

Arne Stormo is an associate professor at the Department of Teacher Education at the Norwegian University of Science and Technology (NTNU) where he teaches physics and physics didactics. His PhD is in numerical physics, and he has taught physics, mathematics, and science at upper secondary school. His research is focused on dialogues in science education, computational thinking, and programing in schools.

Jorunn Grip has a degree in Technical Physics and is a retired associate professor from the Department of Teacher Education at NTNU. She has taught physics and physics didactics at NTNU and physics and mathematics at upper secondary school. In her teaching she has focused on giving her students practical work in groups and time for discussions. She has co-written textbooks in mathematics for upper secondary school. Prior to entering the field of education, she had published work in Raman spectroscopy.

ARNE STORMO

Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet (NTNU), Norway.
arne.stormo@ntnu.no

JORUNN GRIP

Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet (NTNU), Norway.
jorunn.grip@gmail.com

Forstå, ikke bare gjøre. – Hva skjer i gruppesamtaler blant elever i videregående skole under eksperimenter i fysikk?

Abstract

Practical work has a significant place in physics teaching, but is often performed according to a recipe and with little reflection among the students (Abrahams & Millar, 2008). In this study, we wanted to enhance the learning potential by letting students work with experiments in heterogeneous groups. We have listened to the group dialogues when the students plan the experiment and when they work with the results. We find five prominent themes in the student dialogues: Students encourage each other, challenge each other academically, substantiate their claims, connect theory to the practical work they do, and interpret the meaning of formulas and units. These are qualities that have been shown to promote learning (Abrahams & Millar, 2008; Bagno, Berger & Eylon, 2008; Mercer, 1995) and illustrates how the students are able to use physics during their dialogues.

INNLEDNING

Ifølge Angell og kolleger var eksperimenter noe av det elever i 2004 ønsket seg aller mest i fysikkundervisningen (Angell, Guttersrud, Henriksen & Isnes, 2004). Elevene mente likevel at forsøk ikke var et særlig viktig trekk ved fysikkundervisningen. Funn fra Storbritannia noen år senere viste at de fleste praktiske oppgaver i naturfagundervisningen for elever i alderen 11 til 16 år var rene «kokebok-forsøk». Oppgaveteksten fortalte elevene hva de skulle gjøre. Dersom oppskriften ble fulgt ble resultatene riktige og lærer og elever var fornøyde. Resultatene ble ikke sett i sammenheng med fysikkteori som elevene hadde jobbet med. Læringsutbyttet fra slike oppgaver viste seg å være lavt (Abrahams & Millar, 2008).

Forsøk er en sentral del av den norske læreplanen i fysikk (Utdanningsdirektoratet, 2021), men så sent som i 2010 var de fleste forsøk i fysikk typiske «kokebokforsøk». (Lie, Angell & Rohatgi, 2010). I TIMSS Advanced 2015 rapporterte 70% av norske fysikklærere at de bruker forsøk minst en gang i måneden (Mullis, Martin, Foy & Hooper, 2016).

I 2020 gjorde Abrahams igjen en undersøkelse på praktisk arbeid i naturfag, nå sammen med Sharpe, blant elever i alderen 11 til 15 år (Sharpe & Abrahams, 2020). De fant også nå at elevene ønsket seg praktisk arbeid, men at fysikkelevne ikke syntes det var praktisk arbeid de lærte mest av. Når skriftlig eksamen nærmet seg falt iveren etter å gjøre eksperimenter.

Det er tydelig at noe må gjøres for å få elevene til ikke bare å være «hands-on», men også «minds-on» (Abrahams & Millar, 2008). En måte å lykkes på kan være å gjøre praktisk arbeid mer utforskende. I TIMSS 2019 kom det frem at norske elever som jobber utforskende melder om økt motivasjon og de får bedre resultater i naturfag (Teig, Bergem, Nilsen & Senden, 2021). Samtidig rapporterer norske lærere om langt mindre bruk av utforskende arbeidsmetoder enn lærere andre land (Mullis et al., 2016). Kommunikasjon er sentralt i alle faser av utforskende arbeid (Rönnebeck, Bernholt & Ropohl, 2016), og da er det viktig å legge til rette for faglige dialoger i fysikktimene. Dialog er et viktig verktøy for å utvikle elevenes forståelse for etablert kunnskap og evne til å tenke (Vygotsky, 1978).

I en undersøkelse av hvordan elever i tolvårsalderen fra Sverige og Danmark snakket sammen om mat-kjemi fant en at samtalen før og etter eksperimentet var svært viktig for elevenes læring (Löfgren, Johnsson, Schoultz & Østergaard, 2014). Videre fant en i danske barnehager at selv barn ned i 5 – 6 års alderen kan lage hypoteser hvis de får anledning til å snakke seg gjennom oppgaven (Østergaard, 2012). Bungum med flere (2018) fant at dialoger har potensiale for læring selv i kompliserte fysikktema. De studerte gruppedialoger med elever i videregående skole i Norge som del av et større prosjekt, Relevant. De fant at erfarne fysikkelever i alderen 18 – 19 år, når de fikk muligheten, kunne ha gode og produktive samtaler i kvantefysikk (Bungum, Bøe & Henriksen, 2018). En oppsummering av forskning på samtaler i små grupper er gjort av Bennet, Hogarth, Lubben, Campbell og Robinson (2010). De fant blant annet at gruppedialoger fungerer best når oppgaven gir elevene hint som hjelper dem til å strukturere samtalen.

Praktiske demonstrasjoner og gruppedialoger gir elevene tid og mulighet til å snakke sammen om hva de observerer, tolke ut fra egne er faringer og etter hvert bli i stand til å bruke faguttrykk (Mortimer & Scott 2003). Ved å snakke sammen får elevene mulighet til å tenke høyt og gjøre tankene synlige for hverandre (Mercer & Littleton, 2007). Det er dermed ikke bare de som er mest aktive i samtalen som tjener på denne læringsaktiviteten. Ofte kan en av de tilsynelatende passive elevene i en gruppesamtale være den som utfordrer gruppen til å tenke om igjen på det de gjør (Wegerif, 2013). Manglende kunnskap hos deltakerne kan være hemmende for kvaliteten på dialogene (Andersson & Enghag, 2017). Det bør derfor tas høyde for hvilken kunnskap som er nødvendig når en planlegger slike oppgaver.

På grunn av læringspotensialet i både dialoger og eksperimenter ønsket vi å inkludere dialoger i undervisningen i fysikk i videregående skole. I dette arbeidet ser vi på gruppedialoger under et fysikk-eksperiment. Datagrunnlaget er lydopptak av elever som snakker sammen mens de lager hypoteser, planlegger forsøket og mens de arbeider med resultatene. Vi studerer både hvordan elevene snakker sammen, og ikke minst om de klarer å snakke sammen om fysikk på en produktiv måte. Forskningsspørsmålene våre er:

- Hvilke kjennetegn på læringsfremmende samtaler finner vi i elevenes gruppedialoger gjennom et fysikk-eksperiment?
- På hvilken måte bruker elevene fysikkfaglig kunnskap i gruppedialoger gjennom et fysikk-eksperiment?

