnleggende komponenter for å få et helhetlig bilde av teorien (Dimitriadi & Halkia, 2012). For at elever skal kunne forstå RP behøver elevene en introduksjon til referansesystem og hva som inngår i dette før de kan trekke verdi ut av RP og lyspostulatet. Kommer elevene til et høyt nok nivå av forståelse for postulatene, kan videre man illustrere for dem hvordan disse postulatene ikke er kompatibel med galileisk relativitet. Slik kan man deretter introdusere dem for relativistiske effekter.

Denne læringsprosessen er basert på det omfattende undervisningsopplegget satt opp av Dimitriadi & Halkia (2012) som hadde som mål å dekke hele SR. De dedikerer undervisningsøkter som skal sentrere rundt hvert av postulatene, før de ser på konsekvensene av teorien i etterkant. I undervisningsopplegget som introduserer elevene for det første postulatet, altså relativitetsprinsippet, nevnes fire konseptuelle steg de mener må gås igjennom:

Elevene må introduseres for referansesystem og relativ bevegelse.

De må se på inertia eller treghet, altså de må kunne skille uniform og ikke-uniform bevegelse.

De må se resultater som oppstår i et ikke uniformt referansesystem.

Til slutt må de forstå ekvivalensen mellom å bevege seg i en konstant hastighet og det å være i ro i et referansesystem.

Til tross for dette, indikerte forskningen deres at mer fokus bør legges på RP når man skal lære SR, i tillegg til at det bør fokuseres mer på grunnkunnskaper, noe man kan kjenne igjen i andre resultater (Villani & Pacca, 1987; Scherr et. al. 2002, Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero

et. al., 2015). Derfor har disse komponentene blitt utvidet med flere komponenter i undervisningsopplegget for å trekke inn grunnleggende kunnskaper. I lys av viktigheten med å forstå seg på elevenes tankegang er det også lagt inn elementer for å gjøre misoppfatninger eksplisitt, samt at det er lagt til et element knyttet til å tolke RP begrunnet av funnene til Bandyopadhyay (2009).

De syv læringsmålene

Litteraturarbeidet har kulminert i en utforming av syv læringsmål som alle blir sett på som sentrale for å forstå RP. Undervisningsopplegget setter ikke som mål at elevene skal mestre alle læringsmålene, men det er ønsket at de skal få en innsikt i dem, og at dette over tid er ment å danne en forståelse av RP. Læringsmålene vil bli presentert, begrunnet og knyttet opp mot teori.

Definisjonen av bevegelse. Dette stammer av de utbredte misoppfatningene som knyttes til bevegelse (Saltiel & Malgrange, 1980). Det ønskes derfor at elevene skal få reflektert over oppfatningene sine grupper slik at de kan få danne en felles forståelse for bevegelse de kan bruke til å utforske tankeeksperimentene, siden feil i de grunnleggende oppfatningene kan føre til gale konklusjoner i tankeeksperiment (Posner et.al., 1982; Scherr et. al., 2002; Velentzas & Halkia, 2013). Her er det lagt vekt på at elevene må kunne skille mellom akselerasjon og hastighet (Saltiel & Malgrange, 1980), og at bevegelse blir knyttet opp mot elevenes forståelse av referansesystem (Dimitriadi & Halkia, 2012). Det vil si at elevene må innse at bevegelse må være definert relativt gjennom et referansesystem.

Hva inngår i begrepet relativt. Det er ønskelig at elever skal undersøke begrepet relativt, og innlemme det i deres forståelse av bevegelse. Dette er komponenten som knytter bevegelse opp mot referanse, og det kan knyttes opp mot en av komponentene nevnt av Dimitriadi og Halkia (2012) som ligger til grunn for forståelse av RP. Relativitet vil i dette tankeeksperimentet vise seg ved relativ bevegelse. Man kan derav se hvordan de to første læringsmålene blir nært knyttet sammen.

Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem. Det vil si at elevene må kunne vite hva som kjennetegner et treghetssystem. Dette kan elevene for eksempel utfordres på gjennom å sammenligne med resultater som oppstår i et akselerert referansesystem (Dimitriadi & Halkia, 2012). Dette er for at elevene skal kunne identifisere hvilke spesielle tilfeller man analyser i SR, og når de effektene de senere vil bli introdusert for, gjelder.

Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Med dette menes å kunne gjennomføre galileiske transformasjoner, både matematisk og deskriptivt, samt å få et bevisst forhold til valget av referansesystem. Alstein et al. (2021) nevner dette som noe som kan ses på som nødvendig i en introduksjon av SR. Argumentet støttes opp med at mange studier har pekt på at elever bør trene på Galileisk relativitet før man går løs på SR (Villani & Pacca, 1987; Scherr et. al., 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et.al., 2015).

Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem. Definisjonen av å være i ro nevnes som en av tingene elevene må igjennom av Dimitriadi og Halkia (2012). Definisjonen er et sentralt element i å kunne forstå likeverdet av alle treghetssystemer. Det er knyttet opp mot definisjonen og forståelsen av bevegelse, samt at det motarbeider ulike misoppfatninger. For eksempel kan definisjonen settes opp mot spontan kinematikk for å motsi ideen om at legemer har en naturlig ro. Viktigheten av dette kan også knyttes opp mot misoppfatningene funnet av Panse et.al. (1994) knyttet til referansesystem, ved å illustrere at alle treghetssystem er like for alle observatører som her er definert i ro. Dette for å illustrere hvordan referansesystemene ikke er knyttet opp mot legemer.

Likeverdet av treghetssystemer. Dette konseptet handler om at ingen treghetssystem er over andre, og at alle beskrivelser er likeverdige og reelle, og det er et ønske om at elevene skal få reflektert over denne ideen. Slik kan dette punktet handle om en refleksjon rundt absolutte størrelser. Dette punktet kan også knyttes opp mot funnene av at relativistiske effekter bare er optiske illusjoner (Scherr et. al., 2002; Otero et.al., 2019), ved å vise til hvordan relativistiske effekter er reelle og ikke bare oppfatninger. Dette omhandler også å avskaffe ideen om et foretrukket referansesystem (Dimitriadi & Halkia, 2012; Alstein et al., 2021).

Formulering av RP. Dette punktet er knyttet opp mot hvordan elever ikke ser hvordan de skal anvende relativitetsprinsippet (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999). Det er også knyttet opp mot å trekke ut betydning av prinsippet, og tolke det. Dette er i sammenheng med å knytte sammen de tre betydningene av prinsippet, da dette er tenkt å kunne hjelpe dem å få et tydeligere bilde på hva som inngår i RP, samt å se måter å bruke det på (Bandyopadhyay, 2009). Dette punktet handler derfor om å hjelpe elever å konstruere en betydning for prinsippet, og trekke komponentene de får innsikt i opp mot prinsippet.

Konkret vil det altså bli forsøket å tilgjengeliggjøre behovet for RP for elevene, ved at de får møte de ulike komponentene som inngår i forståelse for RP. Gjennom dette skal elevene

komme til et nivå hvor de er i stand til å se en anledning for behovet for RP gjennom å bruke læringsmålene i siste oppgave. Elevene vil komme dit gjennom en rekke ulike tankeeksperimenter, eller deskriptive situasjoner, hvor elevene skal bruke sine oppfatninger til å beskrive situasjoner og løse oppgaver. Læreren skal samtidig komme med utfordrende spørsmål for å lede diskusjonen i riktig retning, samt å hjelpe elevene med å gjøre tankegangen sin eksplisitt for både seg selv og gruppa. Dette gjøres for å effektivisere hva elevene får ut av tankeeksperimentene, men også for å avdekke eventuelle misoppfatninger som forventes å dukke opp i lys av teorien. For å motarbeide misoppfatningene, er det designet illustrerende eksempler og metaforer for å hjelpe elevene å se eventuelle problemer eller mangler i argumentasjonen deres (Posner et.al., 1982; Scherr et. al., 2002).

Metode og empiri

Conjecture mapping

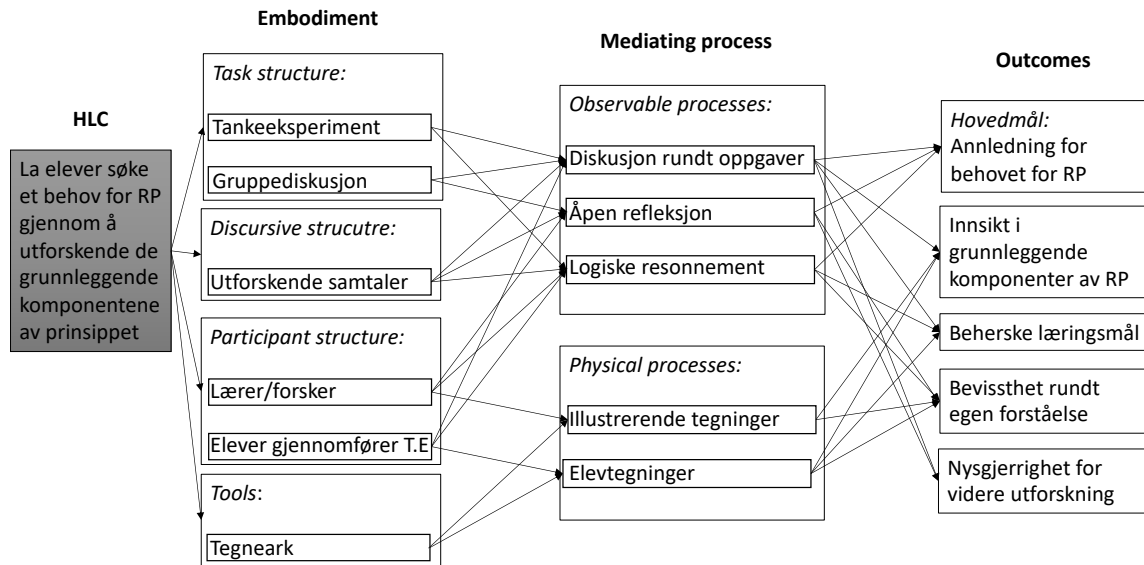
«Conjecture mapping» er en systematisk tilnærming til utviklingsarbeid innenfor utdanningsforskning. Den baserer seg på å lage og teste hypoteser om pedagogisk praksis. Modellen gir brukeren en metodikk for systematisk å undersøke, evaluere og forbedre pedagogiske praksiser. Metoden bruker en repeterende prosess hvor man formulere hypoteser, utvikler undervisningsmaterialer, tester hypotesene gjennom observasjon og evaluering, og utvikler videre basert på resultatene. Slik modelleres altså forskningen ved at man trekker linjer mellom de ulike prosessene (Sandoval, 2014).

Sandoval (2014) presenterer et overordnet bilde på en Conjecture map. Dette framstilles som seks viktige elementer og deres forhold. Det første er en overordnet idé om hvordan man skal støtte læring referert til som en «High level conjecture» (HLC). Denne ideen vil komme til syne gjennom det som refereres til som «embodiments», eller det som vil bli referert til som utformingen av prosjektet. Dette handler om materialet brukt, oppgavestruktur, strukturen på deltakelse og samtalestrukturer man søker. Disse skal resultere i en «mediating prosess», som i denne oppgaven vil refereres til som formidling. Dette kan ses på som innsiktene man får i læringsprosessen, eller prosessen hvor en elev formulerer kunnskap man kan undersøke. Dette kommer til syne gjennom observerbare interaksjoner, eller analyse knyttet opp mot elevproduserte objekter som f.eks. tegninger. Dette er det ønsket at skal resultere i «outcomes» eller utfall. Dette kan blant annet være læring, interesse eller annet.

De to siste prosessene kommer til syne mellom de nevnte prosessene, og er noe som brukes som analyseverktøy. «Design conjectures» (DC) er hypotesene satt opp under konstruksjonen av undervisningsopplegg, altså hvordan utformingen av prosjektet skal føre til formidlingsprosesser. Dette krever at man designer opplegget slik at elevene har en åpen formidlingsprosess. Den siste delen er «theoretical conjectures» (TC) som er broen mellom formidlingen og utfallene. TC handler om hvordan formidlingsprosessen vil resultere i de ulike utfallene (Sandoval, 2014).

Undervisningsopplegget utviklet i dette prosjektet er utformet etter denne modellen for «conjecture map». De individuelle delene av modellen og begrunnelse for de valgene som er gjort presenteres i utformingen av undervisningsopplegget.

Conjecture map



Bilde 1: Conjecture map for oppgaven. Forklaring for conjectures kommer i formuleringen av undervisningsopplegget.

Dobbeltrollen lærer/forsker

Utviklingsarbeidet går hånd i hånd med en dobbeltrolle som lærer/forsker. Som lærer har man et ansvar å veilede elevene slik at de utvikler sine kunnskaper og ferdigheter. Samtidig har forskeren en oppgave om å gjøre elevenes tenkemåter eksplisitte og tydeliggjøre hvilke sammenhenger og konklusjoner de trekker, slik at det kan brukes i forskningen. Komorek & Duit beskriver denne rollen i «The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems» (2004). Her trekkes det fram at lærer/forsker må ha en dyp forståelse for det teoretiske innholdet i prosjektet, samt ha god kontroll på den pedagogiske praksisen som skal gjennomføres slik at man kan handle raskt ut fra hvordan ulike elever responderer på opplegget. Metoden kan brukes i kombinasjon med en syklisk prosess som inneholder design, applikasjon, observasjon og analyse for å bidra til en utvikling av, samt en dypere forståelse av læringsprosessen.

I rollen som lærer er det ønskelig å lede elevene til riktige konklusjoner gjennom spørsmål og diskusjon, samtidig som læreren utfordrer elevenes resonnement når de kommer med kommentarer. Læreren kan stille spørsmål som "Hvorfor tenker du det?" og "Kan du forklare nærmere hva du mener her?", og den vil prøve å gjøre problemene som oppstår når elevene tenker feil eksplisitt, samtidig som den gir bekræftende kommentarer når de tenker riktig. Dette kan ses på som støttestrukturen læreren gir elevene for å hjelpe dem gjennom

undervisningsopplegget (Hmelo-Silver et. al., 2007). Læreren har samtidig et ansvar for å gi elevene rom til utforskning og undring på egenhånd (Bjønnes & Kolstø, 2015). Dette valget støtter prosjektets natur, da lærer/forsker har som jobb å utvikle undervisningsopplegget og vurdere hvordan det fungerer parallelt med at den utvikler undervisningsopplegget.

Tegning som analyseverktøy

I artikkelen "Interpreting Student Drawings in Introductory Physics" undersøkes potensialet som ligger i tegning for å forstå elevers tankegang (Harrington, et. al., 2012). Studien ble gjort i et kurs som med fokuserte på krefter, bevegelse og energi. Her argumenterer forskerne for at tegningene kan gi innsikt i elevenes oppfatninger og misoppfatninger av fysiske fenomener, noe som kan hjelpe lærer/forsker å utvikle strategier for å bekjempe disse utfordringene. Kamphorst et. al. (2019) viste også at elever hadde nytte av tegninger til å illustrere tankene sine rundt tankeeksperimenter i fysikk gjennom å produsere «event diagrams». Forskningen viser at elevene enklere bytter mellom ulike referansesystemer med støtte fra disse tegningene, noe som kan indikere at systematisk tegning kan være verdifullt for elevenes utvikling også.

Datainnsamlingsmetode

Dataene ble samlet opp under et undervisningsopplegg. Opplegget var designet slik at elevene skulle diskutere i en gruppe på fire rundt en lydopptaker med et tegneark i midten. Lydopptakene og tegningene fra undervisningsopplegget var rådataene, og disse ble i etterkant transkribert og anonymisert. Dataene ble i etterkant analysert gjennom å tolke data opp mot en utarbeidet conjecture map (Sandoval, 2014), og spesielt interessante situasjoner ble plukket ut og analysert dypere gjennom teori. Datamaterialet består av et lydopptak av elevdiskusjon som oppsto fra undervisningsopplegget. Dette inkluderer også lærerrespons og lærerens instruksjoner. Elevene har i tillegg brukt tegning til å beskrive sin tankegang. Tegningene er også lagret og lagt ved.

Enheter som er studert

Studien ble gjort på en gruppe på fire elever som hadde fysikk 1 i vgs. Prosjektet kom utenfor vanlige skoletimer og hadde en varighet på 45 minutter. Elevene som ble studert hadde mindre fysikkerfaring enn de elevene som tradisjonelt blir introdusert for relativitetsteorien i norsk skole. Til tross for dette, har de lært mekanikken som ligger til grunne for å oppnå en

mekanisk forståelse for relativitetsprinsippet. Det at de er relativt uerfarne i faget, kan også være positivt da misoppfatninger ikke behøver å ha satt seg like godt enda (Posner et. al., 1982). Hvordan dette valget påvirket eksperimentet blir diskutert i den metodiske drøftingen av oppgaven.

Etiske betraktninger

Elevene som ble studert signerte alle sammen et samtykkeskjema godkjent av NSD som er lagt til som vedlegg med oppgaven. Noen av elevene var ikke myndige, og disse arkene ble derfor signert av foresatte. Rettighetene til elevene ble i tillegg lest opp og forklart for elevene i starten av oppgaven. Dataene ble raskt transkribert og anonymisert, lydopptak ble deretter slettet. Elevene hadde fri tilgang til å trekke seg fra prosjektet fram til dataene hadde blitt transkribert og anonymisert. Forskeren kjente til to av elevene fra før da den hadde undervist dem i noen måneder tidligere. Dermed hadde forskeren enkelte oppfatninger av elevens personlighet i forkant, men har ikke latt dette påvirket oppgaven i stor grad. Dette har heller blitt sett på som en styrke, da dette mulig kan ha hjulpet elevene med å være mer åpne i formidlingsprosessen da de kjenner til forsker, og situasjonen blir mer lik en vanlig læringssituasjon.

Store deler av analysen er basert på tolkninger av kvalitativ data. Det kan oppstå flere usikkerheter knyttet til tolkning av data knyttet til blant annet bias, ønskede resultater og inkonsekvente tolkninger (Robson & McCartan, *Real world research s.464*, 2016). Dette er forsøkt minimert ved å skape klare forventninger på forhånd. Begrunnelse av valg og tolkninger er gjort ut fra et bredt teoretisk grunnlag, og åpenhet i prosessen. Leseren kan selv bestemme om den er enig i tolkningene som er gjort i oppgavene, men tolkningene vil være begrunnet i det teoretisk forarbeidet illustrert via DC og TC (Sandoval, 2014). Validitet av funn vil igjen bli diskutert i den metodiske drøftingen av oppgaven.

Undervisningsopplegget

Overordnet om opplegget

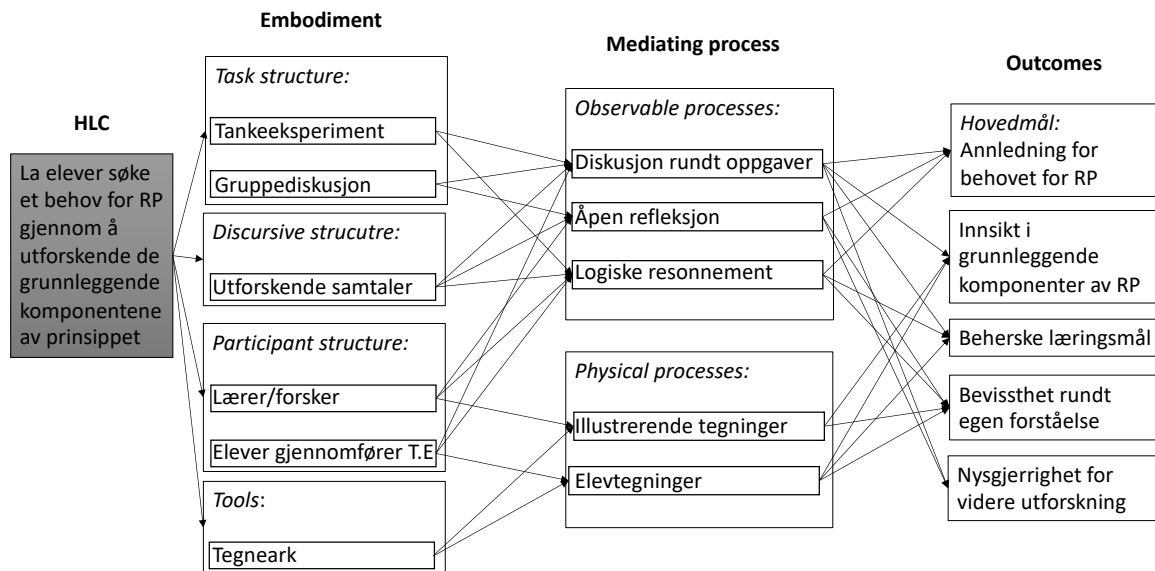
Undervisningsopplegget "Galileos romekspedisjon" er ment å være inngangen til SR. Elevene skal møte teorien ved å utforske de grunnleggende komponentene som utgjør RP presentert i teoridelen av oppgaven. Hovedmålet til oppgaven er at elevene skal se en anledning til behovet for RP, ved at elevene benytter de komponentene de møter til å løse ulike tankeeksperimenter sammen i en gruppe hvor den siste oppgaven løses ved at en anledning oppstår hvor elevene ser behovet for RP. Altså løsningen på oppgaven er den andre betydningen av RP (Bandyopadhyay, 2009). Samtidig vil også elevene utfordres til å utvikle en bevissthet rundt sin egen forståelse av bevegelse gjennom åpen refleksjon (Posner, et.al., 1982; Hewson, 1982). Gjennom opplegget skal elevene utforske egenskapene til treghetssystemer, sentrale komponenter knyttet til relativitet og møte ulike fagbegreper. Slik skal elevene få verktøy de senere kan bruke for å dykke dypere inn i SR mens de videreutvikle sin forståelse av disse komponentene.

Opplegget er tilpasset elever på fysikk 1 og tar hensyn til deres forutsetninger (Utdanningsdirektoratet, 2018). Undervisningsopplegget "Galileos romekspedisjon" følger en narrativ struktur med seks deloppgaver og har en total varighet på 45 minutter etter en standard norsk skoletime. Tidsbruken for de enkelte deloppgavene er fleksibel, men det er gitt forslag til tidsrammer i presentasjonen av oppgavene. Oppgavene blir lest opp til elevene av læreren, og elevene skal deretter løse denne oppgaven gjennom diskusjoner i gruppe mens lærer vil ha en støttende rolle (Komorek & Duit, 2004, Hmelo–Silver et.al., 2007).

Galileos romekspedisjon

Under følger oppgaveformuleringen for undervisningsopplegget «Galileos romekspedisjon». Før dette presenteres vil det legges fram en del generelle DC som vil være med på å begrunne hvordan det er tenkt at alle oppgavene vil resultere i formidlingsprosesser (Sandoval, 2014). Deretter vil det bli presentert generelle TC som beskriver hvordan og hvorfor ulike formidlinger vil resultere i ønskede utfall. I etterkant av de individuelle oppgavene vil det følge konkrete DC knyttet opp mot den aktuelle oppgaven. Deretter vil det presenteres TC knyttet til den spesifikke oppgaven. Disse «conjecturene» vil tas opp igjen i analysedelen av oppgaven.

Conjecture map



Bilde 2: Conjecture map for "Galileos romekspedisjon".

DC – Generelle design conjectures som gjelder for alle oppgavene

Utformingen av undervisningsopplegget er formulert og begrunnet etter punktene som bør inngå i utforskende undervisningsopplegg ved tankeeksperimentene som ble presentert i teoridelen av oppgaven. Innholdet i oppgavene er designet for å til sammen gå inn på de sju læringsmålene for timen. På denne måten kommer oppgavene til å dekke flere læringsmål, og de ulike læringsmålene kommer til å dukke opp i flere oppgaver slik at elevene blir utfordret flere ganger (Posner et. al., 1982). Alle tankeeksperimentene finner sted i rommet uten forstyrrende krefter for å isolere ytre påvirkninger, hjelpe å understreke problematikken med spontan kinematikk og undersøke tendenser mot preferanse av ulike referansesystemer (Alstein et. al., 2021).

Min hypotese er at hvis elevene møter tankeeksperimentene gjennom en utforskende samtale, vil dette resultere i at elevene prøver seg på logisk resonnering for å løse oppgaven (Scherr et. al., 2002; Velentzas & Halkia, 2013). I dette logiske resonnementet vil elevenes oppfatninger komme til syne for gruppa, noe som er ment å skulle starte en diskusjon som vil formes avhengig av de individuelle elevenes oppfatninger. Oppgavene er designet som åpne og deskriptive, for å hjelpe elevene med å gjøre nettopp dette, altså få oppfatninger eksplisitt

både for seg selv, medelever og lærer (Posner et. al., 1982, Hewson, 1982, Scherr et. al., 2002; Scherr, 2007).

