

## Abstract

The central concepts of electricity are abstract and intangible, and many students find these concepts difficult to understand. The use of analogies in science education has long been regarded as a way to make abstract science phenomena more concrete and understandable.

However, the use of analogies has also been criticized for engendering alternative conceptions. The aim of this study is to examine how analogies can contribute to the learning of concepts of electricity. The main research question in this master thesis is: *In what ways can analogies support the learning of electricity?*

This study has a qualitative approach. Twelve 10<sup>th</sup> grade students from Norway have been interviewed, and results from these interviews have been presented and discussed in light of previous research. In addition, four analogies from different textbooks have been analysed. Three different theoretical frameworks have been used in the analysis of these analogies. The purpose of the frameworks was to contribute with obtaining information on the design of the analogies.

Results from the study shows that students, in varying degree, get support from the analogies in their reflection and understanding of concepts in electricity. How an analogy is design and presented appears to be essential for how effective it is in its communication of electricity. The following criteria seems to affect the learning potential of analogies: Expedient degree of abstraction in the target domain, that the content of the source domain is known, the relationship between the source domain and the target domain and that unshared attributes and limitations, in the analogy, is explicitly identified.

## Sammendrag

Elektrisitetsslære omhandler abstrakte fenomener som for mange elever oppleves utfordrende. Analogier har i lengre tid vært ansett som et verktøy for å konkretisere, øke forståelsen for, å utforske abstrakte og uobserverbare fenomener i naturvitenskapen. Bruken av analogier har også vært under kritikk da det innebærer en del utfordringer. Formålet for denne studien er å undersøke hvordan utforming og fremstilling av analogier i læremiddel kan bidra til læring innenfor temaet elektrisitetsslære. Problemstillingen for masteroppgaven er: *På hvilke måter kan analogier støtte elevers læring av elektrisitetsslære?*

Studien har en kvalitativ tilnærming med intervju av elever på 10. årstrinn, samt analyse av fire analogier fra ulike læremiddel. Utvalgte elevutsagn fra transkripsjonen blir presentert, og diskutert i lys av relevant teori. Analysen av analogiene er forankret i tre ulike teoretiske rammeverk, som blir brukt for å belyse ulike aspekter ved utforming og fremstilling hos analogiene.

Resultat fra studien tyder på at elever i ulik grad får støtte av analogier i sine refleksjoner rundt begreper og fenomener i elektrisitetsslære. Hva som er inkludert i analogiers utforming og fremstilling ser ut til å være avgjørende for hvordan analogier kan støtte opp om læring av elektrisitet. Faktorer som ser ut til å påvirke hvor effektivt analogier støtter læring er: Hensiktsmessig grad av abstraksjon i måldomenet, at innholdet i kildedomenet er kjent, forholdet mellom kildedomenet og måldomenet og at begrensninger og ikke-delte relasjoner hos analogier blir beskrevet.

# Forord

Med denne masteroppgaven i naturfagdidaktikk ved NTNU Trondheim, avsluttes min 6-årige pedagogiske og fagdidaktiske utdanning.

For en som personlig er interessert i fysikk og pedagogikk har det vært enormt interessant å arbeide med analogier som er brukt for å kommunisere elektrisitetslære. Det eneste som "plager meg" nå når oppgaven er skrevet og prosjektet ferdigstilt, er de ubesvarte spørsmål jeg personlig sitter igjen med. For ett forskningsprosjekt kan ikke tilfredsstillende all nysgjerrighet, og dermed blir en del spørsmål liggende "å pirre" dypt inne i hodet.

Arbeidet med å ferdigstille dette forskningsprosjektet, og skrive denne "lille boken", har økt min kunnskap og begeistring for naturfag-didaktisk forskning. Arbeidet med masteroppgaven har gjort meg mer reflektert og bevist med tanke på all den forskningen og det arbeidet som blir gjort for å utvikle naturfagundervisningen, både nasjonalt og internasjonalt. Denne balasten bidrar, forhåpentligvis, til å gjøre meg til en bedre naturfaglærer.

Jeg vil rette en stor takk til professor ved NTNU Berit Bungum som har bidratt med god støtte og veiledning gjennom dette arbeidet. Spesielt setter jeg pris på at mine tanker og idéer har fått stort "spillerom", samtidig som du har bidratt til å holde meg på rett vei.

Jeg vil også takke de skoler og elever som velvillig har bidratt til oppgavens datainnsamling. Til slutt vil jeg takke familie og venner, og da spesielt min samboer som i perioder nesten har måtte fylt rollen som "alenemor".

Trondheim 20.mai 2016

Erik Mogstad



# Innholdsfortegnelse

<b>Kapittel 1: Innledning</b> .....	<b>9</b>
1.1: Oppgavens formål og problemstilling.....	9
1.2: Oppgavens oppbygging.....	11
<b>Kapittel 2: Elektrisitet</b> .....	<b>13</b>
2.1 Grunnleggende elektrisitetslære .....	13
2.2 Elevers forståelse av elektrisitet .....	20
<b>Kapittel 3: Analogier og modeller</b> .....	<b>23</b>
3.1 Modeller.....	23
3.2 Analogier.....	24
3.3 Analogiers funksjoner i læring .....	27
3.4 Analogier kan medføre misoppfatninger .....	28
3.5 Analogier i lærebøker.....	30
3.6 Teoretisk rammeverk: "Structure-Mapping Theory" .....	35
3.7 Anbefalinger for analogier i undervisning .....	38
<b>Kapittel 4: Metode</b> .....	<b>41</b>
4.1 Valg av analogier.....	41
4.2 Analyse av analogiene.....	42
4.2.1: Gjennomføring i analyse av analogiene.....	43
4.2.2: Relabilitet og validitet ved analyse av analogiene.....	44
4.3 Kvalitative intervjuer.....	45
4.3.1: Valg av informanter til intervjuene .....	46
4.3.2: Gjennomføring og analyse av intervjuene.....	47
4.3.3: Validitet og relabilitet ved intervjuene .....	48
4.6 Alternative metoder som ble vurdert .....	49
4.7 Etske vurderinger .....	50
<b>Kapittel 5: Resultat og analyse</b> .....	<b>51</b>
5.1 Analyse av analogiene.....	51
5.1.1 Skiheisen .....	56
5.1.2 Rørsystemet .....	57
5.1.3 Fjellet.....	61
5.1.4 Bowlingkulen.....	63
5.1.5 Analyse av analogiene med ACS .....	65

5.1.6 Analyse av analogiene med TWA.....	71
5.2 Elevers oppfattelse av analogiene .....	78
5.2.1: Elevenes forståelse av elektrisitet .....	79
5.2.2: Analogi 1 - Skiheisen .....	79
5.2.3: Analogi 2 – Rørsystemet .....	85
5.2.4: Analogi 3 – Fjellet.....	90
5.2.5: Analogi 4 – Bowlingkulen.....	92
<b>Kapittel 6: Diskusjon .....</b>	<b>95</b>
6.1: Hvordan er analogiene utformet og fremstilt .....	95
6.1.1: Utforming og fremstilling av analogiene og feilforestillinger om elektrisitet .....	95
6.1.2: Forhold mellom kilde- og måldomenet .....	96
6.1.3: Begrensning i analogisk relasjon.....	98
6.1.4: Identifisering av kognitiv strategi.....	100
6.1.5: Kartlegging .....	100
6.2: Hvordan forstår elever analogiene? .....	101
6.2.1: Skiheisen .....	101
6.2.2: Rørsystemet .....	103
6.2.3: Fjellet.....	104
6.2.4: Bowlingkulen.....	104
6.3: Hvordan kan analogier støtte læring i elektrisitetslære? .....	105
<b>Kapittel 7: Konklusjon .....</b>	<b>109</b>
7.1: Anbefalinger.....	109
7.2: Forslag til videre forskning.....	110
<b>Litteraturhenvisning.....</b>	<b>111</b>

## Oversikt vedlegg

Vedlegg 1: Informasjon og samtykkeskriv .....	III
Vedlegg 2: Resultat av meldeplikttest – NSD .....	IV
Vedlegg 3: Intervjuguide ved skole nr. 1 .....	V
Vedlegg 4: Intervjuguide ved skole nr. 2 .....	VI
Vedlegg 5: Graf fra Hodgson et al. (2012, s. 70) .....	VII

## Oversikt: Bilder, figurer og tabeller

Bilde 1.1.1: Illustrasjon av studiens analogier .....	10
Bilde 5.1.1: Bilde av analogi 1 .....	52
Bilde 5.1.2: Bilde av analogi 2 .....	53
Bilde 5.1.3: Bilde av analogi 3 .....	54
Bilde 5.1.4: Bilde av analogi 4 .....	55
Figur 2.1.1: Elektrisk krets .....	13
Figur 2.1.2: Elektrisk felt .....	14
Figur 2.1.3: Elektrisk felt .....	14
Figur 2.1.4: Rom med og uten gravitasjonsfelt .....	16
Figur 2.1.5: Potensiell elektrisk energi .....	18
Figur 2.1.6: Kirchhoffs første lov .....	19
Figur 2.1.7: Kirchhoffs andre lov .....	20
Figur 3.2.1: Kartleggingsfigur blodstrømanalogi .....	25
Figur 5.1.1: Kartleggingsfigur analogi 1 .....	57
Figur 5.1.2: Kartleggingsfigur analogi 2 .....	60
Figur 5.1.3: Kartleggingsfigur analogi 2 .....	60
Figur 5.1.4: Kartleggingsfigur analogi 3 .....	63
Figur 5.1.5: Kartleggingsfigur analogi 4 .....	65
Tabell 5.1.1: ACS ("Analogy Classification System") klassifiseringstabell .....	66
Tabell 5.1.2: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 1 .....	72
Tabell 5.1.3: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 2 .....	73
Tabell 5.1.4: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 3 .....	74
Tabell 5.1.5: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 4 .....	75
Tabell 5.1.6: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 4 fortsetter .....	76
Tabell 5.1.7: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 5 .....	77
Tabell 5.1.8: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 6 .....	77





# Kapittel 1: Innledning

Fysikk handler om å forstå verden vi lever i. Gjennom store tenkere og vitenskapsmenn har vår forståelse av verden utviklet seg. Hvis vi kaster en stein opp i luften bruker vi prinsipper fra Newtonsk fysikk til å forstå at et legeme med masse i tyngdefeltet vil falle, og at kraften som påvirker legemet er gravitasjon. Beveger vi oss bakover i historien til Aristoteles sin tid, og den aristoteliske naturlære, ville steinen falt tilbake til jorden fordi den har jord som sitt hovedelement, fordi man da mente at alle ting vil strebe mot sin årsak. Selv om det gikk 2027 år fra Aristoteles levde til Sir Isaac Newton ble født hadde de noe felles i sin forståelse av verden: En stein som blir kastet opp i luften, for så å falle ned til bakken må påvirkes av en uobserverbar kraft. Disse uobserverbare fenomenene fysikken beskjeftiger seg med bidrar til en høy grad av abstraksjon i innholdet, og for å forstå verden fra fysikkens ståsted må man derfor lære å se forbi det rent materielle. Bruken av modeller og analogier har i så måte fått en sentral rolle. Denne egenarten ved fysikkens innhold, at det kan oppfattes som uhåndgripelig og abstrakt men at modeller og analogier kan bidra til forståelse, er hovedbakgrunnen for temaet til min masteroppgave. I oppgaven vil jeg undersøke analogier brukt for å kommunisere deler av elektrisitetens læren. For elektrisitet har alltid fasinert meg personlig, og fenomener fra elektrisitetens læren har vist seg å by på utfordringer for elever i skolen, noe som kan grunne i at innholdet i elektrisitetens læren er lite håndgripelig (Angell et al., 2011). En avgjørende bakgrunn for denne studien er derfor ønsket om å undersøke på hvilke måter analogier kan gjøre elektrisitetens læren mer håndgripelig og konkret for elever.

## 1.1: Oppgavens formål og problemstilling

Bakgrunnen for at det er analogier innenfor elektrisitetens læren som blir studert er at de utgjør en vanlig metode for å konkretisere innholdet i abstrakte fenomener, som elektriske kretser og elektrisk spenning (Brown & Salter, 2010; Jaakkola, Nurmi, & Veermans, 2011). I læringsøyemed kan analogier ha en funksjon som verktøy for å bedre forståelsen for komplekse naturvitenskapelige fenomener (Chiu & Lin, 2005), så vel som å bidra med en utforskende og kreativ funksjon (Glynn, 1989; Harrison & Treagust, 1993). Dessverre viser det seg at analogier kan bli feiltolket og misforstått av elevene (Brown & Salter, 2010; Jaakkola et al., 2011), og potensielt medføre misoppfatninger (Duit, 1991; Glynn, 1989).

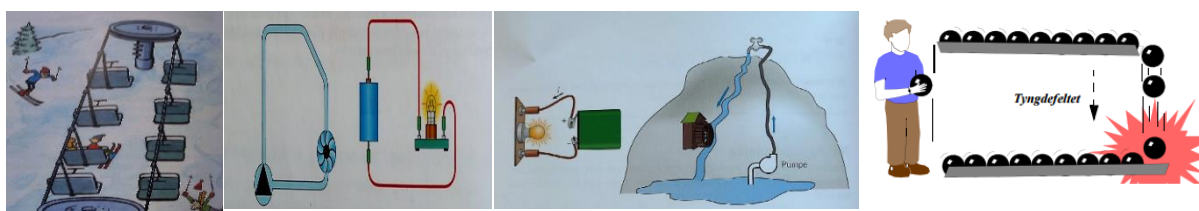
Denne studien vil undersøke fire analogier, slik de blir presentert i bøker. Formålet er å diskutere i hvilken grad de kan sees på som selvstendige og komplette analogier slik som de blir presentert i sine læremiddel. Tidligere forsknings viser at undervisning i skolen ofte er styrt av innholdet i lærebøkene (se vedlegg 5) (Hodgson et al., 2012; Skjelbred, Solstad, & Aamotsbakken, 2005). I tillegg viser flere studier at læringsutbytte fra bruken av analogier avhenger av analogiens utforming og presentasjon (Chiu & Lin, 2005; Duit, 1991; Glynn, 1989; Harrison & Treagust, 1993). Når læreboken er en av skolens fremste læringsmiddel, og utformingen og presentasjonen av analogiene i lærebøkene er avgjørende for læringsutbytte fra analogiene, ansees det som viktig og relevant å analysere og diskutere analogier som elever benytter seg av. Denne studien undersøker analogier sin rolle i læring av elektrisitet, og det er valgt å hovedsakelig samle, analysere og diskutere data ut fra kompetansegrad hos elever ved ungdomstrinnet. Eventuelle bidrag fra studien kan likevel være av interesse for læring hos elever med annen kompetansegrad.

Problemstillingen for denne masteroppgaven formuleres slik: *På hvilke måter kan analogier støtte elevers læring av elektrisitetslære?*

For å operasjonalisere forskningen i studien er det utarbeidet to forskningsspørsmål som skal bidra til å belyse innholdet i problemstillingen:

1. Hvordan er analogiene utformet og fremstilt med tanke på å kommunisere elektrisitetslære?
2. Hvordan forstår elever analogiene?

Analogiene studien undersøker for å belyse forskningsspørsmålene er: Én analogi fra en skiheismodell, to vannstrømanalogier og én analogi fra en bowlingkulemodell, som vist på bilde 1.1.1. Disse analogiene vil bli nærmere presentert i kapittel 5.1.



Bilde 1.1.1: Illustrasjon av studiens analogier. Fra venstre: Skiheismodellen (Ekeland, Johansen, Strand, Rygh, & Jenssen, 2008, s. 108), vannstrømmmodell 1 (Hannisdal, Haugan, & Munkvik, 2007, s. 212), vannstrømmmodell 2 (Jerstad, Sletbak, Grimenes, & Renstrøm, 2007, s. 241) og bowlingkulemodell (Rossing, 2005, s. 39).

## 1.2: Oppgavens oppbygging

Opgaven består av syv kapitler:

- Kapittel 1: Innledning
- Kapittel 2: Elektrisitet

Dette kapitlet tar for seg grunnleggende elektrisitetslære. Formålet med dette kapitlet er å gi en kort beskrivelse av innholdet i ulike begreper fra elektrisitetslære brukt gjennom oppgaven.
- Kapittel 3: Analogier og modeller

Dette kapitlet tar for seg relevant litteratur om begrepene modell og analogi. I dette kapitlet blir det presentert litteratur som senere i oppgaven blir brukt både for å analysere og diskutere datamaterialet.
- Kapittel 4: Metode

Er oppgavens metodekapittel. Her blir gjennomføringen av studien beskrevet, og ulike valg begrunnet og forankret i metodeteori. I kapitlet blir også studiens reliabilitet og validitet, samt etiske aspekter, vurdert.
- Kapittel 5: Resultat og analyse

Er et felles resultat og analysekapittel. Her blir studiens datamateriale presentert og analysert.
- Kapittel 6: Diskusjon

Inneholder diskusjoner hvor funn i resultat og analyse kapitlet blir drøftet opp mot litteratur, forskningsspørsmål og problemstilling.
- Kapittel 7:

Er en kort avslutning, hvor det blir trukket konklusjoner opp mot studiens forskningsspørsmål og problemstilling, samt kommet med anbefalinger og forslag til videre forskning.



## Kapittel 2: Elektrisitet

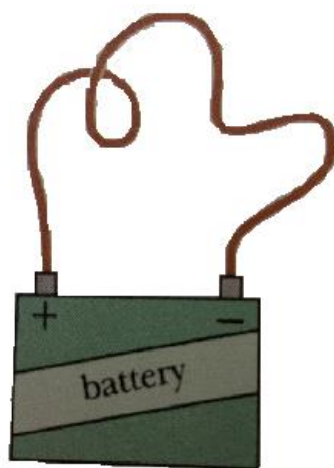
### 2.1 Grunnleggende elektrisitetslære

Dette delkapittelet redegjør for noen elementer og begreper fra elektrisitetslære som blir brukt i denne studien. Det gir en gjennomgang fra enkelte deler av elektrisitetslære som skal bidra til å klargjøre fagstoff og innhold i begreper som vil bli brukt i analysen. For å sikre det faglige innholdet i dette delkapittelet er det gjennomgående kontrollert opp mot boken "Principles of Physics" av Ohanian (1994).

#### Elektrisk felt

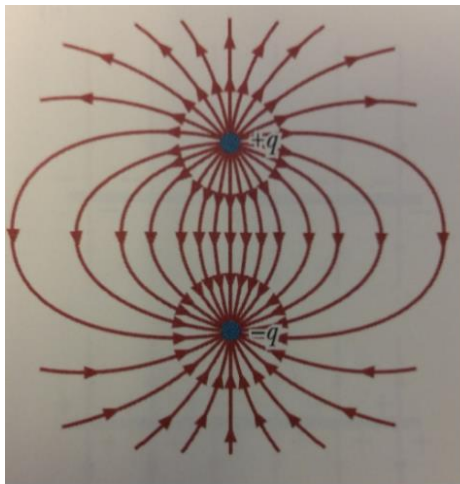
Vi starter med å se for oss en enkel elektrisk krets, som figur 2.1.1, med én leder og ett batteri. Ut fra denne kretsen skal vi nå forsøke å nærme oss noen av de sentrale begrepene innenfor elektrisitetslære, og vi starter med *elektrisk felt* som en egenskap ved rommet. Når en ladning beveger seg vil den skape en forstyrrelse, eller turbulens, i rommet rundt seg. På denne måten utøver ladninger kraft på hverandre ved forstyrrelser de generer, og disse forstyrrelsene kaller vi for elektriske felt. Vi definerer elektrisk felt ( $\mathbf{E}$ ) ved den elektriske kraften ( $\mathbf{F}$ ) delt på størrelsen av ladningen  $q$ . Med andre ord er et elektrisk felt kraften per ladningsenhet. Noe som gir oss enheten *newton/coulomb* (N/C) for elektriske felt:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q}$$

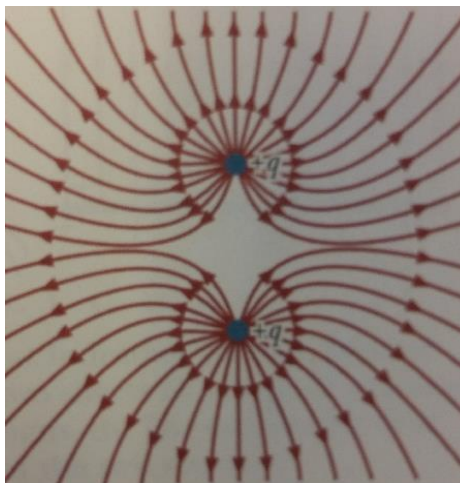


Figur 2.1.1: Enkel elektrisk krets  
(Ohanian, 1994, s. 538)

De elektriske feltene er vektorer (markert med **fet skrift**), altså de har en retning, og retningen avhenger av om det er en *positiv*- eller *negativ* ladning. Elektriske felt fra positive ladninger vil ha en radial rettet utover, og elektriske felt fra negative ladninger vil ha en radial rettet innover. Dette forklarer hvorfor like ladninger frastøter hverandre og ulike ladninger tiltrekker hverandre (figur 2.1.2 og 2.1.3).



Figur 2.1.2: To ulike elektriske felt (Ohanian, 1994, s. 479)



Figur 2.1.3: To like elektriske felt (Ohanian, 1994, s. 479)

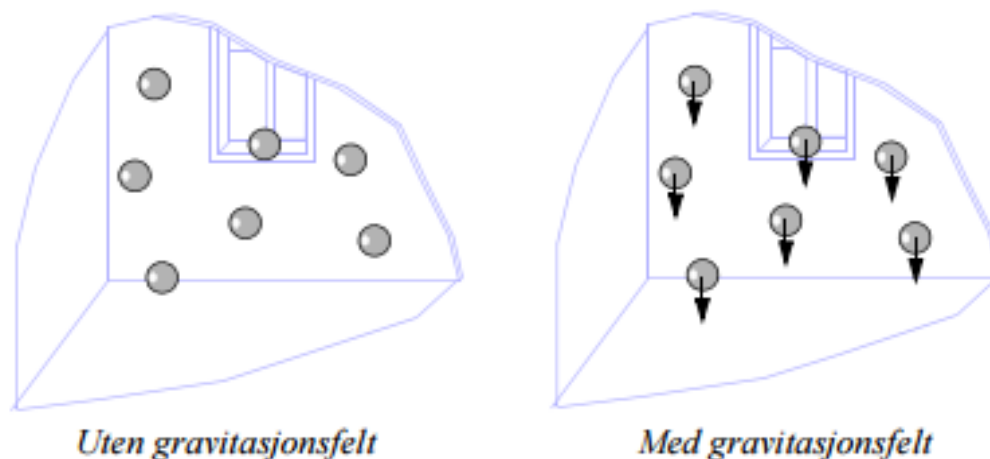
## Elektrisk strøm

Egenskapene ved elektriske felt forklarer hvorfor elektroner i en elektrisk leder ikke vil klumpe seg sammen, og er derfor viktig kunnskap for å forstå *elektrisk strøm*. For å beskrive elektrisk strøm tar vi utgangspunkt i en enkel elektrisk krets bestående av ett batteri og én kobberleder (figur 2.1.1). En egenskap ved gode elektriske ledere, som kobber, er at de inneholder et antall av frie elektroner, altså elektroner som kan frigjøre seg fra sitt atom, og det er denne egenskapen som blir utnyttet for å sende elektrisk strøm gjennom en leder. Når lederen kobles til batteriet vil likevekten opphøre, og et elektrisk felt vil drive ladningsbærerne, som i dette tilfellet er elektroner, fra den negative til den positive terminalen på batteriet. Tenker vi tilbake på egenskapene ved elektriske felt, hvordan ulike ladninger tiltrekker hverandre og like ladninger frastøter hverandre, forstår vi at det elektriske feltet i lederen går motsatt vei av elektronene. Så lenge vi forholder oss til en krets med metallisk leder vil alltid ladningsbærerne være elektroner. Dette er forskjellig fra elektrolytter, som for eksempel saltvann, hvor ladningsbærerne både er positive- og negative ioner.

Elektrisk strøm forårsakes altså av at et elektrisk felt driver ladninger fra en enda av lederen til den andre enden av lederen. Når vi definerer elektrisk strøm bruker vi denne kunnskapen for å måle hvor mange ladninger ( $\Delta q$ ) som passerer ett gitt tverrsnitt av lederen per tidsenhet ( $\Delta t$ ). Dette gir oss den matematiske definisjonen på elektrisk strøm:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Nils Kristian Rossing (2005) bruker en analogisk fremstilling av elektrisk strøm hvor vi ser for oss et rom med tennisballer, men uten gravitasjonsfelt. Tennisballene vil da bevege seg rundt i rommet uten noe drivende kraft som styrer dem. Hvis vi så «slår på» gravitasjonsfeltet vil gravitasjonskreftene mer eller mindre momentant få alle ballene til å falle mot gulvet, forutsatt at tennisballene har masse (figur 2.1.4).



Figur 2.1.4: Rom med og uten gravitasjonsfelt (Rossing, 2005, s. 37)

Massen til tennisballene og gravitasjonens innvirkning på dem kan vi relatere til elektrisk strøm. Ladninger har en masse, og i en elektrisk strøm vil det være et elektrisk felt som utøver kraft på ladningene, akkurat som gravitasjonsfeltet utøver kraft på tennisballene. Slik kan vi si at uten et elektrisk felt blir det ingen elektrisk strøm på lik linje med at tennisballene ikke vil falle uten gravitasjonsfeltet.

### Elektrisk spenning

Elektrisk spenning er definert som differansen i potensiell energi mellom to punkter i et elektrisk felt for en ladningsenhet. For å forstå elektrisk spenning er det med andre ord avgjørende å forstå potensiell energi i et elektrisk felt. Sammenligning av elektrisk og mekanisk energi er en ofte brukt analogisk fremstilling. Et legeme i tyngdefeltet har en potensiell energi gitt ved legemes masse og posisjon. Én kaffekopp stående på et bord vil ha større potensiell energi enn én kaffekopp som står på gulvet. Dette er gitt ved at den potensielle energi ( $E_p$ ) avhenger av koppens masse ( $m$ ) og dens høyde ( $h$ ) over et punkt for nullpotensiale, som i dette eksemplet er gulvet. Den konstante kraften som virker på koppen i fritt fall er gravitasjonskraften ( $g$ ). Matematisk uttrykkes konstant gravitasjon som:

$$E_p = gmh$$



Likt som kaffekoppen avhenger en elektrisk ladnings potensielle energi ( $U$ ) av ladningens posisjon i forhold til et punkt for nullpotensiale ( $y$ ) og kraften som det elektriske feltet utøver på ladningen ( $qE$ ). Matematisk kan dette uttrykkes ved:

$$U = -qEy$$

Likheten mellom potensiell energi for en ladning og potensiell energi for et legeme i gravitasjonsfeltet er at begge har et felt i rommet som påvirker dem, og at potensialet forandrer seg ved økt avstand. Man kan altså se en relasjon mellom gravitasjonskraften som påvirker legemet og kraften som det elektriske feltet utøver på ladningen. I tillegg er den potensielle energien både for elektrisk- og mekanisk energi direkte proporsjonale med avstanden mellom ladningen/legemet og et referansepunkt.

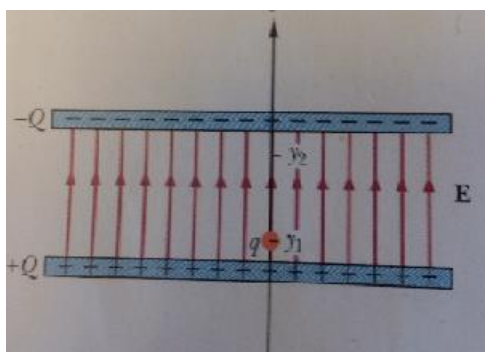
Elektrisk spenning er altså forskjellen i potensiell energi for en ladningsenhet når den blir forflyttet fra et punkt ( $y_1$ ) til et annet ( $y_2$ ). Ser man på figur 2.1.5 vil det si at størrelsen av det elektriske potensialet til ladningen  $q$  er forskjellig i posisjon  $y_1$  og  $y_2$ . Denne differansen i elektrisk potensial utgjør den elektriske spenningen. Elektrisk potensial er gitt ved uttrykket:

$$V = \frac{J}{C}$$

Det vil si at et elektrisk potensial på 1 V (volt) er 1 J/C (joule per coulomb). Potensiell energi for en ladning ved et bestemt punkt er gitt ved uttrykket:

$$U = q \cdot V$$

Man kan altså finne den potensielle energien ( $J$ ) ved et punkt hvis man multipliserer ladningen  $q$  (C) med det elektriske potensialet (Joule per coulomb)



Figur 2.1.5: Elektrisk potensiell energi (Ohanian, 1994, s. 502)

Samtlige analogier som blir undersøkt i denne studien kommuniserer ulike begreper fra elektrisitetslære ved å ta utgangspunkt i en elektrisk krets med spenningskilde, leder og n-motstander. Elektromotorisk spenning er et begrep som antyder at man bruker en spenningskilde, som driver en konstant «forsyning» av ladde partikler. Definisjonen av elektromotorisk spenning ( $\varepsilon$ ) er lik definisjonen av elektrisk spenning.

$$\varepsilon = U_{ab}$$

Ett batteri er en slik elektromotorisk spenningskilde. Så lenge batteriet er i drift vil det skape en differanse i potensiell energi hos sine to terminaler, og slik sette opp et uniformt elektrisk felt fra den positive- til den negative terminalen. Kjemiske reaksjoner fører til et overskudd av elektroner ved den negative terminalen, som fører til en elektronvandring over mot den positive terminalen. Under denne vandringen omsettes potensiell elektrisk energi til kinetisk energi, som går over til termisk energi ved at elektronene møter motstand, eller resistans som er det faglige begrepet.

### Resistans og Ohms lov

Tross sitt navn er Ohms lov ingen universal lov, og med det menes det at den ikke kan benyttes i alle situasjoner. Ohms lov er derimot gyldig for alle metalliske ledere, og derfor er den også av interesse for denne studien da den kun forholder seg til elektrisk strøm i metalliske ledere.

De frie elektronene i en metallisk leder opptrer i gassform, og fyller ut volumet til metallet. Elektrongassen holder en relativt lav hastighet på rundt  $10^{-2}$  m/s, og konstant retning styrt av det elektriske feltet i lederen. Til tross for den relativt lave hastigheten og konstante retningen til elektrongassen oppfører hvert enkelt elektron i gassen seg ganske annerledes. De

individuelle elektronene holder høy hastighet, og beveger seg i tilfeldig retning frem og tilbake. Likevel holder elektrongassen en konstant fart. Grunnen til dette er friksjon som oppstår når elektronene kolliderer med metalionene i lederen. Størrelsen til friksjonen fra alle disse kollisjonene er lik kraften fra det elektriske feltet, og bevegelsen til elektrongassen holder slik en konstant fart og retning. Fra før husker vi at størrelsen av elektrisk strøm blir målt ved mengden ladninger som passerer et tverrsnitt av lederen pr tidsenhet. Siden størrelsen av resistansen er avgjørende for hastigheten til elektrongassen vil den også være avgjørende for størrelsen til den elektriske strømmen. Elektrisk strøm er avhengig av et elektrisk felt, som i en enkel likestrømkrets er uniformt på grunn av en elektromotorisk spenningskilde. Ohms lov definerer forholdet mellom resistans ( $R$ ), spenning ( $V$ ) og strøm ( $I$ ):

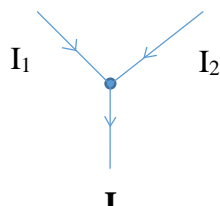
$$R = \frac{V}{I}$$

### Elektrisk krets

En enkel likestrømkrets består av en eller flere elektromotoriske spenningskilder, og en eller flere motstander. En slik krets kan man for eksempel finne i en vanlig lommelykt, bestående av to seriekoblede batterier og en lyspære. I denne kretsen vil batteriene være spenningskilder, og lyspæren være motstanden som yter resistans, og ut i fra Ohms lov kan vi konkludere med at strømmen som går gjennom kretsen er produktet av den totale spenningen delt på den totale resistansen:

$$I = \frac{\varepsilon}{R}$$

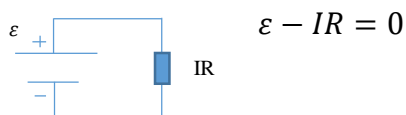
Mange elektriske kretser består av forgreningspunkter, hvor flere ledere samler seg i et punkt og går ut til en leder. Kirchhoffs første lov forteller oss hva som skjer med strømmen i et slikt forgreningspunkt da den sier at strømmen som går ut fra et forgreningspunkt er lik summen av strømmene som kommer inn til forgreningspunktet (figur 2.1.6).



$$I = I_1 + I_2$$

Figur 2.1.6:  
Forgreningspunkt i en  
elektrisk krets

Kirchhoffs første lov tar altså for seg den elektriske strømmen i en krets. Kirchhoffs andre lov tar for seg spenningen i en elektrisk krets, og sier at summen av alle de elektromotoriske spenningene i kretsen er lik summen av spenningsfallet over alle motstandene i en krets (figur 2.1.7).



$$\varepsilon - IR = 0$$

Figur 2.1.7: Elektrisk krets med én spenningskilde og én motstand

## 2.2 Elevers forståelse av elektrisitet

Hverdagen til de aller fleste mennesker i vår del av verden er i dag "fylt av elektrisitet". Rundt oss i dag, utnyttes elektrisitet til det aller meste. Vekkerklokken som får deg til å stå opp om morgenen, kaffemaskin som lager morgenkaffen din, bilen du kjører til jobben, datamaskinen du taster på og telefonen du ringer med. Alt dette har en fellesnevner i elektrisitet. I tillegg til å omgi oss med og utnytte elektrisitet, snakker vi også om det. Folk er bekymret for om de har igjen nok strøm på telefonen, eller om det er lite vann i vannmagasinene slik at det blir dyrt å produsere strømmen vi trenger, og at vi da kanskje må betale en større strømrregning for den strømmen vi har brukt. På tross av den tette relasjonen mellom elektrisitet og menneskers hverdag, viser det seg at synet "folk flest" har på elektrisitet ikke stemmer overens med fysikkens syn. Fysikkens elektrisitetslære består av språk, tankesett og representasjonsformer som for de fleste elever er ukjent. I tillegg til at fysikken er ukjent kan den også oppfattes som lite virkelighetsnær og nyttig da den ofte kommuniserer generelle sammenhenger om abstrakte fenomener, som kan oppfattes og observeres som trivielle hendelser for elevene, som for eksempel at elektrisk strøm er avhengig av et elektrisk felt: Hva og hvor er dette feltet (Angell et al., 2011)?

