Heidi I. Saure er førsteamanuensis ved lærerutdanningen ved NLA Høgskolen i Bergen. Hun underviser i blant annet feltbiologi, økologi, naturfagdidaktikk og kjemi. Hennes forskningsinteresser er knyttet til vegetasjonsøkologi og naturfagdidaktikk.

Nils-Erik Bomark er teoretisk fysiker i bunn, med en doktorgrad i teoretisk partikkelfysikk. Han underviser nå blant annet på lærerutdanningen ved Universitetet i Agder (UiA) og har en mer didaktisk retning på forskningen.

Monica Lian Svendsen er førsteamanuensis ved Universitetet i Agder (UiA). Hun har en doktorgrad i miljøkjemi, og har i flere år undervist kjemi i lærerutdanningen og bachelorutdanninger ved UiA. Hennes forskningsinteresser har de siste årene blitt mer rettet mot kjemididaktikk.

HEIDI IREN SAURE

Avdeling for lærerutdanning, NLA Høgskolen Bergen, Norge
heidi.saure@nla.no

NILS-ERIK BOMARK

Institutt for naturvitenskap, Universitetet i Agder, Kristiansand, Norge
nilseb@uia.no

MONICA LIAN SVENDSEN

Institutt for naturvitenskap, Universitetet i Agder, Kristiansand, Norge
monica.l.svendsen@uia.no

Modeller i kjemiundervisning- et eksempel på hvordan de kan bidra til læring og feillæring

Abstract

We discuss the use of analogical models in science education using examples from online learning resources. We have conducted a teaching program for a group of 7th grade pupils and a group of science teacher students, and the main theme of this program is the use of models in chemistry. Specifically, we study the effect of an analogical model that is designed to promote understanding of the properties of molecules, related to a paper chromatography experiment. Our research indicates that analogical models can be a useful tool to convey understanding of abstract concepts and non-visible phenomena, but they hold serious pitfalls that can lead to misunderstandings amongst students if not used in a proper manner. These findings are in line with other studies. Our data indicate that respondents' knowledge about molecular properties may have increased after participating in this teaching program. However, both groups of respondents consistently used wrong properties to explain the paper chromatography experiment. Conversation transcripts and respondents' models indicate that these misconceptions are enhanced by the analogical model they were given to work with during the teaching program. Based on our findings, we give some advice for how to best present analogies in the classroom.

INNLEDNING

Bakgrunn

Hvilke egenskaper har et molekyl, og hvordan ser et molekyl egentlig ut? På det makroskopiske nivået kan elever følge med på kjemiske prosesser og se resultatet av dem, men for at læreren skal kunne gi en kjemisk forklaring til det som skjer må hun ned på mikronivå og diskutere ved å bruke begreper som atomer, molekyler og bindinger. Overgangen fra makro- til mikronivå kan være utfordrende for elever å følge, ettersom de ikke kan gjøre direkte observasjoner av partikler (Taber, 2013). For det første er det vanskelig for mange elever å ta i bruk det abstrakte molekylbegrepet i sine refleksjoner, og det er særlig utfordrende å forstå hvordan molekylers egenskaper kan forklare det de ser. En vanlig misoppfatning hos elever er at de tenker at partiklene som bygger opp et stoff innehar de samme egenskapene som selve stoffet (f.eks. at vannmolekylene smelter når isklumpen smelter, eller at kloratomer er grønne) (Bucat & Mocerino, 2009).

I denne studien utforsker vi hvordan bruken av en bestemt type modell kan bidra til utviklingen av kunnskaper om molekyler og hvordan disse kunnskapene blir brukt til å forklare et elevforsøk. Elever trenger visuelle knagger å feste forståelsen sin på (Dolphin & Benoit, 2016). Modeller kan være slike knagger som kan hjelpe eleven til å koble ny læring i kjemiundervisningen, for eksempel et begrep eller en prosess, til tidligere kunnskap i faget. Man kan si at modeller er «representasjoner av en idé, et objekt, en hendelse, en prosess eller et system» (Gilbert & Boulter, 2000 s.vii, vår oversettelse). Slik sett kan en modell peke på fellestrekk mellom noe som man erfarer/observerer og et vitenskapelig fenomen (Harrison & De Jong, 2005). Modeller kan være konkrete eller visuelle, muntlige og tekstbaserte metaforer og analogier (Coll, France & Taylor, 2005). Et særtrekk ved analogier er at de legger opp til en sammenligning mellom det som skal læres og det som utgjør analogien (Coll et al., 2005). Flere støttestrukturer og representasjoner kan virke sammen for å gi best mulig læring (Harrison & De Jong, 2005; Wu & Puntambekar, 2012). Elever kan også ha nytte av å lage egne modeller og å kritisk vurdere både egne og vitenskapelige modeller (Coll et al., 2005). Bruk av analogier kan ha særlig stor læringseffekt for elever på det konkret-operasjonelle stadiet, hvor elevene som deltar i vår studie (7. trinn) antas å befinne seg (Eskandar, Bayrami, Vahedi & Ansar, 2013; Pouw, Van Gog, Zwaan & Paas, 2016; Sarantopoulos & Tsapralis, 2004).

Bruk av modeller i undervisning kan også være utfordrende, blant annet fordi man risikerer at eleven lærer modellen i stedet for det naturvitenskapelige fenomenet (Coll et al., 2005). Felles for alle modeller er at de aldri kan sammenlignes fullt og helt med det vitenskapelige fenomenet de skal representere. Det anbefales derfor at læreren gjør elevene oppmerksomme på hvor modellen/analogien brister, ellers er det lett for at det dannes misoppfatninger hos elevene (Coll et al., 2005; Dikmenli, 2010; Glynn, 2007; Harrison & Treagust, 1996). For å unngå at modellene som brukes i undervisningen fører til feillæring, anbefales det at læreren følger bestemte trinn i undervisningen, jf. «TWA-the teaching with analogy»-modellen (Glynn, 2007; Glynn, Duit & Thiele, 1995) der det blir lagt vekt på å få frem både likheter og forskjeller mellom fenomenet som eleven skal lære om og selve analogien/modellen: 1. Introdusere det vitenskapelige begrepet/fenomenet (målet) som elevene skal lære. 2. Snakke med elevene om hva de vet om analogien som blir brukt. 3. Identifisere relevante egenskaper/trekk ved både målet og analogien. 4. Gjøre elevene oppmerksomme på likhetene mellom målet og analogien ved å sammenligne dem. 5. Peke på hvor analogien brister; altså hvor målet og analogien ikke er sammenlignbare. 6. Presisere hva som er viktig å lære om målet (konklusjoner).