Når tanker blir eksplisitte i gruppa, vil dette kunne starte en diskusjon mellom elevene for å komme til enighet i lys av egne oppfatninger. I denne diskusjonen kan læreren bidra til at elevene sammen kommer til riktige konklusjoner ved ledende spørsmål, og bekreftende kommentarer ved riktig resonnering (Komorek & Duit, 2004, Hmelo- Silver et. al., 2007; Säljö, 2000/2010, s.63-69; Bjønnes & Kolstø, 2015). Et annet utfall er at eleven selv forsøker seg på logiske resonnement i lys av egne oppfatninger. Er disse feil vil læreren møte dem ved å komme med illustrerende metaforer som viser til riktige logiske resonnement (Scherr et. al., 2002; Säljö, 2000/2010, s.23-27). Den siste formidlingsprosessen er koblet til refleksjon, og her må lærer/forsker bidra til at elevene reflekterer åpent ved utdypende refleksjonsspørsmål og andre støttestrukturer (Komorek & Duit, 2004; Hmelo-Silver, 2007).

Gruppediskusjonen skal bidra til at prosessene foregår, og at de foregår på en måte som er mulig å få innsikt i. Dette er slik at gruppa skal kunne gripe tanker og ideer i en diskusjon, for at elevene skal få formulert egen kunnskap, for at lærer skal kunne korrigere og lede tankegangen i riktig retning, og ikke minst for at lærer/forsker skal få innsikt i elevenes tankegang (Scherr et. al., 2002; Komorek & Duit, 2004; Hmelo-Silver et. al., 2007; Säljö, 2000/2010, s.60-69).

Tegnarket er ment å gi elevene en mulighet for å tegne for å gi innsikt til seg selv og gruppa om hvordan de tenker. Læreren har også muligheten til å bruke tegnarket for å illustrere konsekvenser av elevs logiske resonnement og forståelse, samt å dekke opp i misforståelser knyttet til elevenes oppfatning av oppgaven (Harrington, et. al.,2012; Kamphorst et. al., 2019).

TC- Generelle theoretical conjecures som gjelder for alle deloppgavene

Under vil det følge generelle måter elevenes formidlinger vil peke mot ulike ønskede utfall (Sandoval, 2014).

Elevenes diskusjon rundt innholdet i oppgaven vil kunne lede mot alle de ønskede læringsmålene, og hvordan dette vil se ut vil konkretiseres i de individuelle oppgavens TC.

Da det kommer til nysgjerrighet for å utforske videre vil dette vise seg ved at om elever søker etter nye svar om de ikke får til en oppgave. Dette vil også bli kjent igjen ved at elever stiller

oppfølgende spørsmål (Anderson, 2002; Utdanningsdirektoratet, 2020). Denne nysgjerrigheten er tenkt å bli stimulert gjennom innholdet i tankeeksperimentene, og de kognitive konfliktene som kan oppstå (Posner et. al., 1982; Hewson, 1982; Velentzas & Halkia, 2013).

Hovedformålet med den åpne refleksjon er at elevene skal få en bevissthet rundt egen forståelse, da via at lærer/forsker får innsikt i hvordan elever forstår seg på ulike fenomener, og derav får elevene formulert tankene sine og får et mer bevisst forhold til dem (Posner et. al., 1982, Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002; Hmelo-Silver et. al., 2007; Scherr, 2007; Säljö, 2000/2010, s.23-69). Elevens refleksjon kan også knyttes mot hvordan eleven ser behovet for RP. Dette kan for eksempel være gjennom at eleven direkte eller indirekte argumenterer for at fysikklovene skal være lik i to ulike treghetssystemer de jobber med i oppgave. Det er også tenkt at denne refleksjonsprosessen kan bidra til videre nysgjerrighet ved at elevene kommer med kommentarer som indikerer at de ikke er tilfreds med egen oppfatning, eller at refleksjonsprosessen resulterer i at eleven stiller spørsmål til lærer eller medelever (Anderson, 2002; Utdanningsdirektoratet, 2020).

De logiske resonnementene elevene gjennomfører vil vise hvordan elevene behersker de ulike læringsmålene ut ifra om de logiske resonnementene elevene gjør er riktige. Dette kan vises ved at elevene inkluderer fagbegreper eller noen av læringsmålene i argumentasjonen deres. Når elevene også høye nivå med de logiske resonnementene sine, vil dette også være med på å danne grunnlaget for å se behovet for RP. Dette vil konkretiseres i siste oppgave.

Elevene er tenkt å ville resonnerer innenfor en av tre modeller. Spontan kinematikk, absolutte referansesystem eller ved relativistisk resonnering (Einstein, 1905; Saltiel & Malgrange, 1980; Panse et.al., 1994; Dimitriadi & Halkia, 2012; Alstein et.al, 2021). De generelle kjennetegnene på spontan kinematikk og absolutte referansesystemer ble presentert i teoridelen av oppgaven, og i TC til hver oppgave vil disse punktene konkret knyttes opp mot hvordan det er forventet at de vil vise seg i elevenes argumentasjon. Det ønskede relativistiske resonnementet vil også formuleres her.

Hensikten bak tegnearket er at eleven skal kunne illustrere for både seg selv, læreren og gruppa hvordan den tenker. Dette skal støtte læreren og gruppa i til å hjelpe eleven å komme fram til forståelse for de grunnleggende komponentene i RP. Det er bevisst gjort et valg om å

ikke å forberede illustrerende tegninger for at elevene skal få et med bevisst forhold til egne oppfatninger (Harrington et. al., 2012; Kamphorst et.al., 2019).

Innsikten elevene får i de ulike komponentene gjennom diskusjon, refleksjon og logiske resonnement, vil ha som et hovedformål å skape en anledning for behovet for RP hos elevene (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Bandyopadhyay, 2009). Dette vil testes i siste oppgave og hvordan det gjøres konkretiseres der.

Oppgave 1: Et relativt møte (5 min)

Lærer leser opp:

Se for dere en astronaut, Per. Per er helt alene i rommet, langt fra alt av stjerner og planeter slik at han ikke opplever noen form for gravitasjon. Per har en lykt han bruker til å lyse i alle retninger slik at han kan se objekter rundt seg. Plutselig observerer Per en annen astronaut, Kari. Per observerer at Kari kommer nærmere og nærmere seg selv.

Elevene skal nå ta rollen som Kari og beskrive situasjonen fra hennes perspektiv. Elevene har en mulighet for å tegne oppgaven, men de vil ikke rådes til dette, da det vil være lett for elevene å tegne situasjonen i Pers referanse, og derav miste poenget oppgaven forsøker å illustrere.

DC – oppgave 1

Hypotesen oppgaven baserer seg på er at den åpne naturen i oppgaven skal sette i gang en refleksjonsprosess hos elevene hvor elevene forsøker å forestille seg selv som Kari (Velentzas & Halkia, 2013). Elevene blir bedt om å komme med en beskrivelse av situasjonen, noe som gjør at elevene nok vil bruke samme beskrivende metode som i formuleringen av oppgaven. Samtidig kan dette ta form på mange måter avhengig av elevenes resonnering. I denne beskrivende prosessen elevene går igjennom, vil lærer/forsker forsøke å identifisere elevenes argumentasjon for å kunne møte den på riktig måte (Posner, et. al., 1982; Scherr et. al., 2002; Scherr, 2007).

Det ble formulert tre hypoteser for hva elevene kunne ende opp med å si. Den første er at elevene resonnerer med spontan kinematikk, altså kan de for eksempel påstå at Kari og Per aldri ville nå fram til hverandre (Saltiel & Malgrange, 1980). I dette tilfellet skal læreren respondere ved å spørre eleven om hva som gjør at eleven vil stoppe om den forsøker å skli bortover bakken. Spørsmålets hensikt er å trekke fram at dette er på grunn av friksjon, og

deretter poengtere at dette ikke vil påvirke legemer i rommet. Under identifiseringen kan være vanskelig å skille mellom spontan kinematikk og absolutte referansesystem. Et eksempel som viser dette er at i begge referansesystemene kan elevene mene at Kari selv vil oppleve at hun kommer nærmere Per, altså at de tilegner Kari bevegelsen (Saltiel & Malgrange, 1980; Panse et. al., 1994). Noe annet som kan dukke opp i begge modellene, er at elevene trekke fram at Kari beveger seg «egentlig», her er det et skille ved at i absolutte referansesystemer vil observatørene oppleve situasjonen slik som ved riktig resonnering. (Saltiel & Malgrange, 1980; Dimitriadi & Halkia, 2012; Alstein et. al., 2021). Som en generell respons til en slik refleksjon blir definisjonen på bevegelse trukket fram og konkretisert med et eksempel for å poengtere at man definerer bevegelse ut fra en referanse. Det siste utfallet er at elevene klarer å trekke fram ideen om at Kari vil si at Per kommer nærmere og nærmere henne. Det er tenkelig at elevene kommer fram til dette ved at de poengterer at de ikke har noen omgivelser de kan bruke til å definere en fart i forhold til, slik at begge astronautene vil mene at motsatt astronaut kommer nærmere seg selv.

Trekker elevene fram det ønskede poenget av oppgaven, skal lærer bekrefte at denne tankegangen er riktig, og la elevene utdype resonnetet sitt (Komorek & Duit, 2004). Etter dette skal lærer knytte denne ideen opp mot referansesystem, relativ bevegelse og treghetssystem. Dette er for å introdusere elevene for sentrale begrep i teorien slik at kunnskapen de formulerer kan knyttes opp mot begrepene. Det er ikke tenkt at elevene aktivt skal forstå begrepene med en gang, men ved at de møter begrepene gjentatte gjennom opplegget, vil de bygge seg opp en betydning for dem (Posner et. al., 1982).

TC – Oppgave 1

Elevarargumentasjonen er forventet å kunne vise seg på tre ulike måter.

Spontan kinematikk – Elevene vil slite med å beskrive situasjonen videre, da de forventer at bevegelsen vil stoppe om den ikke drives av en kraft. Det kan komme påstander som at de ikke vet om astronautene kolliderer eller ikke. Noe annet som kan dukke opp er at elevene tilegner Kari bevegelsen, slik kan dette kobles opp mot tanken i spontan kinematikk om at legemer har en bevegelse knyttet til seg (Saltiel & Malgrange, 1980).

Absolutt referansesystem – I absolutte referansesystem kan elevene, som i siste eksempel på spontan kinematikk påstå at Kari har en bevegelse, da en av misoppfatningen knyttet til absolutte referansesystem er at elevene kan tilegne referansesystem en bevegelse (Panse, et.

al., 1994). Elevene kan også beskrive at bevegelsen de to astronautene observerer er noe annet enn hva som «egentlig» skjer (Scherr et. al., 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et. al., 2015).

Relativistisk beskrivelse – Elevene beskriver situasjonen fra Kari's perspektiv ved å beskrive at Per kommer nærmere og nærmere. Eleven kan begrunne dette ved valg av referanse, dette kan for eksempel komme til syne ved at eleven trekker linjer til hvordan man på jorda ofte definerer bevegelse i forhold til jordoverflaten. Eleven klarer derav å definere fart som en relativ størrelse.

Uavhengig av hvilken av argumentasjonsformene elevene bruker er det tenkt at de oppnår et mer bevisst forhold til sine egne tanker om bevegelse så lenge de gjennomgår en åpen refleksjonsprosess (Posner et. al., 1982; Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002). Dette kan komme til syne ved at elevens tanker utfordres via støttestrukturer som illustrerende metaforer og refleksjonsspørsmål (Posner et. al., 1982; Scherr et. al., 2002; Hmelo-Silver et. al., 2007). Konkrete variantene av dette ble nevnt under DC. Det første steget mot å se anledningen til RP kommer også i denne oppgaven, i og med at elevene blir møtt med to treghetssystemer som begge gir en gyldig beskrivelse av en situasjon, for å begynne å konstruere betydningen for RP. Det at elevenes første svar ikke nødvendigvis stemmer, er også tenkt at skal vise til en nysgjerrighet for videre utforskning ved at elevene da forsøker å finne nye ideer som kan stemme.

Får elevene til oppgaven vil dette vise at de får innsikt i følgende læringsmål:

Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer - Dette vises ved at elevene beskriver situasjonen fra et annet treghetssystem enn det i oppgaveformuleringen.

Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. - Elevene knytter bevegelsen i oppgaven opp mot en referanse. Altså de beskriver at Per beveger seg når de tar rollen som Kari. Bevegelsen beskrives også på riktig måte.

Oppgave 2: Kollisjonen (5 min)

Lærer introduserer oppgaven for elevene:

Per og Kari kolliderer i et punkt. Her griper de tak i hverandre og henger nå sammen. Vi ser på situasjonen etter at kollisjonen har skjedd.

Nå skal elevene analysere situasjonen fra Pers perspektiv, hvordan beskriver han Kari's bevegelse? Deretter skal de ta rollen som Kari hvordan beskriver hun Pers bevegelse?

DC – oppgave 2

Hovedpoenget med denne oppgaven er at elevene skal se hva det vil si å være i ro i et referansesystem (Dimitriadi & Halkia, 2012). Min hypotese er at elevene nå er introdusert til oppgaveformatet, som vil gjøre at diskusjonen raskt tar form. Elevene blir bedt om å analysere situasjonen etter at kollisjonen har hendt for å ikke bryte med SR. Samtidig kan elever blande krefter og fart, og søke etter en årsak for bevegelsen (Saltiel & Malgrange, 1980). Derfor kan elevene velge å også analysere situasjonen under støtet. Skjer dette, vil læreren ta over og avklare hva som skjer under kollisjonen. I forklaringen vil lærer gjøre elevene bevisste på at den beskriver situasjonen med referansepunktet der kollisjonen skjedde. Dette er da sannsynligheten for at elevene ubevisst kommer til å analysere situasjonen i dette referansesystemet, og derav påstå at begge astronautene har en fart, blir sett på som stor. Elevene skal i etterkant også bytte mellom perspektivet til Kari og Per. Dette er for å illustrere at Kari og Per har innsikt i samme treghetssystem, og dermed at treghetssystemet ikke er et knyttet til et legeme (Panse et.al., 1994), men er likt for alle observatører som ikke beveger seg relativt hverandre.

Den felles bevegelsen som blir nevnt kan antyde både spontan kinematikk og absolutte størrelser. Spontan kinematikk kan også vises ved at elevene tror astronautene beveger seg sammen og stopper etter hvert (Saltiel & Malgrange, 1980). Da argumentasjonsformene kan være vanskelig å skille, er det plukket ut en illustrerende metafor som skal illustrere poenget med oppgaven for elevene, uavhengig av argumentasjonsform. Den er at elevene skal avgjøre om de selv påstår at de sitter i ro, før de deretter skulle avgjøre om sola vil si at de står i ro. Metaforen vil illustrere poenget med oppgaven, nemlig at det å være i ro er et relativt fenomen som er definert fra referansesystemet (Dimitriadi & Halkia, 2012).

Det ønskede resonnet er at elevene skal forklare at både Per og Kari påstår at motsatt astronaut står stille. Ser elevene dette poenget, vil læreren be dem utdype ved å bruke referansesystem for å knytte læringsmålene sammen. Lærer vil også forklare dette poenget nærmere ved å si at det å være i ro også er et relativt begrep og må defineres ut av fra et referansesystem for å knytte elevenes konstruerte betydninger opp mot fagbegreper.

TC – oppgave 2

Elevarargumentasjonen er forventet å kunne vise seg på tre ulike måter.

Spontan kinematikk – Elevene vil tro at begge astronautene beveger seg etter kollisjonen. De kan også tro at de stopper etter hvert.

Absolutt referansesystem – Beskriver situasjonen som at begge astronautene beveger seg sammen. Elevene kan se poenget om at astronautene ser at hverandre står stille, men argumenterer for at noe annet egentlig skjer.

Relativistisk beskrivelse – Elevene beskriver situasjonen identisk fra begges perspektiv. De ser at astronautene ikke beveger seg relativt hverandre og de klarer derfor å si at begge astronautene står stille i det relevante treghetssystemet.

Det at elevene møter en situasjon i etterkant av en kollisjon er ment å drive oppgaven, da elevenes oppfatninger av bevegelse skal settes opp mot den som ble formulert i forrige oppgave. Dette gjennom at hvis elevene analyserer situasjonen slik som i forrige oppgave vil ideen om absolutt bevegelse bli utfordret. Det at selve kollisjonen blir ekskludert fra oppgaven er også tenkt å bidra til at elevene får et mer bevist forhold til når reglene for treghetssystem er gyldige, og derav dypere innsikt i treghetssystemer.

Ser elevene poenget av oppgaven, oppnår de også innsikt i en ny del av RP: nemlig definisjonen av å være i ro. Definisjonen av å være i ro har blitt identifisert som forutsetning for at elevene skal se en behovet for RP, da det er i en konflikt med ideen for en absolutt ro, noe som skal peke mot ideen av at treghetssystem er likeverdige (Saltiel & Malgrange, 1980; Dimitriadi & Halkia, 2012). Denne kognitive konflikten er tenkt å resultere i nysgjerrighet og et mer bevisst syn på egen forståelse av bevegelse hos elevene. Dette er tenkt at skal komme til syne ved spørsmål og refleksjon rundt dette i etterfølgende oppgaver (Posner et. al., 1982, Säljö, 2000/2010, s.60-69).

Får elevene til oppgaven vil dette vise at de har fått innsikt i følgende læringsmål:

Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer – Punktene kan knyttes opp mot begrunnelsene som gis i oppgave 1.

Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem – Elevene behersker delvis definisjonen av å være i ro ved at de ser at legemer som ikke beveger seg relativt hverandre vil beskrive hverandre som å være i ro. Hvorvidt elevene mestrer dette, vil bli målt i om de bruker det aktivt senere i sin argumentasjon.

Oppgave 3: Dyttet – (5 min)

Læreren leser opp ny oppgave:

Kari liker ikke at astronautene holder sammen, og hun bestemmer seg for å dytte vekk Per.

Etter at dyttet er ferdig, skal elevene ta rollen som Kari og beskrive situasjonen. I etterkant av dette skal de beskrive situasjonen som Per.

DC – oppgave 3

Oppgaven er designet slik at elevene får testet hva de har lært så langt igjennom en situasjon som minner om den i oppgave 1, bare at astronautenes relative bevegelse er vekk fra hverandre. Min hypotese er at elevene nå har fått innsikt i noen grunnleggende komponenter, og at de kjenner igjen ideene fra første oppgave, noe som gjør at de vil løse oppgaven ønskelig. Handlingsplan og elevargumenter vil være lik oppgave 1.

Det som skiller situasjonen fra første oppgave, er at bevegelsen er knyttet til en utløsende kraft, noe som gjør at elevene kan bruke tid på å analysere selve dyttet. Da vil læreren som i oppgave 2 avklare hva som skjer i dyttet, før den leder diskusjonen videre mot hva som skjer i etterkant.

TC – oppgave 3

Grunnlag for argumentasjon er lik som i oppgave 1 og vil dermed ikke repeteres. Det samme gjelder for hvordan formidlingen deres resulterer i ulike utfall. Det som skiller oppgavene, er at det forventes at elevene i høyere grad mestrer oppgave 3 da elevene allerede har møtt liknende innhold. At elevene har nådd et høyere nivå kan også bety at de inkluderer fagbegreper i argumentasjonen sin.

Oppgave 4: Romskipet kommer - 7 min

Lærer introduserer:

Astronautene var opprinnelig en del av en større romekspedisjon med venninnen deres, Lisa. Lisa befinner seg i et romskip som beveger seg med en konstant hastighet relativt til astronautene, og det har retning langs den relative bevegelsesretningen deres. Det vil si at Kari og romskipet beveger seg i motsatt retning, mens romskipet og Per beveger seg i samme retning etter dyttet.

Elevene skal nå beskrive astronautenes bevegelse sett fra treghetssystemet som er i ro i forhold til Lisa og romskipet.

DC – oppgave 4

Oppgaven er designet slik at elevene nå skal utfordres på en mer kompleks variant av galileiske transformasjoner. Det introduseres en ny astronaut som skal være med på å utvide betydningen av treghetssystemer til som kan beskrive bevegelsen til flere legemer samtidig, slik at de egenskapene elevene har fått trukket ut av treghetssystemer ikke bare refererer til en symmetri av bevegelse for to legemer seg imellom, men en universell symmetri (Einstein, 1905; Panse, 1994; Bandyopadhyay, 2009; Alstein et. al., 2021). Elevene får her gjennomføre galileiske transformasjoner ved å beskrive hvordan den relative bevegelsen ser ut i de relevante referansesystemene. Lærer kan også hjelpe med å konkretisere transformasjonene ved å introdusere hastigheter til astronautene i et valgt referansesystem.

Romskipet er inkludert for å teste og avklare synet på likeverdet av treghetssystemer for elevene, samt hjelpe å avdekke argumentasjonsform. Hvordan elever foretrekker enkelte referansesystemer kan komme til syne ved at elevene foretrekker romskipets observasjoner foran beskrivelsene til Per og Kari (Dimitriadi & Halkia, 2012). Oppgaven er også designet slik at læreren kan bruke ulike støttestrukturer til å lede diskusjonen i ønskede retninger, avhengig av hva som oppfattes som viktig for elevene på dette punktet av undervisningen (Hmelo-Silver et. al., 2007). Dette vil ta form som en diskusjon om likeverdet av treghetssystemer om elevene indikerer at de er på et høyt nivå, eller mer konkret trening på galileiske transformasjoner om læreren vurderer at dette er mer verdifullt for elevene.

Elevenes argumentasjon vil bli møtt med samme illustrerende metaforer som i de foregående oppgavene da det ikke er introdusert noen nye komponenter i oppgaven.

TC – oppgave 4

Elevarargumentasjonen er forventet å kunne vise seg på tre ulike måter.

Spontan kinematikk – Eleven blir forvirret av romskipet, og trekker inn en forstyrrende kraftpåvirkning fra motoren. Det kan også trekkes ut andre kjennetegn som vil være identiske til de presentert i de foregående oppgavene.

Absolutt referansesystem – Elevene foretrekker romskipets perspektiv og påstår det har riktige beskrivelser. De kan også vise til det motsatte: forkunnskapene deres tilsier at romskip bruker å bevege seg, slik at foretrekker referansesystemet som sier at romskipet beveger seg. Det kan også trekkes ut andre kjennetegn lik som i foregående oppgaver.

Relativistisk beskrivelse – Elevene beskriver situasjonen fra de ulike perspektivene uten problemer. De ser hvordan størrelsen på hastighetene ser ut i de ulike referansesystemene og resonnerer med et bevisst forhold til referanse. De bruker definisjonen av å være i ro og viser at de behersker definisjonen av bevegelse.

I oppgavens DC ble det poengtert at formidlingsfasen til elevene i denne oppgaven er avhengig av hva lærer velger å lede diskusjonen mot. Går diskusjonen mot at elevene gjennomfører galileiske transformasjoner vil dette først og fremst vise seg i utfallene ved at de får riktige resultater som vil peke mot at elevene mestrer læringsmålene for timen. Galileiske transformasjoner er også en grunnleggende ferdighet knyttet opp mot bevegelse, og vil derfor være med på å bevisstgjøre elevene rundt egne oppfatninger. Det at romskipets referansesystem legges til kan forårsake at elevene får større vansker med dette enn tidligere, men det er forventet at de vil mestre det, gjerne med støtte av at de tegner.

Går diskusjonen mot likeverdet av treghetssystemer vil dette trolig ikke lede elevene til noen spesielle konklusjoner, men det er ment for å sette i gang en tankeprosess som skal vekke liv i tanker og ideer som senere kan konkretiseres i formuleringen av RP. Da det kommer til hvordan oppgaven peker mot for behovet RP kan man trekke fram at Galileiske transformasjoner, som elevene her gjennomfører, hjelper elevene med å se hvordan fysikklovene er lik i de ulike referansesystemene de analyserer.

Får elevene til oppgaven vil dette vise at de har fått innsikt i følgende læringsmål:

Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem – Innsikt i læringsmålene kan knyttes opp mot hva som defineres i øvrige oppgaver.

Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer – Elevene testes i galileiske transformasjoner, deskriptivt og ved matematiske størrelser.

Likeverdet av treghetssystemer – Går diskusjonen inn på dette læringsmålet kan elevene få formulert sine oppfatninger knyttet til det. Elevene vil trolig ikke se behovet for dette likeverdet direkte, men å reflektere rundt det er det første steget til å bli bevisst på det. Denne ideen vil bli utfordret videre i de neste oppgavene.