Erfaringer og betraktninger fra hverdagslige opplevelser, bidrar til at elever utvikler ulike hverdagsforestillinger om hvordan verden de lever i fungerer. Disse hverdagsforestillingene består av en rekke forskjellige idéer og forklaringsmodeller, som bidrar med å skape en mening i opplevelser og erfaringer fra hverdagen (Angell et al., 2011; Sjøberg, 2011). Hverdagsforestillinger skiller seg fra naturvitenskapelige kunnskap på flere måter.

Hverdagsforestillinger er ofte uten eksplisitte regler der hvor naturvitenskapen har krav om konkrete formuleringer bygd på evidens. Ontologisk er det også en forskjell: Det som blir sett på som virkelig i «det hverdagslige» er ofte forskjellige fra det som er virkelig i vitenskapen (Driver, Asoko, Leach, Mortimer, & Scott, 1994). Eksempelvis kan et barn tenke at «solen går ned», mens naturvitenskapen har et heliosentrisk syn hvor solen står i ro, mens jorden snurrer rundt og vender seg bort fra solen én gang i døgnet. Angell et al. (2011) omtaler noen forestillinger, eller modeller, som strider med fysikkens faglige innhold, og er vanlig for elevers forståelse av elektriske kretser. "En pol modellen" er en forestilling om at det holder med én leder mellom for eksempel ett batteri og en lyspære. "Konstant strømkilde modellen" er en forestilling hvor batteriet blir gitt en konstant størrelse av strøm uavhengig av hvilke komponenter som er en del av kretsen. Forestillingen i "Kollisjonsmodellen" går ut på at ladninger beveger seg ut fra begge polene og møtes, for eksempel, i en lyspære, og at det er denne "kollisjonen" som får lyspæren til å lyse. "Strømforbruksmodellen" omhandler en forestilling om at de ulike komponentene i en krets forbruker strøm etter hvert som den passerer dem, og at det dermed er lite eller ingen strøm som kommer tilbake til batteriet. Sekvenstenkning er en vanlig forestilling om elektrisitet, og omhandler at elever resonerer med at ladninger blir påvirket i tur og orden. Altså ikke at ladninger vil bli påvirket av det elektriske feltet og starte bevegelse samtidig, men at det starter i en ende og forplanter seg utover i kretsen.

Forestillinger og oppfatninger hos elever, som strider med fysikkens innhold, er altså en kjent utfordring. Chiu og Lin (2005) fant også dette da de gjennomførte en studie, som omhandlet forandring i forståelsen av elektriske kretser hos elever på 4. årstrinn. Hvor de fant at elevenes forkunnskaper kvalitativt inneholdte mangler. I tillegg fant de at elevene var ute av stand til å forandre sin forståelse over til en mer naturvitenskapelig forklaring, og begrunner dette med at elevene møtte en ontologisk barriere mellom deres egen oppfatning av elektrisitet og fysikkens oppfatning av elektrisitet. For fysikkfaget omhandler å beskrive og forklare fenomener ved bruk av modeller (Angell et al., 2011). Hvordan man forstår, tolker og analysere innholdet i modellene varierer med hvor stor ekspertise man har i bruken av modeller. En professor i fysikk (ekspert) vil kunne lese mer nøyaktig informasjon ut av en modell enn en grunnskoleelev (novise) (Coll, France, & Taylor, 2005). Når hverdagsforestillinger, som er med å utgjøre elevers «forkunnskaper», og manglende kompetanse i å forstå de fysikkfaglige modellene blir kombinert kan det oppstå misoppfatninger rundt fenomenet for eleven. Forskning har vist at slik misoppfatninger er dypt forankret i elevers mentale forklaringsmodeller, og er motstandsdyktige for forandring (Chiu & Lin, 2005; Jaakkola et al., 2011; Sjøberg, 2011).



## Kapittel 3: Analogier og modeller

I dette kapittelet vil ulike aspekter ved analogier og modeller bli omtalt. Noen av begrepene som er brukt i teksten er hentet fra Gentner (1983) sin "Structure-Mapping Theory".

Disse er:

- *Domene:* Med domener menes systemer av objekter. Objekter kan være spesifikke enheter (for eksempel: planeten Tellus), eller deler av en spesifikk enhet (for eksempel: regnskogen på planeten Tellus). Det kan også være et større system bestående av mindre enheter (for eksempel: sol, planeter og måner i et solsystem).
- *Objekt-egenskaper og objektrelasjoner:* Objekt-egenskaper er egenskaper ved et objekt som kun kommuniserer ett argument. For eksempel: Solen er stor. Objektrelasjoner kommuniserer to eller flere argumenter. For eksempel: Solen er større enn dens planeter. Det er nå viktig å huske at man må holde seg innenfor det angitte domenet for at objektrelasjoner skal være gyldige. Hvis vi sier at domenet i dette eksempelet er vårt eget solsystem vil utsagnet «solen er stor» være en objekt-egenskap og utsagnet «solen er større enn dens planeter» være en objekt-relasjon. Sier vi derimot at «vår sol er større enn X-stjerne» vil ikke det være en objektrelasjon da vi har beveget oss utenfor domenet som danner grunnlaget for sammenligning. Det vil derimot være en objekt-egenskap ved solen.
- *Kildedomene og måldomene:* Kildedomenet har som funksjon å bidra som en kilde av kunnskap, som kan brukes for å bygge forståelse for måldomenet. Måldomenet på sin side er det domenet som skal analyseres, utforskes og/eller læres. Man sier ofte at kildedomenet er det kjente, og måldomenet er det ukjente.
- *Kartlegging:* Begrepet kartlegging omhandler prosessen man gjennomfører når man analyserer kilde- og måldomenet for å finne delte og ikke-delte relasjoner.

### 3.1 Modeller

I litteraturen er det vanskelig å identifisere generell konsensus rundt én bestemt definisjon av begrepet modell, og hva man legger i begrepet kan variere med litteraturens faglige utgangspunkt. (Danusso, Testa, & Vicentini, 2010; Mathiassen, 2013). Derfor er det valgt å presentere noen gjennomgående og relevante hovedtrekk for innholdet i begrepet modell.

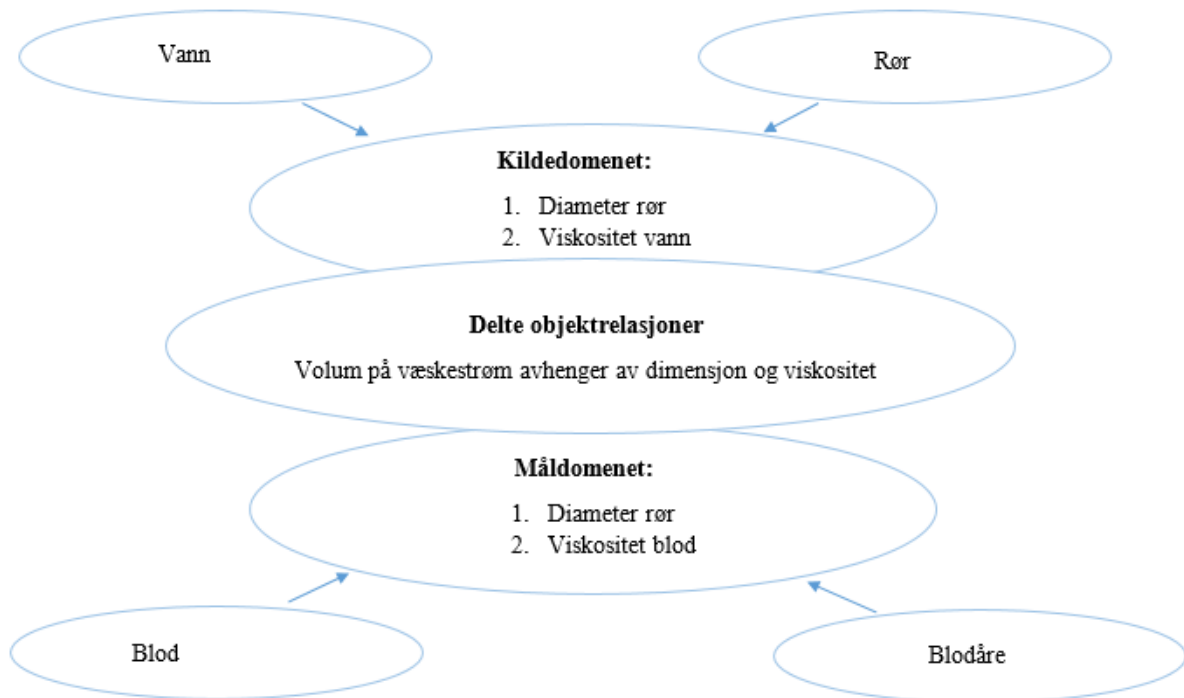
Modeller kan sees på som forenklete representasjoner av fenomener, som skal bidra til å formidle en forståelse av virkeligheten (Mathiassen, 2013), og knytte sammen naturvitenskapelige teorier og virkeligheten «som den blir oppfattet» (Gilbert, 2004). Modeller kan være sammensatte av enheter som er konkrete, abstrakte eller en kombinasjon av disse. Modeller kan representere idéer, systemer og prosesser (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). Modeller er i dag sentrale i utvikling, formidling og aksept av naturvitenskapelig kunnskap. De har en funksjon som brobygger mellom vitenskapelige teorier og «virkeligheten slik som den oppfattes», de kan konkretisere abstrakte tema, beskrive avanserte fenomener og eksisterer på ulike nivå: Mentale modeller blir utviklet av individer, for seg selv eller i grupper som representasjon for forståelse. Når en *mental modell* blir publisert offentlig gjennom skrift, tale eller andre metoder er modellen en *uttrykt modell*, og ved aksept i det fora den er publisert vil modellen være en *konsensus modell*. En konsensus modell i fronten av det vitenskapelige samfunn kan bli en *vitenskapelig modell*. (Coll et al., 2005; Gilbert, 2004). Analogiene som blir undersøkt i denne studien er en del av konsensus modeller som brukes i læringsøymed, og kan slik betraktes som pedagogiske modeller.

### 3.2 Analogier

Analogier omhandler en sammenligning mellom to fenomener eller prinsipper, som besitter en eller flere likheter, og er ofte brukt for å forklare abstrakte eller ukjente konsepter (Braasch & Goldman, 2010; Coll et al., 2005). I naturvitenskapen er analogier blant annet brukt for å undersøke, kommunisere og utvikle innsikt i fenomener som ofte er uobserverbare, og blir ifølge Brown og Salter (2010) av mange sett på som fundamentale i utviklingen av nye idéer. Analogier består av det Gentner (1983) omtaler som kildedomenet og måldomenet, og en analogi er ment å bruke kjent kunnskap fra kildedomenet for å bidra til en forståelse for innholdet i måldomenet, eller som Chen sier det: "*Analogy involves using what one knows in one situation to reason about or solve problems in another situation* (Chen, 2012, s. 37) . Ved å analysere de to domenene vil man kunne identifisere relasjoner mellom objekter i kildedomenet som er overførbart til måldomenet, denne prosessen kalles kartlegging (Gentner, 1983; Thiele & Treagust, 1994). I sin "Structure-Mapping Theory" indikerer Gentner (1983) at man kan lære ved å identifiserer de analogiske relasjonene i det man beveger seg fra det kjente i kildedomenet til det ukjente i måldomenet.



For å konkretisere hvordan man kan kartlegge en analogi kan vi se nærmere på et eksempel som ifølge Brown og Salter (2010) ofte er brukt som en analogi for blodstrøm gjennom blodårer. Kildedomenet består av objektene vann og rør, og disse to objektene har en relasjon i sitt system ved at vannstrømmen er avhengig av både diameteren til røret og viskositeten til vannet. Slik er også blodstrømmen i en blodåre blant annet avhengig av diameteren på blodåren og viskositeten til blodet. Her er det altså en relasjon mellom egenskaper i systemet til både kildedomenet og måldomenet som kan kartlegges, og det sies da å være en delt objektreasjon. Ved å identifisere disse objektreasjonene kartlegger vi kunnskap fra det kjente kildedomenet over til det ukjente måldomenet



Figur 3.2.1: Kartleggingsmodell av blodstrømanalogi

Vi har nå sett på begrepene modell og analogi, men hva er forholdet mellom dem? Både modeller og analogier omhandler kartleggingen av ulike domener. Kort kan vi se at analogier springer ut fra modeller, og det er analogier som gjør en modell til en modell (Duit, 1991), og det er slik forståelig at innholdet i begrepene kan forveksles, men i denne studien er forholdet mellom disse to begrepene nærmest å betrakte som en symbiose. Modeller og analogier kan også konstrueres forskjellig ut i fra formålet med dem, og når modeller brukes i læringsprosesser har de en pedagogisk dimensjon, og man må derfor ha et mottakerperspektiv. Ulike modeller er tilpasset for å beskrive deler av virkeligheten, men ingen modell beskriver hele virkeligheten. Det er alltid en begrensning ved en modell. Angell et al. (2011) har delt modeller inn i tre hovedkategorier, men påpeker at det ikke alltid er enkelt å avgjøre hvilken kategori en modell tilhører:

- Matematiske modeller – en symbolsk beskrivelse av naturen, som for eksempel  $E_p = mgh$ . Modellen er både mer abstrakt og enklere enn det virkelige fysiske systemet.
- Skalamodeller – har likhet med det fysiske objektet, systemet eller prosessen i en bestemt målestokk. For eksempel kan man studere et modellfly for å få et innblikk i oppbygningen til et virkelig fly.
- Analogimodeller – beskrives mer utdypende i neste avsnitt

Analogimodeller er ikke nøyaktige avbildninger av det originale objektet, fenomenet, systemet eller prosessen det er ment å beskrive, men det har viktige likheter i strukturelle relasjoner (Angell et al., 2011; Mathiassen, 2013). Analogimodeller kalles "analogiske" fordi de deler relasjoner og informasjon med målet de modellerer, og forsøker å formidle ikke observerbare fenomener og objekter (Harrison & Treagust, 2000). Ved bruken av analogimodeller er det viktig at man skiller mellom en positiv, negativ og nøytral analogi. En positiv analogi er objektrelasjoner fra kildedomenet som kan kartlegges med objektrelasjoner fra måldomenet, og de blir ofte kalt for delte relasjoner. En negativ analogi er de objektrelasjoner fra kildedomenet som ikke kan kartlegges med objektrelasjoner fra måldomenet, og de blir ofte kalt for ikke-delte relasjoner. Ved usikkerhet om relasjoner kan kartlegges fra kildedomenet til måldomenet sier man at det er en nøytral analogi, som så kan studeres videre (Angell et al., 2011; Harrison, 2001). Fokuseres det kun på delte relasjoner (positive analogier) hos analogiske modeller i undervisningen kan dette få uheldige konsekvenser, da elevene kan sitte

igjen med en overbevisning om at en analogisk modell er gyldig på områder hvor den ikke passer med virkeligheten. For at elever skal unngå en feil forståelse, eller misoppfatning, er det også viktig å undersøke de ikke delte relasjoner (negative analogier) ved en analogimodell (Angell et al., 2011). For mange skoleelever er ukritiske, og vi kan kanskje kalle de for naive realister, som besitter en epistemologi hvor de, for eksempel, tror at det er et 1:1 forhold mellom modeller og virkeligheten, og at en vitenskapelig modell er en nøyaktig kopi av den virkeligheten de erfarer (Harrison, 2001; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002). Ved bruk av en analogisk modell er det derfor viktig å identifisere de ikke-delte relasjonene (negative analogier) (Angell et al., 2011), for at elevene skal få fullt utbytte og unngå misoppfatninger eller feilforestillinger. I tillegg kan fokus på de negative eller nøytrale sidene ved en analogisk modell gi et grunnlag for spørsmålsstilling og kreativitet (Mathiassen, 2013).

### 3.3 Analogiers funksjoner i læring

Analogier brukes i stor grad for å konkretisere abstrakte fenomener, og bruken av analogier i instruksjon kan ha positiv effekt for en rekke lærende, derav "nybegynnere" slik som elever på ungdomsskolenivå. Iding (1997) antyder at dette kan være fordi analogier kan bidra med et utgangspunkt, eller første rammeverk, for læring av helt ukjente konsepter. Glynn (1989) viser til en rekke studier, og konkluderer med at analogiske resonnement støtter opp om forståelse og problemløsning, noe som støttes av Duit *"There is, in fact, substantial support for Glynn's (1989) conclusion that analogical reasoning can facilitate learning and problem solving."* (1991, s. 654). Chiu og Lin (2005) anbefaler på det sterkeste at lærebokforfattere inkluderer velutviklede analogier i sine tekster da de blant annet kan bidra med andre perspektiver og metoder for å lære ukjente og nye konsepter og begreper. I tillegg utgjør analogier mer enn bare læringsverktøyer, de er også verktøyer til å utvikle nye idéer og hypoteser, og innsikt i et naturvitenskapelige verktøy (Brown & Salter, 2010).

Analogier har en sterk tilknytning til det konstruktivistiske synet på læring (Duit, 1991), som mellom annet består av to idéer: (1) læring er en aktiv konstrueringsprosess, og (2) læring springer ut av tidligere ervervet kunnskap. Læring er med andre ord en prosess hvor man aktivt bruker sin kunnskap og søker relasjoner mellom den kunnskapen og det ukjente som skal læres. Denne prosessen forsterker tilknytningen mellom analogier i konstruktivistiske læringsprosesser, også Harrison og Treagust (1993) påpeker at analogier forsterker elevens læring

gjennom en konstruktivistisk prosess. Duit (1991) skriver at potensiale for læring gjennom analogier er avhengig av analogiens utforming, og kompetanse er avgjørende for i hvor stor grad en elev må få hjelp til å trekke de analogiske relasjonene: En elev med god kompetanse kan få større utbytte av å selv kartlegge de analogiske relasjonene, mens en elev med lav kompetanse vil tjene på at de analogiske relasjonene er kartlagt i fremstillingen av analogien. I tillegg beskriver Duit hvordan det tyder på at innholdet i måldomenet må være tilstrekkelig utfordrende for at elever skal lære av en analogi. Man må også ta hensyn til hvilken kompetanse elever har i å bruke og "lese" modeller og analogier, da det er en forskjell på hva en novise og en ekspert identifiserer og trekker ut fra modeller og analogier (Coll et al., 2005).

Læring i naturfag innebærer å lære om naturvitenskapen, dens innhold, historie og prosesser. Det er da naturlig at bruken av modeller og analogier bør være en del av naturfagundervisningen, og at man lærer om modeller og analogiers egenart, omfang og begrensninger (Justi & Gilbert, 2002). I en australsk studie ble 10 lærere intervjuet om deres bruk av modeller og analogier i undervisningen. Av 10 lærere hevdet 8 at de brukte modeller og analogier på jevn basis i sin undervisning. Blant disse lærerne var det 5 som hevdet at de fokuserte på både delte og ikke-delte relasjoner mellom kildedomenet og måldomenet (Harrison, 2001). Justi og Gilbert (2002) gjennomførte en undersøkelse av 39 brasilianske naturfaglærere, og fant at 8 av lærerne hevdet å diskutere både omfanget av delte relasjoner og begrensninger, hos modeller og analogier, i sin undervisning.

### 3.4 Analogier kan medføre misoppfatninger

*Analogical reasoning is only possible if the intended analogies really are drawn by students. If students hold misconceptions in the analog domain analogical reasoning will transfer them into target domain. It is therefore important to ensure that the intended analogies really are drawn by the students (Duit, 1991, s. 666).*

Bruken av analogier bør gjennomføres med varsomhet da en betydelig del av litteraturen på feltet advarer om et potensiale for utvikling av misoppfatninger ved ukritisk og unøyaktig bruk av analogier (Duit, 1991; Glynn & Takahashi, 1998; Harrison & Treagust, 1993; Thiele & Treagust, 1994). Muligheten for at de skaper eller forsterker eventuelle misoppfatninger hos elevene er en av de store kritikkene mot bruken av analogier som pedagogisk verktøy i skolen

(Glynn, 1994), og en grundig undersøkelse av alle aspekter ved en analogi er viktig, da de kan lede elever ut på villspor, som Glynn viser et eksempel på: *"For example, students who believe that electricity in a wire is like water in a hose often conclude, erroneously, that if the wire is cut, the electricity will "leak out."*" (1989, ss. 197-198).

Analogier har derfor blitt kalt for et "toegget sverd", fordi de ofte vil bli tolket med bakgrunn i mottakerens forkunnskaper, personlige erfaringer og et ønske om at analogien skal harmonisere med mottakerens eksisterende oppfatning (Harrison & Treagust, 2006). På "sverdets ene egg" kan en analogi brukes for å beskrive, forklare og forutse aspekter ved det ukjente fenomenet i måldomenet, men ved den andre "eggen" kan det potensielt være et brudd i analogiske relasjoner, og misoppfatninger kan starte å oppstå (Glynn, 1989). For at læring gjennom analogier skal være vellykket påpeker Angell et al. (2011) at det er viktig å belyse og reflektere rundt hvilke aspekter av et vitenskapelig fenomen en analogi ikke fanger, og om man eventuelt kan trekke analogien for langt. Noe som i verstefall kan medføre misoppfatninger. For analogier er ikke altomfattende og inneholder begrensninger, eller som Heywood og Parker skriver det:

*We argue that it is a fruitless crusade to search for the holy grail of analogies which will satiate all concerns and questions for the learner. No such analogy exists, nor could it, because analogies are attempts to relate abstract phenomena to existing experience and concepts. (1997, s. 872)*

Som et eksempel på analogiers begrensninger ser vi tilbake på eksemplet fra Brown og Salter (2010) hvor vannstrøm i et rør blir brukt som analogi for blodstrøm i en blodåre. I figur 3.2.1 ser vi at kildedomenet og måldomenet har noen delte relasjoner i sine systemer som vi kan kartlegge, men det er også relasjoner som ikke er delt mellom de to domenene. For eksempel vil et vannrør være fast og holde formen, en blodåre er elastisk og har mulighet for å krympe og utvide seg etter behov. Objektrelasjonen i systemet til vannstrømmen er dermed at røret holder dimensjonen uavhengig av vannmengde og ytre påvirkninger (så sant røret ikke sprekker). Blodåren vil derimot kunne skifte dimensjon ut i fra blodmengde og ytre påvirkninger, som temperatur. Egenskaper om skifte av dimensjon i de to domenene er dermed ikke delt, og man kan ikke bruke denne analogien til å kommunisere kunnskap om blodårens elastisitet. God kartlegging av analogier skal sikre at ikke delte relasjoner, eller begrensninger, ikke blir tilskrevet måldomenet (Thiele & Treagust, 1994). Elevers manglende evne til å

identifisere når kartleggingen av en analogi når sitt bristepunkt, og det ikke er flere objektrelasjoner som kan overføres fra kildedomenet til måldomenet, kan bidra til nye eller forsterking av eksisterende misoppfatninger hos eleven (Jaakkola et al., 2011). Misoppfatninger har vist seg å være spesielt forekommende når ikke-delte relasjoner mellom domenene blir oppfattet som delte- og valide relasjoner hos eleven (Heywood & Parker, 1997), og en redegjørelse av begrensninger hos analogier kan bidra til å sikre og effektivisere elevens læring av analogier (Brown & Salter, 2010). Brown og Salter påpeker også at man ved å lære elever at analogiske relasjoner har begrensninger også kan lære elever om deler av naturvitenskapens egenart. I tillegg har misoppfatninger vist seg å være svært robuste og motstandsdyktige med tanke på forandring (Chiu & Lin, 2005), noe som kan skyldes at selv om elevens mentale modell av et fenomen er bevist feil er det en stor nok grad av overenstemmelse til at eleven føler deres mentale modell er stabil og fornuftig (Jaakkola et al., 2011).

### 3.5 Analogier i lærebøker

Effekten av læring gjennom analogier avhenger blant annet av effektiviteten til interaksjonen mellom den lærende og kilden til analogien. Dette gjelder for tekstlige kilder (som lærebøker) så vel som muntlige kilder (Coll et al., 2005). Analogisk representasjon av naturvitenskapelige fenomener er en ofte brukt strategi i naturfaglærebøker for å konkretisere abstrakte temaer og begreper (Thiele, Venville, & Treagust, 1995). Dette kapittelet omhandler seks ulike kriterier for analogier, hentet fra Curtis og Reigeluth (1984) sitt "Analogy Classification System" (ACS). Studier av Curtis og Reigeluth (1984), Thiele og Treagust (1994), Thiele et al. (1995) og Orgill og Bodner (2006) har analysert hundretalls av analogier fra Amerikanske og Australske lærebøker innenfor naturfag med fokus på de seks nevnte kriteriene, og på bakgrunn av analysene kommet med ulike anbefalinger. De seks kriterier fra ACS er:

- Forholdet mellom kilde- og måldomenet
- Beskrivelse av innhold i kildedomenet
- Nivå av berikelse
- Grad av abstraksjon
- Indikasjoner på begrensninger i analogiene
- Indikasjon på kognitive strategier

**Forholdet mellom kilde- og måldomenet:** Forholdet mellom kilde- og måldomenet kan være av funksjonell, strukturell eller funksjonell-strukturell art (Curtis & Reigeluth, 1984; Thiele & Treagust, 1994). I en *funksjonell analogi* vil delte relasjoner mellom kilde- og måldomenet kartlegges som funksjonelle relasjoner mellom deler av domenene: Det betyr hvordan de oppfører seg «eller hva de gjør», de deler en funksjon. Eksempel på dette kan være en analogi hvor man sammenligner termostaten i en bygning med positiv/negativ feedback i kroppens endokrine system. Faller temperaturen til et gitt punkt vil varmekilder i bygget bli aktivert, på samme måte vil en gitt konsentrasjon av hormoner i kroppen starte eller stanse utskilling av bestemte hormoner. *Strukturelle analogier* kartlegger delte relasjoner som størrelse, farge, eksternt eller intern form. Eksempel på en strukturell analogi kan være en sammenligning mellom et rom og en løkcelle. Hvor et rom, som en løkcelle, består av «tak, gulv og vegger». I *funksjonell-strukturelle* analogier kan både strukturelle og funksjonelle delte relasjoner kartlegges. Eksempel på dette kan være en sammenligning mellom kontrollrommet til en fabrikk og cellekjernen i en dyre/plante celle. Både kontrollrommet og cellekjernen er en del av sitt system som «fysisk» er avskilt fra resten av systemet (strukturelt), og begge har som funksjon å bestemme produksjon i produksjonsområde (funksjonelt)(Curtis & Reigeluth, 1984).

Funksjonelle forhold mellom kilde- og måldomenet er ifølge Thiele og Treagust (1994) det med mest potensiale med tanke på å kommunisere abstrakte og vanskelige fenomener. Curtis og Reigeluth (1984) peker derimot på at strukturell-funksjonelle forholdene vil være mest kraftfullt, men det avhenger av at det er et stort grunnlag for sammenligning og få begrensninger i analogien. Strukturelle forhold blir ansett som minst kraftfullt, men de er også ansett som nyttige med tanke på å skape enkel adgang for å starte og forstå analogien, da strukturelle likheter ofte er enkle å oppdage (Thiele & Treagust, 1994).

Thiele og Treagust (1994) fant i sin studie av 93 analogier, fra lærebøker i kjemi, at 45 (48%) av analogiene hadde et forhold mellom kilde- og måldomenet av funksjonell art, 16 (17%) var av strukturell art og 32 (35%) av funksjonell-strukturell art. I en studie av lærebøker i naturfag fant Curtis og Reigeluth (1984) at 152 (70%) av 216 analogier hadde et forhold mellom domenene av funksjonell art, 53 (25%) av strukturell art og 11 (5%) av funksjonell-strukturell art. Et interessant funn fra studien var at bruken av strukturelle analogier var høyt (over 50%) på barneskolen, men at bruken av funksjonelle analogier økte proporsjonalt med vanskelighetsgraden og/eller abstraksjonsnivået til innholdet i lærebøkene.

**Beskrivelse av innhold i kildedomenet:** Manglende forståelse og kunnskap om kildedomenet til en analogi kan medføre misforståelser og misoppfatninger hos den lærende. Kildedomenet må derfor være svært kjent og konkret for at analogien skal være nyttig for å lære om ukjente fenomener (Curtis & Reigeluth, 1984). I sin studie av 216 analogier fant Curtis og Reigeluth (1984) at kildedomenet ble beskrevet og forklart i 95 (44%) analogier. Thiele og Treagust (1994) fant i sin studie at 56 av 93 (60%) analogier beskrev og forklarte innholdet i kildedomenet.

Kildedomenet bør være kjent, forstått eller svært konkret for at analogier skal være nyttig i læring for elevene. Manglende forståelse eller kjennskap til kildedomenet kan medføre misoppfatninger og forvirring for elevene (Curtis & Reigeluth, 1984). Duit (1991) bruker begrepet fortrolig, og skriver at det bør være ganske selvforklarende at elever må være fortrolig med kildedomenet for å kunne ha utbytte av en analogi, men han påpeker at fortrolighet er et ambivalent begrep. Selv om lærebokforfattere med god grunn antar at elever er kjent og fortrolig med kildedomenet er ikke det nødvendigvis korrekt, for elever innehar ofte ulike misoppfatninger om konsepter, områder og fenomener som lærebokforfattere og lærere antar som kjent.

**Nivå av berikelse:** Med nivå av berikelse menes det i hvor stor grad en lærebok har kartlagt eller forklart de delte relasjoner mellom kildedomenet og måldomenet, i analogien de selv presenterer. Er det en grundig kartlegging, eller er leseren av boken overlatt til seg selv i kartleggingsprosessen? For å kategorisere omfanget av kartlegging og forklaring gjennomført av lærebøker brukes begrepene «simpel analogi», «beriket analogi» og «utvidet analogi» (Curtis & Reigeluth, 1984; Thiele & Treagust, 1994; Thiele et al., 1995):

- **Simpel analogi:** består oftest kun av en uttalelse om at kildedomenet kan sammenlignes med måldomenet. Uten noen videre forklaring eller kartlegging av delte relasjoner.
- **Beriket analogi:** Noen delte relasjoner mellom kilde- og måldomenet er forklart og kartlagt
- **Utvidet analogi:** Kildedomenet er brukt opp mot flere måldomener.



Orgill og Bodner (2006) viser til at de aller fleste analogier som ble undersøkt i deres studie ble klassifisert som berikede analogier. Thiele et al. (1995) studerte 174 analogier fra australske biologibøker og 93 analogier fra australske kjemilærebøker. 105 (61%) av "biologianalogiene", og 42 (45%) av "kjemianalogiene" ble kategorisert som simple analogier. Derimot fant Curtis og Reigeluth (1984) i sin studie kun 14 av 216 (6%) analogier som kunne kategoriseres som simple analogier, og hele 81% de kategoriserte som berikede analogier. Thiele et al. (1995) kommenterer selv denne store forskjellen mellom deres funn, og det av Curtis og Reigeluth (1984), men tilskriver det forskjell i alderstrinnene lærebøkene som ble undersøkt var tiltenkt (lavt barnetrinn til collegenivå for Curtis og Reigeluth mot kun videregående nivå for Thiele, Venville og Treagust), og at lærebøkene for eldre elever i større grad forventer at elevene selv skal kunne bidra med en forklaring av det analogiske forholdet mellom domenene.

Simple analogier tenderer til å bli brukt i situasjoner hvor læreboken mener at relasjonene mellom kilde- og måldomenet er åpenbare og enkelt lar seg kartlegge. Likevel er det en risiko forbundet med at leserne av de simple analogiene selv må komme frem til en forklaring av det analogiske forholdet mellom domenene (Curtis & Reigeluth, 1984), og det er en bekymring at manglende veiledning i simple analogier kan medføre at elever kommer til egne slutninger som ikke stemmer overens med det naturvitenskapelige innholdet i måldomenet (Thiele et al., 1995). Forklaring av analogier bør inneholde en størst mulig grad av relevant informasjon om relasjonen mellom kildedomenet og måldomenet (Curtis & Reigeluth, 1984).

**Grad av abstraksjon:** Innholdet i kilde- og måldomenet kan bli kategorisert som enten konkret eller abstrakt. Et domene kan bli ansett som konkret hvis konseptet kan sanses, altså berøres, høres eller føles av øyne, ører eller fingre (Orgill & Bodner, 2006), eller at det er rimelig å anta som en vanlig livserfaring for elevene (Thiele & Treagust, 1994). Forholdet mellom kilde- og måldomenet kan potensielt være: konkret (kildedomene)/abstrakt (måldomene), konkret/konkret, abstrakt/konkret eller abstrakt/abstrakt. I analyser av analogier fra lærebøker fant både Curtis og Reigeluth (1984) (82%), Thiele og Treagust (1994) (87%) og Orgill og Bodner (2006) (95%) at det gjennomgående var et konkret/abstrakt forhold som var mest brukt. Dette bidrar til forslag om at (1) kildedomenet i de fleste tilfeller er konkrete og kjente for elevene (Thiele & Treagust, 1994) og (2) konkrete kildedomener og abstrakte måldomener oftest kan bidra til å løfte elevene fra enklere innhold til mer avansert og vanskelig innhold (Curtis & Reigeluth, 1984). For analogier skal bidra til at elever skal lære og forstå abstrakte fenomener, og et konkret kildedomenet bidrar med et konkret holdepunkt som elevene kan

referere til når de reflekterer over det abstrakte måldomenet (Orgill & Bodner, 2006). I sin studie av bilder og illustrasjoner fra norske fysikklærebøker påpeker Bungum (2008) utviklingen i bruken av illustrasjoner, og at illustrasjoner i moderne tid bruker analogier hvor elever må overføre innhold fra en konkret illustrasjon av, for eksempel, fysikk i kjente teknologiske objekter til en helt annen, og mer abstrakt, kontekst. Et eksempel på dette, fra Bungum (2008), er illustrasjonen av en skiheis og en elektrisk krets i beskrivelse av Kirchhoffs andre lov. Skiheisen brukes som en konkret og kjent illustrasjon, og egenskaper fra den kan overføres til egenskaper i den mer abstrakte elektriske kretsen.