TIDLIGERE FORSKNING OG TEORETISKE PERSPEKTIVER

Utforskende samtaler

Dialog er i sosiokulturell teori ansett for å være en essensiell del av læringsprosessen. Dette stammer fra den Vygotskiske ideen om at språket er det viktigste verktøyet et barn har for å lære seg det barnet trenger for å kunne bli en del av kulturen det vokser opp i (Vygotsky, 1978). Begrunnelsen er at den mellommenneskelige bruken av språket former den private bruken av språket når barnet tenker (Vygotsky, 1978). Empirisk evidens for Vygotskys teori er funnet blant annet av prosjektet «Thinking Together» drevet fra University of Cambridge i England (Mercer & Littleton, 2007). De fant at enkelte måter å føre en samtale på styrker evnen for ikke-verbal resonnering hos barn (Mercer, Wegerif & Dawes, 1999; Wegerif, Mercer & Dawes, 1999). Videre fant de at elever som får opplæring i denne måten å snakke sammen på oppnår høyere resultater i naturfag sammenliknet med kontrollgrupper (Mercer, Dawes, Wegerif & Sams, 2004). Barnes (1976) beskrev dette som *utforskende samtale*.

Kjennetegn på utforskende samtale er at (Mercer, 1995) (vår oversettelse):

- all relevant informasjon er delt med gruppa,
- alle er invitert, og alle deltar og bidrar til diskusjonen,
- deltagerne respekterer og vurderer hverandres meninger,
- alle blir bedt om å gi tydelige begrunnelser,
- utfordringer og alternative forklaringer blir gitt eksplisitt og forhandlet om,
- gruppen søker en enighet og felles forståelse før de tar en avgjørelse eller handler.

En slik samtale er en form for sosial tenking. Deltagerne bruker hverandre til å utforske en idé (Mercer & Littleton, 2007). Dette sammenfaller i stor grad med den naturvitenskapelige praksisen *argumentere* (Haug, Sørborg, Mork & Frøyland, 2021). En forutsetning er at deltagerne er trygge nok, på seg selv og på hverandre, til at fokuset ikke blir på å beskytte identiteten sin som individ eller som gruppelem (Mercer, 2000). Idealet beskrevet som utforskende samtale er ikke noe en kan forvente å se rendyrket i det virkelige liv, men vi kan vurdere kvaliteten på elevenes samtaler ved å undersøke om de innehar karakteristikken beskrevet over.

Mercer postulerer tre hypoteser for hvordan utforskende samtaler fører til læring (Mercer, 2013). Den første er appropriasjon, der summen av informasjon i gruppa er større enn hva det enkelte medlemmet har. Ved å dele det de vet med gruppa, vil dermed medlemmene få ny informasjon. Den andre hypotesen kaller han samkonstruksjon (co-construction). Gjennom samtaler klarer gruppe-medlemmene å bearbeide felles tilgjengelig informasjon slik at ny mening blir skapt. Dermed blir gruppas samlede kunnskap mer enn summen av delene. Den tredje og siste hypotesen kaller Mercer (2013) transformasjon. Grupped medlemmene begynner gjennom utforskende samtaler å endre måten de tenker på, og blir dermed bedre individuelle lærende og problemløsere. Mercer (2013) påpeker at disse tre hypotesene ikke utelukker hverandre, og at utforskende samtaler kan være en suksess på grunn av alle tre mekanismene.

Barnes påpeker at det er vanskelig for elever å holde en utforskende samtale så lenge en autoritet, typisk en lærer, er til stede. Lærers tilstedeværelse fører til at elevene fokuserer på å vise hva de kan, og å ikke gjøre feil (Barnes, 1976). Det er på den andre side ikke gitt at elever som blir overlatt til seg selv for å diskutere en oppgave klarer å holde seg til oppgaven eller ha en produktiv samtale (Dawes, 2004). Dette er noe elevene må lære over tid og krever nøye planlegging og kompetanse fra lærers side.

Faglig læring gjennom samtaler

Abrahams og Millar (2008) fant at elever i arbeidet med praktiske naturfagsoppgaver i liten grad lyktes med å inkludere de vitenskapelige ideene oppgavene var ment å illustrere (Abrahams & Millar, 2008). De undersøkte 25 undervisningstimer med praktiske oppgaver i naturfag på forskjellige skoler i England. Både lærere og elever var fornøyde hvis oppgaven ble gjennomført som planlagt og elevene

klarte å reprodusere fenomenet som læreren ønsket å vise fram. Det ble lagt lite vekt på å forklare og knytte resultatene til teori. Lærerne antok stort sett at når elevene klarte å få de rette resultatene, ville fenomenene forklare seg selv.

Et viktig poeng med eksperimenter er at elevene skal bruke modeller, lover og teorier til å forklare det de observerer. Dette innebærer at oppgavene ikke kan være oppskrifter som elevene følger, men at de må utformes slik at elevene er nødt til å snakke sammen (Mercer & Littleton, 2007) om det de gjør med bruk av fysikkfaglig teori. Viktigheten av å tolke resultatene trekkes også frem av Haug og kolleger (2021) under den naturvitenskaplige praksisen *samle og bearbeide data*.

Begrepsforståelse er nødvendig for å forstå formler i fysikk i den virkeligheten de er ment å skulle beskrive. Bagno med flere har vist at når elever blir bedt om å forklare betydningen av fysikkformler har de problemer med å uttrykke seg presist. I deres studie pekte fire problemområder seg ut (Bagno, Berger & Eylon, 2008). Elevene ga vage beskrivelser av komponentene i formlene, klarte ikke å forklare når formlene er gyldige, hadde problemer med å fortelle under hvilke betingelser formlene kunne brukes og de slet med å finne de riktige enhetene. I likhet med Abrahams og Millar (2008), påpeker Bagno at det er nødvendig å gi elevene oppgaver som krever at de må bruke teori til å reflektere over det de gjør. Sammen med kolleger skapte de et miljø for å snakke fysikk. Elevene fikk i oppgave først å tenke selvstendig for deretter å snakke i grupper om betydningen av to sentrale formler i klassisk mekanikk. De fant en betydelig økning av elever som identifiserte forutsetninger for å kunne bruke formlene og de fant at elever som var lite aktive i tradisjonell undervisning ble aktive (Bagno et al., 2008). Alt dette faller inn under den naturfaglige praksisen å *samle og bearbeide data* (Haug et al., 2021). Elevene må kunne koble på det fysikkfaglige både når de skal *planlegge, gjennomføre og analysere data*.

METODE

Det er viktig at elever får trening i å snakke sammen for at dialogene skal bli gode (Dawes, 2004). Vi har derfor valgt å studere samtaler på slutten av skoleåret der elevene har snakket sammen om fysikk det meste av året. Vi gir først gi en beskrivelse av deltakerne og av undervisningen gjennom skoleåret og deretter hvilke data vi bruker i analysen.