Oppgave 5: Gummikuler - 8 min

Læreren leser opp:

Lisa har lyst å teste et eksperiment om relativitet sammen med Kari og Per. Kari og Per holder nå sammen i et punkt. De ser at Lisa flyr forbi dem i en konstant hastighet. Inne i romskipet har Lisa to luftpistoler. Hun står midt i romskipet, og fyrer av en gummikule i romskipets fartsretning og en mot romskipets fartsretning sett fra referansesystemet til Kari og Per.

Elevene skal nå avgjøre i hvilken rekkefølge kulene treffer veggene. Treffer kulene først bakveggen, frontveggen eller treffer de samtidig? Elevene får fritt valg av hvilket referansesystem de vil analysere situasjonen i først, men de vil få beskjed om å analysere situasjonen som både Lisa og Per/Kari.

DC – oppgave 5

Oppgaven er designet slik at elevene skal få en introduksjon for samtidighet i klassisk fysikk, samtidig som de får testet hvordan de analyserer dette i lys av to ulike treghetssystemer. Det første elevene må ta stilling til er det frie valget av referanse. Dette vaglet skal utfordre elevene til å analysere oppgaven fra det systemet som hjelper dem mest. Oppgaven skiller seg fra de foregående oppgavene ved at elevene bare har beskrevet situasjonene, nå skal de komme til et svar, eller en konklusjon ved å bruke det de har lært. Dette kan være med på å avdekke ulike misoppfatninger, da forsøket er gjort før og man kan sammenligne med disse resultatene (Otero et. al., 2015; Otero et. al., 2019).

Hypotesen for hvordan formidlingsprosessen uttrykker seg er basert på resultatene fra et de nevnte forsøkene, samt forventninger knyttet til funn fra andre forsøk som kan sammenlignes (Scherr et. al., 2002; Otero et.al., 2015; Otero et.al., 2019). I tilfellet til Otero et. al. (2015) tenkte den største delen av elevene at kulene ville treffe på ulike tidspunkter i begge tilfellene.

I det andre forsøket sier nesten alle elevene at kulene traff samtidig for observatøren inne i raketten, men fremdeles tenkte de fleste at kulene ville treffer i ulik rekkefølge (Otero et. al., 2019). Dette ble derimot påvirket av en gruppediskusjon som gjorde at de fleste elevene kom til riktig konklusjon om at kulene traff samtidig. Dette leder mot en hypotese hvor elevene kommer fram til riktig konklusjon på oppgaven gjennom diskusjonsprosessen, samtidig som de kan komme med påstander som bryter med klassisk samtidighet i den innledende fasen av diskusjonen.

Foreslår elevene at samtidigheten brytes, vil læreren vil forsøke å stille utdypende refleksjonsspørsmål om elevene tenker at det faktisk skjer forskjellige ting i de to referansesystemene. Konkluderer elevene feil, vil læreren forsøke å illustrere konsekvensene av dette for elevene ved at en hatt spretter ut av romskipet og i armene på Per og Kari så lenge kulene treffer samtidig, inspirert av forsøket til Scherr et. al. (2002). Slik skal dette illustrere for elevene at samtidighet må bestå på tvers av referansesystem i klassisk fysikk. Dette skal illustrere at om kulene treffer samtidig, er dette noe som skjer uavhengig av valg av referansesystem i klassisk fysikk.

I oppfølging av spørsmålet er det lagt til rette for at læreren kan teste om elevene mestrer å skille et akselerert referansesystem fra et treghetssystem, ved å utfordre dem på samme eksperiment om romskipet akselerer.

TC – oppgave 5

Elevargumentasjonen er forventet å kunne vise seg på tre ulike måter.

Spontan kinematikk – Elevene blander akselerasjon og hastighet og tenker derfor at kulene treffer bakre vegg først. Elevene analyserer situasjonen fra perspektivet til Kari og Per som at romskipet har en hastighet som bare de ser, og derfor treffer kulene bakre vegg først. Dette kan også kjennetegnes ved at elevene ønsker å analysere situasjonen som Per/Kari da de tror disse observatørene har mer informasjon om situasjonen enn Lisa.

Absolutt hastighet – Elevene kan tilegne referansesystemet til Lisa en fart fra referansesystemet til Per og Kari og dermed påstå at bakerste treffer først. Dette kan også vise seg ved at elevene tror kulene «egentlig» treffer samtidig, men at Kari og Per vil se noe annet. Dette kan også kjennetegnes ved at elevene ønsker å analysere situasjonen som Per/Kari da de tror disse observatørene har mer informasjon om situasjonen enn Lisa.

Relativistisk resonnement – Elevene bruker aktivt definisjonen av å være i ro i et treghetssystem. De identifiserer at situasjonen enklest analyseres fra Lisas perspektiv og velger derfor referansesystemet som definerer romskipet i ro. De kan deretter forklare at man vil oppleve samme resultater i Per og Karis referanse. Om elevene i etterkant utfordres på en alternativ situasjon hvor romskipet akselerer, eller selv trekker fram dette scenarioet, kommer de også fram til riktig konklusjon om at dette vil påvirke resultatet ved at en av kulene treffer først.

I denne oppgaven kan det oppstå en del situasjoner som leder mot de ønskede utfallene for timen. Knyttet til læringsmål kan elevene få et mer bevisst forhold til referansesystem ved at de får et valg av referansesystem, og de vil viser et høyere nivå om de velger å analysere som Lisa først. Velger elevene motsatt, kan det være knyttet mot elevenes argumentasjonsform, eller at de ikke fullstendig har forstått definisjonen av å være i ro.

Forsøket har også en verdi knyttet mot læringsmålet *likeverdet av treghetssystemer* da elevene under diskusjonen har et potensiale til å påstå et brudd på samtidighet i klassisk fysikk, som kan komme fra å ikke forstå observatørfenomenet (Scherr et. al., 2002) eller relativistisk støy (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999). Dette er problemer som kan oppstå i oppgaven igjennom kulenes høye hastighet relativt observatørene (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999), og oppgavens bruk av verbet «se» (Scherr et. al., 2002; Alstein et. al., 2021). Disse påstandene kan da bli møtt med en diskusjon for å sette i gang en refleksjon rundt de fysiske tolkningene av transformasjoner mellom treghetssystem.

Får elevene til oppgaven vil dette vise at de har fått innsikt i følgende læringsmål:

Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem – Innsikt i læringsmålene kan knyttes opp mot hva som defineres i øvrige oppgaver.

Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem- Elevene kan utfordres på hvordan akselerasjonen til romskipet påvirker resultatene i forsøket.

Likeverdet av treghetssystemer – Påstår elevene at kulene treffer samtidig i begge, indikerer dette at elevene tror at treghetssystem er likeverdige. Påstår elevene motsatt kan de utfordres på en refleksjon rundt læringsmålet.

Oppgave 6: Formulering av RP - 15 min

Læreren leser opp:

Astronautene hentes inn i romskipet igjen. Siden astronautene er trøtte og slitene av alle øvelsene de har gjort legger de seg til å sove mens romskipet står på autopilot. Mens de gjør dette, stenges alt av vinduer på romskipet. Astronauter våkner opp morgenen etter.

De begynner nå å lure på hvilken fart romskipet har. Romskipet har en lab med alle tenkelige eksperimenter tilgjengelig. De bestemmer seg for å teste ulike eksperimenter i romskipet for å bestemme hvilken retning romskipet beveger seg i. Elevene skal nå være astronautene og skal bruke fantasien sin til å løse oppgaven, mens lærer hjelper dem å komme til riktige konklusjoner i deres logiske resonnement.

DC – oppgave 6

Formålet med siste deloppgave er å framkalle anledningen til behovet for RP, og dermed formulere det sammen. Oppgaven legger opp til at elevene skal bruke alle komponentene de tidligere har utforsket i ulike scenarioer de foreslår for å komme fram til konklusjonen om at oppgaven er umulig, eller at oppgaven er meningsløs. Elevene kan også trekke fram oppgavens poeng ved at de bruker valg av referanse til å beskrive at de ikke beveger seg i sitt treghetssystem, og oppgaven gir derfor ikke mening.

Oppgaveteksten har brukt en misvisende ordlyd med at astronautene lurer på hvilken fart romskipet har uten å spesifisere noen referanse. Hensikten er å drive oppgaven, og for at elevene selv skal klare å trekke fram at denne setningen er meningsløs uten å definere farten ut fra en referanse. Den eneste referansen tilgjengelig for elevene er det tomme rom, eller trykkesystemet astronautene befinner seg i. Slik blir anledningen til behovet for RP konstruert, igjennom betydningen av RP som sier at det er umulig å bestemme et treghetssystems hastighet ved målinger gjort opp mot systemet selv, eller at det er umulig å bestemme systemets hastighet ved målinger gjort opp mot det tomme rom (Bandyopadhyay, 2009).

Gyldigheten for prinsippet på tvers av alle fysikkens lover vil også illustreres for elevene gjennom fysikklaben de har tilgjengelig. Elevene har samtidig ikke et sterkt nok kunnskapsgrunnlag til å sjekke at dette stemmer på tvers av alle fysiske lover, men det gir

dem fremdeles muligheten til å undersøke alle lovene de kjenner, og læreren som sitter med sterkere kunnskaper her kan bruke dette for å understreke dette poenget for elevene.

Oppgavens åpne natur gjør at det vanskelig å plassere hvordan diskusjonen til elevene vil ta veien. Det er derfor viktig at læreren er beredt på det meste, da elevene har frihet til å bruke kreativiteten sin (Komorek & Duit, 2004; Bjønnes & Kolstø, 2015). Under forberedelsesprosessen ble det avgjort at de fleste forslag kan bli møtt med samme illustrerende metaforer som er presentert tidligere. Åpenheten gjør også mulig at elevene trenger at læreren hjelper dem i gang med utforskningsprosessen (Hmelo-Silver et.al., 2007; Bjønnes & Kolstø, 2015). Dette kan læreren gjøre ved å peke mot eksperimenter elevene allerede har gjort, eller be dem tenke på eksperimenter de har gjennomført på skolen tidligere. Er elevene raskt ute med å poengtere at de mangler en referanse og at oppgaven dermed ikke gir mening er det tenkt at læreren skal utfordre elevene til å utdype hvorfor de tenker slikt, og starte en større diskusjon rundt hva dette har å si for elevenes fysiske oppfattelse.

TC – oppgave 6

Elevargumentasjonen er slik som før forventet å kunne vise seg på tre ulike måter. Det at elevenes forslag kan vise seg på så mange ulike måter gjør at spesifikke elevsvar ikke vil bli foreslått her, men de vil bli gjenkjent i lys av kjennetegnene til spontan kinematikk og absolutte referansesystem og kan uttrykke seg slik som i de andre oppgavene.

Relativistisk resonnement – Elevene identifiserer mangelen på en referanse og sier derav at det er meningsløst å tilegne romskipet en fart.

Det store målet for timen var å skape en anledning for behovet for RP for elevene i løpet av timen. Det er forventet at elevene kan uttrykke dette til ulike grader, og på ulike måter i denne oppgaven.

Det første læreren vurderer er hvordan elevene kjenner de grunnleggende komponentene som inngår i RP. Dette vil vises i om elevene kommer til riktige konklusjoner i logiske resonnement som oppstår fra forslagene elevene kommer med. Aktiv og riktig bruk av begreper introdusert i opplegget er også vektlagt her.

Et annet mål på aktualiseringen er hvor mye elevene søker etter svar på oppgaven. Fortsetter elevene å søke etter svar når forslag viser seg å ikke være tilstrekkelig, er dette tegn på at elevene ikke ser løsningen på problemet, men at de samtidig søker etter det. Søken indikerer

en nysgjerrighets, og et jag etter en løsning. Slik vil det derfor bli tolket som at behovet for RP er aktualisert for elevene ved at RP løser oppgaven for dem.

Den siste og mest konkrete indikasjonen er om elevkonklusjonen er at oppgaven er umulig eller meningsløs. Ved at elevene uttrykker at de ser på oppgaven som umulig, vil lærervurderingen være at de ser behovet for RP gjennom at de indirekte formulerer den andre betydningen for RP (Bandyopadhyay, 2009).

Ser lærer tegn til at noen av disse punktene oppstår hos elevene, vil dette også bli sett på som at elevene får et grunnlag for videre utforskning. I hvor stor grad avhenger av hvor høyt nivå elevene når i løpet av undervisningsopplegget. Høyere mestring av grunnleggende komponenter tilsier større muligheter for å utforske hva som ligger i RP. De elevene som når det høyeste nivået kan for eksempel forsøke å utforske utvidelsen av RP gjennom elektromagnetisme, mens de som ikke når dette nivået kan møte flere liknende eksperimenter som de har møtt til nå. Videre utforskningen kan også skje ved å koble RP opp mot lyspostulatet og se på konsekvensene de har.

Får elevene til oppgaven vil dette vise at de har fått innsikt i følgende læringsmål:

Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem. Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem – Innsikt i læringsmålene kan knyttes opp mot hva som defineres i øvrige oppgaver.

Likeverdet av treghetssystemer – Dette kan komme fram ved det faktum at treghetssystemet i oppgaven er likeverdig alle andre, og hastigheten på romskipet i dette tilfellet er derfor meningsløs.

Formulering av RP – Kommer elevene til konklusjonen om at oppgaven er umulig vil det bli tolket som at de indirekte får formulert RP. Læreren vil koble elevenes påstand opp mot de ulike betydningene av RP.

Analyse av data og resultater

Under presenteres analysen av datamaterialet. Først vil det fremstilles en deskriptiv analyse som viser en oversiktlig gjennomgang av hvordan gjennomføringen av undervisningsopplegget gikk til. Dette vil bli vist gjennom en gjenfortelling, kombinert med sitater fra elevene og illustrerende elevtegninger. I etterkant av de individuelle oppgavene vil de bli analysert i lys av DC og TC i tillegg til en tolkning av hvorvidt de individuelle elevene er vurdert til å ha fått innsikt i de ulike læringsmålene. Elevenes utvikling presenteres etterpå ved en illustrerende graf som knytter antall læringsmål elevene har fått innsikt i, opp mot hvor langt ut i undervisningsopplegget de er. Elevene vil også bli individuelt analysert i den teoretiske analysedelen i lys av teori knyttet opp mot spesielt interessante situasjoner eller spesielle egenskaper knyttet til elevene.

Deskriptiv analyse

Undervisningsopplegget ble gjennomført med en gruppe på fire elever. Elevene satt ved et bord med et stort felles ark i midten. Lærer satt ved enden av bordet og ledet undervisningen. Elevene ble tildelt navnene 1,2,3 og 4, og fikk hver sin tusj henholdsvis koblet opp mot fargene blå, grønn, gull og svart. Lærer benyttet seg av en rød tusj. Til tross for dette benyttet elev 2 seg av en rød tusj ved ett tilfelle da den skulle illustrere et poeng og ikke fant sin tusj, noe som vil vises i *bilde 5*. Elevgruppen var på variert faglig nivå, og av forskjellige personligheter, noe som på mange måter kan være representativt for en fysikk-klasse. Elev 1 og elev 3 dominerte samtalen, mens elev 2 hadde en mer stille og reflekterende rolle. Elev 4 ble hentet ut av klasserommet i forkant av den viktige siste oppgaven, og har blitt utelatt fra analysen. Dette er fordi eleven ikke deltok nok i prosjektet til at man fikk et tydelig bilde på den, og at tiden derfor heller ble brukt på å analysere de andre elevene. Dette valget blir diskutert i den metodologiske drøftingen av oppgaven.

Oppgave 1: Et relativt møte

Oppgaven gikk på mange måter som forventet. Det begynte med at elevene brukte litt tid på å forestille seg oppgaven, og Elev 3 argumenterte på en måte som kan sammenlignes med spontan kinematikk i og med at eleven uttrykket at den ikke kunne forutsi hvordan bevegelsen fortsatte.

«3: Men kommer ikke begge til å flytte seg samtidig? Eller er det noe som står og er fast en plass.»

Diskusjonen ble ledet videre av elev 1 og 3 som presenterte ulike ideer de hadde om oppgaven. Mye gikk ut på å få et klart bilde på situasjonen. Elev 1 viste noe som kunne virke som spor av spontan kinematikk, da kom med en kommentar som kan kobles mot at den ønsker en kraft som drivkraft for bevegelsen. Det er også en mulighet for at dette bare var et forsøk på å forstå elev 3s tankegang da uttalelsen kom som et spørsmål. Her kom det også fram at elev 3 hadde noen misoppfatninger knyttet til hvordan ting beveger seg i verdensrommet.

«3: Da kommer begge til å bevege seg mot hverandre da?

1: På grunn av gravitasjon?

3: Ja ... eller nei, Hvis man er i rommet, kommer man ikke alltid til å bevege seg da? Ja ... eller flyte rundt eller noe.»

Her forsøkte læreren å møte situasjonen ved å forsøke å lede diskusjonen inn mot oppgaven igjen og la elevene reflektere over definisjonen på bevegelse.

«L: Ja, hva tenker du? Hvordan definerer vi bevegelse egentlig?

3: At man endrer plassering?

L: Og hva vil plassering bety ute i rommet?

3: Ja i forhold til Per da?»

Eleven formulerte sin definisjon av bevegelse som en endring av posisjon. På oppfordring fra læreren koblet eleven dette opp mot en referanse. Slik ble et viktig poeng illustrert for gruppa. Samtidig ble elev 3s argumentasjon senere i opplegget en indikator at poenget ikke satt ved eleven. Dette illustreres allerede i samme oppgave, da eleven hadde problemer med å forestille seg situasjonen videre. Argumentasjonen var fremdeles preget av spontan kinematikk. Her kom det til syne ved at eleven forventet at astronautene ville stoppe med mindre de gjorde noe for å opprettholde farten.

«3: Han kan jo gjøre noe for at han skal komme seg nærmere, som å svømme eller noe. Men jeg tror begge kommer til å bevege seg litt.»

Slik virker det som eleven ikke får til å analysere situasjonen på grunn av elevens spontane argumentasjonsform. Etter at gruppen forsøkte å avklare situasjonen sammen, kom eleven med et nytt utsagn som kan kobles mot spontan kinematikk eller absolutte referansesystem. Da eleven tilegner bevegelsen til Kari, sett fra referansesystemet hvor hun er i ro.

«3: Kari vil se at hun selv kommer nærmere og nærmere lyset.»

Diskusjonen ble avsluttet med at elev 2 kom med en utløsende kommentar.

«2: men posisjonen har vel ingenting å si ute i verdensrommet, vil ikke hun også bare si at han kommer nærmere og nærmere?»

«L: Ja, bra! Kan du utdype?»

«2: Nei, øh ... Hvis bevegelsen vår var konstant, ser vel begge situasjonen likt da. Siden det ikke funker noen krefter?»

Elev 2 viste her at den klarte å trekke fram poenget oppgaven forsøker å illustrere. Eleven fikk også til å begrunne dette ved å trekke fram hva som lå i omgivelsene. Læreren brukte muligheten til å introdusere gruppa for begrepene referansesystem, relativt og treghetssystem.

«L: (...) Bevegelse må defineres relativt, altså fra et grunnlag som vi kaller et referansesystem. Det dere har gjort nå er å beskrive en situasjon fra to ulike referansesystemer. (...) Et referansesystem hvor Newtons første lov gjelder, altså et system som ikke er under noen form for akselerasjon, er noe vi kaller et treghetssystem. (...)»

Evalueringsav DC

Som i hypotesen kan man se at refleksjon og diskusjonsprosessen kan sies å ha blitt satt i gang av oppgaven, og den viste seg på ulike måter hos elevene. Elev 3 tok rollen oppgaven ville og slengte ut sine tanker og ideer for gruppa. Elev 1 tok en mer støttende rolle til elev 3 og hjalp den med å få ut sine tanker og ideer. Elev 3 ble tolket til å resonnerer med spontan kinematikk, og elev 1 viste et tegn til det samme, men står som uidentifisert.

I lys av kommentarene på slutten kan det virke som at Elev 2 gjennomgikk en indre refleksjonsprosess i løpet av oppgaven. Dette kan være en indre prosess som ble satt i gang av oppgavens formulering, eller noe som ble satt i gang av noen av kommentarene til elev 3 knyttet opp mot refleksjonsspørsmålet om definisjonen av bevegelse. Da elev 3 hadde den aktive rollen ble ikke elev 2s refleksjon åpen, og dette gav dermed ikke innsikt i prosessen. Det er derfor vanskelig å vurdere om det er oppgavens design, de utdypende spørsmålene eller gruppediskusjonen som leder eleven riktig vei, men at helheten resulterte i ønsket utfall. Elev 2 virker å basere argumentet sitt på hva den vet om bevegelse, og trekker fram mangelen på referanse i omgivelsene. Det kan tyde på at eleven er i startfasen av å formulere noen tanker om behovet for referanse og likeverdet mellom ulike referanser, men ideen virker ikke fullstendig enda.

Evaluering av TC

Da det kommer til argumentasjon, plasseres elev 3 under spontan kinematikk. Elev 1 og 2 er uidentifiserte. Tegnene tyder på at elev 1 kan ha spor av spontan kinematikk, mens elev 2 viser spor av relativistisk argumentasjon, men det er ikke nok grunnlag til å kunne plassere dem da svarende deres kan inngå under alle de presenterte modellene.

Det ble vurdert at både elev 2 og 3 fikk et mer bevisst forhold til sin oppfatning av bevegelse. Elev 3 da den gjennomgikk en åpen refleksjonsprosess i dialog med lærer, og elev 2 da den forklarte sine tanker om bevegelse i forbindelse med et utdypende spørsmål. Elev 2 viser også de første tegnene som kan peke mot at den kan se et behov for RP, ved at eleven trekker fram at begge observatørene opplever situasjonen likt på tvers av to treghetssystemer.

Vurdering av læringsmål

I etterkant av oppgaven er det vurdert at elevene har vist innsikt i følgende læringsmål.

Elev 1: Ingen.

Elev 2: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer.*

Elev 3: Ingen.

Læringsmålene gruppa har vært innom: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer.*

Oppgave 2: Kollisjonen

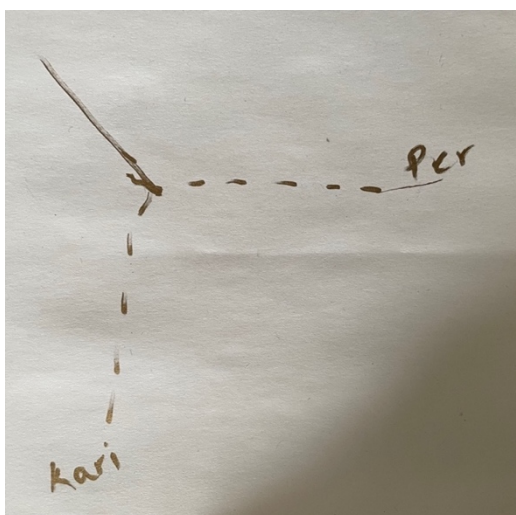
I neste situasjon kolliderte astronautene i et punkt og hang sammen. Elevene skulle nå se for seg at de var Per, og skulle beskrive bevegelsen til Kari etter kollisjonen.

I dette tilfellet virket det som elevene behøvde diskusjonen for å avklare enkelte ting da det kom til tolkning av oppgaven, både individuelt og for å danne en felles tolkning i gruppa. Her tok også læreren en mer aktiv rolle ved å skulle lede diskusjonen videre, da elevene hengte seg opp i kollisjonen.

Det hele begynte med at elev 1 analyserte kollisjonen gjennom bevaring av bevegelsesmengde ved støt. Dette gjorde den også ved å trekke ut egenskapene den så i omgivelsene.

«1: Så bevegelsesmengden e bevart hvis omgivelsene ikke gjør et arbeid på systemet, og siden de er i rommet så kan det ikke være noe som gjør et arbeid på systemet, så bevegelsesmengden må være bevart. Så hvis vi nå finner ut fart og masse til de to personene kan vi regne ut bevegelsesmengden etter kollisjonen.»

Her kan man se tegn på at elevens spor av spontan kinematikk kanskje var motivert av å forstå elev 3s tankegang i første oppgave, da eleven viser at den forstår bevegelse på et høyere nivå enn den ga inntrykk av. Eleven viste også at den analyserte situasjonen i lys av et referansesystem som tar utgangspunkt i kollisjonspunktet. Dette gjorde også elev 3, her illustrert ved en tegning.



Bilde 3: Elev 3s tegning av bevegelsen til Per og Kari i oppgave 2.

Tegningen illustrerer hvordan elev 3 ser for seg Kari og Pers bevegelse. Bevegelsen eleven ser for seg før kollisjonen er illustrert ved stiplede linjer, og den tykke linjen viser hvordan eleven tenker de beveger seg etterpå.

«3: Blir det ikke at de beveger seg langs hverandre»

Læreren minnet derfor på at de skulle beskrive situasjonen i referansesystemet til Per, og oppgaven var å beskrive Karis bevegelse etter kollisjonen. Uansett var alle elevene enig i at begge astronautene beveget seg sammen.