**Indikasjon på begrensninger i analogier:** Kategorien søker å identifisere om læreboken angir analogienes begrensninger, og derav hvor de bryter sammen (Orgill & Bodner, 2006). En annen strategi for å "advare" elever om begrensninger i analogier som blir brukt er å påpeke udelte relasjoner og egenskaper mellom domenene (Thiele & Treagust, 1994), for slik å vise at analogiene ikke er en bokstavelig likhet (Gentner, 1983). En slags advarsel om begrensninger hos analogiene har blitt foreslått som en form for botemiddel mot elevers tendens til å kunne feiltolke analogier (Thiele & Treagust, 1994).

Av 93 analogier fant Thiele og Treagust (1994) at kun 8 (9%) av dem inkluderte informasjon om begrensning. Orgill og Bodner (2006) fant på sin side indikasjoner om begrensninger i 7 av 158 (4%) analogier.

Data fra de nevnte studiene tyder på at mange lærebøker innen naturfag tenderer til å utelate informasjon om begrensninger i analogier de bruker. Thiele og Treagust (1994) hentyder at den sjeldne bruken av advarsler eller beskrivelser om analogiers begrensninger kan grunne i at lærebøkene tar som utgangspunkt at elever selv er kapable til å kartlegge og identifisere begrensninger eller at dette er lærerens ansvar.

**Indikasjon på kognitiv strategi:** Kategorien omhandler å identifisere om læreboken eksplisitt identifiserer en analogi som en kognitiv strategi når analogier blir brukt i forklaringen av et tema. Ved å presentere at nå brukes en analogi skal elevene få en indikasjon på at det brukes en sammenligning av noe kjent opp mot noe ukjent med det mål om at elevene skal øke sin forståelse for det ukjente (Curtis & Reigeluth, 1984). Orgill og Bodner (2006) påpeker at en indikasjon på bruken av en analogi skal markeres ved bruken av ordet analogi, og at andre fraser som "er likt", "er som", "kan sammenlignes med" eller lignende, kan medføre at elever

trekker relasjoner mellom ugyldige eller irrelevante egenskaper i domene. Curtis og Reigeluth (1984) fant i sine studier at kun 32 (15%) av analogiene i deres lærebokanalyse inkluderte en indikasjon om at en analogi ville bli brukt som en kognitiv strategi. Hos Thiele og Treagust (1994) var dette tallet 15 (16%) og Orgill og Bodner (2006) fant en indikasjon på kognitiv strategi i 32 av 158 (20%) analogier.

### 3.6 Teoretisk rammeverk: "Structure-Mapping Theory"

I denne studien blir Gentner (1983) sin "Structure-Mapping Theory" (SMT) brukt som et teoretisk rammeverk i analysen av analogier og innsamlet data. I denne redegjørelsen av SMT vil det ved flere anledninger bli brukt eksempler for å konkretisere ulike aspekter, og disse eksemplene vil i stor grad ta utgangspunkt i vårt eget solsystem. Slik er det i denne delen valgt å basere eksempler på elementer fra astronomien i stedet for studiens fagfelt, elektrisitet. Dette valget er gjort på bakgrunn av at jeg mener ulike egenskaper ved verdensrommet egner seg godt for å redegjøre og forklare ulike begreper som står sentralt innenfor SMT. Et valg som støttes i at Gentner (1983) selv i stor grad bruker verdensrommet for å eksemplifisere ulike deler av sin redegjørelse.

En kjent analogi er sammenligningen mellom vårt solsystem og Rutherford's atommodell. Hvor man bruker kunnskaper om at solen er større enn planetene, har tiltrekningskraft på planetene og er i sentrum av solsystemet, og sammenligner dette med atommodellen hvor kjernen er i sentrum av et atom, utgjør den største delen av massen til et atom og har tiltrekkende kraft på elektronene i atomet. Ut i fra dette kan man anta at jo flere egenskaper som overlappes mellom de to systemene desto bedre er analogien, uavhengig om det er objekt-egenskaper eller objekt-relasjoner (Gentner 1983).

I sin redegjørelse av SMT kritiserer Gentner (1983) denne metoden for å kartlegge og vurdere analogier, og sier at det å vurdere graden av overlapping i egenskaper er for generelt, da det ikke er alle egenskaper som er relevante for analogien. Fokuset bør spisses til å i hovedsak kartlegge det Gentner omtaler som "høyere ordens relasjoner", eller relasjoner mellom relasjoner. Et eksempel på en slik "høyere ordens relasjon" kan vi identifisere når vi trekker en analogi mellom Rutherford's atommodell og vårt solsystem: Solen har en større masse enn planetene, noe som får planetene til å rotere rundt solen. Det at "solen har en større masse enn planetene" er en relasjon mellom dem, når vi påpeker at det "får planetene til å rotere rundt

solen" finner vi relasjon mellom relasjoner. Gentner mener at det er de analogier med stor overlapping av oppførsel og funksjon som har størst kraft og verdi. Podolefsky og Finkelstein (2007) påpeker at kartlegging etter dette prinsippet ikke kan forventes utført av noen som ikke har kunnskaper om mekanismene til "høyere ordens relasjoner". Objektrelasjoner er nøkkelbegrepet i Gentner (1983) sin SMT, og funksjonen til "høyere ordens relasjoner" skal bidra til å sikre at bare objektrelasjoner som er delt både innad og mellom domene blir kartlagt. I tillegg foreslår hun "The Systematicity Principle", som skal bidra med å sikre sammenhengen mellom relasjonene i en analogi. Prinsippet går ut på at hvis man forandrer en av de kartlagte relasjonene, og det påvirker en av de andre kartlagte relasjonene er trolig de relasjonene viktigere for prinsippene i måldomenet enn en isolert relasjon som ikke kan påvirkes av andre. Vi kan se på eksemplet med Rutherford's atommodell igjen: Hvis vi ser for oss at den tiltrekkende kraften solen har på planetene synker så vil avstanden mellom solen og planetene øke. Det samme gjelder for atomkjernen og elektronene.

### **Domenesammenligning**

Analogier er en form for domenesammenligning, hvor man sammenligner relasjoner i ett basedomene med relasjoner i ett måldomene. Analogier er derimot ikke den eneste formen for domenesammenligning, og det kan være nyttig å avgjøre om sammenligningen faktisk er en analogi før man starter analysen. Med tanke på min studie, inneholder den analyser og diskusjoner rundt analogier som er brukt innenfor elektrisitetlære, og en kort gjennomgang av de ulike formene for domenesammenligning vil være hensiktsmessig for (1) å kunne avgjøre/identifisere hvilke deler av en tekst og illustrasjon som faktisk er en analogi, (2) identifisere analogiske relasjoner i analogiene fra de ulike lærebøkene og (3) som et verktøy for å analysere data fra elevintervjuene.

Gentner (1983) omtaler fire ulike domenesammenligninger: Bokstavelig likhet, analogi, abstraksjon og anomali. Nedenfor følger noen eksempler på de ulike domenesammenligningene, og målet er å illustrere hvordan ulik bruk av delte og ikke delte objekt-egenskaper og objekt-relasjoner i en sammenligning er med å definere om det er en bokstavelig likhet, analogi, abstraksjon eller anomali.

- *Bokstavelig likhet:* Hvis en kartlegging av basedomenet og måldomenet inkluderer sammenligning av både objekt-egenskaper og objekt-relasjoner, og det er flere av disse som kan sammenlignes enn som ikke kan sammenlignes. Eksempel: Ved en

sammenligning av vårt solsystem med et annet kan man finne at X-stjernen er gul og av middels størrelse slik som vår egen sol. Samtidig kan man identifisere objekt-relasjoner som kan overføres fra domenenene ved at planetene i det tenkte solsystemet kretser rundt X-stjernen slik som planetene kretser rundt solen i vårt solsystem.

- *Analogi*: Hvis kildedomenet inneholder flere objekt-egenskaper som ikke kan overføres til måldomenet og dermed ikke brukes i karleggingen er det ofte snakk om en analogi. Med andre ord: Hvis det som direkte kan overføres mellom kildedomenet og måldomenet i hovedsak kun inkluderer objekt-relasjoner. Eksempel: Ved en sammenligning av ett hydrogenatom og vårt solsystem vil man kunne identifisere flere ulike objekt-relasjoner som at atomets kjerne har en kraft som får elektronene til å kretse rundt seg slik som solen har en kraft som får planetene til å kretse rundt den. Det er derimot få, om noen, objekt-egenskaper som kan overføres fra hydrogenatomet til solen.
- *Abstraksjon*: En abstraksjon er i stor grad lik en analogi, men som Gentner sier det er en abstraksjon en sammenligning hvor kildedomenet er en "abstract relational structure" (Gentner, 1983, s. 159). Dette medfører at kildedomenet er mer abstrakte hos en abstraksjon enn en analogi. Eksempel: Man kan ta utgangspunkt i kunnskap om sentralbevegelse. Kildedomenet vil da inneholde en objekt-relasjon om at det sentrale objektet tiltrekker seg de perifere objektene. Denne objekt-relasjoner kan overføre til kjernen i et hydrogen atom hvor sentralkraften er den elektriske tiltrekningskraften den positive kjernen har på de negative elektronene.
- *Anomali*: Ingenting kan sammenlignes mellom kildedomenet og måldomenet.

Bokstavelig likhet er altså en dommenesammenligning hvor både objekt-egenskaper og objektrelasjoner kan overføres fra kildedomenet til måldomenet. I en analogi er det i stor grad kun er objektrelasjoner som kan overføres fra kildedomenet til måldomenet. I en abstraksjon er det kun objektrelasjoner som kan overføres fra kildedomenet til måldomenet. Dette på grunn av at en abstraksjon tar utgangspunkt i abstrakte relasjonelle strukturer. Det kan selvfølgelig også tenkes at man i en sammenligning kun kan overføre objekt-egenskaper. Man kan for eksempel si at en solsikkeblomst er gul sånn som solen. Det er da ikke en anomali, men det har

heller ikke noen stor vitenskapelig interesse så sant man ikke spør seg hvorfor solen og blomsten er gul.

### Tolkningsregler

I SMT presenterer Gentner (1983) et sett med tolkningsregler for analogier. Tolkningsreglene utgjør et teoretisk rammeverk som omhandler hvordan man, ifølge Gentner (1983), bør behandle informasjon og data man får under analyse av analogier. Kartleggingen av en analogi ut i fra tolkningsreglene består seg i å test om identifiserte objekt- egenskaper og objektrelasjoner i kildedomenet identisk kan overføres til måldomenet. Ved å bruke tolkningsreglene skal det sikre en god kartlegging av analogien. Tolkningsreglene består av tre punkter:

1. Se bort ifra eventuelle objekt-egenskaper
  - a. Selv om både kildedomenet og måldomenet har ulike objekt-egenskaper så vil ikke disse være identisk overførbare fra base- til måldomene
2. Forsøke å bevare objekt-relasjoner
  - a. Se hvilke objekt-relasjoner i kildedomenet som kan overføres til måldomenet
3. Bestem hvilke objekt-relasjoner som kan bevares
  - a. Bestem systemer for objekt-relasjonene slik at man finner de som skal bevares

Med SMT grunnla (Gentner, 1983) et rammeverk for hva en analogi er, og hvordan man skal gå frem for å kartlegge analogiene. Hun slår fast at analogier bare er en form for domenesammenligning, og at det som skal kartlegges mellom kilde- og måldomenet er relasjonene mellom objekter i domenene, og ikke egenskaper ved objekter i domenene. For å lage en god analogi er man derimot avhengig av flere faktorer enn de premissene som blir lagt i SMT.

### 3.7 Anbefalinger for analogier i undervisning

Hvordan skiller man egentlig mellom en god og dårlig analogi? Så langt har vi sett på SMT av (Gentner, 1983), som legger premissene for hva en analogi er, og hvordan man sammenligner domenene i den. Glynn (1989) peker på at mange delte relasjoner mellom kilde-

og måldomenet ofte øker instruksjonsverdien til en analogi. Det betyr derimot ikke at en analogi ikke kan være god om den har få, eller bare én delt relasjon mellom kilde- og måldomenet, men denne relasjonen må være spesifikk og avgjørende for læringsmålet. Glynn trekker frem et eksempel på en god analogi med bare én delt relasjon: *"The moon acts like a mirror reflecting the light of the sun"* (1989, s. 197). Analogier kan ansees som "dårlige" hvis det er vanskelig for målgruppen til analogien å identifisere og kartlegge delte relasjoner mellom kilde- og måldomenet. Dette kan for eksempel oppstå ved at det kjente kildedomenet ikke er kjent for den lærende. Vurdering av om en analogi er god eller dårlig avhenger av formålet for bruken av analogien.

Glynn (1989) påpeker at analogier konstruert av lærebokforfattere i en del tilfeller er velutviklede, konkrete og presise. I andre tilfeller kan de derimot potensielt oppfattes som unyanserte, vage og forvirrende. Han beskriver hvordan utforming og fremstilling av en analogi er prosessuell fremfor deklarativ, og at mangelen på en modell for hvordan man skriver en god analogi medførte at de ofte ble beskrevet og evaluert subjektiv. Dette resulterte i at Glynn utarbeidet en modell bestående av seks anbefalinger for analogiutvikling. "Teaching with analogies model" (TWA) har som hensikt å bistå lærebokforfattere og lærere i utviklingen og bruken av analogier til instruksjon. Glynn poengterer at samtlige anbefalinger i TWA bør bli fulgt for å sikre god kvalitet i utvikling og bruk av analogier, men at hvilken rekkefølge retningslinjene blir brukt ikke er avgjørende. Anbefalingene i Glynn's TWA er:

- Introduksjon av måldomenet
- Påminning om kildedomenet
- Identifisering av relevante objekter og funksjoner i domenene
- Kartlegging av likheter mellom domenene
- Indiker hvor analogien mellom domenene bryter sammen
- Trekk konklusjon om funksjoner, prosesser og/eller systemer i måldomenet

De seks anbefalingene i TWA skal bidra til en systematisk gjennomgang av en analogis måldomene, kildedomene og en kartlegging av delte objektrelasjoner. Denne strukturen skal brukes for å bidra til at elever får utbytte av analogier, men unngår de uheldige misoppfatningene som kan oppstå ved analogibruk (Else, Clement, & Rea-Ramirez, 2008). I

en studie av metaforer og analogier i to svenske kjemilærebøker på videregående nivå konkluderte Hedberg, Haglund, og Jeppsson (2015) med at lærebøkene oftest oppgir hva som er kilde- og måldomene før de trekker en konklusjon. De finner også svært få indikasjon på hvor analogiene bryter sammen, noe Glynn (1989) poengterer er viktig for å unngå misoppfatninger. Studier har vist at bruken av TWA som modell for å sikre en systematisk utvikling av analogier i lærebøker og undervisning har hatt positiv effekt med tanke på å sikre en bedre forståelse for vanskelige og abstrakte fenomener, samt å unngå misoppfatninger som et resultat av analogibruk (Glynn & Takahashi, 1998; Harrison & Treagust, 1993).



## Kapittel 4: Metode

I denne studien blir fire analogier fra ulike læremidler undersøkt. Studien har en kvalitativ tilnærming. Kvalitativ metode har et epistemologisk ståsted hvor den ser en sosial konstruert verden, og domineres av en mer induktiv metode hvor forskeren i større grad vil forsøke å finne begreper og kjennetegn som kan bidra til forståelse og forklaring av handlinger, fenomener og situasjoner (Ringdal, 2013). Denne studien har ikke et "breddeperspektiv", men ønsker å gå dypere inn i anvendelsen av spesifikke analogier i læringsøyemed, for så å diskutere mer generelt opp mot problemstillingen. Analogier som er konstruert og presentert for å bidra til å konkretisere abstrakte naturvitenskapelige fenomener. En kvalitativ tilnærming er, ifølge Johannessen, Tuft, og Christoffersen (2010), særlig egnet når man undersøker fenomener som man ønsker å forstå mer grundig. Med bakgrunn i dette vurderes en kvalitativ tilnærming som hensiktsmessig for denne studien.

Forskningsdesignet i studien har utviklet seg etter hvert som tiden har gått. Mange veier har blitt vurdert, og innsamling og analyse av data har vært tidkrevende. Dette kapittelet redegjøre for de metodiske valg og vurderinger som er i studien. Videre i kapittelet vil det bli presentert og begrunnet kriterier brukt for å bestemme hvilke analogier studien skulle undersøke. Etter dette blir studiens to metoder for datainnsamling presentert. Innenfor hver metode blir det begrunnet hvorfor metoden ble valgt, redegjort for gjennomføring og analysemetode av data, samt reliabiliteten og validiteten til den enkelte metoden. Videre blir det en generell redegjørelse av, etiske aspekter og andre metoder for datainnsamling som ble vurdert brukt.

### 4.1 Valg av analogier

Studien baserer seg på en undersøkelse av fire analogier brukt for å konkretisere abstrakte fenomener innenfor elektrisitetlære. Valget av fire, og ikke flere, analogier ble tatt på bakgrunn av en vurdering av at hver enkelt analogi må undersøkes nøye for at de skal kunne diskuteres opp mot studiens forskningsspørsmål, samt en vurdering om avgrensning med tanke på oppgavens størrelse og tidsramme. Av de fire analogiene som ble undersøkt i studien baserer to seg på en vannmodell som sammenligner egenskaper ved vann i et system opp mot ulike fenomener fra en elektrisk likestrømkrets. Den tredje sammenligner egenskaper ved en skiheis med en elektrisk likestrømkrets, og den fjerde sammenligner egenskaper fra en kulemodell med egenskaper fra en elektrisk likestrømkrets. De fire analogiene blir presentert nærmere i kapittel

5. For å sikre at de valgte analogiene til studien skulle være hensiktsmessig med studiens formål ble det utarbeidet fire utvalgsriterier:

1. Formålet med analogiene skulle være å konkretisere en eller flere fenomener ved elektrisitetens lære
2. Analogiene skulle "angripe" fagstoffet ulikt
3. Analogiene måtte bestå av både tekst og illustrasjon
4. Den samlede mengden av analogier skulle representere ulike faglige nivåer

Utvalget av de fire analogier, ut fra nevnte kriterier, dannet så bakteppet for den videre undersøkelsen i studien. Redegjørelsen for de fire kriteriene er: Formålet for det *første* kriteriet var å sikre at det faglige innholdet i analogiene var relevant med tanke på problemstillingen til studien, samt å muliggjøre sammenligning av analogiene seg imellom. Det *andre* kriteriet ble utformet for å sikre variasjon mellom analogiene, og da menes variasjon i: valgt kildedomenet, tekstlig og billedlig fremstilling og hvordan analogiene er utformet og fremstilt for å kommunisere deler av elektrisitetens lære. Ønske om analogier som brukte like verktøyer for presentasjon var bakgrunnen for det *tredje* kriteriet. Dette valget ble gjort fordi det ble ansett som en svakhet å sammenligne rent tekstlige eller billedlige analogier med tekst-billedlige analogier, da de differerer vesentlig i form. Bakgrunnen for det fjerde kriteriet var et ønske om å undersøke analogier på ulikt faglig nivå. Dette for å få analogier med ulik bruk av fagterminologi og abstraksjonsgrad, da det kanskje kunne bidra med informasjon om hvordan ulike utforminger og fremstillinger påvirker potensialet for å støtte læring av elektrisitet.

### 4.2 Analyse av analogiene

En lærebokanalyse er en underkategori av forskningsmetoden dokumentanalyse, og innebærer at man gir innholdet i den aktuelle litteraturen rolle som datakilde (Repstad, 2007). Dokumentanalyser har flere funksjoner, hvor en av disse relaterer til å undersøke nåværende strukturer og relasjoner i tekst (Cohen, Manion, & Morrison, 2011). Denne funksjonen blir vurdert som relevant for denne studien, da den undersøker presentasjon, innhold og funksjon av analogier i lærebøker brukt i dag.

I et demokratisk samfunn vil myndigheten besitte politiske ståsted som bidrar til å farge utformingen av skolen og skolens innhold. En lærebok er en del av skolens innhold, og et

bestillingsverk fra myndighetene. Det er viktig å vurdere konteksten til dokumentene som blir undersøkt: Er det politiske, økonomisk, sosiale eller andre relasjoner som kan ha påvirket utformingen og innholdet i dokumentet (Cohen et al., 2011)? Styringsdokumentet for naturfagundervisning i den norske skolen, læreplan i naturfag (Utdanningsdirektoratet, 2013), inneholder kompetansemål som må tas hensyn til i utviklingen av en lærebok, men kompetansemålene blir ikke funnet veldig relevant for denne studien. Da det ikke er hvordan lærebøkene, og derav analogiene, er utformet med tanke på læreplanen, eller en vurdering av hvor stor måloppnåelse elever har innen elektrisitetslære, som er studiens mål. Formålet for studien er å studere bruken av analogier i læringsøymed slik det er utformet og fremstilt i læremidler i dag. Vi kan se på dette ut fra Goodlads læreplannivåer (Imsen, 1999): (1) Den ideologiske læreplan, (2) den formelle læreplan, (3) den oppfattede læreplan, (4) den gjennomførte læreplan og (5) den erfarte læreplan. I den grad denne studien tar hensyn til læreplanen, er det på det oppfattede og erfarte læreplannivå, da det er analogienes utforming og fremstilling med tanke på å kommunisere elektrisitetslære og hvordan elevene oppfatter analogiene som blir undersøkt.

Konteksten de ulike analogien er presentert i, blir inkludert som en faktor i diskusjonen av funn fra resultat og analyse kapittelet. Målgruppen til de ulike analogiene er forskjellige: To analogier er hentet fra lærebøker på ungdomstrinnet, én fra lærebok på videregående og den siste fra et kurshefte for lærere (presenteres nærmere i kapittel 5). Valg av fagbegreper og vitenskapelig "nøyaktighet" vil naturlig variere med den tiltenkte målgruppen. Eksterne kontekster, som at forlag kan sette krav til størrelsen på læreboken, blir ikke vurdert i studien, men tatt hensyn til i diskusjonen.

#### **4.2.1: Gjennomføring i analyse av analogiene**

Cohen et al. (2011) omtaler innholdsanalyse av tekstligdata, og hvordan det er en strikt og rigid prosess med systematisk analyse og verifikasjon av data. Dette blir vektlagt i behandlingen av datamaterialet i studien, og er bakgrunnen for utformingen av studiens analyse av analogiene. I analysen av analogiene presenteres først et relevant sammendrag av de fire analogiene fra hver av deres respektive tekster, og her blir tekstdata systematisk uthentet ved bruk av SMT ("Structure-Mapping Theory". Gentner, 1983). Den videre analysen av dataenhetene er forankret i faglitteratur, som er vurdert relevant for studiens formål: ACS ("Analogy Classification System". Curtis & Reigeluth, 1984) og TWA ("Teaching with analogies modell".

Glynn, 1989). I tillegg blir funn fra kapittel 5 (resultat og analyse) diskutert og satt i sammenheng med funn fra tidligere studier, i kapittel 6 (diskusjon).

### **4.2.2: Relabilitet og validitet ved analyse av analogiene**

Relabilitet og validitet i analysen, presentasjonen og tolkningen av analogiene er forsøkt sikret ved å ta utgangspunkt i tre rammeverk ulike rammeverk: SMT (Gentner, 1983), ACS (Curtis & Reigeluth, 1984) og TWA (Glynn, 1989). Grundig forankring av en studie i forskningslitteratur innen relevant fagfelt er en viktig faktor for å sikre relabilitet og validitet i oppgaven (Cohen et al., 2011), og disse tre rammeverkene skal bidra til å sikre relevansen og troverdigheten til analysen på ulike områder: SMT er et teoretisk rammeverk som setter klare retningslinjer for hva en analogi faktisk er, og at det innebærer en sammenligning av delte objektrelasjoner mellom to domener (Gentner, 1983), og det vurderes at innholdet i SMT bidrar til å styrke validiteten til studien. Ved å bruke ACS og TWA i analysen av analogiene er funn knyttet opp mot spesifikke kategorier, klassifiseringer og anbefalinger fra fagfelleverdert forskningslitteratur. Slik blir en av formålene ved bruken av disse rammeverkene er at de skal bidra til å styrke relabiliteten.

Selv om analyse, presentasjon og tolkninger av analogiene er forankret i de nevnte rammeverkene er det viktig å være kritisk, og det er aspekter ved analysen av analogiene som kan diskuteres. Et eksempel på spørsmål som kan stilles ved relabiliteten til metoden i studien er om tolkningen og bruken av SMT, ACS og TWA er kvalitativt godt. Er kartleggingen av objektrelasjoner gjennomført etter retningslinjene i SMT? Er kategoriene og innholdet i ACS og TWA forstått og brukt i analysen på en tilfredsstillende måte? Disse spørsmålene er vurdert, men kan alltid vurderes og re-vurderes. Det er derimot viktig å påpeke at disse utfordringene, og tiltak for å forhindre negativ effekt av dem er redegjort for.

Et annet aspekt som det er tatt høyde for med tanke på å sikre relabiliteten i studien er det Robson (2011) omtaler som forskerbias. Et begrep som omhandler meninger, verdier, og forståelse vi som forsker bringer med inn i studien. Dette kan være forutinntatte meninger eller oppfatninger om ulike analogier eller lærebøker, som i verste fall farger analyse og diskusjon av relevante funn. For å redusere faren for forskerbias er det lagt vekt på audit trail, noe Robson mener bidrar til nettopp dette. Audit trail i analyseprosessen er ment å styrke troverdigheten til

studien, og bidra til at analysen av analogiene er transparent. De vurderinger som er gjort er nøye beskrevet, og slik kan leseren selv vurdere resultater i analysen av analogiene.

### 4.3 Kvalitative intervjuer

Informantene i intervjuene var tolv 10.trinns elever, intervjuet i par. Intervjuene er gjennomført som samtaleintervjuer. Hovedformålet ved intervjuene var å fremskaffe datamateriale, som kunne analyseres for å si noe om hvordan informantene tolket og forsto analogier. Intervju som en datainnsamlingsteknikk for kvalitativ forskning er fleksibelt, og bidrar til å gi forskeren en mulighet til både å få spesifikke svar, samt et innblikk i mer dype og komplekse forklaringer og tankesett hos informanten (Cohen et al., 2011). Samtaleintervju er en type kvalitativt intervju, og det ble vurdert at den var godt tilpasset studiens formål. Denne vurderingen begrunnes med at samtaleintervjuers styrke ligger i at intervjuene har en løs struktur, og kan fange informantens refleksjoner og tankesett. Dette innebærer at spørsmålsstillingen og fremdriften kan varieres fra informant til informant (Cohen et al., 2011; Ringdal, 2013).

Formålet med intervjuene var at datamaterialet fra dem skulle utfylle data fra analysen av analogiene. Denne funksjonen ved intervju blir omtalt av Cohen et al. (2011), hvor de skriver at intervju som forskningsteknikk kan tjene tre formål, hvor en av formålene omhandler å validere andre forskningsmetoder.

Selv om intervjuene gir mulighet for å samle relevante data til studien innebærer det samtidig noen utfordringer. Data samlet ved intervju kan være partisk og/eller farget av andre meninger (Cohen et al., 2011). Informantene kan være fokusert på å besvare spørsmål "korrekt" eller på en måte de tror intervjuer vil ønske. De kan også føle seg ubekvem eller presset, og slik bli tilbakeholdne (Robson, 2011). Det ble derfor lagt stor vekt på å informere informantene i studien at de meninger og tolkninger som de ytret under intervjuet på ingen måte skulle vurderes eller bedømmes. De ble informert om at deres funksjon som deltagere i studien var å bidra med innblikk til hvordan norske 10. trinns elever tolket, forsto og hentet mening ut fra analogier brukt for å kommunisere elektrisitetslære. Informantene fikk også vite at ingen svar også var svar, og at de ikke skulle bekymre seg for å svare feil eller "trække i salaten" på noen måte. I tillegg ble hvert intervju innledet med cirka 5 minutter løs prat, for å forsøke å skape en trygg atmosfære for informantene. Ved å ettertrykkelig informere elevene om deres funksjon

og rolle i studien, var håpet at de ikke skulle føle at de var i en "testsituasjon", og slik være ute etter å komme opp med korrekte svar om elektrisitetlære, eller føle seg utilpass.

Ringdal (2013) påpeker faren for intervjuereffekter. Noe som betyr at intervjuer ubevist påvirker informantens besvarelser, for eksempel ved å stille ledende spørsmål eller gi signaler om hvilket svar intervjuer ønsker. I tillegg er det alltid en risiko for at samtalene i intervjuene vil gå i så ulike retning at data fra dem ikke blir sammenlignbare, og at datanalyse blir svært krevende (Cohen et al., 2011). En vis grad av kontinuitet i spørsmålsstillingen er derfor ønskelig for å sikre at data fra de ulike informantene skal kunne sammenlignes. For å forhindre intervjuereffekt og sikre en grad av kontinuitet intervjuene seg imellom ble det utviklet en intervjuguide (vedlegg 3: Intervjuguide skole nr. 1. Vedlegg 4: Intervjuguide skole nr. 2).

### **4.3.1: Valg av informanter til intervjuene**

Formålet med intervjuet var å skaffe data om hvordan 10. trinns elever tolket studiens fire analogier. Det ble valgt 12 informanter fra to ulike skoler, som til daglig ble undervist av fire forskjellige naturfagslærere. Grunne til at det ble valgt 12 informanter var for å ha en balanse mellom grundighet og omfang av studien. Da det er viktig å fremskaffe et tilstrekkelig datamateriale samtidig som man må ta i betraktning omfanget for masteroppgaven og kapasiteten i forhold til tid og omfang for å gjennomføre studien. Valget av elever ved 10. trinn, som informanter i intervjuene, ble gjort på bakgrunn av ulike vurderinger. For det første var det ønskelig med elever som hadde vært gjennom elektrisitetlære som tema på ungdomstrinnet. Dermed ble det potensielle utvalget naturlig kuttet ned til elever ved 10. trinn, eventuelt elever ved videregående skoler. I tillegg var det ønskelig at informantene skulle få presentert analogier som var konstruert for deres nivå, samt analogier som var konstruerte for høyere faglig nivå. Dette for å undersøke hvilken respons analogiene som i utgangspunktet er tiltenkt personer med høyere kompetanse fikk blant informantene.

Det ble gjennomført 6 intervjuer, med to elever i hvert intervju. De 12 elevene ble valgt på bakgrunn av følgende kriterier:

1. Informantene skulle være elever på 10. årstrinn i skolen,
2. Informantene skulle ha tilhørighet til to ulike skoler, som brukte to forskjellige læreverk. Begrunnelsen for dette kriteriet har sin bakgrunn i utvalget av analogier i

studien. Av de fire analogiene som ble studert var to fra lærebøker på ungdomstrinnet, og det var derfor ønskelig med en jevn fordeling av elevene ut i fra hvilken lærebok deres skole brukte. Halvparten av intervjuene var slik av elever som brukte Tellus 9 (Ekeland, Johansen, Strand, Rygh, & Jenssen, 2008) når de lærte om elektrisitetlære, og den andre halvparten var elever som brukte Eureka 9 (Hannisdal, Haugan, & Munkvik, 2007) i elektrisitetsundervisningen. Tanken var da at samtlige informanter skulle få starte intervjuet med en analogi de kanskje hadde litt kjennskap til, og slik få en "myk start" på samtalen.

3. De 12 informantene skulle være fordelt på 4 naturfaglærere. Studien er interessert i å undersøke hvordan analogier kommuniserer elektrisitetlære, og ikke hvordan en naturfaglærer bruker analogier. For å minimere betydningen av elevenes lærer ble det derfor valgt at det skulle være ulike naturfaglærere per hver tredje elev.
4. I det totale utvalget av informanter skulle det være en jevn fordeling av elever med middels til høy måloppnåelse i naturfag. Det ble valgt å ikke inkludere elever med lav måloppnåelse i naturfag, som en del av det totale informantutvalget. Elektrisitetlære er, som tidligere omtalt, et abstrakt og ofte vanskelig tema for elever, og det ble derfor antatt at elever med lav måloppnåelse i naturfag kanskje ville ha problemer med å drøfte, reflektere og snakke om de ulike analogiene. Det ville i så fall vært lite ønskelig både med tanke på datamaterialet til studien, og ikke minst for selve eleven. Da opplevelsen av å bli satt på et rom med en ukjent person som stiller deg spørsmål om temaer du finner vanskelig og kanskje uinteressant kan sees på som ubehagelig og unødvendig for eleven. I tillegg til grad av måloppnåelse ble det lagt vekt på at informantene som ble valgt var elever, som mest sannsynlig, ville oppleve intervjusituasjonen uten noen form for ubehag.
5. Det var ønskelig med en jevn fordeling av gutter og jenter.

### **4.3.2: Gjennomføring og analyse av intervjuene**

Intervjuene ble gjennomført med to og to elever om gangen. Elektrisitetlære sitt høye abstraksjonsnivå var bakgrunnen for valget om å gjennomføre intervjuene i par. Målet var da at elevene skulle føle seg mer bekvem, ved at de var to, og at de skulle kunne reflektere og "bygge" på hverandres utsagn. I retrospekt vurderes dette valget som vellykket, da de aller fleste av elevparene diskuterte sine tanker og refleksjoner med sin intervjupartner.

I gjennomføringen av intervjuene hadde jeg fokus på å bruke ulike intervjutekniker for å bidra til fremdrift og fordre refleksjon og drøfting rundt meninger og tolkninger av analogiene. Det kunne være ganske direkte sonderende grep som gjentakelse av ord, begreper eller utsagn fra informantene, eller mer subtile lyder i et forsøk på å "hint" informantene videre i en drøfting, refleksjon eller diskusjon. Slike teknikker blir av Cohen et al. (2011) omtalt som "probing", og eksempler på tilfeller hvor dette ble tatt i bruk kan observeres i utdrag fra transkripsjonen gjengitt i delkapittel 5.2.

Det ble tatt lydopptak av intervjuene ved bruk av en diktafon. Lydopptakene ble så transkribert i sin helhet, for å systematisere analysearbeidet. I transkripsjonen var jeg nøye med å notere pauser dialog, forandring i stemmeleie/volum hos informantene, perioder hvor informantene leste og studerte analogiene og lignende kontekster. Beskrivelsen av faktorer ble vurdert som en viktig del av transkripsjonen, da en svakhet ved transkribering av lydopptak er potensialet for å miste kontekstuell data ved å kun inkludere hva som blir sagt (Cohen et al., 2011). Valget om å ikke fange intervjuene på video kan slik sees på som en potensiell svakhet ved datamaterialet, da ulike kontekster som bevegelse, mimikk og så videre ikke er inkludert i transkripsjonen.