Deltagere og kontekst

Studien ble gjort ved en videregående skole i Norge. De fleste elevene gikk i andre klasse. Intervensjonen og undersøkelsen ble gjort i faget Fysikk 1. Dette er det første rene fysikkfaget som gis i norsk skole, og er ikke obligatorisk. Faget har 140 klokketimer i løpet av skoleåret (Utdanningsdirektoratet, 2021). Klassen vi observerte hadde de fleste uker fem undervisningstimer fysikk. Elevene kom fra ulike klasser og kjente ikke nødvendigvis hverandre fra før. Klassen besto av 23 elever. Alle elevene deltok i undervisningen, men tre elever ønsket ikke å delta i prosjektet. Det ble derfor innhentet data fra 20 elever. Elever og lærere har gitt sitt informerte samtykke. Prosjektet er godkjent av Norsk senter for forskningsdata (NSD) og har prosjektnummer 55041.

Undervisningen i fysikk ble fulgt gjennom hele skoleåret, tettest i temaet klassisk mekanikk. Vi arbeidet sammen med to godt kvalifiserte lærere som har flere års erfaring med undervisning, en kvinne og en mann. Dette var lærere som var villige til å legge ned ekstra arbeid i forbindelse med studien i form av utvikling av undervisning, datainnsamling og deltakelse på intervjuer. Forskerne kom med innspill og eksempler på undervisningsmetoder for lærerne gjennom skoleåret. Lærerne brukte metodene i undervisningen. I noen tilfeller, som i oppgaven vi presenterer her, ble hele undervisningsopplegget laget i et tett samarbeid mellom forskere og lærere.

De to lærerne underviste hver sin fysikk-klasse. Studien vi presenterer her er gjort i klassen til den kvinnelige læreren. Både læreren og forskerne hadde et ønske om å gjøre fysikkundervisningen mer dialogbasert og elevene aktive i egen læring. Vi planla derfor dialogbaserte metoder i plenum, i grup-

per og i par (Mortimer & Scott, 2003). Dialoger ble brukt som arbeidsmetode i fysikkundervisningen hele skoleåret. Elevene jobbet i grupper på fire. De jobbet sammen i 4 – 5 måneder før gruppene ble endret. Gruppene var satt sammen av læreren slik at de var heterogene med tanke på faglig nivå. Læreren vektla i tillegg at gruppene skulle fungere sosialt, noe som resulterte i at noen grupper ble kjønnsdelte, mens andre ble blandete. Fordelingen av gutter og jenter i gruppene er gitt i Tabell 1.

Arbeidet med dialoger ble gjort parallelt med arbeid med vurderingsformer. Elevene deltok i vurdering av eget arbeid i klassisk mekanikk. De fikk klare kriterier for evalueringen. Elevene skåret på å definere positiv retning, lese ut av teksten hvor store størrelsene var og tegne figurer med for eksempel krefter i riktig innbyrdes lengde. Videre skulle de kunne vurdere hvilke formler som kunne brukes, forklare hvorfor og regne riktig med bruk av enheter (Bagno et al., 2008).

I løpet av skoleåret hadde disse elevene stor framgang i forståelsen av mekanikk, målt ved hjelp av Force Concept Inventory (FCI), som er et verktøy for å undersøke grunnleggende forståelse av Newtons mekanikk (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992). Klassens forbedring ble målt med gjennomsnittlig normalisert forbedring, (Hake, 1998). Klassen lå på . Dette er godt over gjennomsnittlig normalisert forbedring målt i tradisjonell undervisning, som ligger på , og er innenfor intervallet for elevaktiv undervisning, (Hake, 1998). FCI-testen er blitt kritisert for å overvurdere forståelsen til elevene (Jensen & Madsen, 2014), og at en må se nærmere på hva elevene sier. Vi studerer her gruppesamtalene til elever som har gjort stor fremgang på FCI-testen, og får innblikk i om de klarer å snakke sammen om mekanikk på måter som viser forståelse.

Datainnsamling

Vi studerer 5 lydopptak fra faglig heterogene grupper. Opptakene er gjort under en eksperimentell oppgave i klassisk mekanikk. Klassen brukte det aller meste av høstsemesteret til klassisk mekanikk. Dette eksperimentet ble gjennomført som en repetisjonsoppgave før sluttvurdering på våren. Uka før eksperimentet hadde klassen, i tråd med anbefalingene fra Abrahams og Millar (2008), repetert begreper og teori. Dette er en utforskende oppgave, der elevene veksler mellom dialog og praktisk arbeid, og elevene arbeider dermed samtidig med de to naturfaglige praksisene å *samle og bearbeide data* og å *argumentere* (Haug et al., 2021). Under forberedelsen, skulle elevene lage hypoteser for hva de mente påvirker friksjonskraften og *planlegge* og et forsøk som skulle gi svar på hypotesene. I oppgaveteksten, som er gjengitt i Figur 1, ser vi i punkt b at elevene videre skulle definere begrepet arbeid, gjøre energibetraktninger på et skråplan og planlegge og gjennomføre målinger for å sammenligne størrelser for energi og arbeid. Videre skulle de *gjennomføre* det planlagte forsøket, før de til sist skulle *analysere dataene* sine (Haug et al., 2021). Oppgaven krever bruk av dataloggere, noe elevene hadde trent på tidligere.

Lydopptakene er på mellom 24 og 45 minutter. Gruppe 1 og 3 hadde de korteste opptakene og gruppe 5 hadde det lengste opptaket. Vi viser resultatene for Gruppe 1 til 5 i tabell 1. Elevene gjorde lydopptak når de arbeidet med hypoteser og når de planla forsøket. På grunn av støy og vårt søkelys på gruppesamtalene ble opptakene stanset det når de gjorde det praktiske arbeidet. De startet lydopptakene igjen når de diskuterte og regnet på resultatene.

Elevene hadde gjort lydopptak av andre dialoger tidligere og ble i liten grad forstyrret av opptaket. I opptaket til gruppe 3 (se Tabell 1) mangler den første delen av samtalen der de lager hypoteser og planlegger forsøket, men de lot opptaket gå mens de gjorde forsøket.

Forsøket er utforskende og åpent. Det er ingen oppskrift på hva som skal gjøres og siden elevene testet sine egne hypoteser og valgte utstyr selv så var det ingen fasitsvar. Elevenes utforskning ble støttet opp med alternerende faser av struktur og rom (Bjønness & Kolstø, 2015). Oppgaven er strukturert, ved at det er bestemt hva de skal undersøke og hvilken teori de skal trekke inn. Oppgaven gir så rom for at elevene selv skal velge hvordan de vil løse den praktisk. Oppgaven er stor, starter forholdsvis enkelt, men har deler som er vanskelige. En kunne ikke forvente at alle gruppene ble ferdig med hele oppgaven på de to skoletimene de hadde til rådighet.