Derfor virker det som at elevene hang seg opp i bevegelsen som ble oppgitt i oppgaven, og resonnererte på denne måten med et absolutt referansesystem, eller spontan kinematikk. Derfor valgte læreren å avklare situasjonen ved en illustrerende metafor om jordens bevegelse rundt sola. Elevene var enig i påstanden om at vi nå sitter stille, og de var også enig i at de beveger seg i et referansesystem hvor sola er definert i ro.

Evaluering av DC

I denne oppgaven resulterte ikke oppgavedesignet i de svarene som var ønsket på forhånd. Diskusjonen som oppsto ble mindre en diskusjon om oppfatninger, men heller en prosess for å tolke oppgaven. Tolkningen konsentrerte seg hovedsakelig rundt selve kollisjonen, og elevene hang seg opp i referansesystemet som beskrev oppgaven i utgangspunktet. I og med at alle elevene virket å være enig i feil konklusjon, endte lærer da opp med å måtte trekke fram poenget selv.

Årsaken til at elevene ikke kom til ønsket konklusjon, kan være koblet til at formuleringen av oppgaven kommer i veien det poenget oppgaven vil illustrere ved at den beskriver astronautene i et referansesystem hvor begge er i bevegelse. Samtidig ble denne kontrasten sett på som viktig for å utfordre elevenes oppfatninger. Slik kan det bli tolket som at oppgaven hadde ønsket effekt, noe som kan bli støttet av elevenes argumentasjon i senere oppgaven.

I formidlingsfasen knyttet til oppgaven ble ikke argumentasjonen identifisert, da det virket som misforståelsen ble knyttet opp mot hvordan elevene møtte oppgaven. Svaret til elevene kunne minne om spontan kinematikk eller absolutte referansesystem, men det ble umulig å identifisere et skille da elevene kun trakk opp et fellestrekk for de to argumentasjonsformene. Samtidig viste elev 1 at den behersket bevegelsesmengde på et grunnleggende nivå, og klarte å trekke fram viktige poenger fra omgivelsene til oppgaven. Dette kan tyde på at kommentarene fra eleven i første oppgave var for å forstå elev 3s tankegang.

Evaluering av TC

Elev 3 er fremdeles vurdert til å argumentere ved spontan kinematikk. I lys av de to foregående oppgavene virker det som elev 1 argumenterer ved absolutte referansesystemer, mens elev 2 viser en blanding av relativistiske argumenter og absolutte argumenter. Elev 1 og 2 ses fremdeles på som vanskelig å plassere.

Hovedpoenget med oppgaven, altså definisjonen av å være i ro, virket ikke å være like tilgjengelig for elevene som oppgavedesignet ønsket. Samtidig viser resultatene i senere oppgaver at den illustrerende metaforen hadde en effekt på elevene, ved at de bruker definisjonen av å være i ro aktivt senere i undervisningen. Man kan dermed ikke se en direkte i oppgaven, men poenget satt ved elevene. Den illustrerende metaforen ses derfor på som verdifull for elevene.

Vurdering av læringsmål

Elevene virket ikke å få en innsikt i nye læringsmål, men elev 1 fikk illustrert at den behersket bevegelse på et grunnleggende nivå. Gruppen som helhet ble introdusert til definisjonen av å være i ro, men det har ikke kommet fram hos elevene individuelt.

Elev 1: *Definisjonen av bevegelse*

Elev 2: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer.*

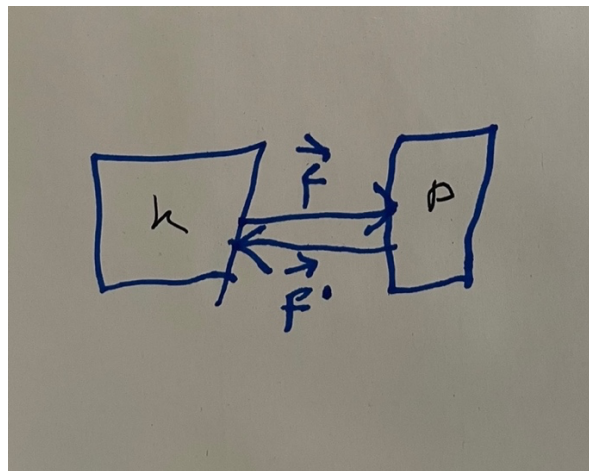
Elev 3: Ingen

Læringsmålene gruppa har vært innom: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av å være i ro.*

Oppgave 3: Dyttet

I oppgave 3 ble elevene testet på det de hadde lært så langt. Kari dyttet Per, og de skulle beskrive situasjonen i etterkant av dyttet. Elev 1 forklarte dyttet med Newtons 3. lov, og trakk fram at Kari ville beskrive situasjonen som at Per bevegde seg vekk fra henne i etterkant. I sitatet under er bruken av «så» tolket som å bety «deretter», eller, «og etterpå», og ikke som å bety «derfor». Dette kommer av en tolkning knyttet opp mot setningsoppbygningen og at det ikke vil gi mening å attribuere et annet legeme en bevegelse fra en motkraft.

1: Hun vil da få en motkraft, for hun dytter ifra. Så vil hun se at Per beveger seg bort fra henne.



Bilde 4: Elev 1s analyse av kreftene som fungerer når Kari(K) dytter Per(P).

Elev 3 knyttet også oppgaven opp mot oppgave 1 med en kommentar, men her kom eleven med en annen tilleggs påstand.

«3: (...) mens Per ser Kari går vekk fra seg, ser Per at Kari går vekk fra henne, men egentlig så beveger jo begge seg vekk fra hverandre.»

Her trekker elev 3 linjer tilbake til oppgave 1, og beskriver dermed situasjonen riktig fra astronautenes treghetssystemer. Samtidig viser eleven nå at den har et foretrukket referansesystem knyttet mot oppgavebeskrivelsen. Det indikerer at eleven argumenterer ved absolutte referansesystem eller spontan kinematikk da eleven snakker om hva som «egentlig» skjer.

For å trekke fram likeverdet av treghetssystem avklarte læreren derfor at eleven nå har beskrevet situasjonen i tre forskjellige referanser. Karis perspektiv, Pers perspektiv og et tredje referansesystem som beskriver astronautene fra punktet der dyttet skjedde. Her nevnte læreren at alle beskrivelsene er korrekte og likeverdige, og at man i slike situasjoner kan velge referanse avhengig av hva som er mest relevant.

Evaluering av DC

Denne oppgaven var designet for å teste hva elevene hadde lært i oppgave 1. Som forventet trakk elev 1 og 3 linjer tilbake til denne oppgaven. Samtidig beskriver elev 1 to likeverdige referansesystemer mens Elev 3 derimot trekker mot en absolutt beskrivelse ved å si at noe annet «egentlig» skjer. Denne oppgaven kan sies å ha lyktes med å trekke ut det den vil, da læreren fikk indikasjoner på at elevene så poenget med oppgave 1, samtidig som den fikk belyst mistolkningen til elev 3.

Eleven 3 er fremdeles sett på som at den argumenterer ved spontan kinematikk, med viser noen kjennetegn som også kan kobles mot absolutte referansesystem. Elev 1 viser at den resonnerer på et høyere nivå, og kan sammenlignes med elev 2 ved at den viser relativistisk resonnering med spor av absolutte referansesystem.

Evaluering av TC

Ser man på hvordan elevene argumenterte i oppgavene, illustrerte elev 3 et tegn på at den også argumenterte i lys av absolutte referansesystem. Dette kan kobles opp mot at argumentasjonsformene har en del fellestrekk, og det kan også virke som at elevens misoppfatninger ledet den til å tolke poenget med oppgave 1 opp mot et absolutt referansesystem.

Elevargumentasjonen til elev 1 indikerer at eleven behersket innholdet i første oppgave. Eleven analyserte selve dyttet til å begynne med, men eleven klarte selv å skille kraftoverføringen og bevegelsen i etterkant. Slik kan det tyde på at elevenes grunnleggende

ferdigheter knyttet opp mot bevegelse gjør at de kommer til ulike tolkninger av de samme resultatene.

Vurdering av læringsmål

Elev 3 blir vurdert til å ha problemer med definisjonen av bevegelse, selv om den analyserer fra ulike referansesystem og viser at den ser på bevegelsen mellom astronautene som noe som oppfattes relativt. Elevene blir dermed vurdert til å ha fått innsikt i følgende læringsmål.

Elev 1: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer.*

Elev 2: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer.*

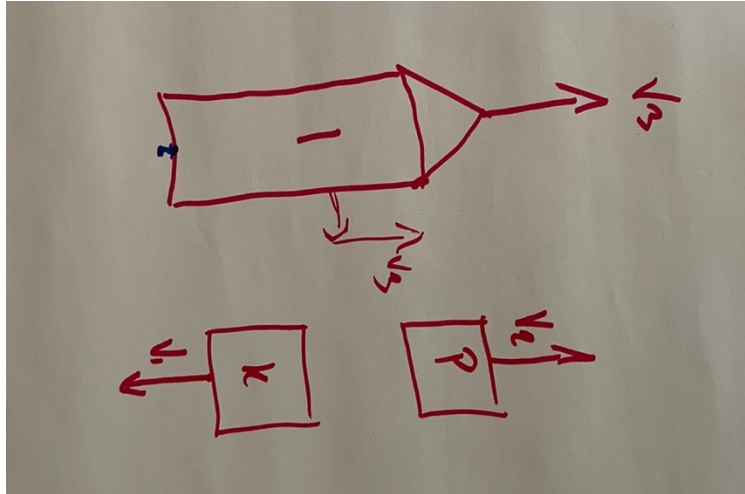
Elev 3: *Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer.*

Læringsmålene gruppa har vært innom: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av å være i ro.*

Oppgave 4: Romskipet kommer

I oppgave 4 introduseres romskipet som en tredje referanse igjennom astronauten Lisa. Da elevene hadde brukt mye tid på å forestille seg situasjonen i de tidligere oppgavene, gjorde læreren et valgt om å tegne situasjonen. Det ble vektlagt hvilket referansesystem situasjonen ble analysert fra i framstillingen av oppgaven.

«L: (...) Vi ser denne situasjonen i samme referansesystem som da vi beskrev dyttet. Her vil Kari ha farten VI (...) Beskriv nå bevegelsen til de to astronautene i Lisas referansesystem.»



Bilde 5: K – Kari, P – Per og l = Lisa. Tegningen er tegnet med et utgangspunkt i et referansesystem som står stille i forhold til det punktet Kari og Per hadde dyttet hverandre. Romskipet beveger seg langs bevegelsesretningene til Kari og Per, og deres individuelle fartskomponenter er vist ved V_1 , V_2 og V_3 . Den lille blå krusedullen bak og pilene på siden av romskipet ble tegnet på i forbindelse med en annen oppgave.

Tegningen ble som vist fra oppgavens perspektiv, og elevene forsøkte deretter å sette seg inn i de ulike perspektivene til astronautene. Elevene analyserte situasjonen uten problemer. Samtidig kan man se noen spor av de ulike argumentasjonsformene i elevsitatene ved at 1 og 3 tilegner Lisa en fart når hun egentlig skal være definert som i ro. Samtidig bruker elevene tegningen aktivt under denne beskrivelsen, og virker derfor å ha tegningen som et foretrukket referansesystem.

«1: Ok $V_1 = V_2$. Så Per vil oppleve at Kari beveger seg vekk fra hu, mens Kari opplever det motsatte, mens Lisa opplever at hun kommer raskere fra hu enn han.

(...)

3: Jeg tror Lisa kjem til å raskere komme seg bort fra Kari enn Per for Per og Lisa er i samme retning.

(...)

2: Nei enig, Lisa vil jo se Per lenger enn hu kommer til å se Kari.»

Merk at elev 2 her benytter seg av verbet «se», noe som kan knyttes opp mot at eleven tolker relativitet som optiske effekter, som kommer tydeligere fram senere. Når elev 1 grep tak i størrelsene i oppgaven ble argumentasjonen til eleven stadigere og resonneringen kunne igjen minne mer om relativistiske resonnement. Samtidig kommer eleven med påstanden om at Lisa opplever at Kari beveger seg raskt fordi Lisa selv har en fart. Noe som kan forklares ved

at eleven aktivt brukte tegningen da den resonnererte. Elev 1 og 3 viste også at de behersket hastighetsaddisjon.

«L: Hvis dere vil tippe på hvor stor fart Lisa opplever Kari sin fart som? Ved v1, v2 og v3

1: Hun vil observere. For hvis hu der da tenker at hun står i ro, så vil jo hun at Kari beveger seg veldig raskt fra henne for hun sjøl beveger seg veldig raskt den veien her, mens Kari beveger seg den veien. Så hun vil oppleve at Kari har en veldig stor fart da.»

Evaluering av DC

Formuleringen av denne oppgaven ble endret fra den planlagte gjennomgangen, da læreren valgte å tegne en illustrerende figur for å enklere forklare oppgaven for elevene. Dette ble gjort da elevene hadde brukt mye tid på å forestille seg oppgavene og det å støtte elevene med tegningen ble vurdert som viktigere enn at elevene skulle forestille seg situasjonen helt selv. Elevene virket å tjene på å ha håndfaste størrelser å diskutere, da det virket som det hjalp alle å gjennomføre galileiske transformasjoner uten problemer.

Det kom ingen av de forventede tegnene på at elevene skulle foretrekke referansen til romskipet, men med tegningen inne i bildet kunne det virke som at dette ble et foretrukket referansesystem. Dette kunne kanskje bli møtt med å tegne situasjonen fra et referansesystem som for eksempel definerer Per som i ro, slik at elevene skal transformere mellom tre referanser som bedre representerer likeverdet mellom dem. Samtidig er dette med på å illustrere hvorfor tegninger ble utelatt fra eksperimentene i utgangspunktet da de ledet elevene til å tenke de inneholder «riktige» verdier. Hvorvidt tegninger fremdeles kan begrunnes å inkludere vil bli diskutert i diskusjonskapittelet av oppgaven.

Fokuset i oppgaven gikk mot Galileiske transformasjoner framfor å diskutere likeverdet av treghetssystemer da dette ble sett på som mest verdifullt. I argumentasjonen trakk Elev 1 inn definisjonen av å være i ro, og brukte dette aktivt i sin resonnering i oppgaven. Eleven trekker samtidig definisjonen opp mot at Lisa «tror» hun er i ro, noe som kan minne om en absolutt resonnering. Elev 2 viser også noen tegn til at den knytter relativitet opp mot optiske fenomen, dette er sett i lys av situasjoner som oppstår senere.

Evaluering av TC

I etterkant av oppgaven viser både elev 1 og 2 tegn på at de resonnerer med absolutte referansesystem. Dette er vurdert i lys av at elev 2 viser tegn til at relative størrelser er knyttet til observasjoner, og ikke størrelser som defineres ut fra referansesystem. Elev 1 blir vurdert slik i lys av at den virker å foretrekke referansesystemet i tegningen.

Alle elevene mestret å utføre de galileiske transformasjonene, men det kan samtidig virke som de feiltolker hva transformasjonene fysisk innebærer. Slik kan man peke mot poenget med å konstruere en betydning av RP. Forstår man RP og vil man komme til riktige tolkninger av transformasjoner, og motsatt vil riktige tolkninger av transformasjoner gjøre at det er enklere å se betydningen av RP. Problemet med de fysiske tolkningene kom tydeligere til syne i neste oppgave.

Vurdering av læringsmål

Elev 1 integrerte definisjonen av å være i ro i argumentasjonen sin, og er derfor vurdert til å ha fått innsikt i dette læringsmålet.

Elev 1: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem.*

Elev 2: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer.*

Elev 3: *Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer.*

Læringsmålene gruppa har vært innom: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem.*

Oppgave 5: Gummikuler

I oppgave 5 ble det introdusert gummikuler som blir skutt mot begge veggene av romskipet fra Lisa som står like langt fra begge veggene. Elevene valgte overraskende for læreren å beskrive situasjonen fra Per/Kari, noe som gjorde at samtlige fikk problemer med å forestille seg oppgaven. Dette førte til at læreren ba elevene om å analysere situasjonen som Lisa først.

«L: (...) Vi kan gjøre det enklere. Se heller for dere at dere er Lisa. Hvilken treffer først.

«2: Vil de ikke treffe samtidig? Inni romskipet»

L: Yes, bra kan du forklare?

2: Øh, hvis vi ser situasjonen som Lisa så står vi i ro, men det gjør vel romskipet og liksom?

L: Ja bra! Så hvis vi er Lisa klarer vi enkelt å se at kulene treffer samtidig. Så tror dere det er annerledes hvis dere er en av de andre?

2: De ser jo kanskje farten til romskipet i tillegg da, så da vil de kanskje se at kula som går bakover treffe først.

1: Ja, men den vil vel ikke treff først da.

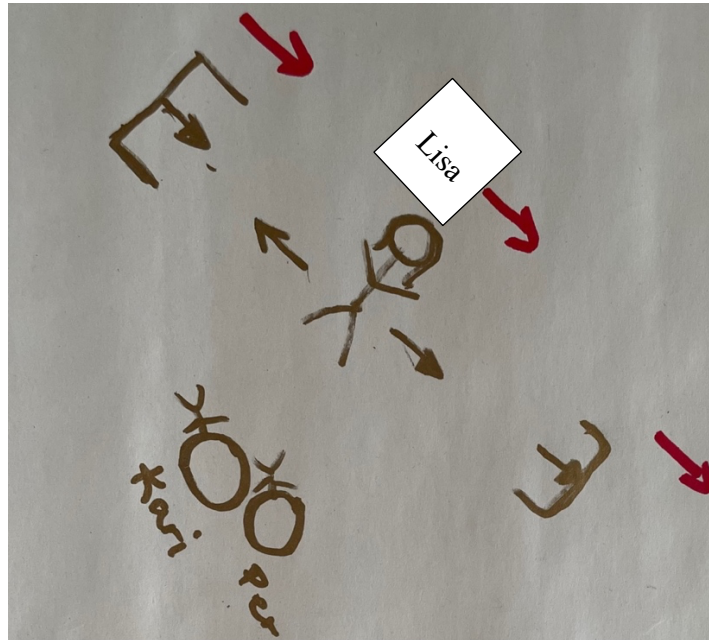
2: Nei, men de vil se det sånn.

1: Men det e vel ikke sånn at den treff først?»

Elev 2 analyserte situasjonen som Lisa og kom fram til at kulene traff samtidig. Eleven bruke definisjonen av å være i ro for å si at Lisa og veggene ikke bevegde seg relativt hverandre og dermed ville kulene treffe samtidig. I etterkant utfordret læreren eleven på om den tenkte det ville skje noe annet i det andre referansesystemet. Eleven viste da igjen tegn til at den blandet relativistiske effekter inn i klassiske forsøk, og så transformasjonene som optiske fenomener. I diskusjon med elev 1 kom det fram at elev 2 tenker Kari og Per kunne oppleve situasjonen annerledes enn Lisa, men elevene virket som de var enig i at hva som skjedde i Lisas referansesystem, var det som «egentlig» skjedde. Merk igjen at elev 2s verbbruk indikerer at den tenkte at relativitet er knyttet til optiske effekter. Elev 1 utfordret da eleven på synet sitt, uten å nødvendigvis si den var uenig i elev 2s påstand, men 1 trakk fram et poeng om at selv om Per og Kari ville sett noe annet, så ville ikke dette skjedd. I lys av dette virker det som elev 1 tror på en absolutt samtidighet i klassisk fysikk, noe elev 2 virker å være enig i.

Elev 3 hadde i mellomtiden tegnet oppgaven i referansesystemet Per og Kari har innsikt i. Mens elev 1 og 2 ble enige om at begge kulene traff samtidig, var elev 3 fremdeles sikker på at farten på romskipet ville gjøre at kulen traff bakerste vegg først. Tegningen viste at eleven

hadde oversett at Lisa selv hadde en fart lik romskipet i referansesystemet, noe som gjorde at elevens analyse ble feil. Elev 2 tegnet på de røde pilene for å illustrere for eleven, men eleven virket fremdeles ikke å forstå poenget.



Bilde 6: Elev 3s tegning av oppgave 5 analysert som Kari og Per.

For å illustrere ideen for elev 3 brukte læreren forskjellen på resultater i et akselerert referansesystem og et treghetssystem.

«L: Hvis skipet hadde akselerert derimot ... (Læreren spør elev 2)

2: da hadde kulen truffet bakerst først?

3: Aaah

L: Og hva vis romskipet hadde bremsset? (Læreren spør elev 1)

1: Da hadde den truffet fremst?» (Læreren spør elev 1)»

Ved reaksjonene til elev 3 kan det tyde på at elevens kunnskaper om bevegelse og ikke var tilstrekkelig for å analysere situasjonen. Elev 1 og 2 som virker å beherske bevegelse, analyserer derav de ulike tilfellene uten problemer.

Evaluering av DC

Ser man oppgaven i lys av designvalg, ble ideen om å la elevene analysere situasjonen fra et valgfritt perspektiv hemmende. Elev 3, som ved mange anledninger har indikert at den argumenterte ved spontan kinematikk tok styring og valgte referanse. Resten av gruppa fulgte dette sporet isteden for å argumentere for å analysere situasjonen fra Lisas perspektiv. Det kan tenkes at de andre elevene ville valgt dette i lys av hvor enkelt de analyserte situasjonen da de ble plassert i denne referansen i etterkant. Valget til elev 3 kan begrunnes ved spontan kinematikk eller absolutte referansesystem ved at eleven kan tenke at Per og Kari er de eneste som «ser» bevegelsen romskipet har, og derfor vil eleven analysere herifra for å ha med all relevant informasjon. Dette kan også bli støttet av at eleven kom til gale konklusjoner når den forsøkte å analysere. Selv om dette trolig var knyttet til tolkningen av oppgaven og hvordan *bilde 5* ikke ga mening.

De to andre elevene hadde tidligere vist at de hadde bedre forståelse for bevegelse enn elev 3, løftet dermed diskusjonen. Elev 2 analyserte fra Lisa uten problemer, men viste tegn til absolutte referansesystemer ved at eleven mente at Per/Kari ville si kulene traff bakveggen først. Min hypotese er at eleven er påvirket av en blanding av relativistisk støy, absolutte referansesystem og en misoppfatning knyttet til observatørfenomenet. En dypere analyse med begrunnelser for dette kommer i den teoretiske analysedelen av oppgaven. Elev 1 blir vanskeligere å plassere da eleven ikke tar noen konkrete standpunkt til hva den tror skjer, men den utfordrer elev 2 på sine tanker. Oppgaven inkludering av kuler som beveger seg i veldig høy hastighet relativt observatørene virker som et element som trekker ut om elevene er påvirket av relativistisk støy, noe som kan vurderes i design av relativistiske oppgaver.

Evaluering av TC

Den interessante diskusjon mellom elev 1 og 2 retter seg mot flere av målene for timen. For det første leder diskusjonen mot behovet for RP, ved at elev 1 og 2 begynner å stille spørsmål ved oppfatningen om at relativitet er optiske effekter, og reflekter rundt om de faktisk er reelle beskrivelser. Diskusjonen kobler også sammen flere av læringsmålene, da den handler om å tolke flere av de grunnleggende komponentene satt sammen. Her blir elevene vurdert til å bli mer beviste på egen forståelse da elev 2 blir nødt til å formulere hvordan den ser på relativitet, en refleksjon elev 1 tar del i.

Elevene virket samtidig å være enig i at hva Lisa observerte var det som «egentlig» skjedde, uavhengig av referanse, slik at samtidighet besto som absolutt i deres oppfatning. Samtidig hadde elev 2 en idé om at Kari og Per kunne observere noe annet. I lys av oppgavens forventninger kan vi knytte dette opp mot relativitet som optiske effekter som har utsprang fra absolutte referansesystemer, relativistisk støy og misoppfatninger knyttet til verbbruk. Samtidig er det vanskelig å avgjøre om elevene kommer til en verdifull konklusjon, da elevene ikke virker å være sikre på om konklusjonen stemmer sett ved elev 1s spørrende avslutning. I lys av at elevene virket å ha konkludert riktig, ble ikke den illustrerende metaforen brukt, men den kunne trolig hjulpet med å understreke poenget. Her kunne lærer også tatt grep ved å grundig forklare elevene begrepet observatør. Samtidig hadde elev 3 ikke fulgt med på diskusjonen, slik at forklaringen forsvant da fokuset gled over på å forklare elev 3 hvordan man skulle tolke oppgaven.