I analysen av det transkriberte datamaterialet ble analyseverktøyet NVivo (QSR, udatert) brukt for å systematisere relevant data fra transkripsjonen. I denne prosessen ble utdrag fra transkripsjonen kodet inn under ulike kategorier, som var satt opp ut fra hvordan de kunne bidra til å belyse studiens forskningsspørsmål. Utdragene fra transkripsjonen blir videre presentert og kommentert i resultat og analyse kapitlet. Ved å kode datamateriale er målet å få hentet ut mest mulig relevant informasjon fra intervjuene, og slik skape en best mulig basis for videre analyse. Hele denne prosessen er gjennomført for å styrke analysen av datamaterialet, men det skal påpekes at analysen som blir presentert består av sitater fra intervjuene, samt kommentarer av disse, og er tolkning av en sosial prosess. Noe som medfører en fare for at de tanker og meninger som informantene har gitt uttrykk for i intervjuene kan ha blitt mistolket i analysen.

### **4.3.3: Validitet og relabilitet ved intervjuene**

Et interessant aspekt som påvirker validiteten av intervjuene er at det under analysen av transkripsjonen kom frem en trend om at det ofte var informanter med sterk måloppnåelse i



naturfag som var mest aktive og reflekterte i sin vurdering av analogiene. Med bakgrunn i dette vurderes det at datamaterialet fra elevintervjuene kanskje er mest representative for faglig sterke elever.

I hvilken rekkefølge analogiene ble presentert under intervjuet må også påpekes som et aspekt som kan påvirke relabiliteten til datainnsamlingen. Av tolv informanter var Tellus 9 (Ekeland et al., 2008) læreboken de hadde brukt i naturfag, og for de seks andre var Eureka 9 (Hannisdal et al., 2007) læreboken de tidligere hadde arbeidet med. Rekkefølgen analogiene ble presentert for informantene ble derfor variert slik at de alltid fikk analogien fra læreboken de hadde tidligere erfaringer med først: Halvparten fikk presentert "rørsystemet" først, og den andre halvparten fikk presentert "skiheisen" først (dette kan sees i vedlegg: intervjuguide). Dette ble gjort på bakgrunn av en vurdering om at det muligens var enklere å forholde seg til innholdet i en analogi de tidligere hadde hatt som pensum. Dette valget ble først vurdert som relativt uproblematisk, men i under analysearbeidet ble det oppdaget en trend, som kan vurderes som problematisk for datamaterialet. Trenden var at dybden og omfanget av refleksjonene til informantene økte utover i intervjuene, typisk rundt presentasjonen av intervjuets andre analogi. Dette reflekteres spesielt i informantenes samtaler og diskusjoner rundt analogien i modellen "fjellet". Det som da kan bli utfordrende å vurdere er i hvilken grad det er egenskaper ved analogien eller tidspunkt for presentasjon av den i intervjuet, som er den avgjørende faktoren for informantenes tanker, refleksjoner og diskusjoner omkring den. Dette kan kanskje være en påvirkende faktor til datamaterialets relabilitet. Likevel vurderer jeg datamaterialet fra intervjuene som representative i fortsettelsen av studien.

#### **4.6 Alternative metoder som ble vurdert**

Analyse av analogier fra tre lærebøker og et kurshefte, samt intervju av 12 elever ved 10. trinn ble valgt som datakilder i studien, men andre potensielle datakilder ble også vurdert. Det ble vurdert å inkludere lærerveiledninger i analysen, da de potensielt kan inneholde informasjon om hvordan analogiene kan behandles i klasserommet. Det ble også vurdert å komplimentere analogi analysen med intervju av lærebokforfatterne, for å få belyst begrunnelser for utforming av analogiene. Disse potensielle datakildene ble ikke inkludert på bakgrunn av en vurdering om at de ikke ville bidra med relevante funn i forhold til studiens forskningsspørsmål. En lærerveiledning blir ikke presentert for elever og er heller ikke en del av læreboken, men heller et supplement til den. Intervju av lærebokforfattere kunne bidratt til å belyse valg som er gjort

i utformingen av analogiene, men dette forandrer ikke faktumet at analogiene er presentert slik som de er, og at det innholdet som blir analysert i denne studien faktisk er det innholdet som lesere av analogiene blir presentert for.

### 4.7 Etiske vurderinger

Intervju medfølger noen etiske vurderinger, og man kan identifisere tre hovedområder for etiske problemstillinger ved gjennomføring av intervju for datainnsamling: (1) informert samtykke, (2) konfidensialitet og (3) konsekvens av intervjuene (Cohen et al., 2011). For å svare på de nevnte utfordringene ble det i forkant av intervjuene utsendt et informasjons og samtykkeskriv til samtlige informanter, og deres foresatte siden samtlige informanter var umyndig. I informasjons og samtykkeskrivet (vedlegg 1) blir informantene, og deres foresatte, kort informert om intervjuenes formål og innhold.

Et intervju tar tid fra informanten (Cohen et al., 2011), og gjennom informantenes kontaktlærer ble det klargjort for informantene at intervjuet var helt frivillig, og tidspunktet for de ulike intervjuene ble avtalt slik at de ikke skulle ta tid fra fag hvor informantene hadde særskilt behov for å være tilstede i undervisning. Kontaktlærerne som bistod i utvelgelsen av informanter ble også bedt om å ta hensyn til psykososiale aspekter ved informantene. Altså ville jeg ha informanter, som kontaktlærer mente at ikke ville føle seg ubekvem i en intervjusituasjon. Dette ble ettertrykkelig vektlagt, da jeg ikke ønsket at datainnsamlingen skulle medføre ubehag og dårlige assosiasjoner før, under og etter intervjuene.

Før datainnsamlingen startet ble den testet opp mot NSD sin meldeplikttest. Her ble det klargjort at ingen personidentifiserende informasjon ville bli behandlet i gjennomføringen av studien: Intervjuene ble tatt opp på en diktafon, ingen personidentifiserende informasjon behandlet via digitale medier (som video, e-post, navneliste lagret på pc eller lignende) og samtlige informanter har gjennom hele transkripsjons og analyseprosessen blitt omtalt ved pseudonym. På bakgrunn av dette ble studien vurdert som "ikke meldepliktig" i NSD sin meldeplikttest (vedlegg 2). Dette ble det også informert om i informasjons og samstykket, og informanter med foresatte er slik gjort oppmerksom på at all data i studien blir behandlet konfidensielt, og at eventuelle konsekvenser av intervjuene ikke ville berøre informantene i noen grad

## Kapittel 5: Resultat og analyse

### 5.1 Analyse av analogiene

I dette delkapittelet presenteres og analyseres studiens utvalgte analogier. Først blir det en generell presentasjon av analogienes utforming og fremstilling, før analogiene blir analysert ut fra Glynn (1989) sin TWA ("Teaching with Analogies Model") og deler av Curtis og Reigeluth (1984)sitt ACS ("Analogy Classification System"). Gentners (1983) SMT ("Structure-Mapping Theory") er brukt gjennom analysen med tanke på kartlegging av analogier og analyse av kartlegging til analogier.

Studiens fire analogier:

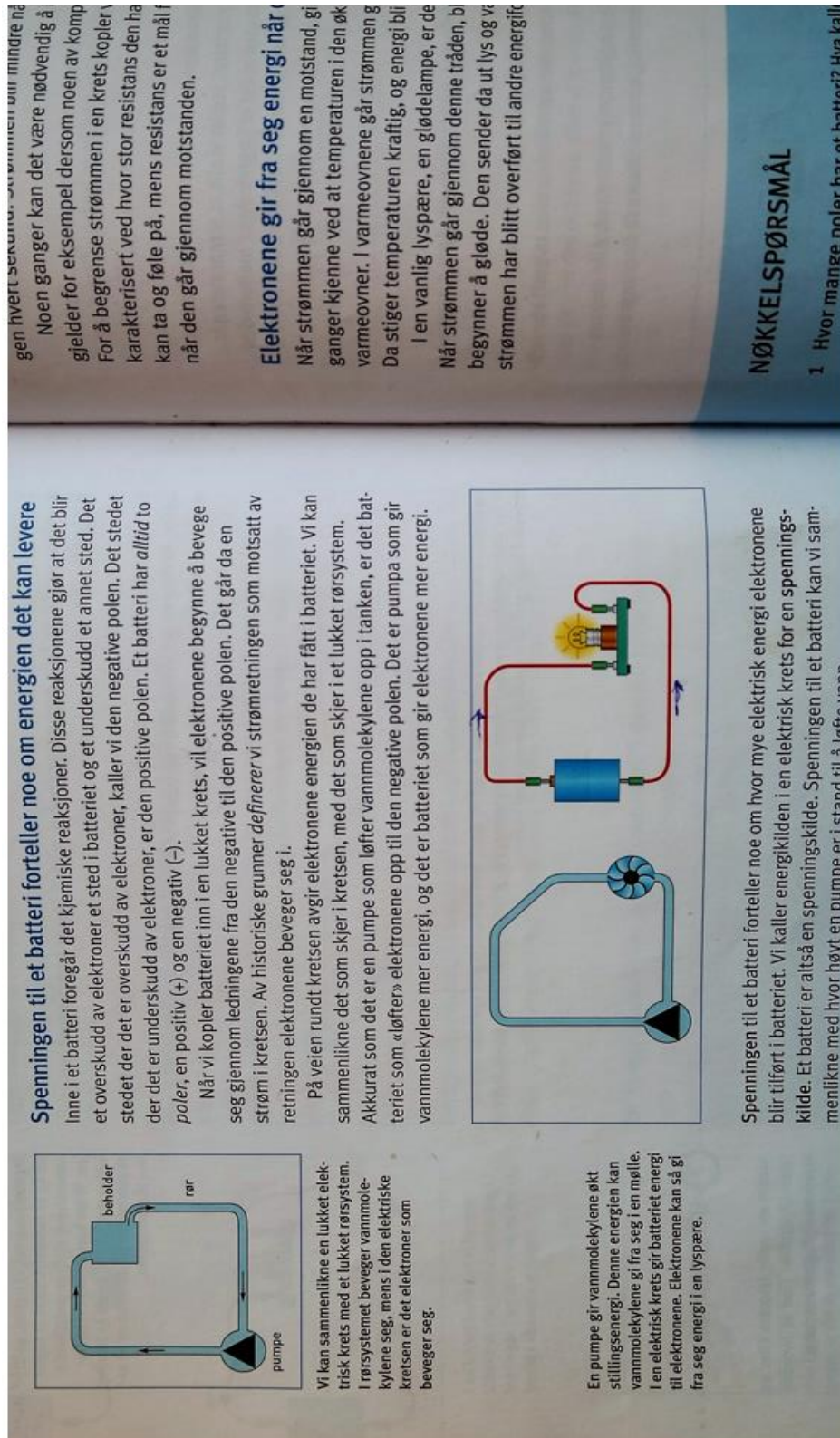
- Analogi 1 fra Tellus 9 (Ekeland, Johansen, Strand, Rygh & Jenssen, 2008, ss. 108-110) har fått navnet "skiheisen". Se bilde: 5.1.1
- Analogi 2 fra Eureka 9 (Hannisdal, Haugan & Munkvik, s. 212) har fått navnet "rørsystemet". Se bilde 5.1.2
- Analogi 3 fra Rom Stoff Tid 1 (Jerstad, Sletbak, Grimenes, & Renstrøm, 2007, ss. 239-240) har fått navnet "fjellet". Se bilde 5.1.3
- Analogi 4 fra heftet "fra elektrisk krets til intelligent hus – kurshefte" (Rossing, 2005, ss. 39-40) har fått navnet "bowlingkulen" Se bilde 5.1.4

Analogi 3 og 4 er hentet fra henholdsvis en lærebok fra videregående og et kurshefte for lærere, og er slik ikke ment for studiens målgruppe, elever ved ungdomstrinnet. Bakgrunnen for at halvparten av studiens analogier ligger på et faglig nivå over ungdomstrinnet er for å se om det er elementer ved utformingen og fremstillingen av disse analogiene som bidrar til forståelse av elektrisitetslære på en mer fullkommen måte en analogi 1 og 2, som er hentet fra lærebøker på ungdomstrinnet.

Heretter vil de fire analogiene bli henvist til med de navnene som ble presentert i punktlisten litt tidligere. Disse navnene blir nevnt svært ofte, og en kildehenvisning for hver gang blir vurdert som ugunstig med tanke på den videre teksten. Derfor gjelder de kildehenvisninger som er presentert i punktlisten når det ved senere tidspunkt refereres til analogiene.



Bilde 5.1.1: Skiheisen i Tellus 9 (Ekeland, Johansen, Strand, Rygh, & Jenssen, 2008, ss. 108 - 110)



Bilde 5.1.2: Rørsystemet i Eureka 9 Rørsystemet i Eureka 9 (Hannisdal, Haugan, & Munkvik, 2007, ss. 212 - 213)

På grunn av virkemåten må voltmeteret koples ved siden av – parallelt med – den delen av kretsen vi skal måle på. Figuren ovenfor viser hvordan vi kopler voltmeteret når vi skal måle spenningen mellom to punkter på hver sin side av en komponent, som i dette tilfellet er en lampe. Figuren i marginen viser den samme kretsen i det vi kaller en *kretstegning*. Vi sier at vi måler strømmen *gjennom* en kretskomponent, men spenningen *over* komponenten.


**Krets**

Spenningen mellom polene på et batteri blir kalt *polspenningen* til batteriet. Den forteller hvor mye energi per ladning batteriet kan levere til en krets.

**Pols**

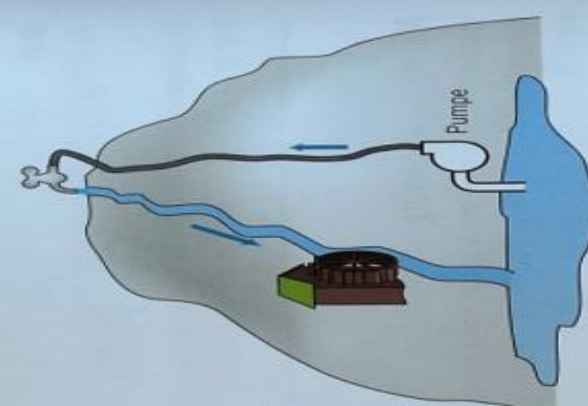
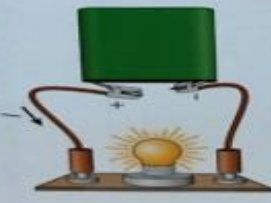
### Spenningskilder

For å få en elektrisk strøm i en krets må vi ha en *spenningskilde* (eller *strømkilde* som vi også sier). Poenget med en spenningskilde er å få elektriske krefter som kan gjøre arbeid ved å frakte ladninger. La oss her sammenlikne en elektrisk krets med et arbeid som blir gjort av tyngdekrefter. På figuren til høyre overst på neste side tenker vi oss at en pumpe frakter vannet til toppen av fjellet og på den måten gir vannet stor potensiell energi. Deretter kan vannet renne nedover – samtidig som det gir fra seg potensiell energi – og eventuelt gjøre arbeid i en liten vannsag.




240 11. Oversett

Blide ladninger og vann blir her pumpet opp til høyere potensiell energi. I de to «kretsene» renner ladningene og vannet ned igjen, og strømmene kan utnyttas til arbeid. I batteriet bopper så kjemisk energi. Helt liknende må vi tilføre vannpumpa energi for å holde vannstrømmen i gang.

I en elektrisk krets med for eksempel et batteri skjer det noe helt tilsvarende. Kjemiske reaksjoner i batteriet sørger for at ladning får høyere elektrisk potensiell energi ved den ene polen enn ved den andre. Når vi knytter polene sammen med en leder, vil ladning «renne» fra den ene polen til den andre. Samtidig kan det bli gjort «arbeid» slik at for eksempel en motor går eller en lampe lyser.



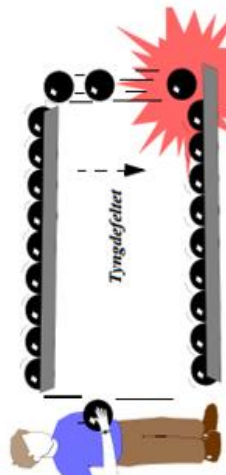
Spenningskilde på et skolelaboratorium.

Bilde 5.1.3: Fjellet i Rom Stoff Tid Fysikk 1 (Jerstad, Sletbak, Grimenes, & Renstrøm, 2007, ss. 240 - 241)

Ut fra det vi har omtalt foran så vil batteriet sette opp et elektrisk felt inne i lederen som tvinger elektronene til å bevege seg mot den positive polen på batteriet. Jo større spenning batteriet har, jo større strøm vil det klare å drive gjennom kretsen.

For virkelig å forstå hva det elektriske feltet betyr for ladningstransporten og den elektriske strømmen, skal vi ta fram igjen den mekanisk modellen (figur 10).

Vi tenker oss kuler som ruller langs en renne. I den øverste renna har kulene en viss potensiell energi (evne til å utføre arbeid). Den slake heiningen på renna får kulene til å rulle langsomt mot høyre. Når de kommer til enden av renna faller de utfor kanten samtidig som de akselereres. I fallet vil kulene utføre et arbeid enten ved at de treffer hindringer underveis, eller ved at de treffer den nederste renna. Energien frigjøres ved at det høres et smell og ved at treffpunktet kan bli deformert og oppvarmet.



Figur 10 Mekanisk modell av elektrisk strøm.

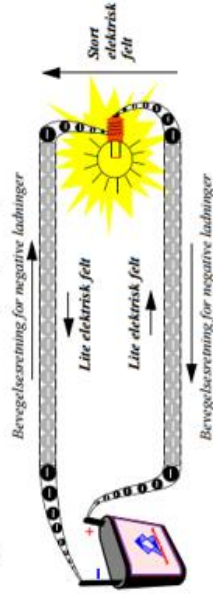
Så ruller kulene langsomt tilbake til gutten som løfter kulene opp i den øverste renna slik at de på ny kan rulle ut mot høyre og utføre et arbeid. Gutten utfører et arbeid ved å tilføre kulene energi.

La oss merke oss følgende:

- **Uten tyngdefelt** vil ikke kulene rulle langs renna, og slett ikke falle utfor kanten. Kulene vil rett og slett ikke ha noen potensiell energi, og kan derfor ikke utføre noe arbeid.
- **Uten masse** vil ikke kulene ha noen "vekt" og kan ikke bli påvirket av tyngdefeltet. De vil ikke rulle langs renna og ikke falle utfor.

Vi kan altså slå fast at vi **både må ha et tyngdefelt og kuler med masse** for at energi skal kunne transporteres og frigjøres.

La oss så gå tilbake til elektronene som beveger seg i ledningen.



Figur 11 Elektriske ladede partikler "faller" i det elektriske feltet. I lyspæra faller de "langt" på kort tid og avgir mye energi.

På samme måte som gutten tilfører kulene potensiell energi i tyngdefeltet, tilføres de ladede elektriske elektronene potensiell energi i det elektriske feltet som lages av batteriet. Når elektronene "faller" gjennom det elektriske feltet i lyspæra så avgir de sin potensielle elektriske energi i glødetråden som begynner å gløde pga. oppvarming. Dette skjer ved at elektronene støter sammen med atomer i glødetråden. At dette skjer nettopp i glødetråden og ikke i ledningen til og fra, skyldes at glødetråden er laget slik at den over stor motstand mot elektronene, mens ledningene over lite motstand.

På vei tilbake til batteriet har de mistet sin potensielle energi og må få ny energi i batteriet. Her blir de "løftet" opp til toppen av det elektriske feltet og kan falle gjennom feltet på nytt og avgir energi. Batteriet tilfører elektronene energi ved å "løfte" dem opp til et høyere elektrisk potensial, slik at de blir istand til å utføre et **elektrisk** arbeid. Dette tilsvarer at gutten tilfører kulene potensiell energi slik at de kan utføre et **mekanisk** arbeid.

La oss igjen merke oss følgende:

- **Uten et elektrisk felt** vil ikke elektronene bevege seg langs ledningen, og slett ikke gå gjennom lyspæra. Elektronene vil rett og slett ikke ha noe potensiell energi og kan derfor ikke utføre noe arbeid i lyspæra.
- **Uten ladning** vil ikke elektronene bli påvirket av det elektriske feltet, og de vil ikke bevege seg langs ledningen og ikke gå gjennom pæra.

Vi kan altså slå fast at vi **både må ha et elektrisk felt og elektroner med ladning** for at elektrisk energi skal kunne transporteres og frigjøres.

Vi skjønner også at strømmen av partikler i begge ledningene er den samme, dvs. strømmen brukes ikke opp i lyspæra. På samme måte som kulene ikke forsvinner selv om de faller fra den øvre til den nedre renna.

### 5.1.1 Skiheisen

Skiheisen, som presentert i læreboken, består av et antall skiheisstoler som henger i en kabel. Denne kabelen blir trukket rundt og rundt mellom to punkter av en motor som befinner seg i bunnen av bakken. I analogiens illustrasjon av en skiheis inkluderer også et antall personer. Noen av disse personene befinner seg sittende på en av skiheisstolene.

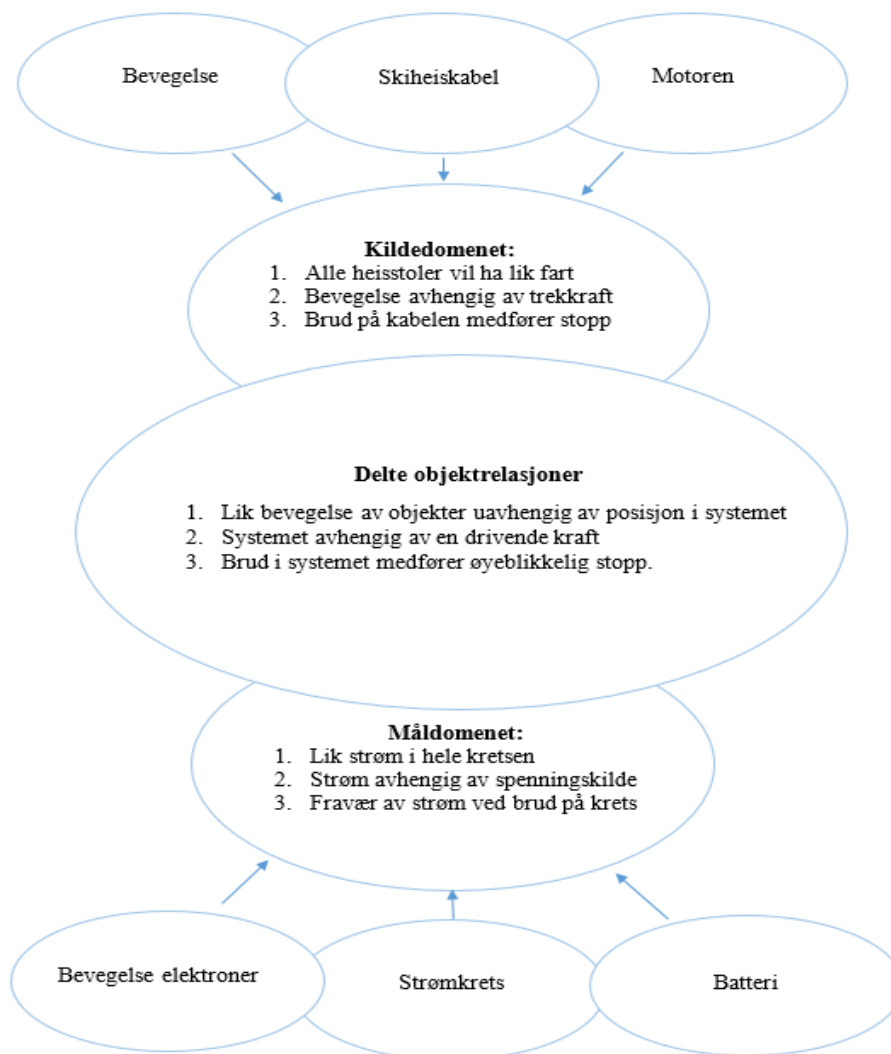
Skiheisen søker å kommunisere relasjoner mellom egenskaper hos en skiheis, som kildedomenet, over til relasjoner mellom egenskaper ved en elektrisk krets, som måldomenet. Læreboken bruker analogien i to sammenhenger. Først for å forklare egenskaper ved bevegelsen til ladninger i en sammenhengende elektrisk krets, så for å forklare begrepet elektrisk spenning. I bruken av skiheisen for å forklare ladningers bevegelse i en elektrisk krets fokuserer læreboken blant annet på relasjonen mellom skiheistolene og skiheiskabelen. De påpeker at hvis kabelen i skiheisen beveger seg vil samtlige skiheisstoler bevege seg i like stor hastighet, samtidig og i samme retning. Dette sees i sammenheng med ladningers bevegelse i en krets hvor læreboken skriver at alle beveger seg i samme fart, og at samme antall går tilbake til batteriet som går ut.

Den andre sammenhengen hvor læreboken tar bruk av skiheisanalogien er for å bidra i forklaring av elektrisk spenning. Her tar boken utgangspunkt i motoren til skiheisen, og påpeker at det er den som trekker i kabelen slik at den beveger seg. Noe som sammenlignes med, det læreboken kaller, en "trekkraft" som drar ladningene rundt kretsen.

I begge sammenhengene analogien blir brukt vurderes selve skiheisen som kildedomenet. Det er elevens kjennskap til en skiheis som skal være det kjente grunnlaget som analogien bruker for å sammenligne objektrelasjoner mellom kildedomenet og måldomenet. Kunnskap om bevegelsen til elektriske ladninger i en sammenhengende krets og egenskaper ved elektrisk spenning utgjør måldomenene til analogien.

I figur 5.1.1 er det ut i fra SMT (Gentner, 1983) gjennomført en kartlegging av delte objektrelasjoner mellom kilde- og måldomenet i Skiheisen. Kartleggingen er gjort på bakgrunn av de objektrelasjoner som kommer frem i beskrivelsen av analogien i læreboken.





Figur 5.1.1: Kartleggingsfigur av skiheisen

### 5.1.2 Rørsystemet

Analogien søker å kommunisere kunnskap om begrepene spenning og strøm fra elektrisitetstlære ved å bruke et lukket rørsystem fylt med vann som en analogimodell. Analogien er presentert med to ulike illustrasjoner og tekst. Den ene illustrasjonen består av en enkel elektrisk krets med batteri, ledere og en lyskilde samt et lukket rørsystem med en pumpe og en mølle. Den andre illustrasjonen er av et lukket rørsystem med en pumpe og en beholder. Slik oppfattes det at læreboken skifter mellom elektrisk strøm og elektrisk spenning som måldomene for analogien de bruker. Derfor er det for rørsystemet presentert to kartleggingsfigurer for analogien (figur 5.1.2 og 5.1.3).

Tekst og illustrasjoner som hører til analogien varierer mellom å bli presentert i brødtekst eller i marg, noe som fører til at presentasjonen av analogien kan virke litt uoversiktlig og rotete. Det kan være utfordrende å lese og få med seg hele innholdet av analogien ved én gjennomlesning. Samtidig kan det oppfattes som litt uklart hvor bruken av analogien starter og slutter.

Som tidligere nevnt bruker læreboken rørsystem analogi for å kommunisere delte relasjoner mellom et rørsystem og en elektrisk krets, hvor det er begrepene elektrisk strøm og spenning som blir berørt. Før læreboken starter med forklaring av disse begrepene tar den for seg egenskaper til et batteri i en elektrisk krets, og beskriver hvordan det foregår kjemiske reaksjoner inne i batteriet som skaper en negativ- og positiv pol. Videre forklares elektrisk strøm: *"Når vi kople batteriet inn i en lukket krets, vil elektronene begynne å bevege seg gjennom ledningene fra den negative til den positive polen. Det går da en strøm i kretsen."* (Hannisdal et al., 2007, s. 212). På denne måten får leseren av læreboken det kommunisert hva elektrisk strøm er, og velger man kun å lese brødteksten er det bare denne informasjonen man sitter igjen med. Skifter man blikket litt til venstre på siden, ut i margin vil man bli konfrontert med rørsystemanalogien, i form av en illustrasjon med følgende bildetekst: *"Vi kan sammenlikne en lukket elektrisk krets med et lukket rørsystem. I rørsystemet beveger vannmolekylene seg, mens i den elektriske kretsen er det elektroner som beveger seg."* (Hannisdal et al., 2007, s. 212). Ved å bruke rørsystemet trekker læreboken en analogi mellom bevegelsen til vann i et lukket rørsystem og bevegelsen til elektroner i en lukket krets. Om boken kartlegger noen delte objektrelasjoner mellom systemene er utfordrende å bestemme, eller om det kun er en stadfestning om at det er vann som beveger seg i vannrør og elektroner som beveger seg i en elektrisk krets som kommer tydelig frem.

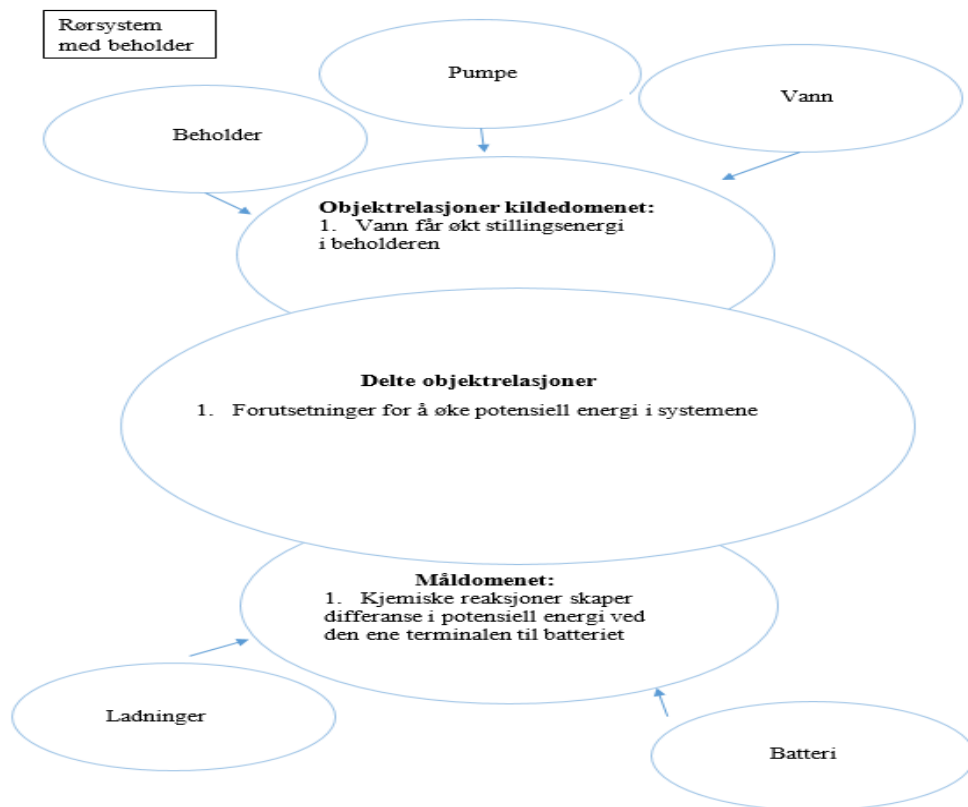
Læreboken beveger seg bort fra elektrisk strøm og over til begrepet elektrisk spenning. Her blir rørsystemanalogien brukt for å kartlegge delte objektrelasjoner mellom pumpen i rørsystemet og batteriet i en elektrisk krets. For å trekke analogien tar læreboken i bruk energibegrepet:

*På veien rundt kretsen avgir elektronene energien de har fått i batteriet. Vi kan sammenlikne det som skjer i kretsen, med det som skjer i et lukket rørsystem. Akkurat som det er en pumpe som løfter vannmolekylene opp i tanken, er det batteriet som "løfter" elektronene opp til den negative polen. Det er pumpa som*

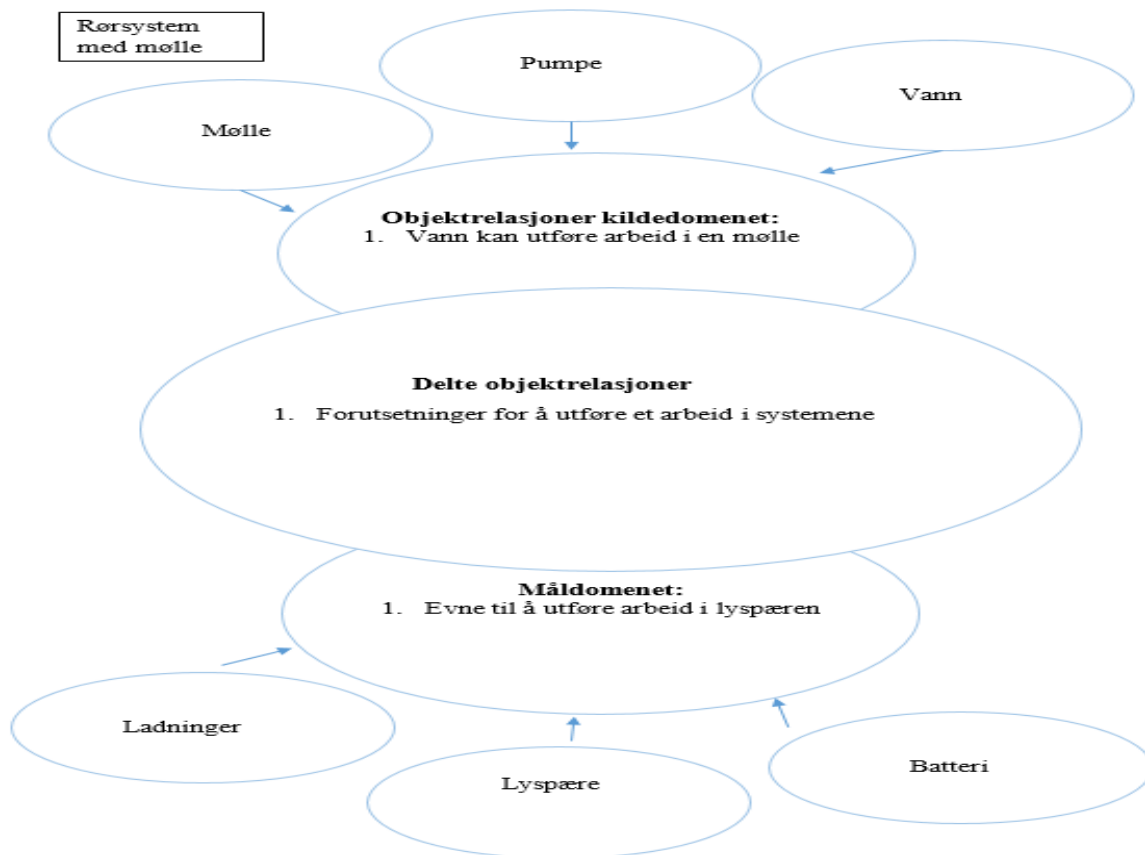
*gir vannmolekylene mer energi, og det er batteriet som gir elektronene mer energi. (...) **Spenningen** til et batteri forteller noe om hvor mye elektrisk energi elektronene blir tilført i batteriet. Vi kaller energikilden i en elektrisk krets for en **spenningskilde**. Et batteri er altså en spenningskilde. Spenningen til et batteri kan vi sammenlikne med hvor høyt en pumpe er i stand til å løfte vann. (Hannisdal et al., 2007, s. 212)*

Midt i beskrivelsen av elektrisk spenning i læreboken er det plassert en illustrasjon av et lukket rørsystem og en elektrisk krets. Denne illustrasjonen har en bildetekst plassert i margen hvor det står: *"En pumpe gir vannmolekylene økt stillingsenergi. Denne energien kan vannmolekylene gi fra seg i en mølle. I en elektrisk krets gir batteriet energi til elektronene. Elektronene kan så gi fra seg energi i en lyspære."* (Hannisdal et al., 2007, s. 212). Det kan virke som læreboken bruker rørsystemanalogien i sin beskrivelse av elektrisk spenning for å bygge en bro mellom en pumpe sin egenskap til å løfte vann, og slik gi det økt stillingsenergi, og et batteri sin egenskap til å skape en differanse i energipotensiale mellom sine to terminaler. Det kan tolkes slik at pumpen løfter vannet opp til et punkt hvor så vannet vil renne nedover til pumpen igjen, slik som batteriet vil løfte elektronene opp til den negative polen slik at de kan "renne" ned til den positive polen. Energien som vannet og elektronene får ved å bli "løftet" kan de, som læreboken skriver, "gi fra seg" til en mølle (i rørsystemet) og en lyspære (i den elektriske kretsen).