Oppgave Krefter, arbeid og energi

Hensikt:

- Anvende begrepene kraft, fart, arbeid, energi og friksjon.
- Analysere en problemstilling ved å tegne hensiktsmessige figurer med krefter
- Lage hypoteser, planlegge og utføre forsøk og summere opp resultatene i forhold til teori.
- Bruke datalogger til å registrere krefter.

Utstyr:

Stativutstyr og friksjonsbrett, 2 «friksjonskasser» med forskjellig underlag, meterstav, 2 lodd, kraftsensor og pc med programvare.

Dere kan i dette forsøket feste en kraftmåler til to ulike «friksjonskasser» og måle krafta en drar med når en trekker friksjonskassene langs friksjonsbrettet.

Planleggingsfasen: Drøft i grupper. La alle i gruppa få komme til orde. Pass på at forklaringer kommer frem. Gjør lydopptak av samtalen.

- a) Hvilke faktorer tror dere påvirker friksjonskrafta og hvordan? Lag og skriv ned hypoteser. Planlegg forsøk for å teste to av hypotesene.
- b) Når du drar ei «friksjonskasse» oppover skråplanet utfører du et arbeid.
 1. Hvordan definerer vi arbeid i fysikk?På toppen av skråplanet har friksjonskassa potensiell energi.
 2. Dere skal nå finne hvor mye av arbeidet som ikke blir til potensiell energi på toppen når du drar kassa langs skråplanet. Planlegg forsøket. Tegn figur med krefter
 3. Hva slags energi har dette arbeidet blitt til?
 4. Hvor stor vil du anslå friksjonen til å være oppover skråplanet? Sammenlign med resultater fra a)

Utføringsfasen: Utfør del a og del b.

Etterarbeid: Drøft resultatene. Gjør lydopptak av diskusjonen.

Figur 1: Oppgaveteksten for det praktiske arbeidet

Lærerens rolle under forsøket var som tilrettelegger. Hun holdt seg i bakgrunnen for ikke å forstyrre samtalerne og ga ikke tilbakemeldinger til elevene før hun hadde hørt opptakene i etterkant av undervisningen. Barnes fant at utforskende samtaler blir bedre av at det ikke er en klar autoritet til stede (Barnes, 1976). Det var derfor viktig at læreren ikke hadde en rolle i gruppedialogene. En av artikkelforfatterne observerte den praktiske gjennomføringen. Det ble gjort individuelt intervju med lærer og tre grupper av elever. Elevgruppene var her delt inn etter lærerens forventning om høy, middels og lav måloppnåelse ved starten av skoleåret. Elevene ble intervjuet to ganger, en måned etter skolestart og etter endt skoleår. Læreren ble intervjuet på slutten av skoleåret. Elevene hadde faste alias som de brukte i lydopptak og på prøver. Vi kan koble det de har gjort med det de forteller i intervju. I resultatdelen har vi gitt elevene fiktive navn.

Analysemetode

Vi analyserte de 5 gruppesamtalerne med tematisk analyse (Braun & Clarke, 2006). I tematisk analyse søker en gjennom data etter meningsbærende mønstre. Temaene har blitt til ved at vi har lest gjennom transkripsjoner av elevsamtaler under fysikkforsøk og kodet samtalerne. Vi har gått frem og tilbake flere ganger i analyseprosessen, vurdert og revurdert både data og tolkninger. Først ble transkripsjonene kodet induktivt, men utover i prosessen ble dette en blanding av induktivt og deduktiv koding. Denne prosessen ble gjentatt og endret flere ganger. De første kodene ble utviklet i en pilotering ved å analysere gruppedialoger under et praktisk arbeid som avsluttet undervisningen i mekanikk fire måneder tidligere. Dette gav oss et bilde av hva vi kunne forvente av elevsamtalerne og hva litteraturen forteller er gunstige trekk ved dialoger. Med denne bakgrunnen analyserte vi de 5 dialogene i denne studien. Etter at dialogene var ferdig analyserte sjekket vi intervjuene for å undersøke om det som ble sagt bekreftet analysen, eller om det endret forståelsen vår. Dette ble gjentatt til vi var trygge på at vi ikke ville endre forståelsen ved flere gjennomganger. Vi satt til slutt igjen med fem temaer i datamaterialet vårt.

RESULTATER OG ANALYSE

I vår tematiske analyse av gruppedialogene fant vi følgende tema:

- Oppmuntring:* Elevene stiller spørsmål og oppmuntrer andre til å delta i diskusjonen.
Utfordring: Elevene utfordrer andres utsagn på en måte som inviterer til diskusjon.
Begrunnelse: Elevene gir begrunnelser for sine påstander.
Teori: Elevene bruker begreper og fysikkteori når de prøver å forstå det de har observert eller skal utforske.
Tolkning: Elevene bruker enheter eller tolker formler og resultater.

Antall utsagn som er kodet som disse temaene i de fem gruppene er vist i Tabell 1. Vi finner mange treff i alle gruppene. Antall treff i hver av gruppene spenner fra 129 til 304. Dette har ikke bare med kvaliteten på dialogene å gjøre. Noen grupper lot opptaket gå en større del av timen når andre skrudde av. Vi ser av tabellen at i alle gruppene oppmuntret elevene hverandre i stor grad ved å stille spørsmål. Det er også mange treff på at elevene bruker begreper og teori, men noe mindre på formelbruk. Færrest treff er det på utfordringer og begrunnelse.

Vi vil nå illustrere hvordan vi har kodet samtalerne. For at leseren skal kunne følge gangen i samtalen og eksperimentet fra start til slutt har vi valgt å presentere utdrag fra bare en gruppe. Vi har valgt gruppe 1 fordi språket deres er mindre oppstykket enn i de andre gruppene. Tabell 1 viser at det er noe variasjon mellom gruppene, men gruppe 1 utpeker seg ikke som en gruppe med spesielt mange treff på de ulike temaene. Dette var en av gruppene som kom lengst i arbeidet, men de ble ikke helt ferdige. Gruppen besto av fire jenter. Navnene i utdragene er fiktive. Vi vet fra prøver at Lisa har den sterkeste fysikkforståelsen. Deretter følger Karen, Maria og Thea. Her følger fem utdrag fra samtalen, sammen med forklarende tekst. Utsagn som er kodet er markert med kodenavn i parentes med fet skrift.

Tabell 1: Oversikt over hvor mange utsagn som inneholder trekkene på oppmuntring, utfordring, begrunnelse, teori og tolkning som ble funnet i transkripsjonene, fordelt på de fem gruppesamtalene. Fordelingen av jenter (J) og gutter (G) i gruppene er også gitt.

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Kjønnsfordeling	4J	1J, 3G	3J, 1G	2J, 1G	4G
Oppmuntring	113	62	45	120	155
Utfordring	13	4	7	16	12
Begrunnelse	17	14	13	18	32
Teori	90	94	58	60	135
Tolkning	14	19	20	27	32

Utdrag 1

Elevene starter samtalen med en brainstorming og henviser til egne erfaringer. Karen leser først oppgaven.