I et sosial-konstruktivistisk læringssyn bygger elevene sin forståelse på personlige erfaringer og forkunnskaper; de bygger egne mentale modeller (Coll & Treagust, 2003). Tester viser ikke nødvendigvis elevens egentlige forståelse (Harrison & Treagust, 1996), fordi det er mange ulike faktorer som avgjør hvordan elevens mentale modeller kommer til uttrykk. I forskningssammenheng betyr dette at en bør tolke respondenters uttrykte mentale modeller med en bevisst forsiktighet (Coll & Treagust, 2003).

«Viftemodellen» er navnet på en analogimodell som vi ser nærmere på i denne studien, og den inngår i et rikt undervisningsopplegg laget for elever på mellomtrinnet (5.-7. trinn). Vi undersøker hvordan

viftemodellen kan bidra til kunnskap om mikronivået i kjemi hos to ulike respondentgrupper (elever og studenter). Respondentenes oppfattelse av analogiene i viftemodellen drøftes deretter for å belyse mer generelle fordeler og utfordringer knyttet til bruken av analogimodeller i undervisning. Det overordnede målet med undervisningsopplegget vi har gjennomført handler om å lære om atomer og molekyler, samt å gi økt kunnskap om «at blandinger kan separeres fordi hvert stoff i en blanding har forskjellige egenskaper» (Naturfag.no) som vekt, størrelse, form og bindingsevne. Ettersom viftemodellen er en eksplisitt analogi for et elevforsøk som demonstrerer prosessen papirkromatografi, ser vi det som et viktig læringsmål at modellen skal hjelpe respondentene til å forstå hvordan papirkromatografi fungerer. Vi har definert følgende læringsmål for respondentene i studien.

Læringsmål 1 (LM1); Å lære om molekylegenskaper

Læringsmål 2 (LM2); Å kunne bruke disse egenskapene til å forklare resultatene fra papirkromatografiforsøket.

Med utgangspunkt i disse læringsmålene har vi følgende forskningsspørsmål: *Hvilke kunnskaper om molekylegenskaper og prosessen som driver papirkromatografi viser elever og studenter etter arbeid med viftemodellen? Og hvilke muligheter og utfordringer ser vi ved bruk av analogimodeller i undervisning?*

METODER

Kontekst

Utgangspunktet for denne studien er et undervisningsopplegg som heter «Modeller i kjemi. Separere blandinger». Undervisningsopplegget er hentet fra en ressursbank på Naturfagsenterets nettsider (Nasjonalt senter for naturfag i opplæringa, www.naturfag.no/), og den primære målgruppen for undervisningsopplegget er elever på mellomtrinnet (5.-7.trinn). Opplegget er delt opp i ni økter, og deltagerne i vår studie (heretter kalt respondenter) gjennomførte fire av øktene (økt nr.1, 2, 3 og 5). De samme fire øktene ble valgt ut for gjennomføring både med en skoleklasse på mellomtrinnet (respondentgruppe A) og en gruppe naturfagstudenter (respondentgruppe B) på høgskolenivå.

I økt 1 introduseres begrepene atom, blanding, egenskap, molekyl, partikkel, rent stoff, modell og observere gjennom arbeid med en bok som heter «Laget av stoffer». I økt 2 introduseres pastamodellen, der en blanding av ulike typer pasta representerer en blanding av molekyler. Respondentene reflekterer så over hvordan denne blandingen kan separeres. Videre innføres begrepet *kromatografi*, og respondentene gjennomfører en elevøvelse der en blanding av konditorfarger separeres ved at fargene trekkes med vann oppover et kaffefilter (derav begrepet papirkromatografi, se Figur 1a). Respondentene tegner også en modell av hva de tror skjer på mikronivå i denne kromatografiske prosessen. Disse modellene kalles *nanomodeller*, der begrepet «nano» brukes om noe som er så lite at man ikke kan se det. Tekstboks 1 forklarer hvilke egenskaper hos fargemolekyler (her brukt om molekyler som gir farge) og vannmolekyler som er viktige for forståelsen av papirkromatografi-forsøket.

I økt 3 demonstrerer læreren en modell som kalles *viftemodellen*, en analogi for prosessen som foregår i elevøvelsen med papirkromatografi. I modellen blir luftstrømmen fra en vifte brukt for å simulere vannet, og forskjellige objekter—som steiner, pakkechips, isoporkuler og teipringer (med klisteret ut slik at de fester seg på ting), blir brukt som analogi for molekylerne som gir de ulike fargene vi ser på papiret (Figur 1b). Gulvet er en analogi for filterpapiret i kromatografiforsøket. Når viften slås på beveger de lette isoporkulene og pakkechipsene seg raskt framover, mens steinene og teipringene blir liggende stille. Gruppe A brukte en bordvifte, mens gruppe B brukte en hårføner. I siste del av økt 3 diskuteres gjennomføringen av viftemodellen med respondentene, før de reviderer nanomodellen de har tegnet. Den siste økten heter «Forstå kromatografi: Del 1». Nye ord som introduseres er separere, bevis, forklaring, modell og trekke en slutning. Som del av denne økten skal respondentene bl.a. vurdere hverandres nanomodeller. En mer detaljert beskrivelse av de fire øktene er gitt i Appendix 1.

Undervisningsopplegget (Naturfag.no) beskriver hvert eneste ledd i undervisningen på detaljnivå; for eksempel blir det foreslått hva læreren skal si og spørre elevene om, og når dette skal gjøres. Dette gjør det mulig for oss å sammenligne undervisningen som ble gitt til de to ulike respondentgruppene.

Vi sammenligner to respondentgrupper (Gruppe A og Gruppe B) som befinner seg på ulikt utdanningsnivå for å undersøke potensialet som ligger i bruken av analogimodellen som tas i bruk i dette undervisningsopplegget. Vi ba respondentene om å svare på en pre-posttest, og vi samlet også inn skriftlig materiale som de arbeidet med underveis i undervisningsopplegget. Det skriftlige datamaterialet analyserte vi ut fra forskningsspørsmålet om respondentenes kunnskaper (se Tabell 1). I tillegg filmet vi og gjorde lydopptak fra hele undervisningsopplegget, for å kunne få et større innblikk i respondentenes refleksjoner. Disse analyseres for å undersøke hvordan bruken av analogiene i vifte-modellen bidrar til de kunnskapene som respondentene demonstrerer etter deltagelse i studien.

Kromatografi og molekylegenskaper

I kromatografi er det en fase som er i ro (stasjonær fase) og en fase som beveger seg (mobil fase). Den mobile fasen kalles også ofte for **løsemiddel**. Papirkromatografi er den enkleste formen for kromatografi. Forutsetningen for å oppnå separasjon er at stoffene vi ønsker å separere har ulik **polaritet** og at den stasjonære fasen (filterpapiret) og den mobile fasen (vannet) har ulik polaritet. Polare stoffer er **blandbare** med hverandre, upolare stoffer er blandbare, mens polare og upolare stoffer er ikke blandbare med hverandre. Ved bruk av et polart løsemiddel som vann, så vil de mest polare fargemolekylene være mest blandbare med vannet og bevege seg lengst oppover papiret. Jo mere polare to stoffer er, dess kraftigere tiltrekkes de av hverandre. Molekulegenskaper som **vekt, form og størrelse** kan forklare separasjon av blandinger innen noen typer kromatografi, men dette er altså *ikke* relevante forklaringer for papirkromatografi. For elever på mellomtrinnet er polaritet et avansert og ukjent begrep, så det kan være bedre å forklare papirkromatografi ved å si at noen fargemolekyler har større **bindingsevne** til vann, og derfor føres de lenger oppover papiret.