I figur 5.1.2 og figur 5.1.3 er det ut i fra SMT (Gentner, 1983) gjennomført en kartlegging av delte objektreasjoner mellom kilde- og måldomenet i rørsystemet. Kartleggingen er gjort på bakgrunn av de objektreasjoner som kommer frem i beskrivelsen av analogien i læreboken. Fremstillingen med to ulike illustrasjoner, og beskrivelse av objektreasjoner både i brødtekst og marg, er bakgrunnen for at det er to kartleggingsfigurer til denne analogien.



Figur 5.1.2: Kartleggingsfigur av rørsystemet med beholder



Figur 5.1.3: Kartleggingsfigur av rørsystemet med mølle

### 5.1.3 Fjellet

Analogi 3 i studien er hentet fra læreboken Rom Stoff Tid (Jerstad et al., 2007) (herved kalt RST). Læreboken RST er skrevet og brukt i den videregående skolen, og innholdet er derfor på et høyere faglig nivå. Noe som også vises ut i fra begrepsbruken til boka. Læreboken tar utgangspunkt for analogien ved å skrive: *"La oss her sammenlikne en elektrisk krets med et arbeid som blir gjort av tyngdekrefter."* (Jerstad et al., 2007). I korte trekk bruker boken analogien for å identifisere noen delte relasjoner i rollen pumpen (kildedomenet) og batteriet (måldomenet) har i sine respektive systemer.

Først kan vi kan legge merke til at læreboken spesifikt ber elevene om å se på illustrasjonen av fjellet før de starter med sin beskrivelse av analogien: *"På figuren øverst på neste side tenker vi oss at en pumpe frakter vannet til toppen av fjellet og på den måten gir vannet stor potensiell energi."* (Jerstad et al., 2007, s. 239). Når læreboken spesifikt ber leseren om å se på en figur er det naturlig å anta at en aktiv leser faktisk gjør det. På denne måten øker trolig sannsynligheten for at leseren ser for seg de samme systemene som læreboken tar utgangspunkt i når de bruker analogien. Det kan også tenkes at elevene som leser i boken også får et større fokus på å lese bildeteksten som er presentert i marginen av boken, når de blir bedt om å se på figuren.

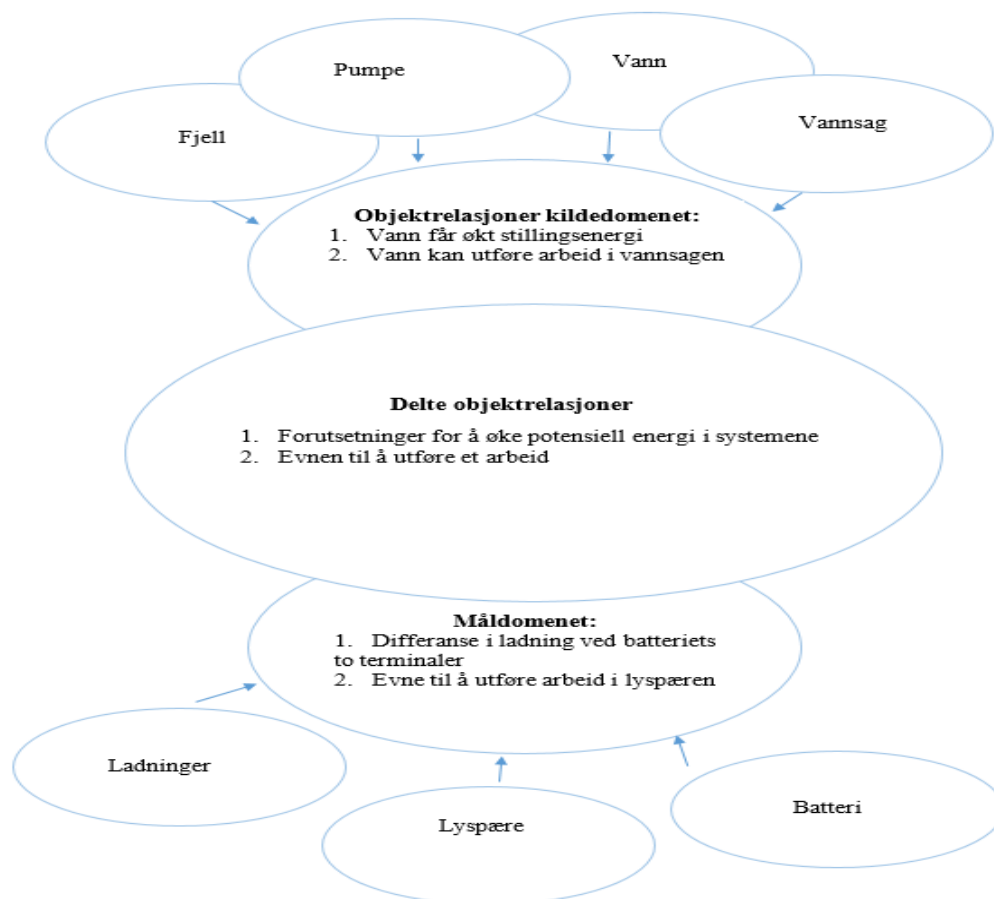
I utdraget, fra forrige avsnitt, beskriver læreboken hvilken effekt pumpen har på vannet, og kartlegger relasjonen mellom dem ved å poengtere at pumpen øker den potensielle energien til vannet det løfter opp til toppen av fjellet. Her bruker læreboken kildedomenet for å utnytte elevens kjennskap til at en pumpe har evnen til å frakte vann i høyderetningen, og at elevasjonen medfører økt potensiell energi hos vannet som blir løftet.

Læreboken fortsetter ved å beskrive hva som skjer med vannet når det er på toppen av fjellet: *"Deretter kan vannet renne nedover – samtidig som det gir fra seg potensiell energi – og eventuelt gjør arbeid i en liten vannsag"* (Jerstad et al., 2007, s. 239). I dette utdraget minner læreboken elevene på at vannet vil gi fra seg potensiell energi når det renner ned igjen fra fjellet, og at denne energi kan utnyttes til å gjøre et arbeid. Læreboken påpeker altså relasjonen mellom vannets bevegelse ned fra høyden og dets evne til å kunne utføre et arbeid i en liten vannsag ved at den potensielle energien blir omformet til blant annet bevegelsesenergi.

Læreboken tar altså utgangspunkt i deler av kildedomenet til analogien, og i løpet av en relativt liten tekst beskriver den de relasjoner fra kildedomenet som skal brukes opp mot måldomenet.

Måldomenet til analogien er en elektrisk krets, og den delen av måldomenet læreboken ønsker å kommunisere er spenningskilden, som i dette tilfellet er et batteri. Boken starter med å skrive: *"I en elektrisk krets med for eksempel et batteri skjer det noe helt tilsvarende"* (Jerstad et al., 2007, s. 240). Med denne setningen klargjør læreboken at vi nå skal ta med oss de relasjoner vi har fått beskrevet fra kildedomenet, og sammenligne disse med noe som skjer i et batteri hos en elektrisk krets. Ordlyden "med for eksempel et batteri skjer det noe helt tilsvarende", kan sies å være noe "risikofyllt". Når man uttrykker at noe er "helt tilsvarende" er det enkelt å tenke seg at det er et 1:1 forhold mellom det som skjer. På en måte kan man forsvare dette utsagnet fra læreboken side ved å påpeke at både pumpen og batteri skaper en differanse i energipotensiale mellom to punkter, og at energi er et nøkkelbegrep i denne prosessen da pumpen bruker elektrisk energi og batteriet bruker kjemiskenergi for å skape denne differansen. Likevel kan det være et sjansespill å bruke formuleringen "helt tilsvarende" da elever, for eksempel, kanskje kan få for seg at retningen til batteriet er avgjørende på bakgrunn av at vannet er avhengig av å bli pumpet i en bestemt retning (oppover) for å øke sin potensielle energi. Dette kan forsterkes når læreboken beskriver ladningene bevegelse i kretsen ved å si at *"Når vi knytter polene sammen med en leder, vil ladningene "renne" fra den ene polen til den andre"* (Jerstad et al., 2007, s. 240). Det kan ikke sies å være helt tilsvarende at ladninger renner slik som vann renner, da ladninger ikke renner. En mer nøyaktig beskrivelse kunne vært at ladningene vil bevege seg fra den ene polen til den andre på bakgrunn av differansen i energipotensial, og at vannet beveger seg fra et ytterpunkt hvor det har høy potensiell energi i forhold til et ytterpunkt hvor det har lav potensiell energi.

I figur 5.1.4 er det ut i fra SMT (Gentner, 1983) gjennomført en kartlegging av delte objektreasjoner mellom kilde- og måldomenet i Fjellet. Kartleggingen er gjort på bakgrunn av de objektreasjoner som kommer frem i beskrivelsen av analogien i læreboken.



Figur 5.1.4: Kartleggingsfigur av Fjellet

### 5.1.4 Bowlingkulen

Analogien er hentet fra et kurshefte for lærere av Nils Kristian Rossing (2005), hvor den blir brukt i forklaring av elektrisk felt sin betydning for ladningstransport og elektrisk strøm. Det faglige innholdet ligger på et høyere nivå enn analogiene hentet fra ungdomskolelæreboøkene. På tross av dette er de analogiske relasjonene i bowlingkulemodellen like fullt av interesse, da en analyse av fremgangsmåte i forklaring og beskrivelse kan gi indikasjoner på hvordan man kan utforme og fremstille en analogi.

Analogien er delt i to deler hvor kildedomenet blir beskrevet først. Her blir objektene, objektenes funksjon og relasjon i forhold til hverandre beskrevet. Kildedomenet tar utgangspunkt i to renner og et antall bowlingkuler, det blir stadfestet at bowlingkulene i den øverste rennen har en mengde potensiell energi. Den øverste rennen har en slak helling slik at kulene sakte ruller bortover, og til slutt faller utenfor kanten. De vil så falle ned på den nederste rennen, og rulle tilbake til gutten som igjen løfter bowlingkulen opp igjen til den øverste rennen. I kursheftet blir kildedomenet kartlagt med bruk av to objektrelasjoner:

- *"Uten tyngdefelt vil ikke kulene rulle langs renna, og slett ikke falle utfor kanten. Kulene vil rett og slett ikke ha noen potensiell energi, og kan derfor ikke utføre arbeid." (Rossing, 2005, s. 39)*
- *"Uten masse vil ikke kulene ha noen "vekt" og kan ikke bli påvirket av tyngdefeltet. Da vil ikke rulle langs renna og ikke falle utenfor" (Rossing, 2005, s. 39)*

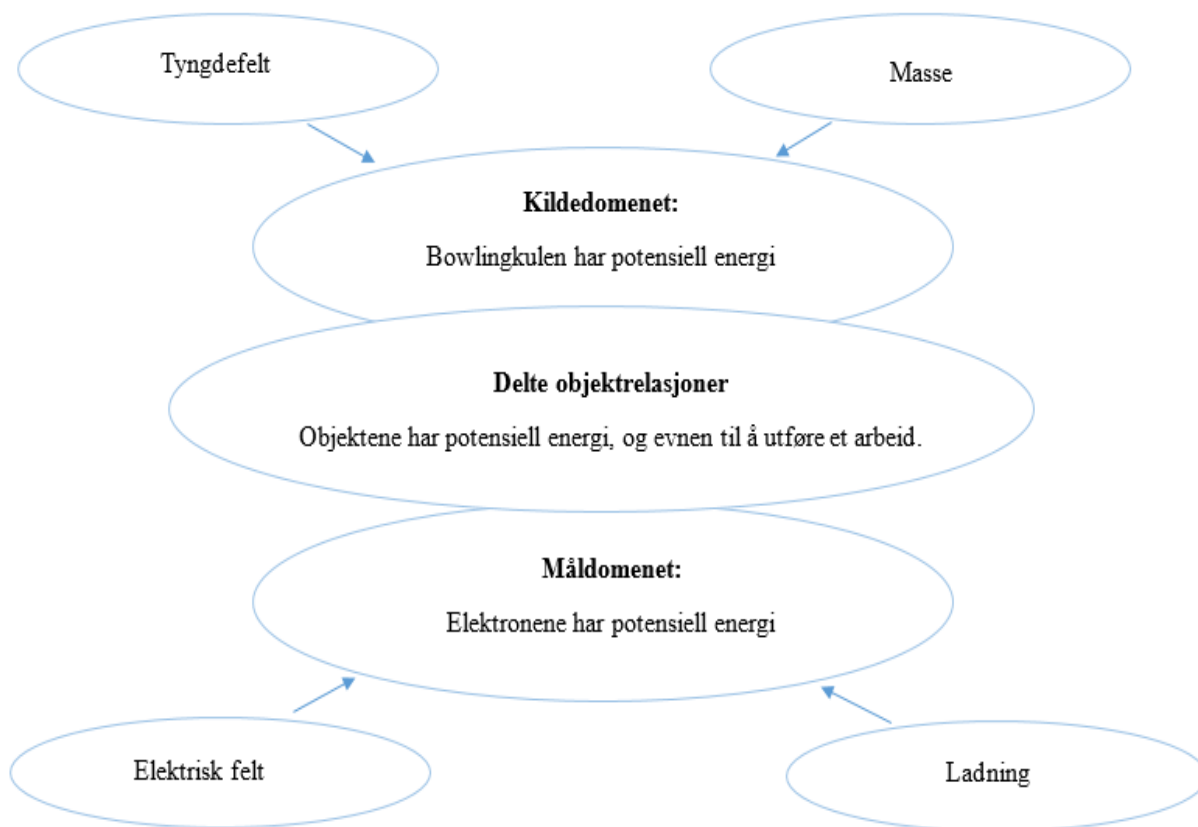
I beskrivelsen av kildedomenet blir relasjoner mellom masse, tyngdefelt, bevegelse og evnen til utføre arbeid beskrevet. Innholdet i kildedomenet må være kjent for personen som skal lære om et ukjent fenomen gjennom en analogi (Curtis & Reigeluth, 1984; Glynn, 1989). Det er da viktig å påpeke at personer som skal få utbytte av denne analogien, slik den er presentert i heftet, må være kjent med relasjonene mellom masse, tyngdefelt og bevegelse i klassisk mekanikk.

I analogiens andre del blir måldomenet presentert som en elektrisk krets. Ut i fra beskrivelsen i teksten kommer det frem at det er ladningers evne til å utføre elektrisk arbeid som måldomenet søker å forklare. Det beskrives hvordan elektroner i en elektrisk krets er avhengige av ladning og elektrisk felt, for å ha potensiell energi og dermed kunne utføre et arbeid. Det blir så konkludert med at elektroner med potensiell energi kan utføre elektrisk arbeid, og det tilsvarer hvordan bowlingkuler med potensiell energi kan utføre mekanisk arbeid. I kursheftet blir objektrelasjonene i måldomenet kartlagt med to kulepunkter:

- *"Uten et elektrisk felt vil ikke elektronene bevege seg langs ledningen, og slett ikke gå gjennom lyspæren. Elektronene vil rett og slett ikke ha noen potensiell energi og kan derfor ikke utføre noe arbeid i lyspæren." (Rossing, 2005, s. 40)*
- *"Uten ladning vil ikke elektronene bli påvirket av det elektriske feltet, og de vil ikke bevege seg langs ledning og gå gjennom pæra." (Rossing, 2005, s. 40)*

I figur 5.1.5 er det ut i fra SMT (Gentner, 1983) gjennomført en kartlegging av delte objektrelasjoner mellom kilde- og måldomenet i Bowlingkulen. Kartleggingen er gjort på bakgrunn av de objektrelasjoner som kommer frem i beskrivelsen av analogien i kursheftet, og fokuserer på at bowlingkulene (i kildedomenet) og ladninger (i måldomenet) er avhengige av å ha en substans og bli påvirket av et felt for å ha potensialet til å utføre et arbeid.





Figur 5.1.5: Kartleggingsfigur av Bowlingkulen

### 5.1.5 Analyse av analogiene med ACS

I følgende del vil analogiene bli analysert ut i fra de seks kategoriene i ACS ("Analogy Classification System") av Curtis og Reigeluth (1984). I tabell 5.1.1 blir studiens fire analogier klassifisert ut i fra de seks kategoriene. Etter tabellen følger det en redegjørelse for klassifiseringen av analogiene, og skifte av klassifiseringskategori markeres ved at kategoriernes navn presenteres i fet skrift.

Tabell 5.1.1: ACS ("Analogy Classification System") klassifiseringstabell

	Skiheisen	Rørsystemet	Fjellet	Bowlingkule
Forhold mellom kilde- og måldomenet	Funksjonelt	Funksjonelt	Funksjonelt	Funksjonelt
Beskrivelse av innholdet i kildedomenet	Ja	Noen grad	Ja	Ja
Nivå av berikelse	Utvidet	Beriket	Beriket	Utvidet
Grad av abstraksjon	Konkret/abstrakt	abstrakt/abstrakt	Konkret/abstrakt	Konkret/abstrakt
Indikasjon på begrensninger i analogiene	Nei	Nei	Nei	Nei
Indikasjon av kognitiv strategi	Nei	Nei	Nei	Nei

**Forholdet mellom kilde- og måldomenet:** Curtis og Reigeluth (1984) og Thiele og Treagust (1994) klassifiserer forholdet mellom domenene i analogier ut i fra om det er strukturelle, funksjonelle eller strukturell-funksjonelle forhold. I denne studien blir derimot ikke strukturelle forhold vurdert, da vi som Orgill og Bodner (2006) ikke anerkjenner sammenligninger med et rent strukturelt forhold mellom domenene som analogier. Denne avgjørelsen kan støttes med bakgrunn i Gentners (1983) SMT ("Structure-Mapping Theory"), da hun påpeker at domenesammenligninger hvor domenene kun har delte objekt-egenskaper, og ingen delte objektrelasjoner, ikke kan kategoriseres som analogier.

Ut i fra hvordan læreboken presenterer forholdet mellom domenene i skiheisen anses det som funksjonelt. Dette begrunnes med at det er objektrelasjoner mellom funksjoner og oppførsel i de to domenene som boken fremhever og beskriver i sin fremstilling.

Med bakgrunn i fremstillingen av rørsystemet i Eureka 9 anses også forholdet mellom domenene i denne analogien som funksjonelt. Læreboken har i sin sammenligning av de to domenene fokus på funksjon og oppførsel av objekter innad i systemene. Klassifiseringen av domeneforholdet i denne analogien var ikke enkel da forholdet kan bli sett på som strukturelt-

funksjonelt ved å trekke en sammenligning mellom rørene i rørsystemet som leder vannet fra et punkt a til et punkt b, og ledningene i en elektrisk krets som leder ladningene fra et punkt a til et punkt b. Forholdet mellom domenene i analogien ble likevel klassifisert som funksjonelt da læreboken påpeker denne strukturelle likheten mellom domenene.

Forholdet mellom domenene i fjellet fra RST blir i likhet med de to foregående analogiene klassifisert som funksjonelt. Læreboken har i sin fremstilling av analogien fokuset på å beskrive objektrelasjoner ut i fra funksjon til de ulike objektene i domenene. Likt som i rørsystemet er det et potensiale for strukturelt-funksjonelt forhold ved at læreboken kunne ha påpekt at det er ledninger som leder ladninger og rør som leder vann, men denne strukturelle likheten blir ikke beskrevet i læreboken.

Klassifiseringen av domene til analogien i bowlingkulemodellen blir, som de tre andre, sett på som funksjonelt. I utformingen og fremstillingen av de to domenene er det objektrelasjoner mellom funksjon og oppførsel i analogien som blir beskrevet. I likhet med rørsystemet og fjellet er det mulig å argumentere for et funksjonelt – strukturelt forhold da illustrasjonene i analogien er sammenlignbare. Med dette ser vi at samtlige analogier blir klassifisert som funksjonelle, noe som stemmer godt overens med funnene til Reigeluth (1984), Thiele og Treagust (1994) og Orgill og Bodner (2006).

**Beskrivelse av innholdet i kildedomenet:** I analysen av denne kategorien kan de fire analogiene bli klassifisert i verdiene "ja", "noen grad" og "nei". Verdien "ja" betyr at innholdet og/eller funksjonen til kildedomenet er beskrevet. "Noen grad" tilsier at innholdet og/eller funksjonen til kildedomenet er beskrevet ufullstendig eller usystematisk. "Nei" betyr at kildedomenet ikke er beskrevet. Klassifiseringen av analogiene er gjennomført med bakgrunn i hvordan læremidlene utformer og fremstiller analogiene, altså hvilke relasjoner i domenene blir sammenlignet.

Vi legger merke til at skiheisen, fjellet og bowlingkulen alle gjennomfører en beskrivelse av innholdet i kildedomenet. I skiheisen beskrives det hvordan en maskin i bunnen av bakken får hele kabelen til å bevege seg, og at skiheisen er avhengig av maskinen for å skape bevegelse i kabelen. Fjellet beskriver funksjonen til en pumpe, at vannet får økt sin potensielle energi når det pumpes opp mot toppen av fjellet og hvordan denne energien kan utnyttes når vannet så renner nedover fjellsiden. Bowlingkulen beskriver hvordan gutten gjør et arbeid,

bowlingkulenes økte potensielle energi på toppen av renna, og hvordan bevegelsen gjennom systemet medfører en energioverføring. Betydningen av tyngdefeltet og masse blir også beskrevet.

Rørsystemet er alene om å bli klassifisert som "noen grad" i denne kategorien. Begrunnelsen for dette er at det i læreboken blir presentert informasjon om objektene og funksjonene i kildedomenet på ulike plasser i teksten. I en av margtekstene blir det beskrevet en mølle i rørsystemet, men den er ikke indikert i noen av de to illustrasjonene av kildedomenet. I fjellet beskriver de pumpen ved å beskrive det som den delen som frakter vannet til toppen av fjellet. I rørsystemet beskriver de pumpen som den delen som løfter vannmolekylene opp i tanken. Disse to beskrivelsene kan anses som relativt like, men det de omtaler som en tank i rørsystemet, omtalt som en beholder i illustrasjonen.

**Nivå av berikelse:** Ingen av analogiene i denne studien blir klassifisert som simple analogier, da ingen oppfyller kravet om at en simpel analogi kun skal være en stadfestelse om at kildedomenet er likt, eller kan bli sammenlignet med, måldomenet (Curtis & Reigeluth, 1984; Thiele et al., 1995). Videre har to analogier blitt kategorisert som beriket og to som utvidet. Skiheisen og bowlingkulemodellen klassifiseres begge som utvidede analogier på bakgrunn av at kildedomenet blir brukt for å forklare flere temaer. Skiheisen er først brukt for å kommunisere egenskaper til elektrisk strøm i en lukket krets, før den noen sider senere i læreboken blir brukt for å kommunisere egenskaper ved elektrisk spenning. Bowlingkulemodellen blir i heftet til Rossing (2005) brukt ved to anledninger hvor måldomenet ved første anledning er elektriske felt sin betydning for elektrisk strøm og ved andre anledning er egenskaper ved resistorer måldomenet.

Rørsystemet og fjellet klassifiseres som berikede analogier da de begge gjennomfører en forklaring og en form for kartlegging av relasjoner mellom kildedomenet og måldomenet. Begge analogiene brukes i hovedsak med spenning som måldomenet, og selv om de begge ved tilfeller beskriver relasjoner som kan brukes og kartlegges for å forklare andre begreper innenfor elektrisitetlære blir disse begrepene aldri eksplisitt nevnt som måldomener for analogien, og de blir derfor ikke tolket som måldomene. Hvordan disse analogiene best bør klassifiseres avhenger av i hvor stor grad man skal legge vekt på at det tydelig kommer frem hva som er innholdet i måldomenet til analogiene.

**Grad av abstraksjon:** Analysen av abstraksjon i analogiene ble gjennomført på bakgrunn av Orgill og Bodner (2006) og Thiele og Treagust (1994) sine kriterier for at et domene skal bli ansett som konkret.

Domenene i skiheisen blir klassifisert som konkret/abstrakt. Klassifiseringen av kildedomenet som konkret begrunnes med at en skiheis er et objekt man kan sanse. På bakgrunn av at analogien er hentet fra en norsk lærebok kunne det også vært rimelig å anse en skiheis som et objekt elever har en eller annen form for livserfaring med. Denne vurderingen ble derimot ikke brukt i klassifiseringen av kildedomenet da det også er rimelig å anta at ikke samtlige elever ved norske skoler har en livserfaring med en skiheis. Det kan for eksempel være minoritets elever, men også elever fra deler av Norge som i liten grad har snørike vintre. På bakgrunn av denne vurderingen ble kildedomenet klassifisert som konkret. Innholdet i kildedomenet er begreper og fenomener fra elektrisitetslære, og blir derfor klassifisert som abstrakt.

Domenene i rørsystemet blir klassifisert som abstrakt/abstrakt. Klassifiseringen av kildedomenet til rørsystemet ble gjort etter en lengre drøfting. Avgjørelsen om å klassifisere kildedomenet som abstrakt argumenteres med at et "to-dimensjonalt" illustrert rørsystem med en noe vag beskrivelse ikke vurderes som tilstrekkelig for at man rimelig kan anta at elever kan sanse objektet eller har livserfaring med det. Kildedomenet i rørsystemet og kildedomenet i fjellet er i sin utforming og funksjon rimelig lik, men der hvor fjellet faktisk bruker en illustrasjon av et fjell og en beskrivelse av at vannet blir pumpet opp til toppen av fjellet, har rørsystemet en kort beskrivelse av at pumpen løfter vannet opp i en tank, som i illustrasjonen er beskrevet som en beholder. I tillegg er det på samme side i læreboken en illustrasjon av et rørsystem uten en tank/beholder. Det blir derfor vurdert at rørsystemets fravær av en konkret og eksplisitt anvisning av høyde blir avgjørende for at kildedomenet blir vurdert som abstrakt. Likt som ved skiheisen og fjellet blir måldomenet i rørsystemet vurdert som abstrakt med tilsvarende begrunnelse.

Domenene i fjellet blir klassifisert som konkret/abstrakt. Kildedomenet i analogien beskrives og illustreres ved at vann blir pumpet opp til toppen av et fjell hvor det renner ned igjen. Det blir vurdert som rimelig å anta at elever har en livserfaring som tilsier at vann vil bevege seg nedover i tyngdefeltet når det har mulighet for det. I tillegg er de fleste deler av analogien noe som kan sanses. Det kan trekkes i tvil om noen elever enkelt kan sanse, eller har livserfaring

med, en pumpe og et rør som frakter vann opp til toppen av et fjell, likevel vurderes det som vesentlig at læreboken har inkludert et fjell i beskrivelsen av måldomenet. Da dette tilfører analogien en konkret indikasjon på at vannet skal løftes oppover, og dermed har mulighet til å renne nedover. Indikasjonen av en konkret høyde, i bruken av fjellet, er med andre ord avgjørende for at kildedomenet blir klassifisert som konkret. Innholdet i kildedomenet er begreper og fenomener fra elektrisitetlære, og blir derfor klassifisert som abstrakt.

I bowlingkulemodellen blir domenene klassifisert som konkret/abstrakt. Kildedomenet er noe man kan sanse, og det begrunnes med at det er en godt illustrert og beskrevet at bowlingkulene blir løftet opp, ruller bortover for så å falle fritt. Det blir også vurdert som rimelig å anta at elever har erfaring med at et objekt med masse som slippes fritt over bakken vil falle nedover, og at dette vil resultere i en lyd i det objektet treffer bakken. Den konkrete og eksplisitte høydeanvisningen blir her, som ved klassifiseringene av fjellet, avgjørende for at kildedomenet klassifiseres som konkret. Måldomenet blir klassifisert som abstrakt, med samme begrunnelse som de tre foregående analogiene.

**Indikasjon på begrensninger i analogiene:** Det kan ikke identifiseres noen indikasjon på begrensninger eller beskrivelser av ikke-delte relasjoner hos noen av de fire analogiene, og analysen av analogiene i denne studien stemmer i stor grad overens med funnene i studiene til Orgill og Bodner (2006) og Thiele og Treagust (1994), som begge fant svært få tilfeller hvor advarsler eller beskrivelser om analogiers begrensninger var presentert. I hvilken grad indikasjoner på begrensninger er nødvendig for de fire analogiene i denne studien blir drøftet nærmere i diskusjonsdelen, men for nå konkluderes det med at ingen indikasjon har blitt funnet ved noen anledning.

**Indikasjon på kognitiv strategi:** Det blir i klassifiseringen av de fire analogiene vurdert slik at ingen av dem gir en tilstrekkelig indikasjon på en kognitiv strategi. Denne vurderingen begrunnes med at Curtis og Reigeluth (1984), så vel som Thiele og Treagust (1994) og Orgill og Bodner (2006), slår fast i sin bruk av ACS ("Analogy Classification System") at begrepet analogi eller analogisk relasjon må brukes i indikasjonen på kognitiv strategi. Det er altså ikke ansett som fullverdig å bruke begreper som "sammenligne". Noe som kan forsvares med at det finnes flere ulike former for domenesammenligning (Gentner, 1983). Likevel blir det funnet viktig å påpeke at samtlige analogier i denne studien brukte fraser som "(...) vi kan *sammenligne* dette med (...), og det kan slik argumenteres for at alle analogiene indikerer en

kognitiv strategi ovenfor leseren ved å gjøre dem oppmerksomme på at innholdet i to ulike domener skal sammenlignes. Men som Gentner (1983) påpeker finnes det flere ulike former for domenesammenligning, og begrepet sammenligning kan slik sies å vilkårlig sikte til en av disse formene. Eksplisitt bruk av begrepet analogi blir derfor vektlagt når samtlige analogier får klassifiseringen "nei", på om de indikerer bruken av analogi som en kognitiv strategi.

### **5.1.6 Analyse av analogiene med TWA**

Studiens analogier vil her analyseres ut i fra de seks anbefalingene i TWA ("Teaching with analogies modell". Glynn, 1989). Analysen presenteres i en tabell, for å skape en mest mulig systematisk gjennomgang av analogiene opp mot TWA sine anbefalinger. De seks anbefalingene blir dermed presentert i tabeller, hvor hver tabell analyserer én anbefaling.

Tabell 5.1.2: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 1

### 1. Introduksjon av måldomenet

**Skiheisen:** Måldomenet til analogien er ved en anledning egenskaper ved elektrisk strøm i en sammenhengende krets, og ved en annen anledning elektrisk spenning. Når måldomenet er egenskaper ved elektrisk strøm kan det argumenteres for at måldomenet introduseres ved to anledninger. For det første starter analogien øyeblikkelig etter overskriften "*Strømmen i en sammenhengende krets*" (Ekeland et al., 2008, s. 109), og slik får man med en gang en formening om hva man skal lære. Videre blir det i teksten skrevet: "*Skiheiseksemplet kan lære oss noe viktig om elektrisk strøm.*" (s. 109), og det blir da vurdert slik at læreboken har presentert hva skiheisen skal brukes til, og at måldomenet dermed er introdusert.

Når måldomenet er elektrisk spenning introduseres det egentlig i overskriften til avsnittet hvor analogien blir brukt, der står det: "*Hva er elektrisk spenning?*" (s. 110), og måldomenet elektrisk spenning er da presentert for leseren.

**Rørsystemet:** I analysen av analogien opp mot TWA tar vi utgangspunkt i at måldomenet er elektrisk spenning, og det blir da vurdert at måldomenet blir presentert i overskriften, "*Spenningen til et batteri forteller noe om energien den kan levere*" (Hannisdal et al., 2007, s. 212) til den delen av boken som bruker analogien. I denne vurderingen legges det til grunn at det kun er elektrisk spenning som utgjør måldomenet, for som vi har beskrevet tidligere er det noe vanskelig å være helt sikker på hvilke begreper innenfor elektrisitetslære læreboken vil forklare ved å bruke Rørsystemet.