Thea: Det handler jo mye om hvordan underlaget på brettet er da og underlaget på.

Lisa: Ja (**Oppmuntring**)

Thea: De der greiene vi bruke da, den bilen, liksom.

Lisa: Ja, for friksjon handler veldig mye om hva slags underlag det er. (**Begrunnelse**)

Thea: Ja. (**Oppmuntring**)

Lisa: Hvis det er veldig glatt så er det nesten ingenting, men hvis det er – ja ehm.

Thea kommer med det første hun tenker på, underlaget. Hun får støtte av Lisa som begrunner med praktisk erfaring på glatt underlag. Thea peker tilbake på et forsøk som de hadde tidligere med ei vogn på skråplan.

Lisa: Og så handler det sikkert om ...

Maria: (Avbryter.) Og så har det noe med tyngde å gjøre og ... (**Teori**)

Lisa: Ja. (**Oppmuntring**)

Maria: Ja, altså hvor mye vi ...

Lisa: Men det ... har nok mest ... det er liksom ...

Lisa avbrytes av Maria som foreslår at tyngden må være av betydning. Lisa er enig, men får ikke formulert en god respons.

Karen: Det handler også om hvilken retning vi trekker den i. Jeg tipper kanskje det er mer ... (**Teori**)

Maria: Mer friksjon. (**Teori**)

Karen: Mer friksjon når du drar. (**Teori**)

Maria: På tvers.

Den siste av jentene kommer inn i samtalen. Hun får støtte av Maria på at orienteringen til friksjonsskassa også har betydning.

I det første utdraget ser vi at elevene smaker på oppgaven og bruker relevante begreper som tyngde, masse og friksjon. Alle elevene bidrar med forslag og støtter hverandre. De er forsiktige, prøvende og med usammenhengende resonnementer. De har forsiktig begynt å bruke fagbegreper.

Vi ser at alle elevene deltar i diskusjonen, så vi kan allerede her se begynnelsen på en utforskende samtale (Mercer, 1995).

Utdrag 2

Lisa finner formelen og dermed endrer samtalen karakter. Utdrag 2 er ca. tre minutter senere og viser hvordan de begynner å bruke teorien.

- Lisa: Men vi skulle jo ta friksjon ... Jeg husker ikke helt den der friksjonsformelen? Skal vi se.
Karen: Hva er det vi skal lage hypotese om egentlig? **(Oppmuntring)**
Lisa: Hva som påvirker. (Er opptatt av å finne fram til formelen for friksjonen.) Ja. Friksjon er avhengig av ... et friksjonstall ... som handler om underlaget, og normalkrafta. **(Tolkning og Teori)**
Karen: Ja. **(Oppmuntring)**
Lisa: Altså hva som presser den oppover ... som igjen er avhengig av hva som presser nedover. Som igjen er avhengig av masse. **(Tolkning og Teori)**

Lisa finner formelen og tolker den for de andre.

- Maria: Så det er egentlig bare masse da, generelt? På den der? Normalkrafta? **(Oppmuntring og Teori)**
Lisa: Ja. **(Oppmuntring)**
Thea: Jo, det er jo for at jo mer masse, jo mer vil den bli trykket ned, ikke sant? Mot underlaget. **(Teori og Tolkning)**

Maria gjentar Lisa sin forklaring med egne ord. Thea bidrar i samtalen med hvordan de ser for seg at normalkrafta fungerer i praksis.

- Karen: Ja, men altså på et skråplan så virker den gravitasjonskrafta på en måte motsatt vei. Så da må vi ha en større kraft for å trekke oppover ... i forhold til bortover. **(Utfordring og Teori)**
Alle: Ja. **(Oppmuntring)**
Karen: Så når vi trekker med større kraft oppover, så blir altså ... friksjonen større da? **(Teori)**

Karen utfordrer til slutt konklusjonen om at det kun er masse som har betydning for friksjonen selv om de tre andre var enige.

I utdrag 2 ser vi at elevene begynner å bruke faguttrykk og formler når de planlegger forsøket. De bruker teori til å snakke om noe som skal skje (Abrahams & Millar, 2008). Elevene begynner også å tolke formler, slik Bagno påpeker er viktig for forståelsen (Bagno et al., 2008). Fortsatt deltar alle og holder en respektfull tone. De inviterer hverandre til å delta, stiller spørsmål og tør å være uenige. Vi tolker det som at gruppa har den sosiale orienteringen i samtalen som en utforskende samtale krever (Mercer, 2000). Det tok noen minutter før elevene var kommet ordentlig inn i oppgaven, noe vi så gjaldt for alle gruppene.

Utdrag 3:

Etter syv minutter foreslår Karen enda en hypotese for friksjon på skråplanet. De har diskutert lenge fram og tilbake, er usikre, men tar en sjanse på enda en hypotese.

- Karen: Så da skriver jeg «Friksjon er lik ved ulik helning»? **(Teori)**
Lisa: Ja.
Karen: «Dersom farten er lik.»
Lisa: Ja, fart og aks.
Karen: Ja. **(Oppmuntring)**
Lisa: Eh ... ja, vi vet jo ikke ... Det er jo ikke sikkert at det er dumt at den er feil, liksom? Det kan jo være at den er feil, men at ... **(Oppmuntring)**
Maria: Nei, selvfølgelig ikke. Vi må jo bare uansett ha en hypotese, da.

Lisa: Ja, for greia med hypotese, da, er jo at du vet jo ikke alltid om det stemmer, men du tester ut for å sjekke om det stemmer. **(Begrunnelse)**

Flere: Ja. **(Oppmuntring)**

Karen mener at helningsvinkelen ikke har betydning for friksjonen. Lisa gir uttrykk for at hun tviler, oppfordrer til videre diskusjon og går med på å lage en hypotese, med begrunnelsen at en hypotese trenger ikke stemme.

I utdrag 3 hører vi at elevene har kommet fram til hypoteser. Da er det gått ca. ni minutter. Lisa gir uttrykk for at hun er svært usikker, men poengterer at det ikke kan skade å lage en hypotese som viser seg å ikke stemme. Elevene har nå diskutert formler og begreper og viser her en forståelse for hva en hypotese er.

Utdrag 4

I utdrag 4 svarer elevene kort på spørsmålet om definisjonen av arbeid.

Karen: Hvordan definerer vi arbeid? **(Oppmuntring)**

Lisa: Kraft ganger strekning ganger vinkelen ... **(Teori)**

Thea: Cosinus. **(Teori)**

Lisa: ... mellom fartsretningen og kraftretningen. **(Teori)**

Dette kan de. Elevene oppmuntrer hverandre til å bidra og de forklarer betydningen av formelen for hverandre.

Utdrag 5

Utdrag 5 er hentet fra samtalen etter den praktiske delen av oppgaven. Elevene arbeider med resultatene fra forsøket. Thea forlot klasserommet under den praktiske delen av oppgaven. I samtalen videre er det derfor kun tre elever til stede, uten at dette endrer analysen vår.