Figur 1. Elevforsøket papirkromatografi (a) og viftemodellen (b). I figur 1a (til venstre) viser filterpapirene fargemolekyler som er separerte fra en blanding av konditorfarger. Figur 1b (til høyre) viser objektene som skal forestille molekyler i viftemodellen (de såkalte «modellmolekylene»): Isoporkuler, pakkechips, småstein og teipringer.

Uvalg

Gruppe A består av 26 elever på 7. trinn, 15 jenter og 11 gutter, der alle elevene har norsk som morsmål. Læreren valgte ut den roligste klassen på trinnet til å delta i studien. For å sikre anonymitet tildelte læreren et nummer til hver elev, og alt skriftlig materiale som ble samlet inn var kun merket med dette nummeret. Klassen hadde tidligere hatt undervisning om atomer og molekyler på 6. trinn med en annen lærer.

Gruppe B består av 7 naturfagstudenter ved en norsk høyskole, avdeling for lærerutdanning. Det er 3 menn og 4 kvinner i denne gruppa, og alle studentene har norsk som morsmål. Respondentene studerte Naturfag 2 (30 stp.) eller årsstudium i naturfag (videreutdanning i Naturfag 1+2, 60 stp.). Alt skriftlig materiale som ble samlet inn var merket med studentens selvvalgte kallenavn («alias»). Naturfagstudentene meldte seg frivillig til å delta etter at en åpen invitasjon ble sendt ut til ca. 50 personer som studerer naturfag ved høyskolen. Studentene deltok i loddtrekning om gavekort og fikk tilbud om gratis pizzalunsj etter gjennomføringen.

Respondentgruppe A og B befinner seg på ulike utdanningsnivå. Naturfagstudentene (Gruppe B) antas selvsagt å være faglig sterkere enn elever på mellomtrinnet (Gruppe A, målgruppen for undervisningsopplegget), og vi forventer at de i større grad klarer å reflektere over og sette ord på det de erfarer under deltagelsen i studien. Ved å inkludere gruppe B i studien kan vi derfor få større muligheter til å undersøke potensialet som ligger i bruken av analogimodellen som vi tar i bruk, og vi antar at resultatene fra denne respondentgruppen kan ha overføringsverdi til undervisning på mellomtrinnet.

Studien er innmeldt til Norsk senter for forskningsdata (NSD), respondentene er anonymiserte, og sitater er skrevet på standardisert bokmål (respondenter) og nynorsk (lærere) for ytterligere anonymisering. Det er kun forskerne i studien som har tilgang til videomaterialet.

Datainnsamling

Undervisningen i gruppe A ble ledet av elevenes naturfaglærer, med to av forskerne som observatører. Naturfaglæreren ble rekruttert gjennom kommunens realfagsnettverk og var på dette tidspunktet deltaker i et videreutdanningskurs i naturfag. Undervisningen ble gjennomført over to uker med totalt fire 1,5 timers-økter. All undervisning ble filmet med et oversiktskamera bak i klasserommet og læreren valgte ut to tilfeldige gutter og en jente som bar hodekamera i undervisningsøktene. Det virket ikke som elevene ble merkbart distraherede av å bære hodekamera. Grunnet tekniske utfordringer tok ikke hodekameraene opp lyd hele tiden, men alle undervisningsøktene ble filmet av oversiktskameraet.

I gruppe B gjennomførte den tredje av forskerne (her kalt læreren) undervisningen, og opplegget ble gjennomført over to etterfølgende dager med 3 timer per dag. Læreren hadde hodekamera gjennom hele opplegget, i tillegg hadde tre studenter hodekamera og en lydopptaker ble brukt for å fange alle diskusjonene. Studentene byttes om å bruke kameraene. Også her gjorde tekniske utfordringer at ikke alle diskusjoner ble tatt opp, men hele undervisningsopplegget er dokumentert.

Av skriftlig materiale som ble samlet inn, var et spørreskjema som begge respondentgruppene svarte på både før og etter gjennomføring av alle de fire undervisningsøktene (se pre-posttest i Appendiks 2), samt forskerhefter (tilhørende undervisningsopplegget) som respondentene jobbet med underveis i undervisningen. Dette inkluderer de to nanomodellene som hver respondent laget. For respondentgruppe B var spørreskjemaet som ble gitt etter gjennomføringen utvidet med noen åpne spørsmål om studentenes faglige og didaktiske refleksjoner om opplegget. Pre-posttesten inneholder ellers flere spørsmål som ikke angår denne undersøkelsen.

Datamaterialet innhentet fra respondentgruppe A og B er oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1. Oversikt over datamaterialet og hvordan dette benyttes for å svare på forskerspørsmålene (Fspm). Det første forskningsspørsmålet blir belyst gjennom vurdering av respondentenes kunnskaper knyttet til læringsmål 1 og 2 (LM1 og LM2) (jf. innledningen).

	Respondenter	Datamateriale	Analyseinstrument
LM1	Gruppe A og B	Svar på ett spørsmål før og etter deltagelse i studien: «skriv tre setninger om molekyler» (spm. 3, Appendiks 2)	Kodet i fire kategorier for molekylegenskaper (Tabell 2)
LM1	Gruppe A og B	Transkriberte samtaler fra video-og lydopptak	Ordsøk etter tema molekylegenskaper. Kodet i NVivo-12
LM2	Gruppe A og B	Respondentenes nanomodell 1 og 2; laget før og etter arbeid med viftemodellen	Kodet i tre kategorier for den kjemiske prosessen i papirkromatografi (Tabell 3)
LM2	Gruppe A og B	Skriftlig svar på et spørsmål som ble gitt underveis i undervisningsopplegget; «Noen farger beveget seg lenger [oppover papiret] enn andre fordi:» (Appendiks 1)	Koder for molekylegenskaper som forklarer separasjon av farger i papirkromatografi (Tabell 4)
LM2	Gruppe A og B	Transkriberte samtaler fra video-og lydopptak	Ordsøk etter tema molekylegenskaper, viftemodell, kromatografi m.m. Kodet i NVivo-12
Andre del av Fspm			
LM1/LM2	Gruppe B	Svar på åpne spørsmål i spørreskjema (spm. 6 og 8 i posttest, Appendiks 2)	Koder for læringsaktiviteter, læringsutbytte og holdning til aktivitetene