**Fjellet:** "*For å få en elektrisk strøm i en krets må vi ha en spenningskilde (eller strømkilde som vi også sier). Poenget med en spenningskilde er å få elektriske krefter som kan gjøre arbeid ved å frakte ladninger.*" (Jerstad et al., 2007, s. 239) I utdraget fra beskrivelsen av analogien i læreboken ser vi at måldomenet, spenningskilder, blir introdusert.

**Bowlingkulen:** Måldomenet til analogien blir introdusert i starten av analogien hvor det står: "*For å virkelig forstå hva det elektriske feltet betyr for ladningstransporten og den elektriske strømmen, (...).*" (Rossing, 2005, s. 39)



Tabell 5.1.3: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 2

**2. Påminning om kildedomenet:**

**Skiheisen:** I gjennom presentasjonen av analogien påminnes relevant informasjon om kildedomenet. Denne vurderingen begrunnes med utsagn som: "*Maskinen i bunnen av bakken trekker i kabelen og får hele kabelen til å bevege seg*" (Ekeland et al., 2008, s. 108)

**Rørsystemet:** Læreboken påminner leseren om at en pumpe har evnen til å løfte vann, og at det er vann som beveger seg inne i rørsystemet.

**Fjellet:** Relevant innhold i kildedomenet blir beskrevet. Læreboken påminner leserne om at funksjonen til pumpen og fjellet er å frakte vann opp og ned fjellsiden.

**Bowlingkulen:** I presentasjonen av analogien blir delene av den mekaniske modellen som utgjør måldomenet påminnet for leseren. Beskrivelser av relevante naturvitenskapelige fenomener som gjør seg gjeldene når bowlingkulene blir løftet opp i en renne av gutten på illustrasjonen, før de ruller, faller, ruller tilbake og på nytt blir løftet av gutten gir en god innføring av innholdet i kildedomenet.

Tabell 5.1.4: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 3

### 3. Identifisering av relevante objekter og funksjoner i domenenene:

**Skiheisen:** Læreboken oppgir nummererte punkter, hvor de relevante funksjonene ved skiheisen blir presentert, som et eksempel kan vi se på punkt nummer to: "*2 Hvis kabelen ble kuttet et eller annet sted, ville hele skiheisen stoppe med en gang.*" (Ekeland et al., 2008, s. 109). Med bakgrunn i de nummererte punktene vurderes det i analysen at læreboken beskriver relevante objekter og funksjoner fra begge domenenene.

**Rørsystemet:** Relevante objekter og funksjoner i de to domenenene blir identifisert ved flere anledninger. I brødteksten påpekes pumpens evne til å løfte vann opp i en tank, og at pumpen slik gir vannmolekylene mer energi. Lignende blir det beskrevet at et batteri har evnen til å "løfte" elektroner opp til den negative polen, og slik gi elektronene mer energi. Det blir i margtekst påpekt at vannmolekylene kan gi fra seg den økte stillingsenergien i en mølle, mens elektronene kan gi fra seg energi i en lyspære.

**Fjellet:** Læreboken beskriver hvordan det i kildedomenet er en pump som tilfører vannet potensiell energi ved å løfte det til toppen av fjellet, og hvordan vannets potensielle energi omformes på tur nedover fjellet. I måldomenet gjennomføres også en beskrivelse av relevante prosesser og funksjoner ved en elektrisk krets, for eksempel, skriver læreboken om hvordan kjemiske reaksjoner i et batteri tilfører ladninger høyere potensiell energi ved den ene polen enn den andre.

**Bowlingkulen:** I beskrivelsen av de to domenenene til analogien blir relevante objekter og relasjoner mellom dem indentifisert og forklart. Relasjonen mellom bowlingkulen og tyngdefeltet, samt hva som skjer når bowlingkulene ruller utenfor renna blir grundig beskrevet. Det samme gjelder for innholdet i måldomenet, hvor funksjonene og relasjonene mellom batteriet, ladningene, det elektriske feltet og lyspæren blir indikert og forklart.

Tabell 5.1.5: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 4

#### 4. Kartlegging av likheter mellom domenene

**Skiheisen:** Ved tilfellet hvor læreboken bruker analogien med egenskaper for elektrisk strøm i en sammenhengende krets som måldomenet fremgår en strukturert kartlegging. Læreboken trekker frem to egenskaper ved en skiheis, og presenterer dem i en nummerert liste. Videre skriver de eksplisitt at *"disse eksemplene fra skiheisen gjelder også i en strømkrets:"* (Ekeland et al., 2008, s. 108), og presenterer så en ny nummerert liste hvor nummerering og innholdet viser delte relasjoner mellom domenene. Når analogien blir brukt med elektrisk spenning som måldomenet er det derimot vanskeligere å identifisere noe konkret kartlegging. Objektrelasjoner som kan sammenlignes blir presentert ved en beskrivelse av hvordan heismotoren får kabelen til å bevege seg, og spenning får en strøm til å gå i kretsen, men det blir aldri fremstilt noen eksplisitt kartlegging. Det blir derfor vurdert slik at en kartlegging av objektrelasjoner mellom skiheisemotoren og elektrisk spenning i stor grad blir overlatt til leseren.

**Rørsystemet:** Det blir vurdert at kartlegging av relevante objektrelasjoner i analogien blir gjennomført ved ulike steder. Læreboken ser ut til å ha valgt en form hvor relevante funksjoner ved domene blir presentert, for så å bli kartlagt. *"Akkurat som det er en pumpe som løfter vannmolekylene, er det batteriet som "løfter" elektronene opp til den negative polen."* (Hannisdal et al., 2007, s. 212), i utdraget fra læreboken identifiseres objektrelasjoner mellom pumpen og vannmolekylene og batteriet og elektroner. Læreboken fortsetter så med å kartlegge den delte relasjonen mellom domenene: *"Det er pumpe som gir vannmolekylene mer energi, og det er batteriet som gir elektronene mer energi"* (s. 212).

Det blir med andre ord vurdert at læreboken gjennomfører kartlegging av relevante relasjoner mellom domene, men at en eksplisitt fremstilling ved diagram, figur, liste eller lignende er fraværende.

Tabell 5.1.6: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 4 fortsetter

*TWA anbefaling 4 fortsetter:*

**Fjellet:** I bildeteksten til illustrasjonene, plassert i margen, gjennomfører læreboken en kartlegging av de objektrelasjoner som den ønsker å kommunisere til leseren gjennom analogien:

*Både ladninger og vann blir her pumpet opp til høyere potensiell energi. I de to "kretsene" renner ladningene og vannet ned igjen, og strømmen kan utnyttes til arbeid. I batteriet tapper vi kjemisk energi. Helt tilsvarende må vi tilføre vannpumpa energi for å hold vannstrømmen i gang. (Jerstad et al., 2007, s. 240)*

Likevel vil vi påpeke at denne kartleggingen ikke fremstår like eksplisitt som kartleggingen av skiheisen i Tellus 9 (Ekeland et al., 2008). Dette begrunnes med at Tellus 9 bruker en nummerert liste for å markere nøyaktig hvilke relasjoner som sammenlignes og overføres mellom de to domenene. RST (Jerstad et al., 2007) bruker derimot ingen form for figur, tabell eller nummerering som konkretiserer nøyaktig hvilke relasjoner som kan overføres mellom domenene.

**Bowlingkulen:** I kildedomenet kartlegges det at bowlingkulene må ha en masse og bli påvirket av tyngdefeltet for at energi skal kunne transporteres og frigjøres. Dette blir presentert i to strekpunkter rette etter beskrivelsen av kildedomenet. Likt blir det for måldomenet presentert to strekpunkter etter beskrivelsen av innholdet. Her kommer det frem at en elektrisk krets både må ha elektroner med ladning og et elektrisk felt for at energi skal kunne transporteres og frigjøres. Det blir med bakgrunn i dette vurdert at relevante objektrelasjoner i begge domene blir kartlagt. Igjen blir ikke kartleggingen markert ved bruken av diagram, tabeller, nummerert liste eller lignende. De blir derimot markert ved bruken av strekpunkter noe som i analysen blir vurdert som en mer konkret kartlegging enn en beskrivelse i løpende tekst.

Tabell 5.1.7: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 5

<b>5. Indiker hvor analogien mellom domenene bryter sammen</b>
<b>Samtlige analogier i studien:</b> Det fremgår aldri noen klar indikasjon, informasjon eller advarsel om begrensninger i analogiene, ei noen informasjon om ikke-delte relasjoner eller hvor de analogiske relasjoner bryter sammen.

Tabell 5.1.8: TWA ("Teaching with Analogies Model") anbefaling nr. 6

<b>6. Trekk konklusjon om funksjoner, prosesser og/eller systemer i måldomenet</b>
<b>Skiheisen:</b> Det blir trukket en konklusjon for måldomenene hver anledning analogien blir brukt. Konklusjonen for det første måldomenet: <i>"Strømmen er den samme overalt i en sammenhengende krets. Når strømmen brytes, blir strømmen borte i hele kretsen"</i> (Ekeland et al., 2008, s. 109), og konklusjonen for det andre måldomenet: <i>"Spenningen driver strømmen gjennom kretsen. Hvis spenningen blir borte, blir strømmen borte."</i> (Ekeland et al., 2008, s. 110).
<b>Rørsystemet:</b> Læreboken trekker en konklusjon om begrepet spenning når de skriver: <i>"Spenningen til et batteri forteller noe om hvor mye elektrisk energi elektronene blir tilført i batteriet. Vi kaller energikilden i en elektrisk krets for en spenningskilde. Et batteri er altså en spenningskilde"</i> (Hannisdal et al., 2007, s. 212).
<b>Fjellet:</b> Det blir ikke identifisert noe konkret konklusjon om måldomenet.
<b>Bowlingkulen:</b> Det fremgår en konklusjon om måldomenet: <i>"Vi kan altså slå fast av vi både må ha et elektrisk felt og elektroner med ladning for at elektrisk energi skal kunne transporteres og frigjøres."</i> (Rossing, 2005, s. 40). I tillegg følger det en konklusjon om delte relasjoner som ikke er kartlagt: <i>"Vi skjønner også at strømmen av partikler i begge ledningene er den samme, dvs, strømmen brukes ikke opp i lyspæra. På samme måte som kulene ikke forsvinner selv om de faller fra den øvre til den nedre renna."</i> (s. 40)

## 5.2 Elevers oppfattelse av analogiene

I dette delkapittelet legges analysen av resultatene fra elevintervjuene frem. Begrunnelsen for at resultatene blir presentert fortløpende med analysen er at de blir ansett som uløselige fra den. Et kapittel med resultater og et påfølgende kapittel med analyse blir sett på som uhensiktsmessig, for både leser og forfatter. På bakgrunn av dette blir utdrag fra elevintervjuene og tolkninger av disse presentert i dette kapittelet. Kapittelet er delt inn i fem deler:

- Elevers forståelse av elektrisitet
- Analogi 1 – Skiheisen
- Analogi 2 – Rørsystemet
- Analogi 3 – Fjellet
- Analogi 4 – Bowlingkulen

Delen "elevers forståelse av elektrisitet" er en analyse av data som bidrar med informasjon om elevenes faglige ståsted innenfor elektrisitetslære. Elevenes kunnskapsnivå knyttet til elektrisitet danner et grunnlag for hva man kan forvente at de identifiserer av ulike relasjoner i analogiene. Man kan, for eksempel, ikke forvente at en grunnskoleelev er i stand til å identifisere relasjoner og reflektere over innholdet i de ulike analogiene i samme grad som en fysiker, for som Coll et al. (2005) skriver er det forskjell på hva en novise og en ekspert får ut av informasjon hos analogier. Dette blir spesielt aktuelt i den delen hvor elevene samtaler om bowlingkulen. Da denne analogien er hentet fra et kurshefte for lærere, og det faglige nivået er høyere enn hva man kan forvente fra 10.trinns elever.

I presentasjonen av dialoger fra intervjuene er det brukt pseudonym for elevene for å bevare deres anonymitet. Intervjuer er gjengitt ved korrekt fornavn, Erik. Dialoger som blir gjengitt med kulepunkt er hentet fra forskjellige steder i datamaterialet, mens dialoger uten kulepunkter kommer i den rekkefølgen de ble sagt i intervjuene.

### 5.2.1: Elevenes forståelse av elektrisitet

Selv om elevene som deltok i intervjuet var vurdert med middels til sterk måloppnåelse i naturfag så var det generelt sett en ganske elementær og unyansert forståelse av elektrisitetens læring. Denne kan bunne i at naturfag er et bredt fagfelt med stort innhold, for som Trond sier:

*Trond: "Jeg er ikke så god på elektrisitet da ... jeg fikk tre på prøve husker jeg."*

Elektrisk spenning ble stort sett omtalt som det som får strøm til å gå, men noen koblet det opp mot energi:

*Syver: "æhh ... det har vel noe med potensiell energi å gjøre (...) forskjell på noe vis."*

Elektrisk strøm var jevnt over litt mer konkret for elevene, og samtlige elever så ut til å ha kunnskap om at elektrisk strøm var bevegelse av elektroner. Ved siden av dette snakket noen elever om hvordan Norge utnyttet vannkraft for å produsere elektrisk strøm, og noen elever kom med en ganske god beskrivelse av hvordan et vannkraftverk fungerer. Generelt kan vi si at de fleste elevene utviste mer kunnskap om elektrisitet utover i intervjuet. Det kan være på grunn av at de ble mer komfortabel og pratsom etter hvert som samtalen utviklet seg, men trolig fikk de også noe kunnskap fra analogiene.

### 5.2.2: Analogi 1 - Skiheisen

Datamaterialet fra samtalene om skiheisen tyder på at denne analogien kommuniserer relasjonen mellom skiheisens bevegelse og bevegelsen til elektrisk strøm slik at det oppfattes som relativt forståelig for elevene. I tillegg sammenligner de fleste motoren i heishuset med batteriet i en elektrisk krets, men utfordringer oppstår når elevene forsøker å identifisere objektrelasjoner mellom skiheisen og elektrisk spenning. Gjennomgående for skiheisanalogien var det at relasjon mellom kildedomenet og elektrisk strøm var enklest, for elevene, å identifisere, forstå og forklare. Denne dialogen fra et av elevintervjuene er representativt:

*Erik: Hva tenker dere om denne skiheisen for å forklare forskjellige egenskaper ved elektrisitet?*

*Hans: "Det forklarer jo bevegelsen til strøm ganske bra."*

*Erik: "Hvordan da tenker du?"*

*Hans: "Nei, det følger jo bevegelsen ganske bra med at de stolheisene går likt. Altså hvis du ser for deg klinkekuler i et rør så vil de ramle ut med en gang du presser inn en ny. Det skjer samtidig."*

*Erik: "Og det ser dere i sammenheng med det som skjer inne i ledningene til en elektrisk krets, eller?"*

*Magne: "Ja, for elektronene flytter seg, og da blir de puffet bort på samme måte som når du setter inn en klinkekule. Så faller det ut en på andre enden."*

*Erik: " Ok. Hvordan vil dere forklare det med utgangspunkt i skiheisen?"*

*Magne: "Hvis du får skiheisen til å flytte på seg, så flytter ... eller den stolen der da vil flytte på seg bortover, og siden den er bunnet fast til hele nettverket så vil da alt flytte på seg i samme retning med like stor hastighet. Og like stor akselerasjon."*

Her forklarer Hans og Magne en relasjon mellom skiheisen og elektrisk strøm, og hvordan alle heistolene i skiheisen vil bevege seg samtidig med samme hastighet. Denne dialogen er, som tidligere nevnt, representativ for hvordan elevene fra de ulike intervjuene ganske enkelt greide å kommunisere relasjonen mellom bevegelsen til skiheisen og elektrisk strøm. En liten, litt artig, kuriositet er det at Hans ubevisst velger å forklare deler av en analogi med en annen analogi når han bruker klinkekuler i et rør for å beskrive bevegelsen til elektroner i en elektrisk leder. Det må vel sies å bidra til en påstand om at det ligger naturlig for oss mennesker å forklare ved hjelp av analogier.

Selv om det gjennomgående gikk fint for de fleste elevene å kommunisere og forklare en relasjon mellom skiheisen og elektrisk strøm, ble det tydelig vanskeligere når samtalen i intervjuene ble dreid over til spenningsbegrepet. 5 av 6 elevintervju påpekte at motoren i heishuset måtte representere batteriet i en elektrisk krets, og dermed ha funksjonen som spenningskilde i skiheisen.

*Erik: "(...) Bra. Sett bort fra bevegelse og elektrisk strøm er det noe annet denne skiheisen kan kommunisere om elektrisitet?"*

*Yngve: "Det er vel det der som er batteriet da sikkert."*

*Erik: "Det der? Da sikter du til?"*



*Yngve: "Det er vel sikkert en motor inni her."*

*Erik: "Inne i heishuset her?"*

*Yngve: "Ja, eller noe som drar i rundt. Så da mener de sikkert at det der er batteriet. Som sender strøm i en jevn fart til dit det skal."*

Inne i heishuset må det være en motor som drar skiheisen i rundt, mener Yngve. Dette setter Yngve i sammenheng med batteriet som sender strøm gjennom en krets. Selv om denne forklaringen er noe ufullstendig tyder det på at Yngve har en formening om at det er en relasjon mellom motoren og batteriet ved at de begge bidrar til at noe skjer i sine respektive systemer. Forklaringen til Yngve er ganske representativ for hvordan de fleste av informantparene beskrev at motoren kan relateres til et batteri i en elektrisk krets, og få elever kom opp med en mer utdypende beskrivelse eller forklaring. Det kan tolkes dit hen at objektrelasjoner mellom kildedomenet og elektrisk spenning var utfordrende for elevene å identifisere. Ett av intervjuparene prøvde seg derimot på en mer fyldig forklaring av hvorfor de anser motoren som en analogisk representasjon av batteriet. Etter en kort samtale om hva som kan representere et batteri i skiheisen kom denne forklaringen fra Marianne og Laila:

*Laila: "Det er på en måte motoren i bunnen av heisen, som får heisen til å gå rundt."*

*Marianne: "Og det er liksom spenningen, eller det samme som batteriet i en strømkrets."*

*Laila: "Ja, fordi at i en strømkrets så er det batteriet som får elektronene til å gå rundt. Også hvis motoren i skiheisen har stoppet. Så hadde jo ikke heisen gått rundt, og da hadde ikke heisen kommet seg fremover. Da hadde den bare stått helt i ro, og det samme hvis batteriet hadde stoppet å fungere. Så hadde jo ikke elektronene klart å bevege seg rundt. Så det er jo nødvendig for å skape bevegelse."*

I denne dialogen mellom de to elevene kommer de med en påstand og en forklaring på hvordan motoren kan representere batteriet i kretsen. Relasjonen de har identifisert innebærer at bevegelsen av stolene i skiheisen vil stoppe opp uten motoren, slik som bevegelsen av elektroner i en elektrisk krets vil stoppe opp ute batteriet. Dette tyder på at de to elevene har identifisert en objektrelasjon som tilsier at bevegelse i skiheisen og den elektriske kretsen avhenger av en drivende kraft på sine systemer.

Relasjonen mellom motoren i skiheisen og en spenningskilde i en elektrisk krets ble vanskelig for elevene å reflektere over i utstrakt grad. I stedet var det flere eksempler på at elevene problematiserte relasjonen mellom dem. Hans og Magen påpekte utfordringene som de problematiserte.

*Hans: "De kunne jo kanskje vist at det kommer strøm inn fra en annen plass da ... eller, nei jeg vet ikke."*

*Erik: "Jo, men fortsett med den tanken der. Utdyp."*

*Hans: "Fordi at motoren må jo ha energi for å fungere den og. Samme som med alle andre ting her i verden. Så det kan jo hende at strømmen er lagt under bakken også. For alt jeg vet. Batteriet har jo noe batterisyre, eller noe greier inni seg ... men jeg vet ikke."*

*Erik: "Så du syns på en måte at det er litt dumt at de ikke viser at motoren, som en "spenningskilde" må ha noen form for energi?"*

*Hans: "Ja. Altså i forhold til elektroner og slik som det der så er den skiheisen ganske bra, men i forhold til logisk tenkning over motoren i en skiheis så burde det kanskje vært en form for strømtilførsel ja, slik som batteriet har batterisyre, som gir elektronene energi, eller noe sånt."*

Uttalelsene til Hans tyder på at han støter på en konflikt i sin tenking fordi det ikke er angitt noen form for energitilførsel hos motoren. Ett batteri inneholder potensiell kjemisk energi som omformes til elektrisk energi, og en differanse i potensiale mellom to punkter er med og skaper elektrisk strøm. Hva så med motoren i skiheisen. Den skaper bevegelsesenergi i heiskablene, men hvor tar den energien fra. Laila og Marianne påpekte en relasjon om drivende kraft mellom motoren i skiheisen og batteriet i en elektrisk krets, og hvis de stopper vil bevegelsen i systemene stoppe. På sin egen måte påpeker Hans her noe han ser på som et brudd i relasjon mellom motoren og batteriet, ved at det motoren ikke har noen form for energitilførsel.

Antagelsen om at skiheismotoren skal representere et batteri i analogien er noe de fleste elevgruppene kommer frem til i sine drøftinger og refleksjoner. Dette vises med uttalelser som:

- *Robert: "Ja, det er vel vognene som er, på en måte strømmen. Altså de forestiller elektroner på en måte, som drar rundt i kretsen."*

*Stein:* "Ja, og selve motoren som er selve spenningen, og drar heisen i rundt."

- *Erik:* "Når dere ser på illustrasjonen og tenker på det dere har lest. Har dere noe inntrykk om det er noen del av skiheisen som kan representere spenningskilden til den elektriske kretsen?"

*Anna:* "Med spenningskilde mener du batteriet?"

*Erik:* "Ja, batteriet."

*Sara:* "Det der."

*Erik:* "Heishuset mener du?"

*Sara:* "Ja, jeg vet ikke helt hva det heter, men noe drar heisen rundt."

Utdrag fra intervjuene viser altså, som tidligere nevnt, at 5 av 6 intervjuapar mente skiheismotoren representerer en spenningskilde. Det siste intervjuparet hadde derimot en annen interessant tolkning av spenningsbegrepet i skiheisanalogien.

*Erik:* "Hva med elektrisk spenning. Ser dere noe som kan relateres til det begrepet i skiheisen?"

*Trond:* "Hvis det er en motor inni her da, og motoren er batteriet i kretsen."

*Erik:* "Du tenker at det er en motor inne i heishuset?"

*Trond:* "Ja, så leder motoren strøm til en pol ... jeg er usikker."

*Syver:* "Det går jo å tenke at folkene liksom er elektroner da."

*Erik:* "Ok."

*Syver:* "Også drar den elektronene i en retning. Jeg vet ikke jeg, men de får jo høyere energi når folkene er på toppen enn når folkene er på bunnen."

*Erik:* "Folkene får det?"

*Syver:* "Ja, nettopp. Men jeg vet ikke helt."

*Erik:* "Nei, men hvis vi henger oss litt opp i det her da, at folk får høyere energi på toppen. Hva mener du med det? Utdyp."

*Syver:* "Altså, når de står på bakketoppen så er de jo høyere ... hva heter det ... elevasjonskraft ... hva heter det, jeg vet ikke ... stillingsenergi var det!"

*Trond:* "Det har vi jo hatt om."

*Syver:* Ja, så de har høyere stillingsenergi når de er på toppen enn når de er her på bunnen, og batteriet kan liksom være heisen da. Som gir dem stillingsenergi når de er på toppen.

*Trond: "Oi"*

*Erik: "Ok, så heisen representerer batteriet, og tauer folk opp på toppen av bakken?"*

*Syver: "Ja! Også motoren er det som driver det da."*

*Erik: "Ja, så hele skiheissystemet kan sees på som en spenningskilde som øker energipotensialet til folkene da?"*

*Syver: "Mhm, slik som ett batteri øker energipotensialet til elektronene."*

Utdraget over tyder på at Syver og Trond ender opp med å ikke være fornøyd med en forklaring hvor skiheismotoren kan representere et batteri fordi det "drar noe rundt" eller "får noe til å skje". De søker å finne en relasjon hvor skiheisen på lik linje med batteriet skaper en differanse i energipotensiale mellom to punkt. Dette gjør de ved å se for seg at en personene som bruker skiheisen får økt stillingsenergi når de kommer på toppen av bakken. Refleksjonene til Syver og Trond er av interesse da de peker på en mulig relasjon mellom skiheisen og batteriet som spenningskilde. Når en person blir "heist" opp til toppen av bakken øker, som Syver påpeker, stillingsenergi i takt med den potensielle fallhøyden ned til bunnen av bakken, og aktiverer samtidig muligheten for at personen kan sette utenfor bakken og transformere stillingsenergien til bevegelsesenergi. Dette kan relateres til differansen i potensiell energi som oppstår mellom to punkter når et batteri kobles til en elektrisk krets. Siden spenningen oppstår med batteri som spenningskilde er det en elektromotoriskspenning, altså en drivende spenning som får strømmen til å gå gjennom kretsen. På samme måte er det heisen sitt arbeid på personen som gjør det mulig for personen og sette utfor bakken. Denne potensielle relasjonen som Syver og Trond oppdager i skiheisanalogien er meget interessant, og en smule underholdende, men de oppdager etter hvert noen utfordringer.

*Erik: "Hva skjer med energien da?"*

*Syver: "De bruker den når de kjører ned bakken, og da kan man jo si at det er friksjon da når de kjører ned bakken. Og det er på den måten at energien blir brukt da. Vet ikke om det blir riktig ... de kan jo like gjerne falle ..."*

*Trond: "Ja, og da er det lyspæren i vårt tilfelle."*

*Syver: "Ja, eller jeg vet ikke jeg. De kan jo kanskje kjøre inn i en snøfonn da. Og det er da på en måte motstanden i kretsen."*

I en elektrisk krets vil det være et spenningsfall som resultat av kretsens resistans. Det kan virke som Syver og Trond har et behov for å kunne relatere resistansen som lyspæren yter i kretsen over på noe i skiheisanalogien. Forslag som varierer fra friksjon, via fall i nedkjøringen til krasj med en snøfonn i bakken tyder på at de sliter litt med å fullføre sin kartlegging av skiheisanalogien, fordi de finner det vanskelig å finne en god relasjon mellom skiheisen og lyspæren i kretsen.

### 5.2.3: Analogi 2 – Rørsystemet

Samtalene rundt rørsystemet ga et inntrykk av at elevene opplevde fremstillingen som litt uoversiktlig.

*Laila: " (...) for det der er jo en pumpe, er det ikke?"*

Laila sitt spørsmål om illustrasjonen til vannstrømanalogien i Eureka viste seg å bli et standardspørsmål som gjentok seg i samtlige intervju. Av de tre analogiene som ble behandlet i intervjuene var det ved vannstrømanalogien elevene brukte lengst tid på å komme i gang med sine analyser. Fra starten ble de opptatt av utformingen til illustrasjonene, og kom med spørsmål som:

- *Marte: "Men jeg vet egentlig ikke hva det der er? Er det der en turbin eller? Eller hva er det? Og hvilken vannpumpe er det der egentlig?"*
- *Magne: "Ser ut som en vifte, men jeg er ikke sikker på om det er det det skal være da?"*  
*Hans: "Turbin?"*  
*Magne: "Resistans av noe?"*
- *Marianne: "Sånn som der da. Det ser ut som at den skal være en ..."*  
*Laila: "En mølle kanskje?"*  
*Marianne: Ja, eller en generator eller noe ..."*  
*Erik: "Vi kan velge å kalle den komponenten for en mølle, for å ha et felles navn på den."*

Disse utdragene viser at flere av elevene hengte seg opp i utformingen av illustrasjonen, og rørsystemet sine komponenter. Spesielt den komponenten vi kaller mølle ble en

gjennomgående faktor i samtalen rundt vannstrømanalogien i rørsystemet. Selv om det ble en stopp for å klargjøre at komponenten kan bli tenkt på som en mølle ble det aldri en faktor som hindret den videre fremdriften i intervjuene, og fokuset ble dreid over på eventuelle relasjoner mellom den elektriske kretsen og rørsystemet.

Elevene ble utfordret på om de kunne finne en relasjon mellom deler i kildedomenet og måldomenet av analogien, som kunne settes i sammenheng med spenningsbegrepet. For mange av elevene var spenningsbegrepet gjennomgående vanskelig å reflektere rundt, men de fleste identifiserte en slags relasjon mellom pumpen og batteriet. Nedenfor følger et utdrag fra intervjuet med Anna og Sara, hvor Anna prøver å sette ord på relasjonen mellom pumpen og batteriet.

*Erik: "Hva tror dere spenningskilden er i rørsystemet da?"*

*Anna: "Pumpen"*

*Erik: "Pumpen, hvorfor det?"*

*Anna: " Fordi den pumper ut vannet, som fungerer likt som elektroner."*

*Erik: "Hva fungerer likt som elektroner?"*

*Anna: "Vannet."*

*Erik: "Fordi?"*

*Anna: "Det reiser i en retning."*

Sammenhengen mellom batteriet i den elektriske kretsen og pumpen i rørsystemet er noe av det første som blir kommentert som en relasjon av Anna og Sara. Anna begrunner relasjonen med at vannet fungerer likt som elektronene med tanke på bevegelsesmønster. Hvor det reiser fra punkt A til punkt B som en direkte konsekvens av pumpen, og slik blir den satt i sammenheng med batteriet. Strømmen av elektroner i en krets er et resultat av en differanse i energipotensiale mellom to punkt, og relasjonen som Anna påpeker med at pumpen setter bevegelse i vannet slik som batteriet skaper forutsetningen for bevegelsen av elektroner er, om noe unøyaktig, en interessant relasjon mellom rørsystemet og den elektriske kretsen. Denne potensielle relasjonen blir av andre elever satt på prøve, for eksempel av Syver og Trond, som har problemer med å se en god relasjon mellom pumpen og batteriet.

*Erik: "Så hvis dere skal isolere dette da. Ser dere noen klar relasjon mellom pumpen og batteriet i rørsystemet?"*

*Syver: "Hvor hardt pumpen klarer å pumpe vannet, eller hvor fort. Nei, ikke hvor fort da."*

*Trond: "Nei."*

*Syver: "Men jo. Altså amperen blir jo da hvor mye vann som er i ledningen eller i rørsystemet da."*

*Erik: "Og spenningen da?"*

*Trond: " Nei, det er jo det som blir litt vanskelig da."*

*Syver: "Jeg synes det er vanskelig selv jeg. Pumper pumpen hardere blir det jo større hastighet på vannet, men det er jo ikke det som er spenningen. Så hvordan kan da pumpen være spenningskilden?"*

Syver og Trond har en liten kognitiv konflikt på gang i sin utforskning av potensiell relasjon mellom pumpen og batteriet som spenningskilde. utfordringen ligger i at de har identifisert spenning i en elektrisk krets som en prosess inne i batteriet, men de blir ikke helt enig med seg selv om denne prosessen kan sees i sammenheng med pumpen sitt arbeide på vannet i rørsystemet.

*Syver: "Det er kanskje en elevasjonsforskjell som skulle blitt brukt, og ikke nødvendigvis en pumpe. For da er det jo hvor høyt den ene. Hvor høyt startpunktet og hvor lavt sluttpunktet er som tilsier hvor mange volt det tilsvarer, og ikke pumpen sin styrke på en måte.*

*Erik: "Ok, men hvordan gir det mening med tanke på en elektrisk krets da? Det er jo ikke nødvendigvis noe høyde i en elektrisk krets."*

*Syver: "Nei, men det blir jo mer riktig fordi at det ... altså startpunktet og sluttpunktet har jo med volt å gjøre. Ikke nødvendigvis hvor sterk pumpen er, for at jo høyere det starter og lavere det slutter jo mer volt er det, og det føler jeg gir mer mening enn, for det er liksom ... "*

*Trond: "enn å sammenligne med et rørsystem"*

*Syver: "Ja, for at ... egentlig er jo hvor mange volt det er hvor langt polene er fra hverandre i elektrisk ladning, og da er det jo hvor høyt startpunktet og sluttpunktet er fra hverandre som gir mening for meg da. I en sann rørsystemanalogi."*

Syver viser at han har noe kunnskap om elektrisk spenning, og at det er avhengig av en differanse i energipotensiale. Det fører til at han sliter med å finne en god relasjon mellom pumpen og batteriet i rørsystemanalogien. Da det er et fravær av en tydelig høydeforskjell som kan skape differanse i mekanisk energipotensiale mellom to punkt i rørsystemet, slik som de kjemiske prosessene skaper en potensialforskjell mellom to punkt i batteriet.

Bakgrunnen for Syver sin utfordring er mangelen på høydeindikasjon i rørsystemillustrasjonen. Syver blir så konfrontert med at høydeforskjell blir angitt som en faktor til rørsystemet i tekstdelen til analogien: "*Spenningen til et batteri kan vi sammenligne med hvor høyt en pumpe er i stand til å løfte vann*" (Hannisdal et al., 2007, s. 212).

*Syver: "Greien er jo at det er jo ikke noe fallenergi for at ... for hele greien er jo fylt med vann. Så vannet vil jo aldri falle noen plasser. Det vil bare bli dratt gjennom i en slags resirkulerbar runde ... runddans."*

*Erik: "Men har dere sett den illustrasjonen her da? Denne har jo en beholder."*

*Trond: "Jo, men du kan jo ikke bruke to illustrasjoner for å forklare én. Eller kan du?"*

*Syver: "Nei, det blir jo rart. Men den har jo en beholder da, så da blir det jo kanskje mer riktig. Men hva blir den beholderen i forhold til den kretsen da? At turbinen er pæra, og bruker energi, er jo greit, men ... hva med beholderen?"*

Syver kontrer informasjonen om at det finnes en høydeanvisning i den tekstlige delen av analogien med at rørsystemet er fylt med vann, og at en eventuell høydeforskjell da blir uten betydning. Når det blir påpekt at det finnes to illustrasjoner, hvor den ene potensielt kan brukes for å vise betydningen av høydeforskjell setter både Syver og Trond seg på bakbenene. Selv om de ser at den ene av illustrasjonene kan brukes som en modell med hensyn til høydeforskjell, og slik konkretisere en relasjon mellom pumpen og batteriet som spenningskilde, blir to illustrasjoner som representasjon for kildedomenet i analogien en utfordring for dem.