Karen: Okei. Da har vi fått ei måling på forsøket vårt der vi drar ei kasse opp skråplanet. Og da har vi fått ei kraft. Så den ble på ca. minus 3.

Lisa: Men det er bare at den måler feil vei. Så egentlig er den 3 ... Newton. **(Teori)**

Karen presenterer måleresultatet. Lisa forklarer minustegnet med innstilling på dataloggeren og tilføyer enheten.

Karen: Og så fant vi ut at vi kunne finne arbeidet ... fordi vi har krafta, vi har strekningen og cosinus til vinkelen. **(Begrunnelse og Teori)**

Lisa: Ja. Men greia er ... når vi skal finne arbeidet, så må vi jo trekke ... Det er jo friksjonskrafta den vi egentlig skal finne. **(Tolkning)**

Karen: Ja. **(Oppmuntring)**

Lisa: Ja, okei. Vi har arbeidet til den krafta vi har gjort, da. Men vi har ikke målt vinkelen her. Det har vi ikke gjort. **(Utfordring)**

Karen: Nei.

Karen og Lisa snakker seg gjennom det de nå vet, og hva de egentlig skal regne ut. De bruker faguttrykk og trekker inn cosinus til vinkelen i definisjonen på arbeid. Vinkelen Lisa bemerker at de ikke har målt, er antakelig helningsvinkelen til skråplanet.

Lisa: Men egentlig drar jo Maria ... sammen med fartsretningen. Gjør hun ikke det? Hun drar den jo delvis opp og delvis bort. **(Oppmuntring og Teori)**

Karen: Ja.

Maria: Jeg dro liksom ... ja.

Stormo og Grip

Karen: Ja, og da blir det ... 1? **(Tolkning)**

Lisa: Ja, da kan det være at ...

(Pause.)

Karen: For da ganger du bare med 1.

Lisa: Da er arbeidet som Maria gjør i liksom samme retning som farta da. **(Teori)**

Karen: Mm. **(Oppmuntring)**

Idet Lisa nevner vinkelen ser det ut som hun innser hvilken vinkel det egentlig er. Hun forklarer det for de andre og Karen skjønner at cosinus til vinkelen mellom farta og krafta er lik én. Lisa sier at det var Maria som dro kassa under forsøket og drar dermed Maria med i samtalen igjen. De skjønner at de har løst problemet og det er tydelig i opptaket at det er tilfredsstillende for elevene.

Lisa: Ja, og da får vi jo bare F ganger s ... som er Newton ganger ... **(Tolkning)**

(Pause.)

Karen: Og da har vi ca. 3 newton **(Tolkning)**

Lisa: Ja. **(Oppmuntring)**

Karen: Ganger 0,89 meter. **(Tolkning)**

Lisa: Ja, som blir litt mindre enn 3 joule da. **(Tolkning)**

Karen: Så lite? Okei, Ehm. **(Oppmuntring)**

(Pause.)

Maria: Så der har vi funnet arbeidet som blir gjort da? **(Oppmuntring og Teori)**

Karen: Arbeidet som du gjorde når du dro. **(Oppmuntring og Teori)**

Maria: Ja. **(Oppmuntring)**

Og så faller brikkene på plass. Elevene klarer å koble de målte resultatene til teori som de har hatt tidligere. Lisa og Karen er ivrige og bidrar med tall og riktige benevnninger. De finner arbeidet som utføres ved å dra kassa opp skråplanet. Maria stiller et spørsmål for å forsikre seg om hva de har regnet ut og Karen sitt svar inkluderer henne i gruppa.

Elevene er nå veldig engasjerte. De oppmuntrer hverandre til å delta ved å stille spørsmål og referere til hverandre. Lisa kommer med en utfordring og inviterer de andre til å komme med sine synspunkt. Det kommer begrunnelser for påstander. Elevene viser at de forstår formlene de bruker og de er også flinke til å bruke enheter. Det refereres til hva de har gjort med fysikkfaglige begreper og teori, og de kobler dermed ideer til observasjoner. Et stort engasjement driver elevene framover i et konstruktivt samarbeid. Elevene viser her at de behersker bruken av formler og enheter (Bagno et al., 2008) og de klarer å koble sammen resultatet fra eksperimentet med teori som de tidligere har lært, slik Abrahams og Millar beskriver som gunstig (Abrahams & Millar, 2008).

DISKUSJON OG KONKLUSJON

Oppgaven vi presenterer har en lav inngangsterskel som hjalp alle elevene til å delta fra starten. Det er også eksplisitt i oppgaven at det er viktig å få med alle til å delta i samtalen. Vi ser i utdrag 1 at også Thea, en lavt presterende elev, kommer tidlig i gang. Elevene er i stor grad inkluderende, lar alle på gruppa komme til orde og oppmuntrer hverandre til å komme med ideer. De tør også å vise hverandre at de er usikre, som i utdrag 2, der Karen stanser Lisa for å sjekke at hun har forstått det som blir sagt. Elevene viser at de har den sosiale innstillingen som må til for å kunne ha en utforskende samtale (Mercer, 2000).

Elevene klarer å holde store deler av samtalen utforskende, men de trenger noe tid til å komme i gang med oppgaven. Vi ser at samtalen starter noe usikkert og nølende i utdrag 1 og at resonnementet er tydeligere når det er gått rundt syv minutter i utdrag 3. Samtalen har modnet på de første 10 minuttene. Anderson og Enghag (2017) studerte gruppedialoger blant elever som roterer mellom flere korte oppgaver. De fant at samtaler kan utvikle seg til å bli utforskende over tid. I starten av

samtalen, når fokuset var på å forsøke å gjennomføre oppgaven, var ikke samtalen særlig utforskende. Senere, når elevene forsøkte å forstå hva de hadde gjort, ble den utforskende (Andersson & Enghag, 2017). God tid til gruppedialoger fører til at elevene bruker faguttrykk og holder seg til temaet gjennom hele gruppedialogen (Mortimer & Scott, 2003). De mener dette fører til læring. Elevene i denne klassen har arbeidet med dialoger i faste grupper gjennom det meste av skoleåret. Hvis gruppesamtaler skal bli et nyttig verktøy, er det viktig at elevene lærer å delta i dialoger (Bennett et al., 2010; Dawes, 2004; Mercer & Littleton, 2007).

I de heterogene gruppene er det elever med ulike faglige forutsetninger. Dette tvinger dem til å forklare hva de tenker for hverandre. En høyt presterende elev sier i intervjuet:

«Når vi får pratet om det så er det mye lettere å få det inn i forståelsen enn hvis vi bare sitter og leser eller hører.»

En elev som ikke mestrer faget så godt sier:

«Når jeg prøver å forklare ting så kan det hende at jeg finner ut underveis at det blir feil og så endrer jeg. Så da har jeg jo på en måte skjont det da.»