Analyse

Vi har gjennomført en tematisk analyse (Braun og Clarke, 2006) av datamaterialet. I analysen av de skriftlige svarene fra et spørsmål i pre-posttesten undersøkte vi respondentenes kunnskaper om hvordan molekyler kan være forskjellige fra hverandre (det som vi her kaller molekylegenskaper, jf. LM1, Tabell 1). Vi ønsket å se om kunnskapene innen hver respondentgruppe endret seg etter at respondentene hadde gjennomført undervisningsopplegget. Svarene ble kodet til fire kategorier som gjenspeiler kunnskaper om molekyler (se Tabell 2). Noen svar inneholder eksempler på konkrete molekylegenskaper (Kategori 1), noen nevner kun at molekyler har ulike egenskaper/ kan være forskjellige (Kategori 2), noen svar inneholder generell kunnskap om molekyler (Kategori 3) og noen gir svar som ikke viser kunnskap om molekyler (Kategori 4). Setninger som «molekyler har ulike størrelser» ble for eksempel kodet som en kunnskap om konkrete molekylegenskaper (Kategori 1), mens kategorien «molekyler er så små at man ikke kan se dem» ble tolket som en mer generell forståelse for hva et molekyl er (Kategori 3). Tilsvarende tolket vi setninger som henviste til molekylers evne til å binde seg til andre molekyler som en konkret molekylegenskap (Kategori 1), mens henvisning til bindinger innad i et molekyl ble kodet som generell kunnskap om molekyler (Kategori 3).

Ved analyse av nanomodellene (jf. LM2, Tabell 1) valgte vi ut noen få kategorier som vi mener er viktige for å vise forståelse for papirkromatografi, og vi registrerte hvor mange av disse kategoriene som var representerte i hver nanomodell (se Tabell 3). Kategoriene er som følger: 1. Vannmolekylene stiger oppover papiret 2. Fargemolekyler fester seg til vannmolekyler 3. Noen farger går lenger enn andre. Ved analyse av svarene på spørsmålet om papirkromatografi (LM2, Tabell 1) kategoriserte vi svarene ut fra hvilke molekylegenskaper som ble nevnt som årsak til kromatografiresultatene (Tabell 4).

Vi har sett og hørt gjennom opptakene som ble tatt opp under gjennomføringen av undervisningsopplegget, og har transkribert de delene av undervisningsmaterialet som vi mener er relevante for forskningsspørsmålene våre. Lydopptakene fra videokamera og lydopptaker ble transkribert i programvaren NVivo 12.

Vi undersøkte i sammenheng med hvilke læringsaktiviteter respondenter og lærer snakket om molekylegenskapene bindingsevne, vekt, størrelse og form. Dette for å kunne vurdere om respondentenes kunnskaper (se LM1 og LM2, Tabell 1) ble påvirket av type læringsaktivitet og da særlig arbeidet med viftemodellen. Det ble gjennomført ordsøk i NVivo for disse konkrete molekylegenskapene, men også for ulike dialektvarianter av ordene og ulike tidsformer, noe som gav et bedre treff i datamaterialet. For temaet bindingsevne søkte vi f.eks. etter «binde, bitte, bunde, feste, festa, o.s.v.». Treff i ordsøkene ble deretter kategorisert etter i hvilken del av undervisningsopplegget de ble funnet. I forbindelse med ordsøkene så vi også etter situasjoner der respondentene refererte til kromatografiforsøket og viftemodellen eller bestanddeler i denne. Noen steder noterte vi også bevegelser som utfyller/forklarer studentutsagnene.

RESULTATER

Vi forventet at studentene (Gruppe B) skulle ha en mer faglig korrekt forståelse enn elever før undervisningsopplegget ble gjennomført, men at begge respondentgruppene ville ha et faglig utbytte av deltagelse i studien.

Kunnskaper om molekylegenskaper

Som en del av pre-posttesten i undersøkelsen ble hver respondent bedt om å skrive tre setninger om molekyler (spørsmål 3, Appendiks 2). Når vi sammenligner svarene innad i hver respondentgruppe ser vi at det har skjedd en utvikling fra at begge respondentgruppene viser generelle kunnskaper om molekyler i pre-testen (Tabell 2), til at gruppe A i post-testen viser kunnskaper om at molekyler kan ha ulike egenskaper mens gruppe B i tillegg gir konkrete eksempler på slike molekylegenskaper.

Tabell 2. Respondentene ble bedt om å skrive tre setninger om molekyler før og etter deltagelse i studien (pre-posttest). Svarene er kodet til fire ulike kategorier som viser kunnskaper om molekyler. Tabellen viser antall setninger/svar innen hver kategori. n =antall respondenter

	Beskrivelse av kategoriene	Gruppe A pre-posttest $n=24$	Gruppe B pre-posttest $n=7$
Kategori 1	Kunnskap om <i>konkrete</i> molekylegenskaper (f.eks. forskjellig størrelse, form, vekt eller bindeevne)	1/2	3/8
Kategori 2	Kunnskap om <i>at</i> molekyler har forskjellige egenskaper	2/14	0/1
Kategori 3	Generell kunnskap om molekyler	36/48	16/11
Kategori 4	Ingen/feil kunnskap om molekyler	7/6	1/1

Gruppe A- elever

Elevenes svar på post-testen indikerer at noen elever er blitt klar over at molekyler har forskjellige egenskaper (jf. læringsmål 1), men det virker ikke som elevene er bevisste på hva disse egenskapene betyr: konkrete molekylegenskaper som *vekt* og *størrelse* (Kategori 1, Tabell 2) blir kun nevnt i to svar, mens det er en klar økning av svar i kategoriene for at molekyler kan ha forskjellige egenskaper og for generelle molekylkunnskaper (Kategori 2 og 3, Tabell 2). De generelle svarene handler oftest om molekyler består av flere atomer at og at molekyler er så små vi ikke kan se dem. I en klassesamtale

mot slutten av undervisningsopplegget kommer det frem at i hvert fall noen elever har fått med seg at molekyler kan ha forskjellig *vekt*, *form* og *størrelse* og at de kan «*klistre seg*». De konkrete molekylegenskapene som blir nevnt er egenskaper som elevene fikk erfare gjennom undervisningsopplegget. Det å klistre seg kan vi tolke som en referanse til at molekyler kan binde seg til hverandre, men det er altså ingen elever som sier direkte at molekyler har ulik evne til å binde seg til andre molekyler.