Man kan se at funnene blant elevsvarene stemmer overens ved forventningene ved at elevene kom til gale konklusjoner på veien, men gjennom diskusjon med hverandre ender de opp med å komme til riktig konklusjon, selv om det er noen problemer til tolkningen. At elev 3 ikke nådde dette målet kan forklares med elevens spontane argumentasjonsform og problemene knyttet til tolkningen av oppgaven. Resultatene peker også på at referansen Per/Kari byr på mer utfordringer enn om man analyserer som Lisa, noe som også stemmer overens med forventningene.

Vurdering av læringsmål

Elev 2 benyttet seg nå av definisjonen av å være i ro. I tillegg skilte elev 1 og 2 resultatene i et akselerert referansesystem og et treghetssystem. Gruppen gikk inn på en diskusjon som kan knyttes opp mot likeverdet av treghetssystemer, men graden av innsikt elevene har fått i læringsmålet er fremdeles uklar. I lys av hva elevene har vist i denne oppgaven er elevene vurdert til å få innsikt i følgende læringsmål:

Elev 1: Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem. Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem.

Elev 2: Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem. Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem.

Elev 3: *Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer.*

Læringsmålene gruppa har vært innom: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem. Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem. Likeverdet av treghetssystem.*

Oppgave 6: Formulering av RP

I siste oppgave ble elevene satt til å måle hastigheten til romskipet de befant seg i. Elevene fikk frie tøyler til å utforske med alle tenkelige eksperimenter.

Elev 3 gikk først løs på oppgaven gjennom å hive ut en astronaut og bruke den som referanse. Ideen hadde rot i at elevens spontane argumentasjonsform, men etter litt ettertanke så eleven problemer med forslaget sitt.

«3: Kan de ikke hive ut en person med tau?»

(...)

3: Ja, men hør da!?! Så har han et målebånd og en stoppeklokke så kan de måle m/s. Da har de jo meter per sekund da har de jo fart.

(...)

L: Okei, så i et tilfeldig referansesystem ser vi skipet beveger seg med farten v , så hiver de ut Per på siden her. Hvilken fart beveger Per seg i da?

3: Han vil vel bli med kanskje da?»

Eleven slapp likevel ikke ideen, og tenkte det ville hjelpe å hive han ut bak. For at eleven skulle forstå bedre ble det også brukt en illustrerende metafor.

«3: Men de beveger seg vel ikke med samme fart hvis de ikke er festet?»

L: Joda, eller det dere måler i så fall er farten Per får i forhold til dere etter at dere har dyttet han ut. Se for dere at dere spiller hockey og dere har en puck på siden av dere mens dere går på skøyter. Så slipper dere pucken uten å skyte den mens dere går videre. Hva vil skje da?

2: Dere går likt.»

Elevene virket å se poenget med metaforen, og elev 3 avslører etterpå at problemet stammer fra at den fremdeles forveksler fart og akselerasjon.

«3: Men den har liksom ikke en motor som gir den ekstra fart?»

L: Nei, den akselerer ikke.

3: Så derfor vil den ha lik fart som Per om vi hiver han ut».

Elev 1 forsøkte også nå å analysere situasjonen ved å bruke verktøy den kjente igjen fra jorda. Læreren forsøkte å støtte eleven til å trekke ut behovet for en referanse. Her er det elev 3 som trekker fram dette poenget.

«1: Hvordan gjør man det med en bil da? Sånn laser.

(...)

1: Ja den tar mål på hvor langt bilen beveger seg på så lang tid.

L: Ja og hva gjør de som tar målingen da? Jo de stiller seg i veikanten sant?»

3: Aaaah Ja! Så da har de en posisjon de tar ut fra.

L: Ja bra!

3: Ja det er det vi på en måte mangler da? Det va derfor jeg ville hive ut Per. Men vi får han ikke til å bli fast der sia han og beveger seg!»

I etterkant av dette forsøkte elev 1 og 3 seg på idémyldring, men kom aldri med noen plan som kunne gi dem en referanse. Her kom elev 2 inn i bildet og presenterte noe den tenkte kunne løse oppgaven.

«2: Kan vi bruk lys eller nå sånt da? Hvis det alltid beveger seg med samme hastighet?»

Eleven indikerte at den hadde noen forkunnskaper om lyshastigheten som gjorde at den tenkte at nøkkelen til å løse problemet lå der. Eleven hadde ingen konkrete måter å bruke det på, og ved oppfølging kunne den ikke utdype ideen sin. I lys av at de andre elevene heller ikke hadde

flere ideer brukte læreren muligheten til å knytte ideen opp mot Michelsen-Morley eksperimentet. Da elevene ikke har noen forhold til konseptet eter, ble dette utelatt fra forklaringen, selv om dette blir historisk unøyaktig.

«L: Ja det er et morsomt forslag det med lyset. Forskerne Michelson og Morley prøvde som deg å måle jordas hastighet i forhold til det tomme rom ved å bruke nettopp lyshastigheten. (...) Resultatene av eksperimentet var iallfall at de ikke kunne måle noen som helst fart.»

Etter å ha diskutert dette med elevene trakk elev 2 ut poenget med oppgaven.

«2: Så da ja? ... Er det umulig da? Er det det som er greia liksom?».

I etterkant av dette brukte læreren muligheten til å knytte elevens kommentar opp to av betydningene av RP. Elev 1 og 2 satt nikkende og virket å forsøke å prosessere situasjonen, mens elev 3 kom med et oppfølgende spørsmål.

«3: Så det e det som e greia med å hiv ut Per. At han e i samme treghetssystem?»

Slik virker eleven å ha forstått poenget med hvorfor sine forsøk ikke ville fungere. Samtidig virker det som elevens mangel på forståelse ikke gjør at eleven har riktig forstått poenget med oppgaven. Samtidig viser eleven at den har fått en liten innsikt i RP, ved at man kan trekke linjer mellom hva eleven sier og betydningen som sier at det er umulig å måle hastigheten til et referansesystem i henhold til systemet selv. Og det er derfor mulig å argumentere for at Elev 3 også så behovet for RP.

I en avsluttende sekvens etter at timen var over nevnte læreren lyspostulatet, og at det i kombinasjon med RP gir store konsekvenser som var verdt å sjekke ut. Elevene sa alle at de ville gjøre dette, men det er ikke undersøkt om de faktisk har gjort dette i etterkant. I en annen undervisningssituasjon ville lærer gjort andre valg, men i lys av at dette var et forsøk som gikk over en time valgte læreren å forsøke å inspirere elevene til videre utforskning selv for at elevene skulle få kunne utforske de spennende konsekvensene av SR.

Evaluerings av DC

I etterkant av oppgaven kan man nå se hvordan diskusjonen utformet seg. Som tenkt valgte elevene å angripe oppgaven gjennom forsøk som minnet om de fra tidligere oppgaver. Elev 3

ble den som kom med flest forslag, noe som kan være knyttet opp mot at eleven var den som hadde størst problemer med å se hvorfor de ikke ville fungere. De fleste forslagene virket å være motivert av å skaffe seg en referanse de kunne knytte måle farten ut fra. Elev 3 kom da med forslag basert på en tro om absolutt ro, ved å kaste ut en astronaut og bruke den som referanse. Reaksjonen fra de andre elevene indikerte at de kunne så problemene med dette.

De andre forslagene til elevene kan man knytte opp mot hvordan de måler fart i andre sammenhenger. Elev 1 trakk diskusjonen mot lasermålinger som gjøres i forbindelse med biler. Slik klarte lærer da å trekke fram behovet for en referanse for elev 3, og elev 3 uttrykte noe som kan kalles et eurekaøyeblikk, da den nå forklarte problemet med tidligere forslag.

Da elevene ikke hadde noen andre måter de kunne tenke seg å skaffe en referanse gikk elev 1 og 3 tom for ideer. Her kom elev 2s relativistiske støy inn i bildet da eleven foreslo at de kunne bruke den konstante lyshastigheten til å måle farten. Samtidig hadde ikke eleven tilstrekkelig med kunnskaper om lyshastigheten til å kunne komme med et konkret forslag. Læreren trakk derfor linjer mot eksperimentet til en formulering av Michelson-Morley eksperimentet, som enklere skulle kunne kobles opp mot betydningen av RP. Dette var for å vise elevene at forskere har forsøkt å løse en liknende problemstilling ved en liknende metode, og at forsøket ikke ga noen utslag. I etterkant av dette klarte elev 2 å tolke poenget i det læreren sa, og trakk da fram at poenget med oppgaven var at den var umulig.

Oppgaven virker å ha engasjert elevene til alle de ønskede samtaleformene, da de individuelle elevene alle bidro i en diskusjon, alle uttrykte en form for logiske resonnement, samt at samtlige elever endte opp i åpen refleksjon. Utformingen av disse formuleringene ble preget av elevenes argumentasjonsformer som vil bli vurdert i begynnelsen av evalueringen av TC.

Evaluering av TC

For å begynne med vil elevenes resonnement bli forsøkt identifisert basert på et helhetlig bilde fra alle oppgavene. Elev 3 blir enklest å plassere, da eleven viser tydelige spor av spontan kinematikk som preger resonnementene til eleven gjennom hele opplegget. Samtidig kan reaksjonene i siste oppgave tyde på at eleven begynte å innse enkelte av problemene med egen argumentasjon, og det hadde vært interessant å se om eleven ville kunne oppnådd en relativistisk argumentasjonsform ved å jobbe med egen forståelse over tid. Dette begrunnet av elevens behov for å få poeng illustrert for seg selv flere ganger før den viste tegn til å ta det til seg. Dette vil analyseres nærmere i den teoretiske analysedelen.

Elev 1 ble derimot vanskeligst å plassere, da elevens argumentasjon varierte veldig, og eleven ofte var med å diskutere andre elevers forslag. Dette viste seg gjennom at eleven i flere situasjoner analyserte situasjoner på et høyere nivå, gjerne i diskusjon med elev 2. Samtidig som eleven spilte på ideene til elev 3, som kunne ha rot i misoppfatninger. Slik ble eleven en viktig del i å utvikle gruppens kunnskaper ved at den møtte de andre elevene på deres nivå, og hjalp dem å forstå seg på sin tankegang. Dette hadde samtidig en konsekvens ved at elevens argumentasjon varierte veldig, og gjorde den vanskelig å plassere, men elevens stødighet rundt bevegelse og egenskaper til å løse ulike oppgaver, i kombinasjon med kommentarer som kunne indikere en tro på absolutte hastigheter gjorde at eleven ble vurdert til å argumentere ved absolutte referansesystem med spor av relativistiske trekk.

Elev 2 hadde også en del trekk som viste til at den hadde en blandet argumentasjonsform med trekk fra absolutte referansesystem og relativistiske resonnement. Det blir i den teoretiske analysen gjort en dypere analyse som plasser elevens argumentasjon innenfor argumentasjonsformer og misoppfatninger.

Hovedmålet med oppgavens oppsett var at elevene til slutt skulle ha fått dannet seg et bilde av komponentene som inngår i RP, og derav se en anledning til behovet for RP. Nå vil det først vurderes hvordan elevene har vist innsikt i de grunnleggende komponentene, før det argumenteres for hvilke elever som så anledningen til behovet for RP.

Det første man kan ta tak i er hvordan de ulike elevene gjennom undervisningsøkten har uttrykk en grunnleggende forståelse for bevegelse som er god nok til at de får til å utforske innholdet i RP i siste oppgave i ulik grad. Elev 3 er fremdeles preget av spontan kinematikk, noe som gjør at den bruker lang tid på å forstå hvorfor forslagene den kommer med ikke vil fungere. Samtidig illustrerer eleven at den innehar kunnskapene til å se manglene ved egen argumentasjon så lenge den har støtte fra andre elever eller en lærer. Slik løfter eleven egen argumentasjon i siste oppgave, og trekker ved flere tilfeller fram behovet for en referanse i oppgaven. Dette kan være et tegn på at en utvikling av forståelse er satt i gang. Hvordan elev 3 blir opptatt med å forstå problemene med egne logiske resonnement kommer i kontrast med elev 1 og 2 som løftet diskusjonen sin i oppgave 5, og forsøkte allerede der å tolke konseptene de arbeidet med. Slik peker dette mot hvordan de grunnleggende kunnskapene påvirker tolkningene av tankeeksperimentene, og at fokuset som er rettet mot dette viker å være verdifullt.

Da det kommer til elev 1 virker denne eleven å beherske disse grunnleggende komponentene på et høyere nivå enn elev 3, og den blir støttende for at elev 3 klarer å dra riktige konklusjoner. Det samme gjelder elev 2, til tross for at eleven er mer tilbakeholden i diskusjonen er den vurdert på et likt nivå som elev 1 i lys av tidligere oppgaver. Dette peker mot at de ulike elevene fikk ulik nytteverdi av undervisningsopplegget. Elev 3 virker å ha hovedsakelig jobbet med sin grunnleggende forståelse. Elev 2 som allerede virket å ligge på et sterkt faglig nivå fikk heller utfordret seg på diskusjoner rundt egen oppfatning, og fikk på denne måten mest verdi ut fra å reflektere rundt konsekvensene av disse. Disse diskusjonene skjedde i samtale med elev 1, som diskuterte mye med begge elevene. Elev 1 virket å tjene på dette, da vurderingen av eleven var at den løftet argumentasjonen sin gjennom undervisningsopplegget.

Det kan argumenteres for at Elev 1 og 2 har sett en anledning for behovet for prinsippet. Elev 1 går tom for ideer, og sier at den ikke ser noen løsning på problemet. Selv om eleven aldri foreslår at det er umulig, kommer eleven i en posisjon hvor den uttrykker et behov for noe som kan hjelpe den å løse oppgaven. Det samme gjelder elev 3, men i lys av elevens problemer knyttet til forståelsen av de grunnleggende komponentene, vurderes eleven til å ikke være i stand til å se anledningen til dette behovet. At eleven tidligere hadde gitt uttrykk for å forstå oppgaver den ikke hadde forstått er også vektlagt her. Elev 2 trekker inn sine forkunnskaper om lyshastigheten, og forsøker å konstruere å undersøke hvordan de beveger seg i forhold til lyset. Løsningen på dette forslaget kommer fram igjennom RP, ved at det er umulig å bestemme hastigheten deres i henhold til det tomme rom. Illustrert av lærer gjennom resultatet av Michelson-Morley eksperimentet. Slik kan man da se argumenter for at minst 2 av 3 elever har sett en anledning for behovet for RP, noe som peker mot at hovedmålet ved oppgaven ble oppnådd.

Oppgaven virker også å ha engasjert elevene og inspirert til videre utforskning. Det første argumentet for dette viser seg i siste oppgave gjennom at elevene kommer med en rekke forslag viser et engasjement for å løse oppgaven. Dette ble tolket som at elevene var nysgjerrige på temaet, og kan indikere at de vil utforske det videre. Måten elev 3 kom med oppfølgende spørsmål for å koble RP opp mot forslagene sine er også en indikasjon på dette. En siste indikasjon kommer gjennom at elevene forteller lærer at de ønsker å utforske temaet videre, selv om det ikke er fulgt opp om elevene faktisk gjorde dette.

For å oppsummere peker funnene mot at den utforskende undervisningstilnærmingen har et potensiale for å hjelpe elevene se anledningen for behovet for RP. Dette vises gjennom at 2 av 3 elever er vurdert til å se dette, samtidig som den tredje eleven viser tegn til at den også kan nå dette punktet. Eleven som ikke ble vurdert til å nå dette målet er samtidig vurdert til å ha gjennomgått en verdifull læringsprosess knyttet til elevens forståelse av bevegelse. De andre elevene er også vurdert til å ha fått et mer bevisst forhold til egne oppfatninger, i tillegg til at lærer har fått et innblikk i det samme. Hva disse funnene impliserer vil bli diskutert senere i oppgaven.

Vurdering av læringsmål

I lys av forrige oppgave har elevene ved slutten av undervisningsopplegget blitt vurdert til å delvis beherske følgende punkter.

Elev 1: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem. Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem.*

Elev 2: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem. Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem. Formulering av RP*

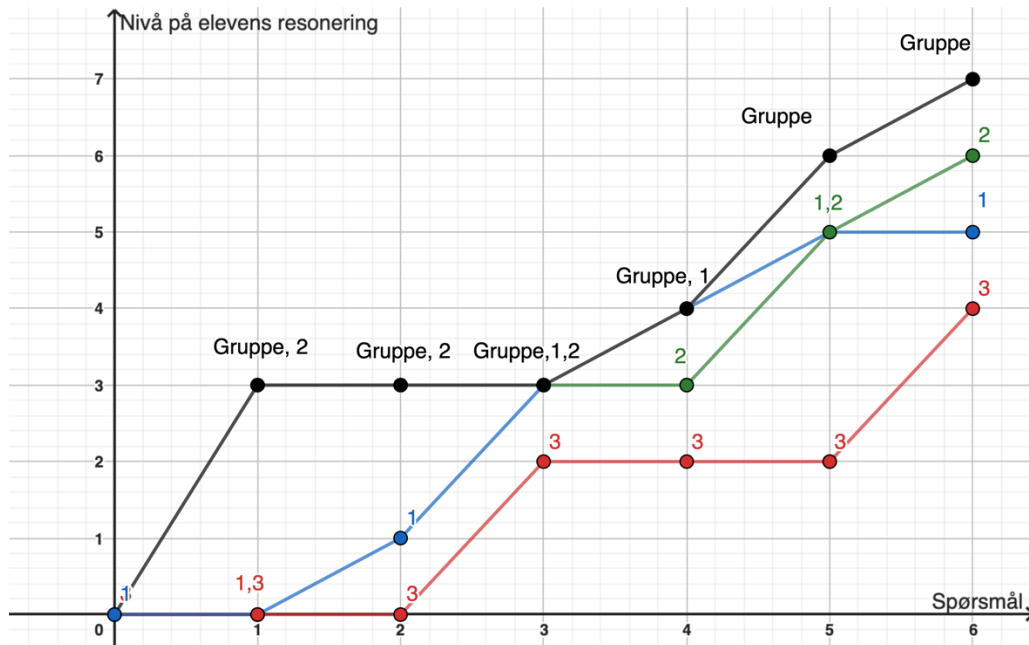
Elev 3: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem.*

Læringsmålene gruppa har vært innom: *Definisjonen av bevegelse. Hva inngår i begrepet relativt. Å analysere en situasjon fra ulike treghetssystemer. Definisjonen av det å være i ro i et treghetssystem. Skillet mellom et akselerert referansesystem og et treghetssystem.*

Likeverdet av treghetssystemer. Formulering av RP

Under presenteres *Figur 1* som illustrerer hvordan elevene fikk innsikt i de ulike læringsmålene i løpet av undervisningsopplegget. x-aksen viser hvilket spørsmål i prosessen man er på, mens y-aksen viser et mål på elevens resonnering vurdert opp mot hvor mange av de sju læringsmålene det er vurdert at elevene har fått innsikt i. Elevenes resonnering er uttrykt ved punkter, og utviklingen mellom hvert spørsmål er illustrert ved linjer. Hvorvidt elevene har fått innsikt i de ulike læringsmålene, er tolket og begrunnet i analysen over. Det er tenkelig at elevene har behersket disse ulike komponentene tidligere, men at det bare ikke er

gjort eksplisitt for gruppa gjennom at andre elever har løst oppgavene først. Derfor er det også lagt inn et mål på de læringsmålene gruppa som helhet har diskutert. Det er også viktig å nevne at dette er tolkninger av elevenes innsikt, og tolkningene behøver ikke vær helt korrekte.



Figur 1: Utviklingen av elevenes argumentasjon gjennom undervisningsopplegget i lys av de syv læringsmålene. Elev 1-Blå, Elev 2- Grønn, Elev 3- Rød. Gruppen som helhet er representert som sort.

Figur 1 viser at elev 2 tidlig viste et høyt nivå på resonneringen sin. Vi ser hvordan grafen illustrer at eleven ikke fikk utfordret seg før elev 1 hadde utviklet sin argumentasjon til å kunne diskutere med eleven. Dette er også påvirket at få nye læringsmål ble introdusert i disse oppgavene. Eleven ble vurdert til det høyeste nivået til slutt, da denne eleven ble den i gruppa som formulerte RP. Man kan argumentere for at elev 1 skal bli vurdert til det samme nivået, da eleven også så behovet for RP, men eleven formulerte det ikke indirekte slik som elev 2.

Følger man elev 1 kan man se at eleven starter på det laveste nivået, da den ikke får vist fram kunnskap i oppgave 1. Dette er ikke fordi eleven mangler kunnskaper, men eleven bidrar mest til å trekke ut andres tanker og diskutere rundt dette. Elevens kunnskaper blir eksplisitte i løpet av opplegget, og elev 1 mestrer trolig flere læringsmål enn elev 3 før begynnelsen av undervisningsopplegget. Elevens gradvise økning kan også kobles mot hvordan den implementerte poengene som læreren trakk fram i sin argumentasjon. Eleven var blant annet den første i gruppa til å bruke definisjonen på å være i ro. Elev 1 og elev 2 viser tegn til å

tjene på å diskutere med hverandre i andre halvdel av opplegget, noe som illustreres igjennom utviklingen deres sett i *Figur 1*.

Elev 3s utvikling er den man har mest grunnlag for å vurdere ved at denne eleven var mest aktiv. Vi ser at elevens manglende innsikt i læringsmålene i forhold til 1 og 2 kan forklare hvorfor eleven ikke bidro i diskusjonene som gikk på et høyere nivå. Vi ser også hvordan elevens framgang i siste oppgave blir illustrert.

Teoretisk analyse

I denne delen av analysen vil elevene bli dypere analysert på hver sin måte. Elev 3 vil analyseres etter modellen for conceptual change. Dette for å illustrere elevens progresjon gjennom oppgaven, og elevens tegn til å ha potensiale for videre utvikling. Elev 2s argumentasjon vil bli forsøkt plassert nøyaktig blant misoppfatninger og argumentasjonsformer for å finne nøyaktig hvorfor elevens oppfatninger uttrykker seg slik de gjorde. Til slutt vil elev 1 analyseres dypere for å argumentere for hvorfor eleven ikke argumenterer med spontan kinematikk, samt utheve elevens viktige rolle i gruppedynamikken.

Elev 3 og Conceptual change

Under identifiseringen av elev 3 kom det fram at den har spor av både spontan kinematikk og absolutte referansesystemer. Dette var kombinert med misoppfatninger knyttet til hvordan legemer oppfører seg i rommet og eleven uttrykte derfor vansker med å løse oppgavene.

«3: Kari kjem nærmere og nærmere lyset da, vil hun se selv.» (Absolutt referansesystem/Spontan kinematikk)

«3: Han kan jo gjøre noe for at han skal komme seg nærmere, som å svøm eller noe sånt. Men jeg tror begge kommer til å bevege seg litt.» (Spontan kinematikk)

«3: Hvis man er i rommet, kommer man ikke alltid til å bevege seg? Ja eller flyt rundt eller nå.» (Misoppfatning om rommet)

I det første sitatet observerer indikerer eleven at den tenker på hastighet som en absolutt egenskap knyttet til legemer. Når læreren utfordrer eleven, viser eleven usikkerhet om hvordan bevegelsen vil fortsette, som peker mot spontan kinematikk. Dette vises igjen da

eleven forventer at bevegelsen vil stoppe med mindre Kari "svømmer i rommet". Eleven er også usikker på sin egen argumentasjon når den sier at begge beveger seg litt, som kan peke mot at eleven har misoppfatninger om bevegelse i rommet som kan sammenlignes med hvordan elev 2 viser tegn til relativistisk støy.

I alle tilfellene over ble det gjort tiltak for å illustrere problemer med elevens argumentasjon, ved metaforer, refleksjon eller forklaring av andre elever. Eleven ga flere ganger inntrykk av at den forsto problemene, samtidig som disse problemene kom tilbake i senere oppgaver, noe som indikerte at eleven ikke hadde gjennomgått Conceptual change.

Disse misoppfatningene hang igjen helt til siste oppgave da eleven forsøkte å løse den på en måte som ville fungert i lys av spontan kinematikk, slik:

*«3: Kan de ikke hive ut en person med tau? Så har han et målebånd og en stoppeklokke så kan de måle m/s. Da har de jo meter per sekund da har de jo fart.»
(Spontan kinematikk)*

«3: Men har han ikke en masse lik 0 i rommet?» (Misoppfatning om rommet)

I motsetning til tidligere i undervisningsopplegget, var eleven i denne delen mer mottagelig for refleksjonsspørsmål, og ved at eleven hadde møtt lignende situasjoner flere ganger resulterte dette i at eleven klarte å løfte argumentasjonen sin selv ved å reflektere over forslagene den kommer med.

«L: Okei, så i et tilfeldig referansesystem ser vi skipet beveger seg med farten v , så hiver de ut Per på siden her. Hvilken fart beveger Per seg i da?»