Elevene kommer her, på hver sine måter, til ett av kjerneelementene i sosiokulturell teori om læring: Den mellommenneskelige kommunikasjonen former hvordan vi tenker (Vygotsky, 1978). Vi mener at faglig heterogene grupper legger til rette for dette ved at det blir nødvendig for elevene å begrunne påstandene sine. For å få gode gruppesamtaler er det gunstig at utgangspunktet til gruppedeltagelse er forskjellig (Bennett et al., 2010). Den totale informasjon i hver enkelt gruppe er større enn kunnskapen til hver enkelt deltaker. Slik tjener alle på å appropriere felles tilgjengelig informasjon. Det handler også om samkonstruksjon (co-construction) av ideer. I utdrag 5 ser vi denne samkonstruksjonen skje da Lisa og Karen diskuterer hvilken vinkel som gjelder i formelen for arbeid. I et trygt klassemiljø utfordrer elevene både seg selv og hverandre i dialogen. Mercer beskriver dette som læringsfremmende dialoger i naturfag (Mercer et al., 2004).

Under forsøket holdt læreren seg i bakgrunnen og lot elevene arbeide selvstendig i gruppene. For læreren og observatøren virket det ganske kaotisk der og da, men i lydopptakene hører vi engasjerte elever som prøver ut sine egne tanker og tør å komme med forslag. Læreren forteller i intervjuet:

«I år har det vært mindre tid for meg å gå rundt og snakke med hver enkelt fordi dem har jobba mer i disse her gruppene og da vil jeg ikke forstyrre gruppa mye.»

Det kan være tungt for en lærer å slippe taket på denne måten og en elev nevner i intervjuet at han hadde ønsket mer kontakt med læreren, men det er viktig at elevene får snakket ferdig uten en autoritet til stede (Barnes, 1976).

Hvis elevene skal lære fysikk når de snakker sammen, er det viktig at samtalen ikke bare har høy kvalitet, men at den også er faglig. Abrahams og Millar fant at elever ikke lærte mye under forsøk i naturfag (Abrahams & Millar, 2008). I alle klasserommene de besøkte var oppgavene oppskrifter. Elevene knyttet i liten grad eksperimentet til teori når de snakket sammen. I eksperimentet vi studerte måtte elevene lage hypoteser og planlegge forsøket selv. Videre ble de spesielt bedt om å summere opp resultatene i forhold til teori. Oppgaveteksten er konkret med enkle støttestrukturer (Bjønness & Kolstø, 2015) som hjelper elevene til å trekke linjene mellom det praktiske forsøket og teori de hadde lært. Vi ser hvordan det er mulig å lykkes med å kombinere de vitenskapelige praksisene *å samle og bearbeide data* og *å argumentere* (Haug et al., 2021). Vi hører i opptakene hvordan elevene flere ganger bruker fysikkteori, for eksempel i utdrag 2 der elevene finner friksjonsformelen og bruker den til å vurdere hva som vil skje i eksperimentet. Vi ser at når elevene jobber praktisk får de noe konkret å snakke sammen om, og når de snakker sammen forstår de bedre hvordan de skal gjennomføre oppgaven.

Manglende fagkunnskap hindrer utviklingen av forståelse gjennom gruppesamtaler (Bennett et al., 2010). Anderson og Enghag fant i sin studie at en av grunnene til at samtalene ikke ble utforskende var at elevene manglet kunnskap (Andersson & Enghag, 2017). I intervjuet sier læreren at «*de hadde begrepen inne, de hadde repetert dem timen før.*» Læreren har skjont betydningen av å arbeide med begreper. I utdrag 2 ser vi hvordan elevene begynner å bruke fagbegreper som friksjonstall og normalkraft. I utdrag 3 ser vi at elevene har en moden forståelse av hva det vil si å lage hypoteser.

Elevene har gjennom skoleåret evaluert egne prøver i mekanikk, trent på å forklare forutsetninger for når en formel kan brukes og å beskrive retninger til for eksempel krefter og fart. De har også trent på alltid å bruke enheter. Dette er i tråd med det Bagno og kolleger (2008) har anbefalt. I tillegg til at de var vant til denne måten å jobbe på, var oppgaven laget slik at elevene skulle snakke sammen om fysikkformler. Elevene fikk beskjed om å finne formelen for arbeid. Arbeid er et viktig begrep i denne oppgaven og ble et hint (Bennett et al., 2010) om at dette vil de få bruk for. Dette hintet fungerte som en støttestruktur. Vi ser i utdrag 4 at elevene finner formelen og forklarer den kjapt for hverandre. Når de skal bruke formelen i utdrag 5 er det allikevel tydelig at de funderer på hvilken vinkel de skal ta cosinus til. Når det er klart for alle tre så bruker de formelen helt riktig til å regne på resultatene fra forsøket. Elevene klarer også å holde styr på enhetene. De sier eksplisitt at Newton og meter blir til Joule. Dette var noe Bagno (2008) fant at mange elever hadde problemer med. Elevene i vår studie bruker enheter selv om oppgaven ikke ber om det.

Dialoger og utforskende eksperimentelle oppgaver gir elevene anledning til å være aktive i egen læring. Vi hører også i intervjuene at både læreren og elevene opplever faglige dialoger som lærerike. Gode samtaler krever opplæring og trening (Dawes, 2004). Det har elevene har fått dette skoleåret.

Det kan argumenteres for at læreren kan ha lyktes i å gjennomføre denne type undervisning i større grad på grunn av et spesielt sterkt engasjement og ekstern oppfølging, men resultater fra TIMSS 2019 tyder på at utforskende arbeidsmåter fungerer også i klasser der læreren ikke har fått noen form for spesiell opplæring (Teig et al., 2021).

Vi har i dette arbeidet studert dialoger under eksperimentelt arbeid i fysikk etter at elevene hadde brukt dialoger som arbeidsmetode gjennom det meste av skoleåret. Dette har gitt oss svar på de to forskningsspørsmålene:

- Hvilke kjennetegn på læringsfremmende samtaler finner vi i elevenes gruppedialoger gjennom et fysikkeksperiment?
- På hvilken måte bruker elevene fysikkfaglig kunnskap i gruppedialoger gjennom et fysikkeksperiment?

I vår analyse fant vi fem tema som beskriver hva elevene gjorde under gruppesamtalene; *oppmuntring, utfordring, begrunnelse, teori og tolkning*. Dette er tema som ligner trekk ved dialoger som litteraturen beskriver som læringsfremmende. Spesifikt fant vi trekk som tyder på at elevene snakker om den fysiske tolkningen av formlene de bruker (Bagno et al., 2008), at elevene bruker begreper og kobler observasjoner til teori (Abrahams & Millar, 2008) og at de har samtaler med mange av de samme kvalitetene som utforskende samtaler (Mercer, 1995). Vi ser av temaene teori og tolkning at elevene ikke bare har gode samtaler, men også hvordan de bruker fysikkfaglig kunnskap i gruppedialogene.