Gruppe B- studenter

Pre-posttesten viste at studentene var blitt mer bevisste på at molekyler har ulike egenskaper, og hva disse egenskapene består i (jf. læringsmål 1, Tabell 1) etter at undervisningsopplegget var gjennomført: I pre-testen gjenspeilte svarene i hovedsak generelle kunnskaper om molekyler (Kategori 3, Tabell 2), som at de er sammensatt av flere atomer, at atomene i et molekyl kan være like eller ulike, og at atomene bindes sammen av (ulike) typer bindinger. Det ble også nevnt konkrete molekylegenskaper (Kategori 1, Tabell 2) som størrelse og polaritet, og at det er bindinger mellom molekyler. Konkrete molekylegenskaper nevnes mye oftere i post-testen og nye egenskaper som blir nevnt er *form* og *vekt*. Dette tyder på at undervisningsopplegget har gitt dem nye kunnskaper eller gjort dem i bedre stand til å uttrykke det som de kan fra før. En slik tolkning støttes av studentsvarene på et åpent spørsmål i post-testen, der de blir spurt om de har lært noe nytt og hvordan noen aktiviteter eventuelt bidro til å øke forståelsen (spørsmål 6, App.2). Et flertall av studentene sier at de har lært mer om molekylers egenskaper og hvordan disse kan bidra til å forklare hva som skjer i papirkromatografiforsøket. Nedenfor illustreres dette ved noen utdrag fra studentenes svar, og vi ser også at student Agnes nevner spesifikt at viftemodellen har bidratt til at hun ser sammenhengen mellom fargemolekylene egenskaper og hvordan fargene oppfører seg i kromatografiforsøket.

Johan: Jeg kjente til kromatografi, men ikke begrepet. Fikk en dypere forståelse om hvordan form, vekt og egenskapen til å binde seg er avgjørende. Fikk også bedre/føler meg tryggere på hva et molekyl er.

Hera: Morsomt å lære mer om molekylers form, vekt, str. Og hvordan det kan synliggjøres ved kromatografi, og de andre aktivitetene.

Agnes: Kromatografiøvelsen viste at ulike farger (stoff) har ulike egenskaper. Ved hjelp av hår-fønemodellen [viftemodellen] ble det lettere å forstå hvorfor de ulike fargene oppfører seg som de gjør.

Kunnskaper om papirkromatografi

Nanomodellene (respondentenes modeller og tilhørende spørsmål om elevøvelsen) gir oss innblikk i hvordan respondentene tenker om elevøvelsen papirkromatografi. De viktigste funnene fra nanomodellene er vist i Tabell 3 og 4. Ikke overraskende er det forskjeller mellom de to respondentgruppene i hvilke kunnskaper de demonstrerer om papirkromatografi (se nedenfor). Begge grupper av respondenter fremhever likevel *molekylvekt* som en forklaring på hvorfor noen farger beveger seg lenger oppover papiret enn andre. Dette er en direkte *feil* forklaring på forsøket (jf. Tekstboks 1).

Gruppe A- elever

Et flertall av elevene tegner at vannmolekyler beveger seg oppover papiret i nanomodellen (Kategori 1, Tabell 3). Elevene syntes det var vanskelig å lage nanomodeller og trengte mye hjelp fra lærer. Dette kan nok forklare hvorfor mindre enn halvparten av elevene fikk med at fargene i ulik grad beveger seg oppover i den første nanomodellen de laget (Kategori 3, Tabell 3). Den andre modellen viser i større grad både at vannmolekyler beveger seg oppover (Kategori 1, Tabell 3) og at fargene separeres (Kategori 3, Tabell 3), men ingen elevmodeller indikerer bindinger mellom vannmolekyler og fargemolekyler (Kategori 2, Tabell 3). For nanomodell 2 ble respondentene bedt om å forklare hvorfor noen farger beveget seg lenger oppover filterpapiret enn andre. Blant elevene er (ulik) *vekt* den eneste konkrete molekylegenskapen som blir nevnt (se Tabell 4). Elevenes svar ble i noen grad skrevet ned under en plenumssamtale i klassen hvor en elev på oppfordring av læreren leste hva hen hadde skrevet (at vekt var avgjørende). Dette svaret ble så kopiert av elever som selv ikke hadde skrevet noe, det betyr at tallet på elever som uoppfordret svarte *vekt* nok er lavere enn det som er oppført i Tabell 4.

Gruppe B- studenter

Studentenes nanomodeller inneholder alle de tre kategoriene som vi mener er viktige for å forklare papirkromatografi (Tabell 3). Ett unntak er Kamillas første nanomodel, der hun ikke indikerer bindinger mellom vannmolekyler og fargemolekyler (Kategori 2, se Figur 2). Dette er kommet på plass i Kamillas reviderte nanomodel (Figur 2). Ved revisjon av nanomodellene svarer alle studentene at *vekt* er en molekylegenskap som forklarer hvorfor noen farger beveget seg lenger oppover filterpapiret (Tabell 4). Studentene nevner i tillegg molekylegenskaper som størrelse, form og bindingsevne. Bindingsevne (polaritet) er den eneste *korrekte* forklaringen her.

Tabell 3. Analyse av de to versjonene av nanomodellene (tegning og forklarende tekst). Vi har kodet følgende trekk ved nanomodellene som viser forståelse for hvordan papirkromatografi fungerer på molekyl/mikronivå. n= antall respondenter.

	Beskrivelse av kategoriene	Respondentenes nanomodel 1/ nano-model 2	
		Gruppe A, n=26	Gruppe B, n=7
Kategori 1	Vannmolekylene stiger oppover papiret	18/20	7/7
Kategori 2	Fargemolekyler fester seg til vannmolekyler	0/0	6/7
Kategori 3	Noen farger går lenger enn andre	12/21	7/7

Figur 2. Student Kamillas nanomodeller.

Tabell 4. Respondentenes skriftlige svar på spørsmålet: «Noen farger beveger seg lenger enn andre fordi...» er kodet etter hvilke molekylegenskaper som blir nevnt for å forklare elevøvelsen papirkromatografi. n=antall respondenter.

Koder	Antall svar	
	Gruppe A, n= 26	Gruppe B, n= 7
Vekt er ulik	19	7
Størrelse er ulik	0	7
Form er ulik	0	5
Evne til å binde seg er ulik	0	5
Den totale egenskapen avgjør	0	1

Respondentenes forståelse av analogiene i viftemodellen

Respondentenes utsagn fra gjennomføringen av undervisningsopplegget forteller oss mye om i hvilken grad de oppfatter analogiene i viftemodellen, og de hjelper oss til å vurdere hvordan viftemodellens analogier kan ha bidratt til de kunnskapene som de demonstrerer om molekylegenskaper (LM1) og de kjemiske prosessene i papirkromatografiforsøket (LM2). Nedenfor presenterer vi noen hovedresultater fra analysen av sitatene, og så presenterer vi en utfyllende analyse i diskusjonskapitlet.