3: Han vil vel bli med kanskje da?»

Når eleven tenker seg om, kan den ved erfaring fra tidligere oppgaver forutsi bevegelsen, og løsriver seg fra spontan kinematikk. Her virker det som at mengdetrening blir avgjørende for at eleven skulle kunne utvikle argumentasjonen sin. Den spontane kinematikken sitter sterkt hos eleven vist ved at eleven fortsatte å søke etter like svar.

For å illustrere problemet for eleven ble det brukt en illustrerende metafor som lærer trakk ut fra elev 1s svar:

«L: Ja, og hva gjør de som tar målingen da? Jo de stiller seg i veikanten sant?»

3: Ja så da har de en posisjon de tar ut fra.»

Metaforen resonnerer med elevenes forkunnskaper, behovet for en referanse kan knyttes mot den eksisterende forståelsen av bevegelse. Nedenfor følger prosessen hvor eleven åpent resonnerer om hvordan den ser mangelen med sin gamle definisjon av hastighet, og legger til behovet for en referanse. Dette gjør at ting løsner for eleven, og eleven løfter argumentasjonen sin betraktelig i resten av undervisningen.

«3: Ja det er det vi på en måte mangler da. (..)

3: Men vi får han ikke til å bli fast der sia han og beveger seg.

L: Sant ja, for dere kan hive ut Per ...

3: Vi får ikke noe start sted.

3: Men vi har ingen posisjon å ta ut fra, det e det som e problemet. Alt rundt e helt svart og hvis vi hiv ut nå beveger det seg likt som oss.»

Dette satt ved eleven resten av undervisningen, og eleven kom flere ganger tilbake til dette. Et eksempel på dette er ved at eleven viser at den klarer å se likheten mellom oppgaven og den ene definisjonen av relativitetsprinsippet.

«3: E det litt det med Per at hvis vi hiv han ut har han samme fart på en måte? Han er en del av vårt treghetssystem?»

Det noteres at det henger igjen en form for absolutt argumentasjon hos eleven, men eleven indikerer at den har innsett problemene med sin argumentasjon og forsøker dermed å trekke linjer mellom sin nye oppfatning og RP.

Vi ser nå situasjonen i lys av kjennetegnene for å oppnå akkomodasjon:

Elevens definisjon av bevegelse mangler en referanse, noe som senere assimileres.

«L: Ja, hvordan definerer du bevegelse da?

3: At du endrer din plassering?

(...)

3: Ja i forhold til Per da?»

Konseptet om at bevegelse må defineres relativt er nå introdusert for eleven, og eleven går nå inn i den ubalanserte fasen. Her må eleven møte på situasjoner hvor denne oppfatningen blir utfordret.

1. Det oppstår en misnøye med eksisterende oppfatning.

«3: Kan de ikke hive ut en person med tau?»

(...)

«3: Ja, men hør da!? Så har han et målebånd og en stoppeklokke så kan de måle m/s. Da har de jo meter per sekund da har de jo fart.»

(...)

«3: Han vil vel bli med kanskje da?»

Eleven viser misnøye da den ikke kommer til en løsning ved egen oppfatning.

2. Illustrerende metafor

Eleven så at argumentasjonen ikke led til en løsning, men så ikke hvorfor. For å illustrere dette ble det brukt en metafor knyttet til et kjent fenomen.

«1: Hvordan gjør man det med en bil ja? Sånn laser.

(...)

L: Ja og hva gjør de som tar målingen da? Jo de stiller seg i veikanten sant?

3: Aaaah Ja! Så da har de en posisjon de tar ut fra.

L: Ja bra.

3: Ja, det er det vi på en måte mangler da. Det va derfor jeg ville hive ut Per. Men vi får han ikke til å bli fast der sia han og beveger seg.»

Den illustrerende metaforen resonnerer med eleven og hjelper den å dra ut poenget.

3. Plausibilitet/ bruksverdi

I eksempelet over er det et poeng at metaforen har en bruksverdi. Den hjelper eleven med å løse oppgaven, eller i dette tilfellet, til å se at man ikke kan løse oppgaven. Det er trolig også effektivt at eksempelet er virkelighetsnært og noe eleven kjenner til, slik at den på den måten ser på resultatet som plausibelt.

4. Kan undersøkes videre.

Dette er noe eleven kan bruke videre i oppgaven, og eleven trekker opp dette poenget flere ganger i samme oppgave.

Elev 2 og en spredt argumentasjon

I analysen av oppgave 4 ble det nevnt en hypotese av at måten elev 2 tolket relativitet stammet fra en blanding av relativistisk støy, absolutte referansesystem og misoppfatninger knyttet til hva som gikk inn i observatørfenomenet. Dette kommer tydeligere til syne i oppgave 5. For å være mer presis, kan bildet mitt at elevens forestilling kan oppsummeres slik. Eleven ser på referansesystemer på noe som kan minne om at den knytter referansesystemet opp mot legemet (Panse et.al., 1994). Ut fra dette tolker eleven oppgaven som at den handler om observasjonsfenomener, da innsikten til referansesystemene blir formulert gjennom astronautene i oppgaven, uten å ha fått en innføring i hva som inngår i begrepet intelligent observatør (Scherr et. al., 2002). Dette kan bli videre påvirket av hvordan oppgave 5 har brukt verbet «se», noe som kan være med å framkalle disse tankene (Alstein et. al., 2021) Kombinerer man denne tolkningen med elevens argumentasjon som av og til uttrykket seg som absolutte referansesystem, og hvordan eleven delvis klarte å resonere relativistisk, resulterer det i en forståelse hvor relativistiske effekter oppstår mens et absolutt referansesystem består. Det at eleven blander inn relativistiske effekter i et klassisk eksperiment blir tolket til å komme fra relativistisk støy (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999) i lys av senere kommentarer om lyshastigheten. Slik ble eleven tolket til å ha en blanding av absolutte referansesystem og relativistisk resonnement med spor av misoppfatninger knyttet til referansesystem, intelligent observatør og relativistisk støy.

For å underbygge denne påstanden trekkes det ut illustrerende sitater:

Det første som kan trekkes fram er de ulike situasjonene eleven trakk fram kjennetegn fra absolutte referansesystemer. Eleven analyserer situasjonen riktig via Lisa, men kommer til en annen konklusjon fra Per/Kari.

2: De ser jo kanskje farten til romskipet i tillegg da, så da vil de kanskje se at kula som går bakover treffe først.

1: Ja, den vil vel ikke treffe først da

2: Nei, men de vil se det sånn.»

Eleven viser altså i dette sitatet et kjennetegn på absolutt hastighet, ved at romskipet har en absolutt fart. Den trekker fram problemet med observasjonsfenomenet gjennom verbbruken. Eleven viser også tegn til å være påvirket av relativistisk støy, ved at samtidigheten i denne oppgaven blir relativ. Dette underbygges med dette sitatet fra oppgave 6.

«2: Kan vi bruk lys eller nå sånt da? Hvis det alltid beveger seg med samme hastighet? Eller blir det bare inni romskipet?»

Slik trekker eleven ut en egenskap av lys som er sentral for teorien, men som samtidig blir tolket feil i på grunn av en mangel på kunnskaper. Slik kan det virke som at eleven allerede har et bilde av relativistiske effekter fra før, og derfor blander dem inn i svarene sine. Problemet med observatørfenomenet kan også underbygges med et sitat fra oppgave 4.

«2: Nei enig, Lisa vil jo se Per lengre enn hu kommer til å se Kari.

Da verbet «se» ikke blir brukt i oppgavebeskrivelsen før i oppgave 5, kan det virke som denne misoppfatningen har rot i noe annet. Elevene utforsket referansesystemer gjennom innsikten fra ulike astronauter. Dette har blitt gjort uten en nøyaktig gjennomgang av hva som ligger i å være en observatør og hvilken informasjon man kan hente ut. Slik har elevene fått grunnlaget konstruere sin egen betydning for dette begrepet, uten påvirkning av lærer. Slik kan relativistisk støy og misoppfatninger knytt til referansesystem vært med å påvirke elevens tolkning av begrepet. Her kan man og tenke på hvordan man i dagligtale bruker «se» og «observere» på svært like måter. Hvordan man kan håndtere dette vil bli tatt opp i diskusjonsdelen av oppgaven.

Elev 1 et søk om årsak og en drivkraft i gruppedynamikken

Elev 1 tok styringen opp til flere ganger i opplegget, uten at elevens argumentasjonsform ble enkel å plassere. Dette har blitt vurdert til å stamme fra to årsaker. Det første er at eleven ofte ville analysere situasjoner gjennom krefter. Da spontan kinematikk ofte uttrykkes ved at man knytter krefter og bevegelse opp mot hverandre ble dette et forvirrende aspekt for lærer. Derfor hadde lærer/forsker et bilde på at elevens argumentasjon var preget av spontan kinematikk under gjennomføringen. Samtidig, ved dypere analyse av elevenes sitater, kan man se at eleven aldri knyttet bevegelsen mot en kraft. Her er et utdrag av sitater som skapte forvirring:

«1: Hun vil da få en motkraft, for hun dytter ifra. Så vil hun se at Per beveger seg bort fra henne.»

(...)

«3: Da kjem begge til å bevege seg mot hverandre da?»

1: På grunn av gravitasjon?»

Vi ser at det første sitatet trekker fram kraften. Men at kraften heller blir en utløsende årsak til bevegelse, og ikke noe som blir ved legemet som en drivkraft. Tolkningen av sitatet ble begrunnet i den deskriptive analysen, men det kan oversettes til at eleven forklarer at Kari dytter Per. Dette resulterer i en kraft og en motkraft, og etter kraftavvekslingen vil Kari se at Per beveger seg bort fra henne. I lys av elevens andre kommentarer vurderte lærer at denne kommentaren stammet fra spontan kinematikk, og betydde at motkraften ble en drivkraft til bevegelsen. Lærerens tolkning var også motivert av det andre sitatet til eleven, knyttet til oppgave 1. Her ble det i utgangspunktet tolket som at elev 1 trodde begge astronautene bevegde seg, men under nærmere analyse kom det fram at dette var elevens måte å forstå hvordan elev 3 tenkte. Dette kan kobles mot den andre årsaken til eleven ble tolket feil, nemlig at elev 1 justerte seg etter de andre elevenes nivå, og spilte på ideene deres.

Slik ble eleven sentral for gruppedynamikken, og en drivkraft for flere diskusjoner. Dette kan begrunnes med at eleven gjorde flere utspøringer av andre elever, blant annet kan vi se det i diskusjonen med elev 2 i oppgave 5, og som støtte til elev 3 i siste oppgave. Når eleven derimot tok styringen i oppgaven selv, ble argumentasjonsformen mulig å identifisere. Her er noen illustrerende sitater:

«1: Så bevegelsesmengden er bevart hvis omgivelsene ikke gjør et arbeid på systemet, og siden de er i rommet så kan det ikke være noe som gjør et arbeid på systemet, så bevegelsesmengden må være bevart. Så hvis vi nå finner ut fart og masse til de to personene kan vi regne ut bevegelsesmengden etter kollisjonen.»

«1: Ok $V1 = V2$. Så Per vil oppleve at Kari beveger seg vekk fra hu, mens Kari opplever det motsatte, mens Lisa opplever at hun kommer raskere fra hu enn han.

Slik ser vi at eleven argumenterte med kjennetegn for absolutte referansesystem, samtidig som den hadde spor av relativistisk resonnering. Eleven ga også uttrykk for at den var vant med oppgaveløsning. Noe som illustreres i sitatene ved hvordan eleven trekker ut at bevegelsesmengde er bevart i det ene sitatet og setter fartene lik hverandre i andre oppgave. Dette virker alt å peke mot at elevens argumenter ble formet av en nysgjerrighet for de andre elevenes tankegang, et søk etter å finne en årsak til bevegelsene i oppgaven og en argumentasjon som baserte seg på erfaring med problemløsning.

Drøfting av forskningsspørsmål

Teoriarbeidet og analysen undervisningsopplegget og resultatene har sammen ledet til svar på forskningsspørsmålene som vil bli drøftet under.

Hvilke elementer inngår i forståelse av relativitetsprinsippet?

Teoriarbeidet og elevenes respons på undervisningsopplegget peker begge mot at relativitetsprinsippet er et komplisert postulat som har flere formuleringer, betydninger og bruksområder, samt at man behøver å beherske en rekke komponenter for å kunne forstå alt som inngår i postulatet (Panse, 1994; Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Bandyopadhyay, 2009; Dimitriadi & Halkia, 2012; Alstein et. al., 2021).

Når man snakker om RP skiller man mellom det galileiske relativitetsprinsippet og det spesielle relativitetsprinsippet (Galilei, 1632/1967; Einstein, 1905). Ingen av prinsippene er motsigende, de er derimot utvidelser av hverandre, der den generelle relativitetsteorien er det neste steget i prosessen (Einstein, 1915/1952). Det kan forsvares at elever på vgs. møter begge versjonene av RP, selv om de ikke har nødvendigvis har grunnlaget til å forstå det fulle innholdet det spesielle. Teoriarbeidet i oppgaven peker mot at en gjennomsnittlig videregåendelev ikke vil kunne oppnå kunnskapene til å danne seg en fullstendig forståelse for det spesielle RP. En fullstendig forståelse av utvidelsen av prinsippet, krever mer kunnskap om elektromagnetisme for å forstå hvorfor prinsippet bør gjelde for annet enn mekaniske lover (Einstein, 1905). Derimot indikerer annen forskning, samt analysen av undervisningsopplegget, at elever kan oppnå god kunnskap rundt flere av komponentene som inngår i RP, samt at de kan oppnå god forståelse for galileisk relativitet og derav lære det grunnleggende i SR (Scherr et. al. 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et. al. 2019; Alstein et.al., 2021). Er de grunnleggende komponentene på plass, har man verktøy for å se spor av symmetrien i universet, og det blir derfor lagt et grunnlag som gjør at man senere kan trekke linjer mellom SR, mekanikken og elektromagnetismen.

Relativitetsprinsippet kan tolkes ved å trekke en del viktige betydninger ut fra det. RP i SR sier noe om hvilke resultater man vil få i ulike treghetssystemer, altså grunnlaget for alle målinger og observasjoner man vil gjøre seg som intelligent observatør (Scherr et. al., 2002; Goldstein, 2002, s. 278). Det likestiller også alle treghetssystemer, altså at det eliminerer ideen om et absolutte referansesystem, og det trekker fram at det finnes flere likeverdige

beskrivelser av hendelse (Einstein, 1905; Goldstein, 2002, s.278; Bandyopadhyay, 2009). Det siste RP gir, er en inngang til SR. Dette gjøres ved å kombinere RP med lyspostulatet (Einstein, 1905; Goldstein, 2002, s.277-280). I denne kombinasjonen kommer også flere grunnleggende komponenter inn som elever må danne en betydning av, nemlig tid, lengder og samtidighet (Alstein et. al., 2021).

Utvidelsen til det spesielle relativitetsprinsippet ble av Einstein motivert gjennom symmetrien i elektrodynamikken (1905). Elever i vgs. kan på ingen måte sies å ha nok innsikt i elektromagnetisme til å følge resonneringen Einstein kommer med. Samtidig er det viktig at elevene ser et behov for relativitetsprinsippet, slik at prinsippet ikke bare blir noe som gjør SR mulig, men som faktisk blir en fysisk lov og et redskap elevene ser en nytteverdi av (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Bandyopadhyay, 2009). Dette kan igjen kobles opp mot argumentet for at grunnleggende forståelse av bevegelse, referanse og Galileisk relativitet kan hjelpe elevene å se denne symmetrien Einstein snakker om (Einstein, 1905; Scherr et. al., 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012). Er grunnlaget gjort, er potensialet der for å trekke linjer mellom disse grenene i fysikken, slik at elevene kan se det fulle behovet for RP. Oppnår elevene dette i kombinasjon med at man tolker og trekker linjene mellom de tre betydningene av RP presentert av Bandyopadhyay (2009), kan man si at elevene har oppnådd forståelse av RP, og det kan tenkes å resultere i at elever finner et større bruksområde for prinsippet, samt at elevene tolker konsekvensene av SR på riktig måte (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Scherr et. al., 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et. al., 2019, Alstein et. al., 2021).

I dette undervisningsopplegget ble den andre betydningen, altså at det er umulig ved noen form for fysiske målinger å bestemme hastigheten til ditt eget referansesystem i henhold til det tomme rom, utforsket (Bandyopadhyay, 2009). Resultatet indikerte at to av tre elever, i ulik grad klarte å se anledningen til behovet for RP, samt at et potensial for at den tredje eleven skulle nå dette ble identifisert. I lys av at undervisningsoppleggets begrensede varighet på 45 minutter, er det tenkelig at elevene ved fysikk 2 vil kunne nå det nivået nevnt som ønskelig gjennom tiden som blir satt av til SR ved en utforskende undervisningstilnærming.

Forståelsen for RP ble delt opp i sju komponenter i undervisningsopplegget. Disse komponentene ble utarbeidet fra hva forskning hadde pekt på som problematisk i undervisning, samt hva Dimitriadi & Halkia (2012) hadde trukket ut som de sentrale komponentene for å forstå RP i sitt undervisningsopplegg. I lys av mestringen til elev 3 kan

man argumentere for at denne utvidelsen vil hjelpe undervisningen å treffe elever på flere nivåer. De første komponentene elevene utforsket var hva som inngår i et referansesystem. Dette var delt opp i to punkter. Det ene omhandlet valg av referanser, begrunnelser på observasjoner gjort ut fra referanser, altså å utforske hva som inngår i en intelligent observatør, samt hvordan størrelser defineres ut fra denne referansen (Panse et. al., 1994; Scherr et. al., 2001; Dimitriadi & Halkia, 2012). Det andre elevene skulle utforske hvordan situasjoner ble skildret sett fra ulike referansesystem. Dette innebar å gjennomføre galileiske transformasjoner på riktig måte, matematisk og deskriptivt. Dette var slik at elevene skulle bli gode på de grunnleggende transformasjonene, samtidig som det skulle illustrere symmetrien i universet for elevene, og peke mot at alle treghetssystemer er likestilte (Einstein, 1905; Scherr, 2001; Bandyopadhyay, 2009; Dimitriadi & Halkia, 2012, Alstein et. al., 2021) Det neste var at elevene skulle forstå seg på bevegelse. Slik ble det vektlagt å skille bevegelse og akselerasjon og elevene skulle innlemme behovet for en referanse i sin forståelse for bevegelse (Saltiel & Malgrange, 1980). Når dette var gjort skulle opplegget hjelpe med å koble referanse opp mot definisjonen av å være i ro (Dimitriadi & Halkia, 2012). Ved å ha denne definisjonen på plass hadde elevene muligheten til å undersøke forskjellen på resultater som oppstår i et akselerert referansesystem og et treghetssystem, nok en komponent for å forstå RP (Dimitriadi & Halkia, 2012). Etter at elevene behersket alle disse grunnleggende komponentene, skulle de få utforske hva dette innebar ved å eksperimentere i en isolert situasjon designet for å trekke ut betydningen for RP (Bandyopadhyay, 2009).

Et siste punkt som må diskuteres er modningsaspektet knyttet til forståelsen av RP. Elevene møter et tema som legger til rette for å totalt endre deres virkelighetssyn, og har potensiale til å lede dem mot mange filosofiske diskusjoner og refleksjoner. Selv om de konkrete læringsmålene i fysikk ikke drar fram filosofi, er kritisk og utforskende tenkning sentralt for å skape selvstendige fremtidsmennesker (LK-20) (Kunnskapsdepartementet, 2017). Filosofi og refleksjon har dermed mer betydning enn kjerneelementene og læreplanmålene legger opp til. Likevel er filosofi en liten del av en stor læreplan, og rollen til læreren på vgs. blir kanskje ikke å endevende elevenes syn, men å heller tilrettelegge for at eleven skal kunne komme seg dit over tid, noe som blir godt illustrert av Hewson (1982). Slik framheves viktigheten av at læreren er bevisst på at misoppfatninger dukker opp blant elevene, og de kan bli holdt over tid. Slik blir det viktig at man gjøre elevene observante på dem og dermed bidra til at elevene ikke går ut av vgs. med ulike misoppfatninger og samtidig tenke at de mestrer teorien (Posner et. al., 1982; Scherr et. al., 2002).

Hvilke misoppfatningers dukker opp under innlæringen av spesiell relativitetsteori hos elever?

Litteraturarbeidet pekte på at det hyppig dukker opp misoppfatninger hos elever under innlæringen av SR, og som det forrige forskningsspørsmålet viser til er det å gjenkjenne og gjøre disse misoppfatningen eksplisitt, sentral for å hjelpe elever å forstå RP (Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002; Scherr, 2007; Alstein et. al., 2021). For å vite hvordan man skal møte de ulike misoppfatningene, må man derfor spørre seg hvor disse misoppfatningene kommer fra og hvordan misoppfatningene uttrykker seg. Man kan blant annet trekke fram at elever tror at relativistiske effekter er optiske illusjoner (Scherr et. al., 2002; Otero et. al., 2019), at relativistiske effekter og absolutte størrelser kan eksistere parallelt (Panse et. al., 1994 ; Dimitriadi og Halkia, 2012), de spontane ideene elever har om lyshastigheten (Villani & Pacca, 1987 ; Kamphorst et. al., 2019), hvordan elever ikke ser behovet eller bruksområdet til RP og relativistisk støy (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999), hvordan elever ikke klarer å koble de ulike betydningene av RP (Bandyopadhyay, 2009), og grunnleggende misoppfatninger om bevegelse (Saltiel & Malgrange, 1980).

En måte misoppfatningene uttrykkes, illustreres ved elev 2. Eleven viste at den hadde noen misoppfatninger av observatør og referansesystem, noe som kunne minne om beskrivelsen til Panse (1994) uttrykt ved noe som kunne tyde på at eleven ikke hadde forstått begrepet observatør, noe som Scherr et. al. (2002) peker på. Slik tolkes transformasjonene som ulike oppfatninger, men ikke reelle beskrivelser. Slik ser man at eleven også forventet at de ulike referansesystemene ville gi ulike resultater da det kom til samtidighet, trolig ved å trekke inn signalets reisetid (Scherr et. al., 2002). Her ser man også hvordan dette kan ha blitt påvirket av verbbruket og oppgaveformuleringen (Alstein et, al., 2021). Slik blir samtidighet relativ selv i et klassisk fysikkforsøk, noe man også kan knytte opp mot relativistisk støy ved at eleven viste andre spor av dette senere i prosjektet (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999). Dette illustrerer det hvordan forkunnskaper og misoppfatninger kan være med på å forme elevenes ideer. Dette understreker ideen om at misoppfatninger dukker opp, og at det er nødvendig at lærere har et bevisst forhold til dem.

Uavhengig av opphavet til misoppfatningen, blir den utfordret i diskusjon med elev 1 gjennom undervisningen. Forskning peker på at ved å utfordre ideer slik kan det lede mot at eleven overkommer denne misoppfatningen (Posner et. al., 1982; Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002). Samtidig viste eleven at den hadde en absolutt tankegang, noe som gjør at ideene

om at relativistiske effekter er optiske illusjoner kan bestå. Dette peker igjen peker mot at forståelse av bevegelse, referansesystem og tolkningene av RP er sentrale for å overkomme disse misoppfatningene. Dette bygger opp under forståelsen av at bevegelse, referansesystem og RP er ment å avskaffe ideen om et absolutt referansesystem som noe som ville illustrert problemet med elevens tolkning (Einstein, 1905; Scherr et. al., 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Bandyopadhyay, 2009).

Noe som må drøftes er de spontane resonnementene til elevene. Inntrykket som gis i analysen er at elevresonansen er et delt, og de ulike måtene den kan forme seg har mange opphav, og resulterer i ulike konsekvenser. Det er derfor heller ingen åpenbare løsninger på problemene som oppstår. Man kan se hvordan elev 3 argumenterer med spontan kinematikk gjennom hele undervisningsopplegget, og hvordan dette påvirker hvordan eleven tolker og konkluderer tankeeksperimentene. Samtidig ser man at diskusjonen gjør at eleven løfter argumentasjonen sin utover i oppgaven, noe som kan peke mot at diskusjonsoppgaver, og det å skape et bevisst forhold til elevoppfatninger kan ha positive innvirkninger over tid (Posner, et. al, 1982; Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002; Velentzas & Halkia, 2013). Dette er noe som kan bli en større del av fysikkundervisningen generelt, og er noe som bør undersøkes nærmere.