I intervjuene så vi noe forskjell på elevenes entusiasme for gruppesamtaler, men kunne ikke se at det ga utslag i analysen vår. De høyest presterende elevene som ble intervjuet sa at dialoger var den undervisningsaktiviteten de lærte mest av. Blant de andre studentene var ikke svarene like entydige. Det hadde vært interessant å studere videre hvilken effekt faglig heterogene grupper har på elevers deltagelse og læring. Eksempelvis fant Briggs (2020) at blant fysikkstudenter på universitetsnivå ble middels og lavt presterende studenter passive i heterogene grupper. Dette finner vi ikke i våre gruppesamtaler.

Studien vår viser at elever kan ha svært engasjerte samtaler i forbindelse med praktisk arbeid i fysikk. Med tanke på hva Sharpe og Abrahams (2020) skrev om den dalende interessen for praktisk arbeid når det nærmer seg eksamen, er det verdt å legge merke til at eksperimentet i denne studien ble gjennomført mot slutten av skoleåret. Eksamen i Fysikk 1 i Norge er muntlig-skriftlig. (Utdanningsdirektoratet, 2021). Den muntlige delen inneholder ofte et eksperiment. Det ville vært interessant å se om dette påvirker interessen for eksperimenter, og om det er en forskjell mellom Norge og andre land.

TAKK

Vi vil gjerne få takke skolen, lærerne og elevene for deltagelsen på prosjektet. Vi takker Astrid Johansen ved Skolelaboratoriet på NTNU for arbeidet hun gjorde under planleggingen av studien og datainnsamlingen.

REFERANSER

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945–1969. <https://doi.org/10.1080/09500690701749305>
- Andersson, J., & Enghag, M. (2017). The relation between students' communicative moves during laboratory work in physics and outcomes of their actions. *International Journal of Science Education*, 39(2), 158–180. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1270478>
- Bagno, E., Berger, H., & Eylon, B.-S. (2008). Meeting the challenge of students' understanding of formulae in high-school physics: A learning tool. *Physics Education*, 43(1), 75–82. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/43/01/008>
- Barnes, D. (1976). *From curriculum to communication*. Boynton/Cook-Heinemann.
- Bennett, J., Hogarth, S., Lubben, F., Campbell, B., & Robinson, A. (2010). Talking Science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education*, 32(1), 69–95. <https://doi.org/10.1080/09500690802713507>
- Bjønness, B., & Kolstø, S. D. (2015). Scaffolding open inquiry: How a teacher provides students with structure and space. *Nordic Studies in Science Education*, 11(3), 223–237. <https://doi.org/10.5617/nordina.878>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a>
- Briggs, M. (2020). Comparing Academically Homogeneous and Heterogeneous Groups in an Active Learning Physics Class. *Journal of College Science Teaching*, 49(6), 76–83. JSTOR.
- Bungum, B., Bøe, M. V., & Henriksen, E. K. (2018). Quantum talk: How small-group discussions may enhance students' understanding in quantum physics. *Science Education*, 102(4), 856–877. <https://doi.org/10.1002/sce.21447>
- Dawes, L. (2004). Talk and learning in classroom science. *International Journal of Science Education*, 26(6), 677–695. <https://doi.org/10.1080/0950069032000097424>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74.
- Haug, B. S., Sørborg, Ø., Mork, S. M., & Frøyland, M. (2021). Naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter-på vei mot et tolkningsfellesskap. *Nordic Studies in Science Education*, 17(3), 293–310.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Jensen, S. B., & Madsen, L. M. (2014). Nye veje til at undersøge fysikstuderendes konceptuelle forståelse af klassisk mekanik. *MONA-Matematik-Og Naturfagsdidaktik*, 1. <https://tidsskrift.dk/mona/article/view/36193>

- Löfgren, R., Johnsson, K., Schoultz, J., & Østergaard, L. D. (2014). Engagerande samtal i det naturvetenskapliga klassrummet Inquiry based dialouge in science classroom. *Nordic Studies in Science Education*, 10(2), 130–145. <https://doi.org/10.5617/nordina.732>
- Mercer, N. (1995). *The guided construction of knowledge: Talk amongst teachers and learners*. Multilingual matters.
- Mercer, N. (2000). *Words and Minds: How We Use Language to Think Together*. Psychology Press.
- Mercer, N. (2013). The Social Brain, Language, and Goal-Directed Collective Thinking: A Social Conception of Cognition and Its Implications for Understanding How We Think, Teach, and Learn. *Educational Psychologist*, 48(3), 148–168. <https://doi.org/10.1080/00461520.2013.804394>
- Mercer, N., Dawes, L., Wegerif, R., & Sams, C. (2004). Reasoning as a scientist: Ways of helping children to use language to learn science. *British Educational Research Journal*, 30(3), 359–377. <https://doi.org/10.1080/01411920410001689689>
- Mercer, N., & Littleton, K. (2007). *Dialogue and the development of children's thinking: A sociocultural approach*. Routledge.
- Mercer, N., Wegerif, R., & Dawes, L. (1999). Children's Talk and the Development of Reasoning in the Classroom. *British Educational Research Journal*, 25(1), 95–111. <https://doi.org/10.1080/0141192990250107>
- Mortimer, E., & Scott, P. (2003). *Meaning Making In Secondary Science Classrooms*. McGraw-Hill Education (UK).
- Mullis, I. V., Martin, M. O., Foy, P., & Hooper, M. (2016). *TIMSS Advanced 2015 International Results in Advanced Mathematics and Physics*. Retrieved from Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center website: <http://timssandpirls.bc.edu/timss2015/international-results/advanced/>.
- Østergaard, L. D. (2012). Inquiry Based Science Education og den sociokulturelt forankrede dialog i naturfagsundervisningen. *Nordic Studies in Science Education*, 8(2), 162–177. <https://doi.org/10.5617/nordina.525>
- Rönnebeck, S., Bernholt, S., & Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161–197. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>
- Sharpe, R., & Abrahams, I. (2020). Secondary school students' attitudes to practical work in biology, chemistry and physics in England. *Research in Science & Technological Education*, 38(1), 84–104. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1597696>
- Teig, N., Bergem, O. K., Nilsen, T., & Senden, B. (2021). Gir utforskende arbeidsmåter i naturfag bedre læringsutbytte? In T. Nilsen & H. Kaarstein (Eds.), *Med blikket mot naturfag. Nye analyser av TIMSS-data og trender 2015-2021* (pp. 46–72). Universitetsforlaget. <https://doi.org/10.18261/9788215045108-2021-03>
- Utdanningsdirektoratet (2021). *Læreplan i fysikk (FYS01-02)*. Fastsatt som forskrift. Læreplanverket for Kunnskapsløftet 2020. <https://www.udir.no/lk20/FYS01-02>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher mental process*. Harvard University Press.
- Wegerif, R. (2013). *Dialogic: Education for the Internet Age*. Routledge.
- Wegerif, R., Mercer, N., & Dawes, L. (1999). From social interaction to individual reasoning: An empirical investigation of a possible socio-cultural model of cognitive development. *Learning and Instruction*, 9(6), 493–516. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(99\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(99)00013-4)