Viftemodellen har eksplisitte analogier til betydningen av bindingsevne, form og vekt hos fargemolekyler i papirkromatografiforsøket. Modellen har derimot ingen eksplisitt analogi for at vannmolekyler og fargemolekyler binder seg til hverandre. Respondentgruppe A ser ut til å ha oppfattet sammenligningen mellom de lette «modellmolekylene» som beveger seg langt i viftemodellen og fargemolekylene som beveget seg lengst på papiret. Respondentgruppe B ser størrelse og vekt i sammenheng når det gjelder molekyler, og de ser ut til å ha en intuitiv forklaring om at det er vanskeligst for tyngre fargemolekyler å bevege seg oppover filterpapiret i kromatografiøvelsen. Respondentgruppe B oppfatter analogien mellom viftemodellens teipringmolekyler og bindingsevne hos molekyler i papirkromatografi, i større grad enn respondentgruppe A. Resultatene peker samtidig i retning av at teipringmolekylet også kan ha bidratt til misforståelser knyttet til respondentgruppe B sin forståelse av fargemolekylers bindingsevne.

Analogiene for fargemolekylers vekt og form bygger opp under en direkte faglig feil forklaring på hvordan papirkromatografiøvelsen fungerer, og lærerne gjorde i liten grad respondentene klar over svakhetene med analogiene i viftemodellen. Det er en styrke ved viftemodellen at den simulerer tidstviklingen av separasjonen av blandingen, da dette kan hjelpe respondentene til å forstå at separasjon av blandinger er en prosess. Denne styrken kan likevel ikke kompensere for mangelen på diskusjon av svakhetene i modellen og de faglige feilforståelsene den bygger opp til.

DISKUSJON

Ut fra forskningsspørsmålet vårt har vi undersøkt hvilke kunnskaper respondentene har om molekylegenskaper (jf. læringsmål 1) og hvordan de bruker disse kunnskapene til å forklare elevøvelsen papirkromatografi (jf. læringsmål 2).

Resultatene våre indikerer en god måloppnåelse for læringsmål 1 for respondentene i gruppe B og en delvis måloppnåelse for gruppe A. Elevene (Gruppe A) er blitt mer bevisste på at molekyler kan ha ulike egenskaper, og det er ikke overraskende at studentene (Gruppe B) i større grad konkretiserer hva disse molekylegenskapene består i. Videre vil vi si at respondentene viser en *delvis* måloppnåelse for læringsmål 2:

Analysen av respondentenes egne modeller (nanomodellene) viser at gruppe A (elevene) har gode kunnskaper om kategori 1 (vannmolekyler beveger seg oppover filterpapiret i kromatografiøvelsen) og at de også utvikler kunnskaper om kategori 3 (ulike farger beveger seg i ulik lengde oppover filterpapiret), men ingen elever viser kunnskaper om kategori 2; nemlig at fargemolekyler og vannmolekyler binder seg til hverandre i kromatografiøvelsen. Gruppe A svarer dessuten feil når de bruker *molekylvekt* som forklaring på hvorfor noen farger beveger seg lenger oppover filterpapiret enn andre i kromatografiøvelsen.

Analysen av gruppe B (studentene) sine nanomodeller viser at de har gode kunnskaper om de tre kategoriene som kjennetegner hovedtrekkene for hvordan man kan vise hva som skjer i papirkromatografi på et molekyl/mikro nivå. Videre svarer et flertall av studentene som korrekt er, at fargemolekylene *evne til å binde seg til andre* (vann)molekyler kan forklare hvorfor noen farger beveger seg lenger oppover filterpapiret enn andre farger i kromatografiøvelsen. Men studentene presenterer også *ukorrekte* svar på dette spørsmålet når de trekker frem både molekylers vekt, form og størrelse.

I drøftingskapitlet ser vi nå nærmere på hvordan bruken av en analogimodell kan ha bidratt til resultatene. Respondentene fikk demonstrert viftemodellen, som gir en eksplisitt sammenligning med kromatografiøvelsen. Sitater fra respondentene kan kaste lys over hvordan arbeidet med en analogimodell kan bidra til å utvikle kunnskaper om mikronivået i kjemi. Vi knytter videre våre refleksjoner til forskningslitteratur om bruk av modeller i undervisning for å kunne si noe mer generelt om fordel-er og utfordringer knyttet til bruken av analogimodeller i kjemiundervisning.

Å ta i bruk en analogimodell- viftemodellen

En eksplisitt sammenligning med lærestoffet (molekylers egenskaper i papirkromatografi)

Lærerne følger instruksjonene for hvordan man skal arbeide med viftemodellen, og de fremhever viftemodellens relevante egenskaper på flere måter: For at respondentene lettere skal tenke at modellen handler om molekyler, mimer lærer og respondenter at de tar på «nanobriller», slik at de kan se det som er veldig smått. Læreren presiserer innledningsvis at de ulike objektene (heretter kalt modellmolekyler; småstein, isoporkuler, pakkechips og teipringer med limsiden ut, se Figur 1b) er en blanding, og i samtale med respondentene blir det poengtert at blandingen kan representere fargemolekylene i kromatografiøvelsen. Videre blir det poengtert at gulvet representerer filterpapiret og at lufta fra vifta representerer vannet i kromatografiøvelsen.

Også egenskapene til modellmolekylene blir tydelig vektlagt i arbeidet med viftemodellen. Det blir påpekt at «teipringmolekylet» (som det blir kalt i undervisningen) er «klistrete» og at det fester seg til gulvet. Det blir presisert at isoporkulene er lette og at de lett forflytter seg langsmed gulvet. Formen på de lette pakkechips-molekylene og isoporkulene blir diskutert i forhold til deres evne til å bevege seg langs gulvet (for gruppe B), og tyngde blir presentert som en forklaring på hvorfor steinmolekylene blir liggende igjen.

Hvis respondentene oppfatter disse eksplisitte sammenligningene som vi viser ovenfor, er det nærliggende å tro at viftemodellen gir et viktig bidrag til de kunnskapene som respondentene viser om både molekylegenskaper generelt, og deres betydning for hva som skjer i elevøvelsen papirkromatografi (jf. læringsmål 1 og 2). Det må samtidig presiseres at molekylegenskaper blir fremhevet i ulike deler av undervisningsopplegget som gjennomføres, og at studentene (Gruppe B) her gir uttrykk for at de har kunnskaper om ulike molekylegenskaper også før de erfarer viftemodellen.

Gruppe A

Elevene så ut til å oppfatte analogien der modellmolekylene skal representere fargemolekyler i kromatografiøvelsen. Dette ser vi i sitatet nedenfor, der elevene er med på at de lette molekylene beveger seg langt og tilsvarer de fargene som bevegde seg lengst på papiret:

Lærer: Var dette eit tungt molekyl? (holder opp isoporbit)

Elev: Var veldig lett

Lærer: Var veldig lett, det fulgte med vatnet så langt opp det berre kunne. Og kva for farge ville du teikna hvis du skulle lage ein modell med dei?