Svaret på forskningsspørsmålet blir da at det kan dukke opp mange misoppfatninger i SR. Det kan dukke opp på flere måter og ha rot i ulike grunnleggende misoppfatninger. Nøkkelen for å møte dem virker å ligge i at elevene skal danne et åpent og bevisst forhold til sine egne oppfatninger, slik at lærer er i stand til å illustrere problemene med misoppfatninger, mistolkninger og kunnskapshull slik at elevene har et grunnlag til å kunne tolke ideene i SR riktig (Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002). Resultatene peker mot at dette er noe som blir lagt til rette for i en utforskende undervisningsprosess, da dette viste seg som en sentral del av hvordan den utforskende undervisningsprosessen så ut for elevene.

Hvordan ser læringsprosessen til elever ut i et utforskende undervisningsopplegg om RP med fokus på elevenes forståelse for bevegelse?

Læringsprosessen til elever i undervisningsopplegget kan ses på i lys av individ, samtidig som man kan se på utviklingen av elevoppfatninger i en gruppeprosess (Säljö, 2000/2010, s.19-61). I lys av sosiokulturell og konstruktivistisk læringsteori, kan man se hvordan elevene som gruppe konstruerer felles betydninger for de ulike komponentene som introduseres og reflekteres over i undervisningsopplegget, samtidig som individene tolker disse betydningene

ulikt. Resultatene knyttet mot gjennomføringen av opplegget viser at elevene behersker de ulike komponentene i undervisningen i ulikt tempo og i ulik grad.

I det store og hele peker funnene på at gruppa som helet behersket deler av de sentrale komponentene i opplegget, og flere av dem ble brukt aktivt gjennom diskusjonen. Elevene har et tydelig skille på hvilke av komponentene de har en nytteverdi av, ved at enkelte elever virker å komme i spennende diskusjon når de trekker linjene mellom komponentene og tolker deres betydninger, mens andre elever kan ha nok med å forstå de ulike komponentene individuelt. Man kan sette dette opp mot vurderingene gjort i første spørsmål. RP er et komplekst postulat som innehar mange konsekvenser, tolkninger og komponenter, slik at målet for individuelle elever bør være ulikt avhengig av elevens nivå da det kommer til de grunnleggende komponentene. Slik kan vi se hvordan den utforskende undervisningsformen tilpasse opplæringen til individene ved at de får diskutere oppgavene på eget nivå (Kunnskapsdepartementet, 2017). Læreren kan ta hensyn til dette ved å justere nivået på spørsmålene den stiller elevene, samt variere bruken av støttestrukturer, slik at den støtter elever i ulike oppgaver, og leder elevenes diskusjon mot de komponentene som blir relevant for dem (Hmelo-Silver et. al., 2007; Bjønnes og Kolstø, 2015). Uavhengig av nivå på elevene, blir lærerens viktigste jobb at den ikke lar elevene slå seg til ro med forståelse konstruert av misoppfatninger (Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002).

Samtidig kan man se noen problemer med denne undervisningen. Elev 3 kan ikke sies å ha fått sett anlegningen til RP i like stor grad som de andre, noe som virket å være knyttet mot elevens grunnleggende forståelse. Samtidig er det tvilsomt at eleven ville konstruert noen betydning for RP gjennom instruksjon heller i lys av denne manglende forståelsen. Det man kan trekke fram her er at problemene som oppsto blant elevene ble synlige for læreren gjennom diskusjonen, og det blir derfor mulig å identifisere hvor man skal ta tak for å støtte elevene. Læreren var uerfaren i rollen som lærer/forsker, noe som kan forklare at alle interessante situasjoner ikke ble tatt tak i, og at de ikke ble møtt ideelt (Komorek & Duit, 2004). Samtidig er dette noe som også vil skje i en helklasserromssituasjon uavhengig av lærer, og derfor er det positivt at man kan man trekke verdier ut av gruppedynamikken. Et eksempel vises ved hvordan elev 1 og 2 er med å støtte elev 3 til å komme til riktige konklusjoner flere ganger, og hvordan elev 1 utfordrer 2 på dennes oppfatninger. Slik peker gruppedynamikken mot at elever kan spille på hverandre på vei mot forståelse for RP.

Mye av læringsprosessen i opplegget gikk som sagt ut på at elevene danner seg et felles bilde, og felles forståelse av oppgavene. Denne biten skiller seg fra hvordan Einsteins tankeeksperiment tradisjonelt formuleres, da de er brukt for å illustrere et poeng for aktøren av tankeeksperimentet (1905). I dette tilfellet blir det heller en måte for elevene å reflektere over de kunnskapene de har innenfor fysikk for å komme til en enighet om hvordan eksperimentet vil gå sin gang (Velentzas & Halkia, 2013). Slik virker det som tankeeksperimentene får en ekstra individuell verdi hos elevene ved at man får repetert, reflektert over og utviklet grunnleggende forståelse i felleskap (Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002; Velentzas & Halkia, 2013; Alstein et. al., 2021). Samtidig kan selve poenget til tankeeksperimentene fort falle bort hos de elevene som ikke har god kontroll på disse grunnleggende ferdighetene. Resultatene rettferdiggjør samtidig dette ved at elev 3 viser at den gjennomgår en refleksjon rundt oppfatningene den har knyttet til disse grunnleggende ferdighetene og hever seg på denne måten gjennom undervisningen. Slik peker dette igjen mot at gruppearbeidet er viktig da elevene kan støtte seg på hverandre for å komme til riktig konklusjon i tankeeksperimentene. Samtidig bør de ha støtte fra lærer, noe man kan se i lys av hvordan elev 3 tok styring i de fleste diskusjoner, selv om eleven ofte kom til feil konklusjoner selv og medelevene trengte lærer for å illustrere feilene til å begynne med (Hmelo-Silver et. al., 2007; Bjønnes & Kolstø, 2015).

Det kan også virke som den største utviklingen hos elevene som individer kommer i samtale med andre elever som ligger på et jevnt, eller høyere nivå (Wozniak, 1980). Dette illustreres i interaksjonen mellom elev 1 og 2 når elev 2 begynner å reflektere over om relativitet bare er knyttet til observasjonsfenomen eller om de er ekte. Det samme kan man se når elev 3 viser tegn til å forkaste sin gamle forestilling av bevegelse for en som inneholder referanse (Posner et. al., 1982). Disse situasjonene har også en fellesnevner ved at elevens ideer i begge situasjonene blir utfordret (Posner et. al., 1982; Hewson, 1982). Eleven selv blir satt til å utfordre egen tankegang, og tankeprosessen som skjer i dialog med en medelev virker å være mer verdifull enn den som indueres via en lærer, noe som igjen kan peke mot den proksimale utviklingssonen (Wozniak, 1980; Scherr et. al., 2002; Velentzas & Halkia, 2013; Otero et. al., 2019, Alstein et. al., 2021).

Resultatene antyder at elevgruppen som helhet klarer å danne seg en grunnleggende forståelse for referansesystem, og at de er kjent med komponentene som inngår i RP. Enkelte av komponentene, som definisjonen av å være i ro, og bevissthet om at man kan bytte mellom ulike referansesystemer for å analysere situasjoner, virker å sitte sterkere med elever, da dette

brukes aktivt i argumentasjonen deres. De mer avanserte aspektene av RP, knyttet til likeverdet av dem og forkastningen av et absolutt referansesystem blir vanskeligere å mestre, noe som var forventet da dette krever et høyere nivå av forståelse. Samtidig blir elevenes tanker rundt dette delvis formulert, og i lys av at RP tar tid å forstå, kan dette være det første steget på veien dit (Hewson, 1982; Posner et. al., 1982; Scherr et. al., 2002). Det kan virke som dette er i sammenheng med at elevene ikke er helt bevisste på at de resonnerer i absolutte størrelser, eller at de vet hva absolutte størrelser er. Det blir altså derfor vanskelig for dem å se hvordan de tenker feil, ved at de verken har et bevisst forhold til egen oppfatning, eller at de klarer å se konsekvensene av det. Innsikten en lærer kan oppnå gjennom et slikt utforskende undervisningsopplegg kan da være første steg i en lang prosess for å endre elevenes forståelse til en relativistisk en (Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002; Säljö, 2000/2010, s.66-69).

Diskusjon

I lys av svarene på forskningsspørsmålene har det dukket opp en del diskusjonsspørsmål som må belyses.

Begrensninger knyttet til elevenes forståelse for postulatene

Gjennom undersøkelsen av hva som gikk inn i forståelse av RP, dukket spørsmålet opp om det faktisk var mulig for elever på vgs. å forstå postulatet. Ser man på måten Einstein (1905) introduserer og motiverer for utvidelsen for RP, kan man se at det blir gjort ved å se peke mot symmetrien i elektromagnetiske fenomener og hvordan de oppstår av relativ bevegelse. Skal elevene se den fulle betydningen av RP i spesiell relativitet, må elevene også se hvordan alle fysikkens lover er like i alle treghetssystemer. Kjennskapen til elevene knyttet opp mot de fleste av fysikkens lover kan sies å være begrenset, og på denne blir mulighet elevene har til å teste den faktiske gyldigheten til prinsippet begrenset. Det samme kan sies om lyspostulatet, da lyshastigheten kan ledes ut fra Maxwells ligninger (Goldstein, 2002, s. 276), som elevene på vgs. heller ikke har kjennskap til, eller matematisk grunnlag til å forstå. Elevene er på et nivå som tilsier at de kan akseptere og tolke noe av innholdet i RP, samt tolke og anvende lyspostulatet, men det er vanskelig å tro at elevene skal kunne oppnå en fullstendig forståelse av postulatene allerede på vgs. Når dette er sagt, kan man fremheve den universelle symmetrien Einstein peker på for elevene, og denne går det til en viss grad å utforske gjennom Galileisk relativitet.

Det kan på denne måten ikke ses på som uventet at elever danner seg alternative oppfatninger og tolkninger av SR. At relativistiske effekter tolkes som optiske illusjoner, at elever ikke klarer å tolke RP og at elever tolker lyspostulatet feil blir da ikke så unaturlig, og det kan være en del av elevens prosess mot å ende opp med riktig oppfatning til slutt (Villani & Pacca, 1987, Panse et.al.,1994; Scherr et. al., 2002; Bandyopadhyay, 2009, Kamphorst et. al., 2019). For at dette skal skje, er det da enda viktigere at lærere er observante på elevenes tolkninger, og at de får illustrert problemer med ulike misoppfatninger slik at elevene ikke slår seg til ro med en feiltolkninger (Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002).

Man kan også drøfte om elevene på vgs. bør introduseres for elektromagnetisme tidligere i løpet, slik at ideene får synke og modnes i hodet til elevene før de skal være med på å endevende elevenes virkelighetssyn totalt når de skal inkluderes i SR. Samtidig som det også

kan argumenteres for at med elektromagnetismen friskt i minnet vil det være med på å bidra til at elevene behersker ideene. Dette er noe man som lærer kan vektlegge når man lærer om sammenhengen mellom elektrisitet og magnetisme. Kanskje man allerede da skal introdusere referansesystem og relativ bevegelse, som et frempek om koblingen mellom relativ bevegelse, elektrisitet og magnetisme (Einstein, 1905). Ved å introdusere referansesystemer med elektromagnetismen blir det kanskje enklere for elevene å trekke linjer til SR, og hvordan man kan trekke linjene mellom relativitetsteorien og elektromagnetismen for elevene kan være et interessant tema å utforske videre.

Et foretrukket referansesystemet knyttet til oppgavens formulering

Under studien av elevenes misoppfatninger dukket det opp en del fellestrekk av at elevenes misoppfatninger kunne være knyttet mot oppgavens formulering. Resultatene viser at elevene trekker mot å beskrive bevegelse i lys av de referansesystemene som beskriver oppgavene, altså samme referansesystemene hvor elevene kan beskrive bevegelsen ut fra en utløsende kraft. Etter analysen sitter lærer/forsker igjen med forestillinger om at disse er misoppfatningene er knyttet opp mot elevenes søk etter årsak. Som kjent er et av kjennetegnene på spontan kinematikk er at elevene tror bevegelse stammer fra en utløsende kraft som tilegner legemer en unaturlig tilstand av bevegelse, mens alt egentlig skal vær i ro (Saltiel & Malgrange, 1980). Slik blir altså bevegelse en tilstand utløst av en kraft, noe som kan knyttes opp mot et søk etter årsak. Dette kan man kjenne igjen om man ser på måtene elevene formulerer sine spontane ideer som her er tolket opp mot foretrekkende referansesystem.

Forskningsprosjektet gir ingen bekreftelse av denne ideen, men dykker man dypere i den kan det kanskje kobles opp mot hvordan fysikkundervisningen har vært rettet mot oppgaver med en konkret løsning, og det ikke har vært tilstrekkelig fokus rundt beskrivende tilfeller og refleksjonsoppgaver, noe annen forskning også peker mot at bør gjøres (Scherr et. al., 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Alstein et. al., 2021). I lys av et konstruktivistisk læringssyn, er det viktig at elevene får formulert ideene sine, og at elevene får et bevisst forhold til hvordan de forstår seg på grunnleggende konsepter som bevegelse er viktig for å oppnå forståelse (Posner et. al., 1982, Hewson, 1982; Säljö, 2000/2010, s.23-69).

Utforskende undervisnings rolle i fysikkundervisning

Forskningsprosjektet så etter hvordan man kunne inkludere utforskende undervisning i SR i vgs. Dette er et område innenfor fysikken hvor undervisningen tradisjonelt har dreid seg om tankeeksperimenter, og det er derfor et naturlig sted å inkludere dette (Velentzas & Halkia, 2013). I lys av utviklingen elev 3 viste da det kom til sin forståelse av bevegelse, og de interessante diskusjonene som oppsto mellom elev 1 og 2, kan utprøvingen indikere at det er en verdi å inkludere reflekterende diskusjoner rundt tankeeksperimenter og grunnleggende forståelse enda tidligere i elevenes utdanningsløp. Dette kan også støttes opp ved at elevene som deltok i undervisningsopplegget var elever på Fysikk 1, og de viste at de fikk formulert egen forståelse av ulike konsepter de allerede har møtt, samt at de evnet å trekke diskusjonen til et høyere nivå. Måten læreplanen har utviklet seg på i LK-20 gir også rom for dette i lys av hvordan utforskende undervisning og samarbeidslæring spiller en større rolle gjennom overordnet del (Kunnskapsdepartementet, 2017).

Flere av studiene knyttet til misoppfatninger i SR peker mot nettopp mangelfulle grunnleggende ferdigheter (Villani & Pacca, 1987; Scherr et. al., 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et.al., 2019). Kombinerer man dette med hvordan studier har pekt på at elever bør reflektere over enge oppfatninger (Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002) og misoppfatningene knyttet til sentrale konsepter i fysikken (Saltiel & Malgrange, 1980), har man indikasjoner på at det bør rettes et større fokus mot å forstå og tolke de grunnleggende konseptene i fysikken. Resultantene impliserer at det ligger et uforløst potensial i å diskutere tankeeksperimenter, da de illustrerer ideer og poenger for elevene, og er et verktøy som hjelper elevene å forstå grunnleggende konsepter (Scherr et. al., 2002; Velentzas & Halkia, 2013). Derfor har det vært interessant å se hvilken effekt gruppediskusjon av tankeeksperimenter kunne hatt om de hadde tatt opp en større del av fysikkundervisningen.

Den tredje betydningen av RP og elevers forståelse gjennom krefter

I undervisningsopplegget kom det fram at elevene virket mer komfortable da det kom til å analysere situasjoner gjennom krefter enn ved bevegelse, noe som blir illustrert i situasjonsanalysen av elev 1. Dette kan komme av at kraftanalyse dominerer pensum i fysikk 1 (Utdanningsdirektoratet, 2018). Det kan også ha en rot i at krefter er så sentrale i det Newtonske verdensbildet som sitter sterkt hos elevene, eller i at elevenes resonnement var så sterkt knyttet opp mot spontan kinematikk (Saltiel & Malgrange, 1980). Uavhengig av hvor

årsaken til elevers dragning mot å analysere situasjoner ved krefter stammer fra, så ligger det også et potensiale i å bruke dette for å motivere RP for elevene. Den tredje betydningen av RP tolkes nemlig ved en kraftanalyse av Newtons 2. lov (Bandyopadhyay, 2009). Det er et problem her knyttet til elevenes mangel på kunnskaper knyttet til fiktive krefter, men det ligger fremdeles et potensiale her knyttet til at man kan gå gjennom denne tolkningen sammen med elevene, og derav utnytte denne dragningen mot å analysere situasjoner gjennom krefter. Dette er ikke tenkt på som en alternativ tilnærming til RP, tanken er derimot at det er mulig å også inkludere denne betydningen for eleven og deretter hjelpe elevene å knytte de tre betydningene sammen for å hjelpe elevene å få en bedre forståelse for prinsippet.

Hvordan relativistisk støy påvirker undervisningen

Relativistisk støy viste seg å påvirke en av elevene i gruppa (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999). Elev 2 trakk konklusjonen oppgave 5 om at kulene ville treffe veggene samtidig, men at observatørene på utsidene ville se at de traff ulikt gjennom en optisk illusjon. At eleven konkluderte på denne måten, kan sammenlignes med resultatene til Scherr et. al. (2002) og Otero et.al. (2019). Begge disse forsøkene har pekt på at elever er i stand til å utvikle argumentasjonen sin til å tolke disse oppgavene riktig gjennom diskusjonsprosesser og støtte. Dette underbygges med hvordan elev 1 utfordret det elev 2 sa, og gruppediskusjonen virket å gi dem et tydeligere bilde på hva de tenker samtidighet er. Dette indikerer at det kan være en god idé å la fysikkelever bruke tid på å reflektere over grunnleggende begreper som tid, rom og samtidighet i grupper, noe som kan forsvare å bruke den utforskende undervisningsformen videre mens elevene lærer SR. Dette kan også forsvares ved hvordan læreplanmålet for fysikk 2 sier at elevene skal kunne forklare hvordan teorien endrer forståelsen for begrepene tid og rom (Utdanningsdirektoratet, 2018).

Relativistisk støy sendte også elevene ut på et uventet spor. Det ble tolket som at dette var det som ledet elev 2 til å foreslå å bruke lys i siste oppgave, og ble dermed et verktøy lærer kunne bruke til å knytte oppgaven opp mot formuleringen av RP. Slik kan man argumentere for at dette også kan være et positivt element i undervisningen så lenge man som lærer er observant på de negative sidene ved det, og gjør tiltak for å motarbeide eventuelle misoppfatninger som dukker opp hos elevene.

Utvikling av undervisningsopplegget videre

Denne oppgaven er et utviklingsarbeid. Sett i lys av dette vil det nå diskuteres en rekke punkter knyttet til videreutvikling av undervisningsopplegget (Sandoval, 2014). Det vil også følge implikasjoner som kan hjelpe utvikling av andre utforskende undervisningsopplegg i SR.

Rollen som lærer/forsker

Rollen som lærer og forsker må sis at den påvirket undervisningen i en stor grad (Komorek & Duit, 2004). Dette ved at lærer lot elevene få tid til å fullføre resonnement, stille oppfølgingsspørsmål og ved å deretter illustrere mangler i argumentasjonen deres. Dette hadde en negativ effekt ved at mye tid forsvant fra undervisningsopplegget. Samtidig gjorde det at man fikk et mye tydeligere bilde på elevenes tanker og ideer rundt temaet, og kunne derfor benytte seg mer presist av ulike metaforer og illustrerende eksempel for å hjelpe elevene å se mangelen i argumentasjonen deres (Scherr et. al., 2002). Disse gode sidene med dobbeltrollen kan også trekkes opp mot hvordan utforskende undervisningen fungerer generelt, og hvordan lærere må variere mellom rom og struktur (Hmelo-Silver et. al., 2007; Bjønnes & Kolstø, 2015). Rollen som lærer/forsker virker derfor å være et bra utgangspunkt for å lede utforskende undervisning, og ser ut som den kan hjelpe lærer med å tilpasse undervisningen, samt gjøre underveisvurderinger av elevene (Kunnskapsdepartementet, 2017).

Gruppekomposisjon/ Skalering til fullt klasserom

Et sentralt spørsmål å stille er om denne undervisningsøkten kan skaleres til et fullstendig klasserom. Lærer/forsker – rollen vil nødvendigvis spille en mindre rolle i et klasserom med flere elever, da dette ikke gir samme muligheter til å påvirke elevene ved å stille oppfølgende spørsmål og illustrere feil og mangler. Dette kan man eventuelt løse ved å forberede ulike støttende oppfølgingsspørsmål for å hjelpe elevenes utforskning, og man kan forsøke å fange opp tanker og ideer i klasserommet slik at man kan illustrere problemfulle resonnement foran hele klassen. I forsøket kom elevene også til gode konklusjoner seg imellom, og det virket som det meste av utviklingen i argumentasjonen til elevene stammet fra diskusjonen dem imellom. Slik peker det på at elevene har godt av at læreren varierer mellom å gi dem struktur og rom (Bjønnes & Kolstø, 2015). Noe som kan tas høyde for er hvordan elevene virket å dra mest nytte av å diskutere med elever på sitt eget nivå. Ser man på utviklingen til elev 1 og 2,

og på deres spennende diskusjoner rundt samtidighet og optiske illusjoner, ser man at dette skjer når de er vurdert til å være på omtrent samme nivå (Wozniak, 1980).

Samtidig brukte elev 1 og 2 mye tid på å forklare oppgaver, og støtte elev 3 i dens utvikling. Dette var noe elev 3 tjente på, men kan ha tatt bort fra elev 1 og 2s muligheter til å dra diskusjonen til et nytt nivå. Slik har lærere en del å veie opp da en setter opp gruppekomposisjonen om man skal teste undervisningsopplegget. Dette kan også støttes opp av at det kan bli vanskeligere å avgjøre elevenes kunnskapsnivå i ujevne grupper, vist ved at 3 uttrykte et høyt nivå tidlig i opplegget ved å gjengi svaret til elev 2 fra en tidligere oppgave. Samtidig kan disse svarene ha hjulpet eleven til å utvikle seg ved å sitte ved eleven en stund, og kan ha vært med på å bidra til elevens utvikling gjennom opplegget (Posner et. al., 1982). Uavhengig av dette må lærer ha en organisert måte å nå rundt til alle gruppene for å kunne avgrense og utfordre misoppfatninger slik at elevene kan komme seg videre inn i læringssonen (Wozniak, 1980; Posner et. al., 1982; Scherr et. al., 2002).

Tegning som hjelpeverktøy til diskusjonsoppgaver

En hindring som stoppet elevene til tider, var utfordringen som kom med å forestille seg oppgavene. Her kom verdien av tegninger i undervisningen tydelig fram. Det gikk derfor ofte mye tid med på at elevene skulle danne seg en felles forestilling av oppgavene, og tegningen på *bilde 5* virket å hjelpe på formuleringsprosessen til elevene da elevene viste tegn til å enkeltere forstå poenget med oppgaven, samt at de gjennomførte transformasjonene de ble bedt om uten problemer. Det ble gjort et bevisst valg under design av opplegget om å unngå tegninger for å ikke konstruere et foretrukket referansesystem blant elevene. Samtidig dukket dette opp uavhengig av tegningene, noe som førte til at læreren heller valgte å tegne mens den rettet fokus mot hvilket referansesystem tegningen var i. Samtidig ble dette fenomenet med å foretrekke ulike referansesystemer mer omfattende med tegningen i bildet, da alle elevene virket å foretrekke dette referansesystemet i denne oppgaven.

Uansett kan tidsbruken til elevene tyde på at deler av problemene elevene har med tankeeksperimentene er at de sliter med å forestille seg oppgavene, noe som kan drøftes opp mot resultatene til Kamphorst et. al. (2019). Det å inkludere forberedte støttestrukturer som deres «Event diagrams» kan være avgjørende for at elevene skal klare å gripe de viktige konseptene i teorien. Ser vi tilbake på valget av å ikke tegne oppgaven kan det vurderes som de positive sidene ved å inkludere slike systematiske tegninger de negative. Samtidig er det

nyanser her, og lærere bør ha et bevisst forhold til konsekvensene av at den inkluderer tegninger.

En konkret måte å inkludere tegninger på kan være at man gir elevene individuelle tegneansvar i ulike oppgaver. I opplegget ble det gjerne til at elevene diskuterte det bildet én elev hadde av oppgaven, og ikke at de kom til en samlet ide. I oppgave 4 fikk elevene oppgaven presentert i ett referansesystem, mens de etterpå skulle forklare hvordan situasjonen så ut i de andre referansene. En kan for eksempel se for seg at elevene hver for seg får ansvaret for å tegne situasjonen sett fra bestemte referansesystem. For eksempel at elev 1 tegner som Kari, elev 2 som Per osv. Da vil alle elevene få vist fram hvordan de ser for seg situasjonene, og de kan diskutere rundt det. Hvordan elevene foretrekker referansesystem blir da utfordret ved at elevene får ulike utgangspunkt til diskusjonen, noe som kan fremheve likeverdet av treghetssystemer.