Energiprinsippet fra Newtonsk mekanikk er en av de grunnleggende kunnskapene i kildedomenet, og det kan se ut som Syver og Trond bruker kunnskaper om mekanisk energi i sitt forsøk på å kartlegge relasjoner mellom kildedomenet og måldomenet i rørsystemanalogien, men de får det ikke helt til å stemme. Noe av den samme problematikken



med pumpen sin rolle sett opp mot batteriet finner vi i dette utdraget fra intervjuet med Robert og Stein.

*Robert: "Jeg ser for meg at pumpen pumper opp sånn"*

*Erik: "Du ser for deg at vannet går oppover slik at rørsystemet har en høyde?"*

*Robert: "mhm."*

*Stein: "Ja."*

*Robert: "Sånn at pumpen presser vannet opp, og så faller det bare ned på turbinen på en måte, men ... "*

*Erik: "Så det er viktig at rørsystemet har en høyde?"*

*Robert: "Ikke egentlig. Når man har en pumpe. Den kan jo bare ligge flatt, og pumpe rundt og rundt."*

Robert og Stein er ikke like konkret i sin forklaring av hva de tenker som Syver og Trond, men de trekker også inn muligheten for at høyde kan ha betydning. Pumpen kan løfte vannet opp i høyden, og så kan gravitasjonskraften gjøre jobben med å få det ned igjen. Denne tanken til Robert kan brukes til å finne relasjonen mellom batteriet og pumpen, for som tidligere beskrevet kan begge skape en differanse i energipotensiale mellom to punkt. Robert og Stein, derimot, kommer ikke frem til denne potensielle relasjonen på grunn av, som Robert sier: "Den kan jo bare ligge flatt, og pumpe rundt og rundt." Denne uttalelsen kan tolkes slik at pumpen strengt tatt ikke trenger å løfte vannet for å skape noen differanse i energipotensiale mellom to punkter, for den vil kunne skape bevegelse i vannet uansett.

En stor del av samtalene om rørsystemet omhandlet selve presentasjonen og utformingen av illustrasjonene og elektrisk spenning, men de fleste elevparene samtalte litt rundt rørsystemet og elektrisk strøm. I de fleste av disse samtalene ser det ut til at elevene forstår den analogiske relasjonen mellom vannets bevegelse og ladningenes bevegelse, men Marianne og Laila støter på en utfordring:

*Erik: Ok, men hvilken effekt har møllen på vannet, og elektronene på lyspæren da?*

*Marianne: Æh ... det stopper opp på en måte. Det tar energi da.*

*Erik: Tar energi?*

*Mariann og Laila: Ja*

*Erik: "Stopper opp" så dere. Hva tenker dere på da?*

*Laila: Eller det omdanner energi. Gjør det ikke? Sånn i lyspæren, så vil jo energien i elektronene bli omdannet til lys.*

*Marianne: Ja, og varme.*

*Laila: Og så møllen.*

*Marianne: Så blir det omgjort til sånn bevegelsesenergi da ... eller det er jo allerede bevegelsesenergi da, men på en annen måte. Som kan bli omgjort til strømenergi senere siden energi går jo aldri bort liksom.*

*Erik: Ja, men du sa "stoppet opp". Hva mente du med det?*

*Marianne: Jo, for ... nei, fordi når energien til vannet da kommer til møllen så vil jo på en måte farten til vannet som er bevegelsesenergien til vannet.*

*Laila: Senke*

*Marianne: På en måte avta fra selve vannet fordi det går over i energien i møllen, og derfor stopper det jo på en måte vannet mer da.*

*Erik: Skjer det samme i kretsen også?*

*Laila: æh ...*

*Marianne: æh ... Ja, tror det. Det er jo i alle fall slik at et batteri går jo tomt og. Så vi bruker jo til slutt opp energien i batteriene fordi du har gjort det om til annen energi.*

*Erik: Ja, men vil elektronene da gå treigere før eller etter lyspæren?*

*Marianne: æh ... Jeg vet ikke, sånn hvis det er ut i fra dette eksemplet med vann i et rørsystem så føler jeg det burde gjort det, men jeg tror egentlig ikke det.*

I dette ganske lange utdraget fra ett av intervjuene ser vi at Marianne og Laila får utfordringer med den analogiske relasjonen mellom bevegelse av vann i rørsystemet og ladninger i en elektrisk krets. Dette går først og fremst på en mening de har om at vannet vil gå saktere etter å ha passert møllen fordi det har avgitt energi, men som Marianne påpeker helt til slutt i sekvensen får hun ikke dette helt til å stemme. Selv om hun "føler" at elektronene burde gått saktere etter lyspæren ut fra hvordan hun mener vannet vil bevege seg i rørsystemet.

#### **5.2.4: Analogi 3 – Fjellet**

Resultater fra datamaterialet viser at elevene jevnt over har hatt større utfordringer med å snakke om og identifisere relasjoner mellom kildedomenet og måldomenet i analogiene med

tanke på spenningsbegrepet fremfor elektrisk strøm og resistans. I samtalene rundt analogi 3 forandrer denne trenden seg, og det blir tydelig flere tolkninger av hvilke deler av analogien som kan relateres til spenningsbegrepet.

*Hans: "Motstand kan jo være veien fra pumpen, og opp til vannet der."*

*Magne: "Også er vannet elektroner."*

*Hans: "Ja ... Også batteriet kan vel være den pumpen her da ... eller den dammen?"*

*Erik: "Dammen er batteriet. Hvordan det?"*

*Magne: "Det er kilden av elektroner på en måte."*

*Erik: "(...). Hva med pumpen da?"*

*Hans: "Det er jo kanskje ... vanskelig. Jeg vil si det er en samlebetegnelse mellom pumpen og dammen her er batteriet. For da har man både elektroner en plass, også er det der man får energien til elektroner for å dytte de oppover liksom. Gjennom den kranen, og der slipper den. Slik at de reiser ned igjen til lageret, eller batteriet."*

Hans og Magne har en tanke om at det er dammen og pumpen i fjellanalogien som kan representere batteriet i den elektriske kretsen. Dette utdraget tyder på at de trekker en relasjon mellom batteriets egenskap til å lagre potensiell energi, eller "lagre elektroner" som Hans og Magne tenker det, og dammens/innsjøens evne til å lagre vann. Videre identifiserer de en relasjon mellom pumpen og batteriet ved at det er pumpen som dytter vannet oppover, slik som batteriet "dytter" elektroner gjennom kretsen. Interessant at de ser en relasjon mellom innsjøen og batteriet som et reservoar for lagring av potensiell energi. Flere tolkninger av spenningsbegrepets posisjon i fjellanalogien ble diskutert i andre intervjuer.

*Robert: "Jeg vil nesten si både pumpen og tyngdekraften jeg egentlig."*

*Stein: "Ja."*

*Erik: "Pumpen og tyngdekraften?"*

*Robert: "Ja."*

*Stein: "Ja."*

*Robert: "Fordi, eller, sånn i sammenheng med strøm og sånt så gir jo ikke tyngdekraft noe på en måte. Så hvis det skal gi noen mening med at det er der*

*så må det på en måte være en spenningskraft til og ... som i tillegg får vannet til å gå."*

For å klargjøre hva Robert mener tegner jeg opp en skisse av fjellanalogien, og ber Robert sette en ring rundt hva han mener kan representere en spenningskilde i illustrasjonen av fjellanalogien. Robert setter da ring rundt selve pumpen, og toppen av fjell.

*Erik: "Så altså pumpen, og toppen av fjellet?"*

*Stein: "Ja."*

*Robert: "Ja."*

I sin dialog konkluderer Robert og Stein med at det er både pumpen og toppen av fjellet som representerer en spenningskilde. Det kan tolkes slik at de søker å identifisere en relasjon, mellom deler av fjellanalogien og spenningskilden i en elektrisk krets, ved å tenke på egenskapen et batteri har til å skape en elektrisk strøm i kretsen. Pumpen kan løfte vannet opp til toppen av fjellet, men det er tyngdekraften som trekker det ned igjen. Resultat for Robert og Stein blir derfor at både pumpen og toppen av fjell utgjør objektene som kan sees i sammenheng med batteriet i en elektrisk krets.

### **5.2.5: Analogi 4 – Bowlingkulen**

Formålet for å inkludere bowlingkulen, som en av analogiene i intervjuene, var for å se hvordan elevene reflekterte over en modell som er brukt for å kommunisere relasjoner mellom tyngdefeltet og et elektrisk felt. Siden man må anta at elever på 10. trinn ikke er kjent med begrepet elektrisk felt, da begrepet ikke inngår i kompetansemål hos læreplan (Utdanningsdirektoratet, 2013), ble fokuset på å utforske potensielle relasjoner mellom kildedomenet og elektrisk strøm og spenning. Selv om få elever kom opp med helt gyldige objektrelasjoner mellom domenene i analogien, var det overraskende mange gode refleksjoner, for eksempel:

*Erik: "Ser dere noen sammenheng mellom de bowlingkulene og elektrisk strøm da?"*

*Sara: "Kanskje ... bowlingkulene er elektroner liksom."*

*Erik: "Elektroner"*

*Anna: "Ja, både bowlingkulene og elektronene vil bevege seg i en retning ... og ja."*

*Erik: "Ja?"*

*Anna: "De vil vel kanskje flytte likt på seg da ... på en måte"*

*Erik: "Hva mener du med: flytte likt på seg?"*

*Anna: "Nei, altså ... når den gutten legger på en ny bowlingkule vil jo alle sammen flytte likt på seg bortover liksom ... også vil en falle ned da, og ... ja, da skjer vel det samme med elektronene og da, eller?"*

I denne samtalen med Sara og Anna ser de en sammenheng mellom bowlingkuler og elektroner. Det er meget mulig at dette i første omgang er av strukturell art, men Anna kommer til slutt med en refleksjon hvor hun bruker en funksjonell relasjon fra bowlingkulemodellen og "konkluderer" med at denne relasjonen da også gjelder for elektronene. Vi vet jo at dette ikke stemmer helt overens med virkeligheten da de enkelte elektroner i en krets vil bevege seg frem og tilbake, men samlet vil elektronene ha en jevn retning i en likestrømkrets.

En del av samtalen rundt bowlingkulemodellen omhandlet analogiske refleksjoner rundt forflytning av bowlingkuler sett i sammenheng med bevegelse av ladninger i den elektriske kretsen. Det andre begrepet fra elektrisitetstære det ble brukt litt tid på i intervjuene var elektrisk spenning:

- *Syver: "Altså de bowlingkulene blir jo løftet opp ... og da får de jo mer stillingsenergi."*  
*Erik: "Ja, kan du se det i sammenheng med den elektriske kretsen da?"*  
*Syver: "Ja, jeg tror ... altså ... elektronene blir jo tilført energi i batteriet liksom, så da blir jo batteriet gutten, og omvendt."*
- *Erik: "Elektrisk spenning da? Hva tror dere om det begrepet opp mot denne modellen?"*  
*Hans: "Kanskje ... nei ... eller altså. Det er jo gutten som løfter opp bowlingkulene da, og batteriet som løfter ... blir vel ikke helt rett å si det."*  
*Erik: "Nja, men la oss si løfter. Bare fortsett, for det er bra det her"*

*Hans:* Ja, altså ... det er jo gravitasjon som får kulene til å trille bortover. Så da må det vel være energi som får elektronene til å bevege seg ... forskjell i energi kanskje, jeg vet ikke."

*Erik:* Forskjell i energi, hva mener du med det?

*Hans:* Nei, jeg vet ikke altså. Det er vanskelig, men tror det må være noe med forskjell i energi, ja"

Bowlingkulemodellen viste seg å fordre en del refleksjon rundt elektrisk spenning for flere av elevene. De fikk muligheten til å tenke dypere over fenomenet. Syver ser en sammenheng mellom stillingsenergi hos bowlingkulene i den øverste rennen, og trekker en relasjon opp mot at batteriet må være gutten, og at batteriet tilfører ladningene energi slik som gutten tilfører bowlingkulene energi. Hans identifiserer at det er tyngdekraften som får bowlingkulene til å trille, og at det derfor må være en form for differanse i energi som får ladningene til å gå. Samtidig fremgår det i intervjuene at de elever som ikke fikk til noen refleksjon rundt elektrisk spenning i liten grad forstod sammenhengen mellom kildedomenet og elektrisk spenning, og det ble da heller ingen samtale med relevant innhold opp mot denne analogien.

## Kapittel 6: Diskusjon

I dette kapitlet vil funn fra analysen av analogien og elevintervjuene bli drøftet for å belyse problemstillingen. Delkapittel 6.1 vil belyse forskningsspørsmål 1, og formålet blir derfor å diskutere utformingen og fremstillingen av studiens analogier. Delkapittel 6.2 vil drøfte funn fra elevintervjuene, for å belyse forskningsspørsmål 2. Delkapittel 6.3 vil bygge videre på drøftingene fra delkapittel 6.1 og 6.2, og slik prøve å besvare problemstillingen ut fra samlet analysen, drøftinger og tidligere forskning innenfor feltet.

### 6.1: Hvordan er analogiene utformet og fremstilt

Dette delkapitlet skal belyse forskningsspørsmål 1: *Hvordan er analogiene utformet og fremstilt med tanke på å kommunisere elektrisitetslære?* I delkapittel 5.1.5 og 5.1.6 ble samtlige analogier fra studien analysert ut fra ACS ("Analogy Classification System". Curtis & Reigeluth, 1984) og TWA ("Teaching with analogies model". Glynn, 1989). Ut fra analysen fremgår det at analogiene i denne studien klassifiseres noenlunde likt som analogier i andre studier, som har brukt ACS (Curtis & Reigeluth, 1984; Orgill & Bodner, 2006; Thiele & Treagust, 1994; Thiele et al., 1995). De følger i stor grad anbefalingene fra ACS med tanke på (1) forhold mellom kilde- og måldomenet, (2) beskrivelse av innholdet i kildedomenet, (3) nivå av berikelse og (4) grad av abstraksjon. Analysen tyder også på at utformingen og fremstillingen av analogiene følger fem av seks anbefalinger fra TWA: (1) Introduksjon av måldomenet, (2) påminning om kildedomenet, (3) identifisering av relevante objekter og funksjoner i domenene, (4) kartlegging av likheter mellom domenene og (5) trekk konklusjon om funksjoner prosesser og/eller systemer i måldomene. Dette ansees som positivt med tanke på utforming og fremstilling av analogiene, men det er likevel noen aspekter som vil bli drøftet videre.

#### 6.1.1: Utforming og fremstilling av analogiene og feilforestillinger om elektrisitet

Bruken av analogier kan bidra som et utgangspunkt for å lære ukjente konsepter (Iding, 1997), og man bruker i denne læringsprosessen tidligere erfaring eller kunnskap (Duit, 1991). En utfordring er da at elever kan bringe med seg forestillinger eller misoppfatninger, som kan påvirke utbyttet av analogien. Vi kan som et eksempel se på "strømforbruksmodellen" (Angell et al., 2011), som er en vanlig forestilling om elektrisitet hos mange elever. Den innebærer at

elektrisk strøm mer eller mindre blir brukt opp i en motstand, som for eksempel en lyspære, og at strøm dermed avtar gjennom kretsen. Hvordan studiens analogier er utformet og fremstilt for å svare på denne type utfordringer kan ansees som et viktig aspekt i hvor effektive de er til å kommunisere elektrisitetlære. Utformingen og fremstillingen av samtlige analogier i studien kan sies å ta høyde for "strømforbruksmodellen". Eksempelvis analogien i det lukkede rørsystem, som nødvendigvis må ha lik mengde vann som går inn og ut av møllen, slik som en enkel likestrømkrets vil ha samme antall ladninger som passer et tverrsnitt i lederen uavhengig av posisjon til en motstand. Forskjellen på de fire analogiene er at bare skiheisen og bowlingkulen spesifikt påpeker objektrelasjoner som kan motvirke "strømforbruksmodellen". I fjellet og rørsystemet er dette objektrelasjoner som må oppdages gjennom utforskning. Det kan da argumenteres for at fjellet og rørsystemet enten (1) misser en gylden mulighet for å korrigere en vanlig misoppfatning eller (2) bygger videre på misoppfatningen, da misoppfatninger har vist seg å være svært motstandsdyktige for forandring (Chiu & Lin, 2005; Jaakkola et al., 2011; Sjøberg, 2011). Dette gjelder også andre kjente feilforestillinger eller misoppfatninger, for eksempel sekvenstenking, som er en innvendig mot bruken av vannstrømanalogier (Angell et al., 2011).

### 6.1.2: Forhold mellom kilde- og måldomenet

I tabell 5.1.1 ser vi at samtlige forhold mellom domene i studiens fire analogier er klassifisert som funksjonelt. Dette samsvarer godt med funn fra studier gjennomført av Curtis og Reigeluth (1984), Thiele og Treagust (1994), Thiele et al. (1995) og Orgill og Bodner (2006). Med tanke på utforming og fremstilling av analogiene for å kommunisere elektrisitetlære kan dette vurderes som heldig da Thiele og Treagust (1994) påpeker at funksjonelle forhold mellom domene er ansett for å ha størst potensiale for å kommunisere abstrakte fenomener. Selv om samtlige analogier ble klassifisert med et funksjonelt forhold mellom kilde- og måldomene fremgår det i begrunnelsen av klassifiseringen at det i rørsystemet, fjellet og bowlingkulen er indentifisert strukturelle likheter mellom modellene til disse analogiene. Dette kan vurderes som en styrke, da Curtis og Reigeluth (1984) anser funksjonell-strukturelle forhold som mest kraftfull og Thiele og Treagust (1994) påpeker at strukturelle likheter kan skape en enkel inngang for å forstå analogiene. Samtidig er det mulig å se en utfordring ved de strukturelle likheter mellom domenene til disse analogiene, da det er delte objektrelasjoner som skal bidra til forståelse av ukjente fenomener og ikke objekt-egenskaper (Gentner, 1983). Det kan tenkes



at strukturelle likheter medfører at det trekkes slutninger på bakgrunn av objekt-egenskaper og ikke objektrelasjoner. Vi kan se på et mulig eksempel i neste avsnitt.

Vann som blir pumpet rundt i én retning med jevn kraft i et lukket rørsystem har en analogisk relasjon til ladninger som beveger seg gjennom en enkel likestrømkrets. Mengden vann som passer et tverrsnitt av vannrøret over en gitt tid vil være likt uavhengig av hvor tverrsnittet er. På samme vis vil antall ladninger som passerer et tverrsnitt av lederen over en gitt tid være det samme uavhengig av "plasseringen" til tverrsnittet. Denne delte objektrelasjonen mellom kildedomenet og måldomenet er funksjonell. I tillegg vil den delte relasjonen følge det Gentner (1983) omtaler som "The Systematicity Principle", noe som medfører at om man forandrer en parameter i begge domene, for eksempel størrelsen på arbeidet pumpen utfører og spenningen til spenningskilden, vil resultatene i begge domene være lik, altså relasjonen opprettholdes: Mer vann vil passere et tverrsnitt over gitt tid, og flere ladninger vil passere tverrsnitt ved gitt tid. Det vil derimot kunne oppstå en utfordring ved relasjoner som springer ut fra funksjonell-strukturelle forhold, noe også Curtis og Reigeluth (1984) advarer om på tross av at de anser dette forholdet som mest kraftfullt. Vi kan se på dette ved å fortsette å bruke rørsystemet. I analysen av rørsystemet fremgår det at det blir trukket en analogisk relasjon mellom vann som beveger seg i rørsystem og elektroner som beveger seg i en elektrisk krets. Denne analogiske relasjonen er mye brukt (Angell et al., 2011), og forholdet kan sies å være av en funksjonell-strukturell art da den strukturelle oppbygningen av rørene i kildedomenet og lederne i måldomenet er en del av den analogiske relasjonen. Hvis man på bakgrunn av objektrelasjonen trekker slutningen: "lederen til kretsen er som røret til rørsystemet", er dette en objekt-egenskap. Man har dermed beveget seg bort fra en analogisk domenesammenligning og over i den formen for domenesammenligning som Gentner (1983) omtaler som bokstavelighet. Dette blir problematisk hvis vi ser for oss et hull i vannrøret og et brudd i lederen. Situasjonen som da oppstår i kildedomenet er at vann vil renne ut, mens situasjonen i måldomenet er at strøm vil slutte å gå. Dette bruddet i den analogiske relasjonen er i og for seg ikke farlig, da ingen analogi er altomfattende (Heywood & Parker, 1997). Utfordringen ligger i at man kan trekke konklusjonen om at ladninger vil renne ut fra lederen slik som vann renner ut fra røret, noe som er en vanlig misoppfatning hos elever som er presentert for en slik type vannstrømanalogi (Glynn, 1994). Forskjellen på funksjonelle og funksjonell-strukturelle domeneforhold kan slik sies å være: I funksjonell-strukturelle domeneforhold kan (1) forandring på en parameter medføre brudd i den analogiske relasjonen, (2) det kan se ut til å være en større latent mulighet for at det blir trukket slutninger på bakgrunn av objekt-

egenskaper og (3) hvis det ikke advares om kan en vanlig misoppfatning oppstå. Dette er ikke et argument for å ikke ta i bruk analogier med funksjonell-strukturelle forhold mellom domenene, men det er ment som et poeng om hva man bør tenke over ved utforming og fremstilling av en analogi som skal kommunisere elektrisitetslære: Strukturelle likheter kan være formålstjenlige og bidra til en mer kraftfull analogi, men det tyder da på at å inkludere beskrivelser av begrensninger og ikke-delte relasjoner er svært viktig i utformingen og fremstillingen av en analogi. Både for å øke instruksjonsverdien, men også for å motvirke eventuelle feiltolkninger eller misoppfatninger hos brukeren av analogien.

### 6.1.3: Begrensning i analogisk relasjon

Ingen av studiens analogier inkluderer en advarsel for begrensning, eller en beskrivelse av ikke-delte relasjoner. Kartlegging eller beskrivelse av ikke-delte relasjoner, eventuelt andre former for advarsel om begrensninger i analogiske relasjoner, er av flere sett på som et botemiddel mot uheldige konsekvenser ved analogibruk (Thiele & Treagust, 1994). Det er interessant at ingen av de fire analogiene indikerer potensielle begrensninger. Spesielt med tanke på at funn fra flere studier hentyder at indikasjon på begrensninger kan ha positiv effekt for læring fra en analogi. For eksempel kan utforskning av begrensninger hos en analogi bidra til å sikre og effektivisere læring fra analogien (Brown & Salter, 2010), og det kan forhindre forsterkning eller konstruksjonen av misoppfatninger (Glynn, 1989). Også Angell et al. (2011) påpeker at det er viktig å fokusere på det de omtaler som negative analogier, altså ikke-delte relasjoner, i en analogi, for å unngå feilforestillinger. Til eksempel kan vi se på utformingen og fremstillingen av analogien fjellet. Kildedomenet tar utgangspunkt i energioverføringer i et vannsystem, og analogien kan slik kategoriseres som en vannstrømanalogi. En av hovedinnvendingen mot vannstrømanalogier er faren for sekvenstenking (Angell et al., 2011). I fremstillingen av fjellet i RST (Jerstad et al., 2007) vil en innsnevring av bekken medføre forandring i vannstrømmen nedenfor innsnevringpunktet. Denne relasjonen i kildedomenet er ikke delt med måldomenet, og ved å inkludere en beskrivelse eller advarsel om det kan man sannsynlig unngå at elever får en sekvensiell tankegang ovenfor en bevegelse av ladninger i en elektrisk krets. En beskrivelse av alle potensielle misoppfatninger og feiltolkninger er trolig ikke mulig i utformingen og fremstillingen av en analogi. Et potensielt alternativ er da å tenke multimodalt, og bruke en analogi til å forklare et fenomen eller system fra elektrisitetslære. For så å inkludere en beskrivelse om hvilket fenomen eller system fra elektrisitetslære den aktuelle

analogien er tilpasset, og advarer at den analogien kanskje ikke passer for andre deler av elektrisitetlære.

Det er vanskelig å argumentere for noe annet enn at det er uheldig at ingen av studiens analogier angir begrensninger eller drøfter ikke-delte relasjoner i sin utforming og fremstilling, men det kan kanskje være som Thiele og Treagust (1994) foreslår: at læremidlene legger til grunne at elevene selv skal være kapable til å kartlegge relasjoner og identifisere eventuelle begrensninger hos analogiene. En annen mulighet er at læremidlene utformer og fremstiller analogier med en tanke om at en lærer skal bidra med instruksjon og støtte i tolkningen av dem. I hvilken grad en lærer aktivt instruerer bruken av analogier for sine elever er vanskelig å vurdere, men funn i undersøkelser av Justi og Gilbert (2002) og Harrison (2001) antyder at langt fra alle lærere gjør elever oppmerksom på eventuell begrensninger og ikke-delte relasjoner. Disse studiene er brasiliansk/britisk og australsk så man kan vanskelig konkludere med hvordan det er i et norsk klasserom på bakgrunn av dem, men det bidrar med en forventning om at kanskje ikke alle lærere retter blikket mot begrensninger i analogiske relasjoner hos analogimodeller. Ut fra analysen observerer vi at studiens analogier viker fra anbefalingene til både ACS (Curtis & Reigeluth, 1984) og TWA (Glynn, 1989), om å inkludere indikasjon på begrensninger. Skal utformingen og fremstillingen fremstå som selvstendig og uavhengig, kan det ansees som viktig at begrensninger og/eller ikke-delte relasjoner blir beskrevet.

Et annet perspektiv i denne diskusjonen er ytre kontekster som kan påvirke utformingen og fremstillingen (Cohen et al., 2011) av en analogi. Skiheisen, fjellet og rørsystemet representerer analogier presentert i lærebøker, hvor ytre faktorer som øvre grense for tekst-mengde kan påvirker hva som blir inkludert i utforming og fremstilling av analogiene. Det skal i tillegg påpekes at man kanskje kan "frita" analogien i bowlingkulemodellen fra diskusjonen om analogiene burde inkludere en form for indikasjon på begrensning, da den er utformet og fremstilt i et kurshefte for lærere (Rossing, 2005), og man kan forvente at utdannede lærere har større kompetanse i modell- og analogibruk enn elever på ungdomstrinn og videregående. I følge Duit (1991) får personer med høy kompetanse også mer utbytte av en analogi når de selv får utforske analogiens innhold. Slik kan det være hensiktsmessig å ikke beskrive begrensninger og ikke-delte relasjoner i utformingen og fremstillingen av analogier for noen målgrupper.

### 6.1.4: Identifisering av kognitiv strategi

Bruk av modeller, og derav analogier, er en viktig del av naturvitenskapen (Coll et al., 2005; Gilbert, 2004). Utforskning av analogiers begrensninger og ikke-delte relasjoner kan ifølge Brown og Salter (2010) bidra til å skolere elever innenfor naturvitenskapens egenart, men for at elever skal lære mer om modeller bør de vel også gjøres oppmerksomme på hvilken type modell de bruker, og hvilke regler og egenskaper som medfølger modellene. I tabell 5.1.1 kan vi se at ingen av studiens analogier har spesifikt identifisert analogi som den kognitive strategien leseren skal ta bruk av. Man kan diskutere avgjørelsen om at ingen av studiens analogier indikerer bruken av en analogi som kognitiv strategi, spesielt på bakgrunn av at det i presentasjonen av samtlige analogier blir brukt lignende fraser som "vi kan sammenligne dette med". Ordet sammenligne indikerer jo at noen relasjoner skal trekkes mellom to situasjoner, fenomener, prosesser eller lignende. Begrunnelsen for denne klassifiseringen er at det i tidligere forskning, som har brukt ACS (Curtis & Reigeluth, 1984; Orgill & Bodner, 2006; Thiele & Treagust, 1994; Thiele, Venville, & Treagust, 1995), fremgår at begrepet analogi eksplisitt må brukes i indikasjonen av en kognitiv strategi. Dette kan igjen argumenteres for når man ser på SMT (Gentner, 1983), hvor det fremgår at analogier er en bestemt form for domenesammenligning, som medfølger et sett med regler. Når det i utformingen og fremstillingen av analogiene ikke blir kommunisert at det verktøyet som brukes for forklaring er en analogi, kan man kanskje ikke forvente at elevene evner å bruke analogiene korrekt.

### 6.1.5: Kartlegging

I analysen av analogiene opp mot anbefalingene i TWA ("Teaching with Analogies Model". Glynn, 1989) og klassifiseringene i ACS ("Analogy Classification System". Curtis & Reigeluth, 1984) blir det vurdert at samtlige analogier utfører en form for kartlegging. God kartlegging av en analogi bygger på å identifisere delte objektrelasjoner mellom domenene (Gentner, 1983), og det er vesentlig at de analogiske relasjonene faktisk blir trukket av eleven hvis innholdet i det analogien kommuniserer skal nå frem (Duit, 1991). Hvilke relasjoner som blir belyst, og hvordan disse blir belyst, gjennom utforming og fremstilling av analogiene er altså vesentlig med tanke på hva og hvordan analogiene kommuniserer sitt innhold. Skiheisen og bowlingkulen har utformet og fremstilt kartlegging av relasjoner i korresponderende lister. Dette blir i analysen ansett som tydelige og oversiktlige kartlegginger, og skiller seg fra rørsystemet som presenterer og kartlegger relasjoner på flere forskjellige steder i teksten. Det er rimelig å anta at tydelig og oversiktig kartlegging har bedre mulighet for å bli oppfattet og

forstått av elever. Spesielt med tanke på at mange elever har lite erfaring og ekspertise i bruk av ulike modeller (Coll et al., 2005). Duit (1991) påpeker at sterke elever kan tjene på å selv identifisere analogiske relasjoner, men at svake elever bør få støtte i å identifisere og kartlegge relasjoner i analogier. I hvor utstrakt grad man bør kartlegge en analogi blir slik avhengig av tiltenkt mottager. Likefremt fremgår det av Glynn's (1989) TWA at kartlegging bør være en del av utformingen og fremstillingen til en analogi, og det kan vurderes slik at en kartlegging er hensiktsmessig for å sikre at kun delte og gyldige objektrelasjoner kartlagt mellom kildedomenet og måldomenet. Det er nærliggende at en nøyaktig kartlegging sikrer bruken av en analogi i læringsøyemed, kanskje spesielt for svake elever. Sterke elever som kan tjene på å identifisere de analogiske relasjonene på egen hånd (Duit, 1991) må uansett gjennom en kognitiv prosess for å forstå fremstilt kartlegging av en analogi, selv om eleven ikke får gjennomføre kartleggingsprosessen på egen hånd. Dette kan ansees som et spesielt poeng når en analogi skal utformes og fremstilles i et læremiddel hvor man ikke kan være sikker på at en lærer vil støtte elevene i utforskningen av analogien.

## 6.2: Hvordan forstår elever analogiene?

I dette delkapittelet blir funn fra elevintervjuene brukt for å belyse forsknings spørsmål 2: *Hvordan forstår elever analogiene*

Modellene til samtlige analogier i denne studien er presentert som illustrasjoner av et konkret kildedomene og et mer abstrakt måldomene, noe som er i samsvar med utviklingen av illustrasjonsbruk i fysikk lærebøker (Bungum, 2008). Funn i elevintervjuene i denne studien bygger opp om at disse illustrasjonene, og utformingen av dem, er viktig. Da det fremgår at store deler av diskusjonen mellom elevene omhandler hvordan de tolker disse illustrasjonene

### 6.2.1: Skiheisen

Funn i elevintervjuene tyder på at elevene i stor grad forstår den analogiske relasjonen mellom bevegelsen til kabelen i skiheisen og bevegelsen til ladninger i en elektrisk krets. Bakgrunnen for at analogien ser ut til å lykkes med overføringen av denne objektrelasjonen fra kildedomene til måldomene kan bunne i at innholdet til kildedomenet for elevene er kjent og konkret, og at de slik får bruke eksisterende kunnskap (Duit, 1991), og dermed se sammenhengen mellom fenomenet fra elektrisitetslære opp mot deres erfaringer fra "virkeligheten" (Gilbert, 2004).

Skiheisen sin utforming og fremstilling ser ut til å appellere til de fleste elevene når det kommer til å kommunisere elektrisk strøm, men utformingen for å kommunisere elektrisk spenning er har ikke like stor appell for flere av elevene. Eleven, Hans, har et utsagn i et av intervjuene angående skiheisen som vi kan se på igjen:

*Hans: "Ja. Altså i forhold til elektroner og slik som det der så er den skiheisen ganske bra, men i forhold til logisk tenkning over motoren i en skiheis så burde det kanskje vært en form for strømtilførsel ja, slik som batteriet har batterisyre, som gir elektronene energi, eller noe sånt."*

Med "elektroner og slik" sikter Hans til elektrisk strøm, og ser ut til å forstå den analogiske relasjonen mellom domeneene med tanke på dette begrepet. Når det kommer til elektrisk spenning forandrer det seg. Han har kunnskap om at det er en prosess i et batteri som gjør noe med energien til ladningene, men han finner ikke noe i beskrivelsen av skiheisen som han kan knytte denne kunnskap opp mot. Det kan derfor se ut som at abstraksjonsgraden og den konseptuelle dybden i det faglige innholdet til måldomenet i skiheisen er for "enkelt" for Hans, og han kommer dermed ikke videre i sin refleksjon.

Tilfellet hvor et av elevparene fra elevintervjuene begynner å utforske en potensiell analogisk relasjon mellom skiheisen og elektrisk spenning er interessant. Elevene identifiserer da en objektrelasjon i skiheisen ved at skiløpere vil ha større potensiell energi ved toppen av heisen enn ved bunnen, og setter dette i relasjon med et batteri sin evne til å skape differanse i energipotensial mellom to punkter. Dette er ikke beskrevet eller kartlagt i utformingen og fremstillingen av analogien, og fremstår dermed som en spontan analogisk relasjon fra elevene. Disse elevene trekker med andre ord selv en relasjon mellom domeneene som kan bidra til å styrke deres forståelse for elektrisk spenning. Noe som ifølge Duit (1991) kan være hensiktsmessig med tanke på læring for elever med relativt god kunnskap om fagstoffet. Selv om det er positivt at disse elevene identifiserte en gyldig relasjon mellom domeneene kan det argumenteres for at det er uheldig at ikke denne relasjonen er beskrevet eller kartlagt i utformingen og fremstillingen av analogien. Spesielt med tanke på at elever med lav kompetanse vil ha mer å tjene på at de analogiske relasjonene blir beskrevet (Duit, 1991), men også fordi en grundig gjennomgang av alle aspekter hos en analogi kan bidra til å forhindre feil eller misoppfatninger i elevers slutninger om analogiske relasjoner mellom domeneene (Glynn, 1989).