Elev: **Blå** [blå farge går lengst opp på filterpapiret]

Læringssituasjonen som sitatet er hentet fra kan ha bidratt til å styrke den ukorrekte forståelsen som flertallet av elevene har om at fargemolekylenes *vekt* (vi skiller ikke her mellom begreper som vekt og masse) kan forklare hvordan kromatografiøvelsen fungerer. Viftemodellen illustrerer også hvordan modellmolekylene beveger seg i ulik lengde langs gulvet (se ovenfor). Glynn og Takahashi (1998) viser at direkte sammenligning mellom læremål og analogi kan øke elevers forståelse for lærestoffet, og vi antar at viftemodellen kan være en forklaring på hvorfor elevene i større grad tegner at fargene beveger seg i ulik lengde oppover filterpapiret når de reviderer nanomodellene sine.

Læreren fremhevet i liten grad betydningen av modellmolekylenes *form* eller *bindingsevne*. Viften som ble brukt var dessuten såpass svak at det ikke var slik at de runde objektene beveget seg lengst, men heller de veldig lette pakkechipsene, så elevene fikk ikke muligheten til å se formens betydning. Dette kan være en medvirkende forklaring til at ingen elever bruker fargemolekylenes form som en forklaring på resultatene i øvelsen papirkromatografi.

Når læreren spør om egenskaper til molekyler på slutten av undervisningsopplegget, er det en elev som sier at molekyler «kan klistre seg». Dette utsagnet er mest trolig inspirert av teipringmolekylet i viftemodellen. Det at ingen elever nevner bindingsevne som en forklaring på hvordan kromatografiforsøket fungerer tyder likevel på at analogien med teipringmolekylet ikke fungerer som en god nok analogi for elever på mellomtrinnsnivå. Bindingsevne er nok et ukjent begrep for elevene, og det er heller ikke lagt opp til en grundig forklaring på begrepet her. Sammen med flere analogier rettet inn mot bindingsevne, kunne dette øke læringsutbyttet da sjansen øker for at den enkelte eleven finner en analogi som gir mening (Harrison & De Jong, 2005; Wu & Puntambekar, 2012). Et undervisningsopplegg med hensikt å lære elever om bindingsevne bør inneholde mer eksplisitte forklaringer. Det kan samtidig være noe ambisiøst å forvente at elever på mellomtrinnet skal kunne forstå slike forklaringer på mikronivået i kjemi (Harrison & Treagust, 2002).

Gruppe B

Det såkalte *teipringmolekylet* spiller en viktig rolle i viftemodellen fordi det er en analogi for bindingsevne, som er den faglig korrekte forklaringen på resultatene i papirkromatografiøvelsen. Nedenfor ser vi tydelig at studentene oppfatter sammenhengen mellom teipringmolekyler og bindingsevne, både ved gjennomføringen av selve viftemodellen (se nedenfor) og ved introduksjon av en nøkkelsetning (Appendiks 1) om molekylers bindingsevne.

Lærer ved introduksjon av viftemodellen: Klistrete, ja. Ja, her festar dei seg (legger teipringen ned på gulvet igjen, har hatt teipringen på fingertuppene).

Kamilla: **Kan være de rød** [rød farge beveget seg nesten ikke oppover filterpapiret i forsøket]

Lærer: Ja, kanskje det, ja,

Lærer rett etter gjennomføringen av viftemodellen: Ja, altså kva skal vi seie om desse teipringmolekyla for eksempel?

Kamilla: **De festet seg veldig til papiret?**

Lærer: Ja.

Hedda: Bundet seg til-papir.

Johan: Papiret (samtidig med Hedda)

Lærer: Ja, sant. Ja.

Studentene kommer tilbake til teipringmolekylet i samtaler senere i undervisningsopplegget, noe som viser at de opplever teipringmolekylet som en nyttig analogi. For eksempel så foreslår en av studentene at det kan være et limstoff som gjør at de røde fargemolekylene ikke beveger seg oppover langs filterpapiret. Det er nærliggende å tenke at henvisningen til limstoff er inspirert av teipring-

molekylet. Fra en parsamtale om kromatografi ser vi eksplisitt at teipringanalogien blir forstått som et molekyl med ekstra stor bindingsevne.

Herman: Det kan jo være at det er et eller annet i den rød som blir hengende igjen i bunnen som er **hydrofobt**, sånn at det vil ikke ha noenting med vann å gjøre i det hele tatt. Men jeg har egentlig mer tro på at det er et eller annet annet, at det er et slags **limstoff** eller noe i det som kan.. i steden for.

Johan: Vet du hva den skulle, hva var denne da (peker på teipringen som han har liggende foran seg på bordet)?

Hedda: Det var et molekyl, rett og slett, som hadde liksom **sticky, mye binding** da, det bandt seg til andre ting.

I motsetning til elevene på mellomtrinnet (Gruppe A), uttrykte et flertall av studentene den korrekte forståelsen for at ulik evne til å binde seg til andre molekyler kan forklare at fargemolekylene beveger seg i ulik lengde oppover filterpapiret. Vi holder det for sannsynlig at teipringanalogien har bidratt til å styrke studentenes bevissthet om betydningen av bindingsevne for kromatografiøvelsen, selv om studentene også gav uttrykk for en slik forståelse i klassesamtaler før viftemodellen ble gjennomført. Sitatene ovenfor viser imidlertid at studentenes språkbruk er upresis; Hedda snakker om «sticky» molekyler og Herman går vekk fra begrepet «hydrofobt» og snakker isteden om molekyler med limstoff på. En mer eksplisitt sammenlikning mellom teipringmolekylet og bindingsevne i viftemodellen kunne trolig ha bidratt til å styrke bruken av faglig korrekte begreper.

Studentene sitter også igjen med de faglig ukorrekte forklaringene på hvordan papirkromatografi fungerer; forskjeller i fargemolekylene vekt, størrelse og form. Viftemodellens modellmolekyler gir i liten grad analogier i forhold til *størrelse* på fargemolekyler, men det kommer tydelig frem i studentenes samtaler at de ser størrelse og vekt i sammenheng. Det første studentsitatet nedenfor er fra en samtale før viftemodellen ble gjennomført, og indikerer at studentene (og derfor trolig også elevene) har *en intuitiv* forklaring om at tyngre fargemolekyler kan ha vanskeligere for å bevege seg oppover fargepapiret. Det at viftemodellen viser at tunge modellmolekyler blir liggende igjen på «papiret» har sannsynligvis bidratt til å bekrefte denne forståelsen.

Hera: Da vi tok den [papir]biten nedi, så begynte vannet å stige sakte opp.

Agnes: Og så delte streken seg. Sånn at den blei rød, og det rød holdt seg på streken. De gule gikk litt opp, mens det blågrønne det gikk aller høyest.

Hera: Men da spørs det hvordan de er satt sammen, om kanskje den røde liksom er **tyngre**.