Betraktninger rundt de konkrete oppgavene

Enkelte resultater peker på at det bør gjøres noen justeringer på enkelte av oppgavene for å optimalisere dem.

Den første endringen som kan komme er i oppgave 2. Her ble elevene dratt mot å diskutere hva som hender i selve kollisjonen. Læreren kan derfor heller avklare hele kollisjonen før den lar elevene ta rollen som Per og Kari. Slik blir kanskje definisjonen av å være i ro mer tilgjengeliggjort for elevene enn det ble i dette tilfellet. Samtidig satt denne definisjonen så sterkt hos elevene kan man argumentere for å beholde formuleringen slik som den er nå.

Videre kan man se på oppgave 4 og trekke inn tegninger fra de ulike referansesystemene som blir relevant for oppgaven, slik som diskutert tidligere. Inkludering av en støttende tegning virket også som det hadde positiv effekt på elevene gjennom at de brukte mindre tid på å forstå oppgaven.

I oppgave 5 virket det frie valget til å bestemme hvilket referansesystem de skulle analysere situasjonen fra å resultere i at diskusjonen ble mer kaotisk og uoversiktlig. Derfor anbefales det at læreren lar elevene diskutere situasjonen i referansesystemet hvor romskipet er i ro, først, for så deretter å diskutere oppgaven som Per og Kari. Oppfølgingsspørsmålet med akselerering virket og som at det hjalp å illustrere poenget for elevene, og da det ikke dukket opp naturlig i diskusjonen, anser lærer/forsker dette som nødvendig for å illustrere skillet

mellom resultater i et akselerert referansesystem og et treghetssystem (Dimitriadi & Halkia, 2012).

Det siste er støttestrukturer til oppgave 6. Da det kom til oppgave 6 ble det ikke utformet konkrete støttestrukturer da det var usikkert hvor diskusjonen gikk. Hypotesen om at elevsvar ville minne om foregående oppgaver var riktig, men det dukket også opp et nytt element via forslaget om lys. Slik dro lærer/forsker en linje til Michelson-Morley eksperimentet (Arriasecq & Greca, 2007; Gim, 2016), for å vise til resultatet av eksperimentet og trekke en linje til RP. Selv om forklaringen kan sies å være historisk unøyaktig var dette i lys av et valg som ble tatt for å illustrere et poeng for elevene. Ved å forberede en støttestruktur for å ta imot denne elevresponsen vil lærer bedre kunne illustrere poenget, samtidig som den beholder en historisk nøyaktighet.

Hva fungerte bra - Implikasjoner til utforskende undervisning i fysikk

Gjennom utviklingen av undervisningsopplegget har det kommet fram en del punkter som fungerte godt i undervisningsopplegget mitt, og som også kan inkluderes i utvikling av andre utforskende undervisningsopplegg i SR, samt flere punkter som kan brukes for utforskende undervisning i fysikk generelt.

Fokus på forståelse av bevegelse (Saltiel & Malgrange, 1980; Scherr et. al., 2002; Dimitriadi og Halkia, 2012).

Gruppediskusjon av tankeeksperiment (Scherr et. al., 2002; Säljö, 2000/2010, s.23-69; Velentzas & Halkia, 2013)

Bruk av illustrerende metaforer (Posner et. al., 1982; Scherr et. al., 2002).

Refleksjon og bevisstgjøring rundt egne oppfatninger (Posner, et. al., 1982; Hewson, 1982; Scherr et. al., 2002).

Tegninger og modeller (Harrington et.al., 2012; Kamphorst et. al., 2019).

Identifisering av elevargumentasjon og misoppfatninger. (Saltiel & Malgrange, 1980; Villani & Pacca, 1987; Panse et.al., 1994; Scherr, 2007)

La elevene se en anledning til behovet for RP (Pietrocola & Zylbersztajn,1999; Bandyopadhyay, 2009).

Metodologisk drøfting

Studiens begrensninger

Noe som må tas opp er hvilke begrensninger som kommer med studiet. Forskningsprosjektet har vært en kvalitativ analyse av tre elevers progresjon over 45 minutter, noe som viser at konklusjonene som kan bli dratt ut fra prosjektet kan argumenteres for å ha begrenset verdi. Robson & McCartan (2016, s.479) nevner fire punkter som kan gås igjennom for å ta tak i dataens kvalitet. Det første er hvor representative elevgruppen er for en standard fysikk-klasse. Elevene som deltok på prosjektet deltok frivillig, noe som kan peke mot at deltakerne bare var spesielt interesserte, eller spesielt sosiale og nysgjerrige. Samtidig kan dette argumenteres mot via hvordan elevene ble tolket til å ha et så spredt nivå i opplegget, og hvordan de tok så ulike roller. Slik kan det heller argumenteres for at elevgruppen ble så representativ for en hel fysikk-klasse som en gruppe på 3 elever kan være. Samtidig viser teorien til at det kan dukke opp så mange misoppfatninger, på så mange måter, at det er usikkert hvordan et slikt opplegg ville fungert blant de elevene som ikke ble representert i forsøket.

Det nevnes også at forskeren kan være med på å påvirke funn (Robson & McCartan, 2016, s. 462). Her referer de til en liste på 12 punkter knyttet til hvordan forskeren kan være med på å påvirke resultatet. For å forsøke å minimere disse problemene er listen reflektert over, slik at forskeren er bevisst på dem, samtidig som enkelte av dem trolig har påvirket prosjektet til en viss grad. Blant punktene ble flere av disse identifisert i analysen, og deretter ble enkelte punkter revidert. For eksempel ble elev 1 identifisert som at den argumenterte ved spontan kinematikk under undervisningen, og i en lang periode hadde forsker dette inntrykket i lys av at eleven trakk inn krefter når eleven snakket om bevegelse. Under nærmere analyse derimot, kom det fram at eleven aldri argumenterte for at bevegelse må være drevet av en kraft, og det ble heller identifisert som at den ønsket å finne årsaken til at bevegelse oppsto. Eksempelet er dratt inn for å illustrere at ulike feil har oppstått under analysen, og selv om enkelte er identifisert og forsøkt eliminert, kan det være flere man ikke har plukket opp. Disse negative effektene ble også forsøkt minimert ved å gjennomarbeide et tydelig analytisk rammeverk på forhånd, som gjorde forskers forventninger og begrunninger for tolkninger eksplisitt før gjennomføringen av undervisningsopplegget. Slik blir mest mulig av oppfatninger som kan påvirke tolkningen av resultatene gjort synlig, slik at leser selv er i stand til å avgjøre i hvilken grad dette blir avgjørende for konklusjonene som blir dratt.

Det nevnes at data bør trianguleres. Dette kunne vært gjort ved å for eksempel intervju elevene (Robson & McCartan, 2016, s.171). Samtidig dukket det opp få konflikter med annen teori, og funnene har samsvar med ulike kilder, noe som hjelper med å bygge troverdighet. Det ligger samtidig en verdi i å jobbe slik også, da det kan knyttes opp verdien av å kunne kjennet igjen, tolke og møte elevargumentasjon, som har blitt identifisert som sentralt for undervisningen (Hewson, 1982; Scherr et. al. 2002; Scherr, 2007). Ser man på hvordan forskningen også peker på at elevene har ubevisste forhold til egne oppfatninger ble ikke verdien i oppfølgende intervju sett på som tilstrekkelig stor til å inkludere. Troverdigheten til prosjektet kunne altså blitt styrket gjennom utfyllende forsøk, men verdien i disse argumentene ble små opp mot argumentene for å bruke tiden på å utarbeide en sterkere teoretisk base.

Rollen Lærer/forsker

Rollen som lærer forsker, er også noe som må adresseres. I «teaching experiment» nevnes det som viktig at læreren har mye erfaring i den pedagogiske praksisen som gjennomføres, noe som lærer/forsker som student har mangel på (Komorek & Duit, 2004). Dette gjorde at lærer/forsker i enkelte situasjoner angrep hendelser feil som gjorde at elevene kanskje mistet viktige diskusjoner. Det kan derfor ses på som en svakhet at læreren ikke hadde mye erfaring for resultatenes del, samtidig som dette gir en mer realistisk pekepinn for en gjennomsnittlig fysikklærer, da utforskende undervisning er en ny del av læreplanen, og er noe de fleste fysikklærere trolig har liten erfaring med (Kunnskapsdepartementet, 2017).

Valg av fysikk 1

Et punkt som må tas opp er valget av å utføre undervisningsopplegget med elever som hadde fysikk 1. Valget ble ledet mot dette ved at ingen fysikk 2 lærere ønsket å låne bort klassene sine av ulike grunner. Da valget måtte tas tidlig i prosessen ble dette ikke sett på som problematisk da ideen om innholdet i RP fremdeles ikke var formulert, og ideen for undervisningsøkten var mer lik en tradisjonell introduksjon på vgs. Etter litt arbeid kom det tydelig fram at elevene måtte inneha god forståelse for elektromagnetisme for å virkelig kunne forstå RP i SR. Samtidig oppnår få elever på vgs. et høyt nok nivå innenfor elektromagnetisme til at de kan sies å ha grunnlag til å kunne forstå RP i SR. Derfor kan man argumentere for at måten prinsippet ble motivert på ligger rundt det nivået en kan forvente at en gjennomsnittlig fysikk 2 elev er i stand til å forstå. Valget videre argumenteres for ved at

prinsippene er utvidelser av hverandre, og annen forskning har pekt på at kontroll på galileisk relativitet er et av flere steg elever må igjennom for å forstå RP, og senere SR (Villani & Pacca, 1987; Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et. al., 2015; Alstein et. al., 2021). Valget kan også forsvares ved at elevene har mindre fastsatte oppfatninger om bevegelse, slik at oppfatningene deres er enklere å påvirke (Hewson, 1982). Samtidig kan det være interessant å teste om dette stemmer ved å utvikle et behov for RP blant fysikk 2 elever i lys av tankeeksperimenter som inkluderer elektromagnetisme.

Utelatelse av elev 4 fra analysen

Det ble gjort et valg under analysen å utelate elev 4 fra prosjektet. Valget ble gjort da eleven ikke produserte nok data gjennom undervisningsopplegget til at man fikk et helhetlig bilde av eleven. Det oppsto også et problem ved at eleven ble hentet ut av klasserommet under før siste oppgave var i gang, noe som gjorde at det ble umulig å gi en evaluering av eleven knyttet opp mot hovedresultatet i oppgaven. Undersøkelsen mister da selvsagt litt verdi da det blir en elev mindre å analysere, samtidig som valget er gjort da man ikke har nok informasjon til å kunne si noe spesielt om elevens kunnskapsnivå eller utvikling, og det ble derfor vurdert som mer verdifullt å bruke tiden på å analysere de tre andre elevene.

Avslutning og konklusjon

I diskusjonen dukket det opp en del nye spørsmål, og det har blitt trukket fram en del interessante elementer som virker interessante å utforske dypere. Disse spørsmålene vil bli gjentatt og begrunnet her. Etter dette følger forslag til problemstillinger som kan undersøke disse spørsmålene som ny forskning.

Hvilke nye spørsmål er blitt reist og forslag til ny forskning

Ser man på diskusjonen rundt begrensingene ved hvor dyp forståelse elever kan få av RP ble det drøftet hvorvidt elever på vgs. kommer til et nivå hvor de er i stand til å se behovet for å utvide RP gjennom elektromagnetismen. Det ble der foreslått ulike tiltak som kunne hjelpet med dette. Det hadde derfor vært et interessant å undersøke et oppfølgende forsøk som utvider RP gjennom elektromagnetisme med elever på vgs.

Hvordan kan RP utvides via elektromagnetisme for elever på vgs.? Og hvilke tiltak kan gjøres i undervisningen for å støtte dette.

Noe som dukket opp under diskusjonen rundt utforskende undervisnings rolle i fysikkundervisningen var effekten refleksjon og diskusjon rundt grunnleggende begreper virket å ha på elevene. Da dette var i et eksperiment som varte over 45 minutter, hadde det vært interessant å se hvilke effekter tankeeksperimenter og refleksjon kan ha på elevenes forståelse om det har blitt inkludert i fysikkundervisningen over tid, og samtidig hjelpe til med å finne utforskende undervisnings rolle i fysikkundervisning generelt.

Hvilke effekter har tankeeksperimenter som inviterer til refleksjon og diskusjon rundt grunnleggende konsepter på elevens fysikkforståelse om de gjennomføres over tid?

Elev 3 trakk fram noen interessante misoppfatninger knyttet til bevegelse i rommet, som ikke hadde dukket opp i noen annen litteratur. Slik kan dette være interessant å utforske videre i lys av hvordan elev 1 og 2 virket å trekke verdier ut av omgivelsene i rommet, og bruke dette til å trekke ut poenget av oppgavene.

Hvilke misoppfatninger har elever knyttet opp mot bevegelse i rommet?

Ved å se hvordan illustrerende metaforer, og tegninger påvirket elevenes utforskningsprosess hadde det vært spennende å se utvikling av flere slike støttestrukturer for å hjelpe elevene

med å komme til riktige konklusjoner i tankeeksperimenter. Skal utforskende undervisning spille en stor rolle i fysikken framover, vil utviklingen av støttestrukturer være viktig.

Hvordan påvirker ulike støttestrukturer elevdiskusjonen rundt tankeeksperimenter?

«Hvordan kan et utforskende undervisningsopplegg som fokuserer på elevers forståelse av bevegelse hjelpe elevene med å konstruere en betydning for, samt skape en anledning for behovet for relativitetsprinsippet i spesiell relativitetsteori?»

Ved å introdusere RP for elevene gjennom utforskende undervisning med fokus på bevegelse, gis elevene en inngang til SR ved at de får en innsikt i de grunnleggende komponenter som inngår i RP, i tillegg til at de utvikler et mer bevisst forhold til egne oppfatninger knyttet til bevegelse (Saltiel & Malgrange, 1980; Hewson, 1982). Metodens gyldighet er avhengig av at lærer kan kjenne igjen feil i elevers resonnement, og støtte utforskningen deres igjennom å illustrere konsekvenser av misoppfatninger og feiltolkninger (Posner et. al., 1982; Scherr et.al., 2002). Muligheten er stor for at nettopp misoppfatninger og feiltolkninger vil oppstå, og derfor er utforskende undervisning gjennom tankeeksperimenter i grupper et nyttig verktøy for å la elevene utvikle seg ved å spille på hverandres ideer og for å gi lærer en innsikt i elevenes oppfatninger (Andersson, 2002; Scherr, 2007; Velentzas & Halkia, 2013). Metoden lar elevene diskutere og arbeide med ideer i felleskap. Samtidig kan lærer påvirke konklusjonene elevene drar individuelt gjennom støttestrukturer som illustrerende metaforer og refleksjonsspørsmål for å hjelpe de individuelle elevene å konstruere riktige kunnskaper (Posner et. al., 1982; Scherr et. al., 2002; Hmelo-Silver et. al., 2007; Säljö, 2000/2010; s.23-69; Velentzas & Halkia, 2013).

Fokuset på bevegelse kan sies å være nyttig, og er noe som lærere bør være bevisst på når elever skal lære om RP, noe som flere studier har pekt på (Saltiel & Malgrange, 1980; Villani & Pacca, 1987; Dimitriadi & Halkia, 2012; Otero et.al.,2015; Alstein et. al, 2021). Enkelte elever viste at de ikke klarte å gjennomføre tankeeksperimentene ved at deres forestillinger av dem ble formet av argumenter knyttet mot spontan kinematikk (Saltiel & Malgrange,1980). Andre elever viste at de kunne tolke ulike konsekvenser av teorien feil knyttet opp mot absolutte referansesystem (Panse et. al., 1994; Dimitriadi & Halkia, 2012; Alstein et. al., 2021). Utviklingen enkelte av elevene viste gjennom opplegget, synliggjorde samtidig at diskusjoner rundt egne oppfatninger i grupper kan være sentrale for å utvikle elevenes

forståelse, både for teorien som helhet, og for de grunnleggende komponentene. Dette kan være med på å bygge opp funne gjort av Velentzas & Halkia (2013) om at tankeeksperimenter er mest effektive i grupper.

Elevene viste også at de får til å se en anledning for behovet for RP gjennom å utforske dets grunnleggende komponenter, da 2 av 3 elever ble vurdert til å ha sett dette. Slik stemte altså hypotesen, noe som understreker læringspotensialet som ligger i utforskende undervisningsopplegg som er gjennomarbeidet med gode rammer og støttestrukturer (Andersson, 2002; Hmelo-Silver et. al., 2007; Bjønnes & Kolstø, 2015; Kunnskapsdepartementet, 2017). Elevenes kreativitet og påvirkning av relativistisk støy led elevene til å forsøke å finne hastigheten på referansesystemet gjennom å sammenligne det med lysets hastighet, noe som løses ved å formulere relativitetsprinsippet (Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Bandyopadhyay, 2009).

Hvorvidt en total betydning for prinsippet er konstruert for elevene er en annen sak, da elevenes kunnskaper ikke vil strekke til for å kunne sjekke gyldigheten til prinsippet på tvers av de ulike grenene i fysikk. Elevene kan heller ikke sies å ha kommet til fullstendig forståelse for komponentene som inngår i RP, da elevene viste uttrykk for ulike misoppfatninger gjennom undervisningsopplegget som også dukker opp i annen forskning (Saltiel & Malgrange, 1980; Villani & Pacca, 1987; Panse et. al., 1994; Pietrocola & Zylbersztajn, 1999; Scherr. et.al, 2002; Dimitriadi & Halkia, 2012; Alstein et. al., 2021). Til tross for dette ble misoppfatningene eksplisitte for gruppa, slik at gruppa sammen kunne diskutere og påvirke hverandres læring på samme måte som den sosiokulturelle læringsteorien legger opp til (Säljö, 2000/2010, s.23-69). Vi kan samtidig se at elevene søkte aktivt etter en løsning på siste oppgave, noe som viser til at elevene hadde et driv etter å utforske RP, noe som kan forklares ved verdien som ligger i tankeeksperimentene (Velentzas & Halkia, 2013).

En utforskende undervisningstilnærming er ikke den eneste måten man kan møte undervisning i SR på, men blir denne undervisningen støttet av en lærer som kjenner kjennetegnene på elevenes misoppfatninger og lærevansker, har denne tilnærmingen potensialet til å gi elevene en variert læringsprosess. En læringsprosess som introduserer elevene for sentrale begreper i teorien og gir et mer reflektert forhold til grunnleggende kunnskaper. Dessuten vil prosessen være med å sette i gang en større refleksjonsprosess som til slutt kan lede til en endring i elevenes metafysiske oppfatning.

Kildeliste

Alstein, P., Krijtenburg-Lewerissa, K., & van Joolingen, W. R. (2021). Teaching and learning special relativity theory in secondary and lower undergraduate education: A literature review. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010134.

Anderson, R. D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12. DOI: 10.1023/A:1015171124982

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

Arriasecq, I., & Greca, I. M. (2007). Approaches to the teaching of special relativity theory in high school and university textbooks of Argentina. *Science Education*, 16, 65-76.

Bandyopadhyay, S. A. (2009). Students' ideas of the meaning of the relativity principle. *European Journal of Physics*, 30(5), 1239-1250.

Bjønnnes, B. & Kolstø, S.D. (2015) Schaffolding open inquiry: How a teacher provides students with structure and space. *NorDiNA*, vol 11. No 3

Dimitriadi, K., & Halkia, K. (2012). Secondary students' understanding of basic ideas of special relativity. *International Journal of Science Education*, 34, 2565-2592.

Einstein, A. (1905). On the Electrodynamics of Moving Bodies. *Annalen der Physik*, 17(10), 891-921.

Einstein, A. (1952). The field equations of gravitation. In H.A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski, & H. Weyl (Eds.), *The Principle of Relativity: A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity* (pp. 117-131). New York: Dover. (Opprinnelig utgitt i 1915).

Galilei, G. (1967), *Dialogue concerning the two chief world systems – Ptolemaic & Copernican*, (Stillman, D., over.) 2 utg. Los Angeles, California, USA University of California press, (Opprinnelig utgitt i 1632)

Goldstein, H., Poole, C., & Safko, J. (2002). *Classical mechanics* (3rd ed.). Addison-Wesley.

- Gim, J. (2016). Special theory of relativity in South Korean high school textbooks and new teaching guidelines. *Science Education*, 25, 575-591
- Harrington, N. B., & Elby, A. (2012). Interpreting student drawings in introductory physics. *In Proceedings of the Physics Education Research Conference* (Vol. 1513, pp. 148-151). American Association of Physics Teachers.
- Hewson, P.W. (1982). A case study of conceptual change in special relativity: The influence of prior knowledge in learning. *European Journal of Science Education*, 4, 61-76.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107. <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>
- Jodaa, V. (2022). Hvordan kan man bruke utforskende undervisning for å undervise spesiell relativitetsteori?
- Kamphorst, F., Vollebregt, M. J., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2019). Students' preinstructional reasoning with the speed of light in relativistic situations. *Physical Review Physics Education Research*, 15, 020123.
- Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619-633.
- Kunnskapsdepartementet. (2017). Overordnet del – verdier og prinsipper for grunnopplæringen. Fastsatt som forskrift ved kongelig resolusjon. Læreplanverket for Kunnskapsløftet 2020. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/verdier-og-prinsipper-for-grunnopplaringen/id2570003/>
- Otero M. R., Arlego, M., & Prodanoff, F. (2015). Teaching the basic concepts of the Special Relativity in the secondary school in the framework of the Theory of Conceptual Fields of Vergnaud. *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C*, 38, 108-117. <https://doi.org/10.1393/ncc/i2015-15108-9>

- Otero, M. R., Arlego, M., & Munoz, E. (2019). Relativity of simultaneity in secondary school: An analysis based on the Theory of the Conceptual Fields. *Journal of Physics: Conference Series*, 1287, 012002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1287/1/012002>
- Panase, S., Ramadas, J., & Kumar, A. (1994). Alternative conceptions in Galilean relativity: Frames of reference. *International Journal of Science Education*, 16, 63-71.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982) Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227.
- Pietrocola, M., & Zylbersztajn, A. (1999). The use of the principle of relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate physics students. *International Journal of Science Education*, 21, 261-274. <https://doi.org/10.1080/095006999290127>
- Robson, C. & McCartan, K. (2016) *Real world research: A resource for users of social research and methods in applied settings* (4th ed.) John Wiley & Sons LTD.
- Saltiel, E., & Malgrange, J.L. (1980). "Spontaneous" ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics*, 1(2), 73-78
- Sandoval, W. (2014) Conjecture mapping: An approach to systematic educational design research. *Journal of the learning sciences*, 23:1, 18 – 36, DOI: 10.1080/10508406.2013.778204
- Scherr, R. E., Shaffer, P. S., & Vokos, S. (2001). Student understanding of time in special relativity: Simultaneity and reference frames. *American Journal of Physics*, 69(S1), S24-S35.
- Scherr, R. E., Shaffer, P. S., & Vokos, S. (2002). The challenge of changing deeply held student beliefs about the relativity of simultaneity. *American Journal of Physics*, 70, 1238.
- Scherr, R. E. (2007). Modeling student thinking: An example from special relativity. *American Journal of Physics*, 75, 272
- Säljö, R. (2010) *Læring i praksis: Et sosiokulturelt perspektiv*. (S. Moen, Overs.), Oslo, J.W. Cappelen forlag a.a. (Opprinnelig utgitt i 2000)

Velentzas, A., & Halkia, K. (2013). The use of thought experiments in teaching physics to upper secondary-level students: Two examples from the theory of relativity. *European Journal of Physics*, 38(5), 055701.

Villani, A., & Pacca, J.L. (1987). Students' spontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of Science Education*, 9(4), 425-436.

Wozniak, R.H. (1980) Theory, practice, and the zone of proximal development in Soviet psychoeducational research. *Contemporary Educational psychology*, 5(2), 175 – 183.

Utdanningsdirektoratet (2006). Læreplan i fysikk - programfag i utdanningsprogram for studiespesialisering (FYS1-01). Hentet fra <https://www.udir.no/k106/fys1-01>

Utdanningsdirektoratet (2018). Kompetansemål og vurdering i fysikk 1 og 2. Hentet fra <https://www.udir.no/lk20/fys01-02/kompetansemaal-og-vurdering/kv467/>

Utdanningsdirektoratet. (2020). Retningslinjer for utforming av nasjonale og samiske læreplaner for fag i LK20 og LK20S Hentet fra <https://www.udir.no/laring-og-trivsel/lareplanverket/forsok-og-pagaende-arbeid/Retningslinjer-for-utforming-av-lareplaner-for-fag-/vedlegg/>