Relasjonen som det omtale elevparet, i forrige avsnitt, identifiserer kan sies å gå dypere inni fenomenet elektrisk spenning, da de ser en relasjon mellom differanse i energipotensiale mellom to punkter. Et interessant poeng fra denne situasjonen er at elevene etter hvert forkaster denne analogiske relasjonen. Dette fordi relasjonen bryter sammen når de forsøker å videreføre den fra elektrisk spennings til elektrisk resistans, ved å se på hvordan skiløperne vil bevege seg ned fra toppen av bakken til bunnen identifiserer de ingen objektrelasjon i kildedomenet som kan sammenlignes med resistansen lyspæren i den elektriske kretsen utøver på sitt system. Siden de ikke er kjent med at analogier og modeller har begrensninger (Heywood & Parker, 1997), og derfor kan fungere for et fenomen men ikke for et annet, blir det for disse elevene best å forkaste hele refleksjon rundt analogien. Der hvor det i litteraturen ofte er omtalt at misoppfatninger kan oppstå ved at begrensninger og ikke-delte relasjoner blir utelatt fra fremstillingen av en analogi, og at analogien blir tolket ut over det området hvor relasjonene er gyldig (Glynn, 1994; Jaakkola et al., 2011), kan vi her se at en gyldig analogisk relasjon blir forkastet av et par elever fordi de ikke har kunnskaper om analogier og modellers egenart. De unngår en misoppfatning ved elektrisk strøm, men unngår også en mulighet for å øke sin forståelse om elektrisk spenning. Beskrivelse av begrensninger og/eller ikke-delte relasjoner kan derfor kanskje tilskrives en ny dimensjon i å støtte opp om gyldige analogiske relasjoner.

### 6.2.2: Rørsystemet

I studiens analyse av analogiene blir det kommentert at utformingen og fremstillingen av analogien i rørsystemmodellen fremstår som litt uoversiktlig og rotete. Dette kan vurderes som uheldig da analogier må brukes varsomt og utvikles med nøyaktighet (Duit, 1991; Thiele & Treagust, 1994), hvis ikke kan de virke mot sin hensikt (Glynn & Takahashi, 1998). I elevintervjuenes diskusjon rundt den analogiske relasjonen mellom pumpen i rørsystemet og batteriet i den elektriske kretsen fremgår det at også noen av elevene har en utfordring med hvordan analogien er utformet. Det fremgår tydelig at Syver og Trond ser sammenhengen mellom en pumpes evne til å øke vannets potensielle energi og batteriets evne til å skape en differanse i energipotensial, men bruken av to ulike illustrasjoner som representasjon for rørsystemet bidrar til at de vegrer seg mot å dra en konklusjon om det analogiske forholdet. Også Robert og Stein møter en konflikt i sin refleksjon rundt denne analogien når de konkluderer med at høyde egentlig ikke spiller noen rolle da rørsystemet er fylt med vann og lukket. Det kan dermed se ut som at objektrelasjonen som rørsystemet kartlegger mellom

kildedomenet og måldomenet ikke fullt ut blir akseptert av disse elevene da de identifiserer logiske brister i fremstillingen av analogien.

Rørsystemet beskriver en analogisk relasjon mellom bevegelsen til vann i et lukket rørsystem og bevegelse til ladninger i en elektrisk krets. I delkapittel 5.2.3 er det sitert en samtale mellom Laila og Marianne hvor de viser tegn på sekvenstenking (Angell et al., 2011) når de diskutere en motstands påvirkning på elektrisk strøm. Siden det poengteres i fremstillingen av analogien at rørsystemet er lukket er det ingen mulighet for at vannet går saktere etter å ha blitt påvirket av møllen, men dette ser det ikke ut til at Marianne og Laila får med seg. Selv om utformingen og fremstillingen av analogien inkluderer informasjon som kan forhindre sekvenstenking oppstår dette hos Laila og Marianne. Det kan se ut som informasjonen må være konkret og eksplisitt for å ytterlig bidra til å forhindre vanlige feilforestillinger og misoppfatninger.

### 6.2.3: Fjellet

I analysen av elevintervjuene kommer det frem en trend hvor flere elevpar, jevnt over, har dypere refleksjoner rundt den analogiske relasjonen mellom kildedomenet og elektrisk spenning. De går jevnt over lengre enn bare å identifisere elektrisk spenning som en kraft, som trekker eller skyver på ladninger. Kanskje kan det være fordi utformingen til analogien bygger på at en overføring av innhold fra en konkret illustrasjon av fysikk i et kjent teknologisk objekt (Bungum, 2008), da illustrasjonen av kildedomenet på mange måter utgjør systemet til et forenklet vannkraftverk. Det faglige innholdet i analogien er også på et høyere nivå enn i rørsystemet og skiheisen, noe som er naturlig da denne analogien er hentet fra en lærebok beregnet for fysikk på videregående, og den økte graden av refleksjon og diskusjon rundt de analogiske relasjonene kan være et resultat av dette økte faglige nivået. Et poeng som forsterkes når man ser det i lys av at læringsutbytte gjennom analogier kan se ut til å være bedre når måldomenet er utfordrende for eleven (Duit, 1991). Et usikkerhetsmoment er det faktum at fjellet alltid ble introdusert som analogi nummer tre, og at elevene da var blitt vant med å reflektere og diskutere rundt analogiene.

### 6.2.4: Bowlingkulen

Siden denne analogien, i det mediet den er presentert, er tiltenkt lærere, forandret vi litt retning på hvilke relasjoner vi reflekterte over og samtalte om i intervjuene. Det faktum at denne analogien var rimelig grei å tilpasse etter nivå, og at vi kunne gå bort fra å undersøke



objektrelasjoner som omhandlet relasjon mellom masse og tyngdefelt opp mot ladning og elektrisk felt, kan vurderes som en styrke for denne analogien. Som Glynn (1989) skriver kan instruksjonsverdien av analogier øke når det er flere delte relasjoner mellom domenene. Der er også interessant at flere elever reflekterte over en potensiell relasjon mellom at gutten tilførte bowlingkulene potensiell energi, og at denne relasjonen kan overføres til den elektriske kretsen og representere elektrisk spenning. Det ser derimot ut til at dette kun gjelder de elever som har utvist mest kunnskap om elektrisitet, og noe forståelse rundt energiprinsipper i Newtonsk mekanikk. Elever som ikke identifiserer en relasjon mellom potensiell energi i Newtonsk mekanikk og differanse i potensiell energi i elektrisitetslære, får heller ikke identifisert noen analogisk relasjon mellom bowlingkulemodellen og elektrisk spenning. Samtalene rundt denne analogien kan derfor bidra til oppfatningen om at kildedomenet må innholdet kjent kunnskap (Curtis & Reigeluth, 1984; Duit, 1991), for at analogier skal ha en nytteverdi. Vi kan også observere at økningen i abstraksjonsgrad og vanskelighetsgrad i innholdet til denne analogien, i forhold til studiens tre andre analogier, ser ut til å medføre dypere refleksjon hos en del av elevene.

### 6.3: Hvordan kan analogier støtte læring i elektrisitetslære?

I dette delkapittelet vil momenter fra forskningslitteratur, studiens analyse og diskusjon bli brukt for å drøfte problemstillingen: *På hvilke måter kan analogier støtte elevers læring av elektrisitetslære?*

Elevenes refleksjon og diskusjon i elevintervjuene når det samtales om elektrisk spenning varierer, mellom de ulike analogiene, i nivå på faglig innhold og grad av abstraksjon. I skiheisen er det stort sett bare en stadfestning om at batteriet er motoren i heishuset, og at begge har en trekraft. I utformingen og fremstillingen av rørsystemet og fjellet fokuseres det på en relasjon mellom pumpens evne til å øke stillingsenergien til vannet og et batteri sin evne til å øke den potensielle energien til ladninger. I bowlingkulemodellen går man enda lengre når man i tillegg trekker inn tyngdefeltet og elektriske felt sin innvirkning på objektene i sine respektive systemer. Fra skiheisen, som ett ytterpunkt, til bowlingkulen, som det andre ytterpunktet, øker abstraksjonsgraden til måldomenet. Det er da interessant å se at elevenes utforskning og refleksjon øker med abstraksjon graden. Vi skal ikke si at denne økningen er proporsjonal, men det er en økning. Funn i denne studien støtter altså opp om funn fra andre studier, som konkluderer med at et abstrakt måldomene er mest formålstjenlig når man arbeider med

analogier (Curtis & Reigeluth, 1984; Orgill & Bodner, 2006; Thiele & Treagust, 1994). På bakgrunn av resultat og analyser i denne studien tyder det på at økt abstraksjonsgrad i måldomenet kan være hensiktsmessig for å støtte læring av elektrisitet. Dette ser ut til å være mest gjeldende for å støtte sterke elever, da funn i studien også tyder på at abstraksjonsgraden i et måldomene kan bli for vanskelig, og at refleksjoner og tolkninger stopper opp, for svakere elever. Selv om et abstrakt og mer konseptuelt utfordrende måldomene er ansett som formålstjenlig, kan det altså være mest relevant for sterke elever, som evner å se sammenhenger og relasjoner fordi de har en dypere forståelse av kildedomenet.

For å støtte elever, med ulik kompetanse, i å forstå abstrakte og utfordrende måldomener, kan presis og utfyllende kartlegging av objektrelasjoner ansees som et potensielt hjelpemiddel (Duit, 1991). I analysen av analogiene fremgår det at noen analogier har en mer tydelig og oversiktlig kartlegging, og funn fra elevintervjuene tyder på at dette kan være en medvirkende faktor for at de fleste elever forstår de analogiske relasjonene som blir fremstilt i kartleggingen. I tillegg kan det tyde på at en god beskrivelse av innholdet til kildedomenet kan være til god støtte for elever. Dette blir viktig da læring gjennom analogier omhandler å sammenligne relasjoner mellom noe kjent og noe ukjent (Braasch & Goldman, 2010; Chen, 2012; Coll et al., 2005), og forståelse for innholdet i kildedomenet kan bidra til at elevene får noe konkret å knytte måldomenets abstrakte innhold opp mot. Én av anbefalingene i TWA (Glynn, 1989) er påminning om kildedomenet, og i tabell 5.1.3 fremgår det at samtlige analogier i studien følger denne anbefalingen. Når vi i elevintervjuene forandrer kildedomenet til bowlingkulen ser vi at noen elever ikke får til noen refleksjon eller samtale rundt analogien. Dette funnet kan bidra til oppfatningen om at innholdet i kildedomenet må være kjent for eleven, hvis analogien skal ha en støttende funksjon i læring av elektrisitet.

Det ser ut til å ligge en utfordring med tanke på utforming og fremstilling av analogier i hjelpemidler som kan støtte elever i læring av elektrisitet: Det kan være krevende å utvikle en analogi som er tilpasset både svake og sterke elever. Det er kanskje ikke overraskende hvis man tar perspektivet til Duit (1991) og Harrison og Treagust (1993) om at læring fra analogier har sterk tilknytning til konstruktivistisk læring, for ved læring gjennom analogier bruker man tidligere ervervet kunnskap og erfaring (Duit, 1991) i en overføring av objektrelasjoner fra kilde- til måldomene (Gentner, 1983). I denne studien tyder funn på at de sterkeste elevene kanskje får mest ut av de fire analogiene, men ut fra anbefalingene i ACS ("Analogy Classification Framework". Curtis & Reigeluth, 1984) og TWA ("Teaching with Analogies

Model". Glynn, 1989) manglet en anbefalt faktor: Indikasjon på når analogier bryter sammen. Fravær av beskrivelser, indikasjoner eller advarsler om begrensninger og ikke-delte relasjoner ved analogier er ikke uvanlig (Curtis & Reigeluth, 1984; Orgill & Bodner, 2006; Thiele & Treagust, 1994; Thiele et al., 1995), noe som stemmer med funnene i denne studien. Ved å inkludere dette i fremstillingen til en analogi kan det bidra til å forhindre feiltolkninger og misoppfatninger som et resultat av analogien. I tillegg kan det være at beskrivelse av begrensninger og ikke-delte relasjoner bidrar med en form for bruk- og tolkningsramme for analogier, som igjen bidrar til å gjøre elever mer selvsikre og presise i sin bruk. Det er mulig at dette kunne bidratt til å støtte svakere elever i læring av elektrisitetslære. Det hadde også vært interessant å observere om de to elevene, som fant en analogisk relasjon mellom høydeforskjell i skiheisen og elektrisk spenning, hadde forkastet sitt resonnement om informasjon om begrensninger og ikke-delte relasjoner ved analogien var inkludert i utformingen og fremstillingen av den. Det tyder også på at beskrivelse av begrensninger og/eller ikke-delte relasjoner kan være hensiktsmessig for å motvirke kjente feilforestillinger.



## Kapittel 7: Konklusjon

I denne studien er det undersøkt analogier brukt i læringsøyemed innenfor elektrisitetslære. Da resultater fra denne studien er knyttet til et begrenset antall analogier og kvalitative intervjuer kan man ikke generalisere ut fra funn i studien. Undersøkelsen kan likevel bidra med innsikt til det aktuelle forskningsfeltet, og på bakgrunn av analyse og drøfting er det utarbeidet en punktliste med anbefalinger til utforming og fremstilling av analogier i elektrisitetslære. Denne punktlisten blir presentert i delkapittel 7.1.

Analogier er omtalt som "toeggede sverd" (Glynn, 1989; Harrison & Treagust, 2006), og læringsutbytte fra bruken av analogier kan være usikkert. På bakgrunn av denne studien er det flere faktorer som tyder på at utforming og fremstilling har en sterk innvirkning på hvordan analogier bidrar til å støtte opp om læring av elektrisitet. Tidligere forskning (Curtis & Reigeluth, 1984; Orgill & Bodner, 2006; Thiele & Treagust, 1994; Thiele et al., 1995) har kommet frem til ulike aspekter som det er viktig å ta hensyn til i utformingen og fremstillingen av analogier, til eksempel: kjent kildedomene, abstraksjonsgrad i domenene, presentasjon av kartlegging og utforskning av begrensninger og ikke-delte relasjoner. Denne studien støtter opp om dette, men vil på bakgrunn av undersøkelsen stresser betydningen av abstraksjonsgrad i domenene. Dette poengteres på bakgrunn av funn, som tyder på at uhensiktsmessig abstraksjonsgrad (for lav eller høy) kan medføre liten grad av refleksjon, undring og utforskning av analogiers innhold.

### 7.1: Anbefalinger

Det blir her presentert en liste over anbefalinger utarbeidet på bakgrunn av studien for å gi en indikasjon på noen aspekter som kan bidra i utforming av analogier til støtte i læring av elektrisitet:

- Hensiktsmessig grad av abstraksjon og konseptuell dybde i måldomenet. Det må tilpasses målgruppen, men det kan by på utfordringer da lik abstraksjonsgrad og konseptuell dybde trolig ikke er hensiktsmessig for sterke og svake elever. På bakgrunn av studien kan det se ut som at for lav grad av abstraksjon vil gi et ubetydelig læringsresultat, men at høy grad av abstraksjon kan medføre lignende resultat.

- Kjent innhold i kildedomenet bidrar med konkret kunnskap, som abstrakt innhold i måldomenet kan knyttes opp mot. Sikring av at innholdet i kildedomenet er kjent blir slik viktig.
- Beskrivelse, identifisering eller advarsel om begrensninger for analogisk relasjon, eventuelt en fremstilling av ikke-delte relasjoner mellom domenene til analogien. Det kan bidra som et referansepunkt for hvor langt man kan gå i tolkning, analyse og refleksjon av analogier.
- Strukturelt-funksjonelt forhold mellom domenene. Den funksjonelle delen av forholdet bidrar med likheter i funksjon og oppførsel, noe som gir grunnlag for kartlegging av objektrelasjoner. Det strukturelle forholdet bidrar med likheter i ytre oppbygning, som kan gi enklere adgang til refleksjon og forståelse av analogiske relasjoner. Når domenene til en analogi inneholder strukturelle likheter tyder det på at indikasjon av begrensninger og strukturelle likheter vil være spesielt viktig for å unngå feiltolking og misoppfatning.

### 7.2: Forslag til videre forskning

En usikkerhet med denne studien er om anbefalingene og drøftingene som er presentert er mest relevant for faglig sterke elever. Dette kom frem ved at de sterke elevene dominerte i intervjuene. En undersøkelse med formål om å studere forskjeller i analogiers innvirkning på læring hos elever med ulikt faglig nivå vil være interessant, for å videre belyse hvilke måter analogier kan støtte elevers læring av elektrisitet. Dette kan også bidra til å belyse utfordringer i anbefaling 1 fra delkapittel 7.1. Denne studien har undersøkt analogier slik de er presentert i læremiddel, og på bakgrunn av dette drøftet problemstillingen: *På hvilke måter kan analogier støtte elevers læring av elektrisitetslære?* I denne undersøkelsen er flere ytre kontekster utelatt, og dette bidrar til en usikkerhet ovenfor studiens besvarelse av problemstillingen. Forskning på innvirkningen til noen av disse ytre kontekstene ville vært interessant. Blant annet for å vurdere relevansen til de anbefalingene utarbeidet i denne studien, men også for å vurdere hvordan analogier kan utformes og brukes for å støtte elever i læring av elektrisitet og andre abstrakte naturvitenskapelige fenomener. Forslag til ytre kontekster som kan inkluderes i videre forskning er: (1) Hvordan lærere bruker og eventuelt utfyller analogier fra læremiddel, (2) hvilken forståelse lærere i skolen har av analogiers egenart og (3) hva er bakgrunnen for at analogiforfatterne har utformet og fremstilt analogiene slik de er presentert i sine respektive læremiddel.

# Litteraturhenvisning

- Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E. K., Kolstø, S. D., Persson, J., & Renstrøm, R. (2011). *Fysikkdidaktikk* (1 ed.). Kristiansand: Høyskoleforlaget AS - Norwegian Academic Press.
- Braasch, J. L. G., & Goldman, S. R. (2010). The Role of Prior Knowledge in Learning From Analogies in Science Texts. *Discourse Processes*, 47(6), 447-479.
- Brown, S., & Salter, S. (2010). Analogies in science and science teaching. *Advances in Physiology Education*, 34(4), 167-169.
- Bungum, B. (2008). Images of physics: an explorative study of the changing character of visual images on Norwegian physics textbooks. *NorDina*, 4(2), 132-141.
- Chen, Z. (2012). The Learning of Science and the Science of Learning: The Role of Analogy. In S. M. Carver & J. Shrager (Eds.), *The Journey From Child to Scientist. Integrating Cognitive Development and the Education Sciences* (1 ed., pp. 37-66). Washington, DC: American Psychological Association.
- Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2005). Promoting Fourth Graders' Conceptual Change of Their Understanding of Electric Current via Multiple Analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(4), 429-464.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2011). *Research Methods in Education* (7. ed.). London: Routledge.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183 - 198. doi:10.1080/0950069042000276712
- Curtis, R. V., & Reigeluth, C. M. (1984). The use of analogies in written text. *Instructional Science*, 13, 99-117.
- Danusso, L., Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving Prospectiv Teachers' Knowledge about Scientific Models an Modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Counstructing Scientific Knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5 - 12.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649 -672.
- Ekeland, P. R., Johansen, O.-I., Strand, S. B., Rygh, O., & Jenssen, A.-B. (2008). *Tellus* 9 (2. ed.): Aschehoug.
- Else, M. J., Clement, J., & Rea-Ramirez, M. A. (2008). Using Analogies In Science Teaching and Curriculum Design: Some Guidelines. In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 215-231). USA: Springer.
- Gentner, D. (1983). Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy\*. *Cognitive Science*, 7, 155 - 170.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115 - 130.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert, C. J. Boulter, & R. Elmer (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3 - 18). New York: Springer Science+Business Media.

- Glynn, S. M. (1989). The Teaching with Analogies Model. In K. D. Muth (Ed.), *Children's Comprehension of Text* (pp. 185-204). Newark, Delaware: International Reading Association Inc.
- Glynn, S. M. (1994). *Teaching Science With Analogy: A Strategy for Teachers and Textbook Authors*. Retrieved from <http://eric.ed.gov/?id=ED373306>
- Glynn, S. M., & Takahashi, T. (1998). Learning from Analogy-Enhanced Science Text. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1129 - 1149.
- Hannisdal, M., Haugan, J., & Munkvik, M. (2007). *Eureka 9* (1. ed.). Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.
- Harrison, A. G. (2001). How do Teachers and Textbook Writers Model Scientific Ideas for Students? *Research in Science Education*, 31, 401 - 435.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1993). Teaching with Analogies: A case study in Grade-10 optics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1291-1307.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2006). Teaching and Learning with Analogies. Friend or foe? In P. J. Aubusson, A. G. Harrison, & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and analogy in science education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer
- Hedberg, D., Haglund, J., & Jeppsson, F. (2015). Metaforer och analogier inom termodynamik i kemiläroböcker för gymnasiet. *NorDina*, 11(1), 102 - 117.
- Heywood, D., & Parker, J. (1997). Confronting the analogy: primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning of electricity *International Journal of Science Education*, 19(8), 869 - 885.
- Hodgson, J., Rønning, W., & Tomlinson, P. (2012). *Sammenheng Mellom Undervisning og Læring. En studie av lærerens praksis og deres tenkning under Kunnskapsløftet*. Retrieved from Bodø:
- Iding, M. K. (1997). How analogies foster learning from science texts. *Instructional Science*, 25, 233-253.
- Imsen, G. (1999). *Lærerens verden. Innføring i generell didaktikk* (2 ed.): Tano Aschehoug.
- Jaakkola, T., Nurmi, S., & Veermans, K. (2011). A Comparison of Students' Conceptual Understanding of Electric Circuits in Simulation Only and Simulation-Laboratory Contexts *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), 71-93.
- Jerstad, P., Sletbak, B., Grimenes, A. A., & Renstrøm, R. (2007). *Rom Stoff Tid Fysikk 1* (1 ed. Vol. 5): Cappelen Damm.
- Johannessen, A., Tufte, P. A., & Christoffersen, L. (2010). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode* (Vol. 4). Oslo: Abstrakt forlag AS.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273 - 1292.
- Mathiassen, K. (2013). Bruk av modeller i biologiundervisningen In P. v. Marion & A. Strømme (Eds.), *Biologididaktikk* (Vol. 1, pp. 170 - 197). Kristiansand: Høyskoleforlaget.
- Ohanian, H. C. (1994). *Principles of Physics* (1 ed.). New York London: W.W. Norton & Company Inc.
- Orgill, M., & Bodner, G. M. (2006). An Analysis of the Effectiveness of Analogy Use in College-Level Biochemistry Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(10), 1040-1060.
- Podolefsky, N. S., & Finkelstein, N. D. (2007). Analogical scaffolding and learning of abstract ideas in physics: An example from electromagnetic waves. *Physical Review Topics - Physics Education Research*, 3.



- QSR. (udatert). NVivo. Retrieved from <http://www.qsrinternational.com/>
- Repstad, P. (2007). *Mellom nærhet og distanse. Kvalitative metoder i samfunnsfag* (4. ed.). Oslo: Universitetsforlaget.
- Ringdal, K. (2013). *Enhet og mangfold. Samfunnsvitenskapelig forskning og kvantitativ metode* (3. ed.). Bergen: Fagbokforlaget.
- Robson, C. (2011). *Real World Research: a resource for users of social research methods in applied settings* (3. ed.). Chichester: Wiley.
- Rossing, N. K. (2005). Fra elektrisk krets til intelligent hus - Kurshefte. In NTNU (Ed.), (1 ed., Vol. 7). Trondheim: Skolelaboratoriet for matematikk, naturfag og teknologi NTNU.
- Sjøberg, S. (2011). *NATURFAG SOM ALLMENNDANNELSE - en kritisk fagdidaktikk* (3. ed.). Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Skjelbred, D., Solstad, T., & Aamotsbakken, T. (2005). *Kartlegging av læremidler og Læremiddelpraksis*. Retrieved from [http://www-bib.hive.no/tekster/hveskrift/rapport/2005-01/rapp1\\_2005.pdf](http://www-bib.hive.no/tekster/hveskrift/rapport/2005-01/rapp1_2005.pdf)
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1994). The nature and extent of analogies in secondary chemistry textbooks. *Instructional Science*, 22, 61-74.
- Thiele, R. B., Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1995). A Comparative Analysis of Analogies in Secondary Biology and Chemistry Textbooks Used in Australian Schools. *Research in Science Education*, 25(2), 221-230.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Utdanningsdirektoratet. (2013). *Læreplan i naturfag*. <http://www.udir.no/kl06/NAT1-03>.





## Vedlegg 1: Informasjon og samtykkeskriv

**Kjære elever og foresatte:** Tirsdag 20. oktober vil jeg gjennomføre intervju av noen elever på 10. trinn ved Surnadal ungdomsskole. Intervjuene er en del av en større datainnsamling for min masteravhandling ved NTNU i Trondheim.

I korte trekk vil jeg gjennom intervjuene prøve å belyse hva elevene tenker om, og forstår av, ulike analogier som blir brukt i lærebøker for å forklare spenningsbegrepet innenfor elektrisitetslære. Det er altså IKKE elevene som skal måles eller testes, men bestemte deler av ulike lærebøker.

Selve intervjuet vil vare opp mot én time, og vil bli gjennomført med to og to elever om gangen. Det blir ikke tatt video, bilde eller notert noen personalia fra intervjuet. Lagring av data vil kun skje gjennom en diktafon, og blir dermed kun lagret som en lydfil. Lydfilen blir ikke lagret eller behandlet via noe media over internett. På bakgrunn av dette er ikke intervjuet meldepliktig og ingen personopplysninger eller personidentifiserende opplysninger blir lagret.

Da elevene er under 18 år ønsker jeg deres samtykke for å gjennomføre disse intervjuene. Håper du/dere er positive, og vil være med å bidra til dette prosjektet!

På forhånd takk!

Erik Mogstad

Mastergradsstudent ved NTNU



-----  
**Elevens navn:**

**Eleven kan intervjues:**

Ja

Nei

Signatur foresatte: \_\_\_\_\_

Dato: \_\_\_\_\_

\*Fyll ut og lever til kontaktlærer

## Vedlegg 2: Resultat av meldeplikttest – NSD

Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste AS  
NORWEGIAN SOCIAL SCIENCE DATA SERVICES



Harald Hårfagres gate 29  
N-5007 Bergen  
Norway  
Tel: +47-55 58 21 17  
Fac: +47-55 58 96 50  
nsd@nsd.uib.no  
www.nsd.uib.no  
Org.nr: 985 321 884

### RESULTAT AV MELDEPLIKTTEST: IKKE MELDEPLIKTIG

Du har oppgitt at hverken direkte eller indirekte personopplysninger skal registreres i forbindelse med prosjektet.

Når det ikke registreres personopplysninger, omfattes ikke prosjektet av meldeplikt, og du trenger ikke sende inn meldeskjema til oss.

Vi gjør oppmerksom på at dette er en veiledning basert på hvilke svar du selv har gitt i meldeplikttesten og ikke en formell vurdering.

*Til info: For at prosjektet ikke skal være meldepliktig, forutsetter vi at alle opplysninger som registreres elektronisk i forbindelse med prosjektet er anonyme.*

*Med anonyme opplysninger forstås opplysninger som ikke på noe vis kan identifisere enkeltpersoner i et datamateriale, hverken:*

- direkte via personentydige kjennetegn (som navn, personnummer, epostadresse el.)
- indirekte via kombinasjon av bakgrunnsvariabler (som bosted/institusjon, kjønn, alder osv.)
- via kode og koblingsnøkkel som viser til personopplysninger (f.eks. en navneliste)
- eller via gjenkjennelige ansikter e.l. på bilde eller videoopptak.

*Vi forutsetter videre at navn/samtykkeerklæringer ikke knyttes til sensitive opplysninger.*

Med vennlig hilsen,

NSD Personvern

*Avdelingskontorer / District Offices*

OSLO: NSD, Universitetet i Oslo, Postboks 1055 Blindern, 0316 Oslo. Tel: +47-22 85 52 11. nsd@uo.no  
TRONDHEIM: NSD, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 7091 Trondheim. Tel: +47-73 59 19 07. kjnte.svana@svt.ntnu.no  
TROMSØ: NSD, SVT, Universitetet i Tromsø, 9037 Tromsø. Tel: +47-77 64 43 36. nsdmaa@svt.uio.no

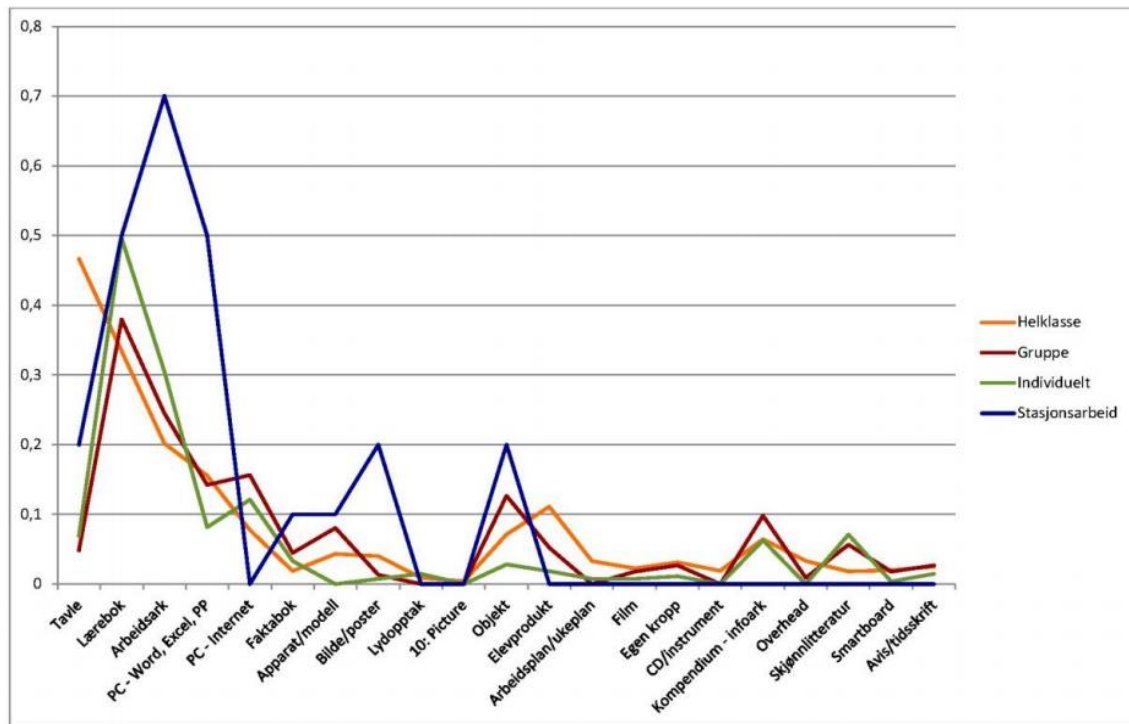
## Vedlegg 3: Intervjuguide ved skole nr. 1

1. Først kan vi snakke litt om elektrisitet
  - a. Få tak i hvilke forkunnskaper elevene sitter inne med.
2. Presenter skiheisen for elevene, la de lese litt.
  - a. Snakk om de ulike delene i kildedomenet og måldomenet.
  - b. Finn ut om elevene identifiserer og forstår objektreelasjoner.
  - c. Legg opp til at elevene diskuterer og reflekterer videre om innholdet i analogien.
3. Presenter rørsystemet for elevene, la de lese litt.
  - a. Snakk om de ulike delene i kildedomenet og måldomenet.
  - b. Finn ut om elevene identifiserer og forstår objektreelasjoner.
  - c. Legg opp til at elevene diskuterer og reflekterer videre om innholdet i analogien.
4. Presenter fjellet for elevene, la de lese litt.
  - a. Snakk om de ulike delene i kildedomenet og måldomenet.
  - b. Finn ut om elevene identifiserer og forstår objektreelasjoner.
  - c. Legg opp til at elevene diskuterer og reflekterer videre om innholdet i analogien.
5. Presenter bowlingkulen for elevene, la de lese litt.
  - a. Snakk om de ulike delene i kildedomenet og måldomenet.
  - b. Finn ut om elevene identifiserer og forstår objektreelasjoner.
  - c. Legg opp til at elevene diskuterer og reflekterer videre om innholdet i analogien.
6. Samtal med elevene om inntrykket de har av de fire analogiene.
7. Spør om det er deler av, eller hele, analogier de ikke forstår.

## Vedlegg 4: Intervjuguide ved skole nr. 2

1. Først kan vi snakke litt om elektrisitet
  - a. Få tak i hvilke forkunnskaper elevene sitter inne med.
2. Presenter rørsystemet for elevene, la de lese litt.
  - a. Snakk om de ulike delene i kildedomenet og måldomenet.
  - b. Finn ut om elevene identifiserer og forstår objektreelasjoner.
  - c. Legg opp til at elevene diskuterer og reflekterer videre om innholdet i analogien.
3. Presenter skiheisen for elevene, la de lese litt.
  - a. Snakk om de ulike delene i kildedomenet og måldomenet.
  - b. Finn ut om elevene identifiserer og forstår objektreelasjoner.
  - c. Legg opp til at elevene diskuterer og reflekterer videre om innholdet i analogien.
4. Presenter fjellet for elevene, la de lese litt.
  - a. Snakk om de ulike delene i kildedomenet og måldomenet.
  - b. Finn ut om elevene identifiserer og forstår objektreelasjoner.
  - c. Legg opp til at elevene diskuterer og reflekterer videre om innholdet i analogien.
5. Presenter bowlingkulen for elevene, la de lese litt.
  - a. Snakk om de ulike delene i kildedomenet og måldomenet.
  - b. Finn ut om elevene identifiserer og forstår objektreelasjoner.
  - c. Legg opp til at elevene diskuterer og reflekterer videre om innholdet i analogien.
6. Samtal med elevene om inntrykket de har av de fire analogiene.
7. Spør om det er deler av, eller hele, analogier de ikke forstår.

## Vedlegg 5: Graf fra Hodgson et al. (2012, s. 70)



Bilde vedlegg: Graf fra Hodgson, Rønning, og Tomlinson (2012, s. 70)