Agnes: Ja, mm. **Større, også tyngre** (nikker) enn de andre.

Formen på modellmolekylet spiller en viktig rolle for resultatet i viftemodellen, men det blir ikke eksplisitt sagt noe om hvilke fargemolekyler i kromatografiforsøket som kan sammenlignes med f.eks. isoporkulene som ruller lengst. Læreren gir heller ingen forklaring på hvordan, eller hvilken form som kan være gunstig for at noen fargemolekyler går lenger opp på filterpapiret enn andre. Viftemodellen er det eneste elementet i undervisningsopplegget der form knyttes direkte til kromatografiforsøket, selv om molekylform drøftes generelt under arbeidet med den såkalte pastamodellen (Appendiks 1). Visualiseringen av formens betydning for hvor langt modellmolekylene kommer langs gulvet (se studentsitat nedenfor), kan være medvirkende til at form har festet seg som en faglig forklaring hos studentene.

Lærer rett etter gjennomføring av viftemodellen: Ja, så kva, er det skilnad på desse kvite [objektene]? Er det nokon som beveger seg lenger enn dei andre?

Kamilla: Kulene?

Lærer: Jaa, kva som gjer at kulene har bevegde seg lengst?

Hera: Selv om det slutter å blåse, så **kan jo de rulle lenger** hvis de liksom..

Lærer: Ja, det er eit veldig godt poeng. Så kva er det som gjer, **kva slag eigenskap har desse**

molekyla då?

Hera: **Formen**, da.

Lærer: Ja, det har dei, den formen dei har som gjer det. Mmm,

Når analogien brister

Analogiene i viftemodellen ser ut til å ha et potensiale til å styrke respondentenes kunnskaper om molekylegenskaper og hvordan disse kan brukes til å forklare elevøvelsen papirkromatografi (jf. kapitlet ovenfor). Når vi analyserte elevenes nanomodeller (Gruppe A) var det imidlertid påfallende at *ingen* av disse indikerte at fargemolekyler binder seg til vannmolekyler, noe som er en grunnleggende forklaring på hvordan fargemolekylene beveger seg oppover filterpapiret i kromatografiøvelsen. Ovenfor diskuterer vi noen utfordringer ved det å arbeide med begrepet bindingsevne på mellomtrinnet, men i tillegg vil vi peke på at viftemodellen har en klar svakhet; nemlig at den ikke gir en eksplisitt analogi for at vannmolekyler og fargemolekyler *binder seg til hverandre*. Det er i det hele tatt en svakhet med viftemodellen at den ikke visualiserer vannmolekyler, men heller bruker den usynlige luften fra viften som en analogi på vannet. Dette kan danne grunnlag for at respondentene tror at fargemolekylene bare følger med vannet, omtrent som en pinne følger med strømmen i en elv. Også studentene (Gruppe B) har lagt merke til denne mangelen ved viftemodellen:

Studenten Kamilla: På den hårfønemodellen [viftemodellen], så ser du ikke på en måte vannet. Du ser liksom effekten av det, men du ser ikke hva vannet gjør på samme måten som på papiret [nanomodellene], for da kan du liksom tegne hvordan det, eller-

Lærer: Ja, du kan konkretisere vassmolekylet.

Vi foreslår derfor at fraværet av en eksplisitt analogi for hva som skjer på molekyl/mikronivået i analogimodellen som respondentene arbeidet med, medvirker til at elevene (Gruppe A) ikke oppfatter mekanismen for hva som skjer i elevøvelsen de har arbeidet med gjennom undervisningsopplegget. Studenten Kamilla har derimot fått med denne sammenhengen i sin reviderte nanomodell (Tabell 3, Figur 2).

En annen svakhet med viftemodellen er at analogiene for fargemolekylers vekt og form bygger opp under en direkte faglig *feil* forklaring på hvordan elevøvelsen papirkromatografi fungerer (se ovenfor). Vi foreslår derfor at viftemodellen bidrar til å *forsterke*, heller enn å avlare, en faglig ukorrekt forklaring hos respondentene og lærerne som fulgte undervisningsopplegget.

Svakheterne som vi har pekt på ovenfor illustrerer en viktig utfordring ved bruk av analogimodeller i undervisningen, nemlig at ingen analogier er fullgode (se f.eks. Dikmenli, 2010). Dette blir blant annet presisert i en undervisningsmodell for bruk av modeller; the Teaching With Analogies model (TWA-modellen) (Glynn et al., 1995). Et viktig punkt i denne modellen er at læreren må gjøre elevene bevisste på svakheterne med de analogiene som man arbeider med, og dersom vi hadde gjort dette i enda større grad enn det undervisningsopplegget vårt la opp til, kunne vi kanskje ha hjulpet respondentene til å få en mer detaljert og faglig korrekt forståelse for hvordan elevøvelsen de har arbeidet med fungerer. Våre erfaringer understreker hvor viktig det er å diskutere svakheter ved analogien, noe som flere studier har vist før oss (Coll et al., 2005; Dikmenli, 2010; Harrison & De Jong, 2005). Forskning viser at selv når læreren er bevisst på å fremheve bristene i analogien, er det lett for at denne delen av undervisningen ikke blir gjennomført (Harrison & De Jong, 2005). Diskusjonen om de største manglene ved viftemodellen blir likevel vanskelig å gjennomføre når undervisningsopplegget rundt viftemodellen bygger så tydelig opp om bl.a. molekylvekt sin betydning. Siden læreren her bør understreke at molekylvekt ikke er relevant i papirkromatografi, mener vi at det er vanskelig å forsvare bruken av viftemodellen der vekt er en avgjørende modellmolekylegenskap.

Når er en modell god?

Vi har sett at flere av analogiene i viftemodellen bidrar til å villeda respondentene våre i forhold til fenomenologien til papirkromatografiforsøket, og at vi derfor ikke vil anbefale bruken av vifte-

modellen for å forklare prosessene i denne enkle elevøvelsen. Også i andre studier har man erfart at analogimodellen man har benyttet ikke fungerte særlig godt, for eksempel der man benyttet en «jordskjelv-maskin» for å hjelpe elevene til å forstå hvordan jordskjelv fungerer (Dolphin & Benoit, 2016). Mange studier viser likevel at bruk av analogimodeller i undervisning kan øke læringsutbyttet hos elever (Choi & Chang, 2004; Glynn & Takahashi, 1998; Resnick, Davatzes, Newcombe & Shipley, 2017; Ünlü & Dokme, 2011), men at læringsutbyttet kan variere med elevenes faglige nivå (Pouw et al., 2016; Sarantopoulos & Tsaparlis, 2004).

Analogimodellen som vi har testet ut i denne studien har et klart potensiale til å gi visuelle assosiasjoner til at det finnes forskjellige molekylegenskaper og at blandinger kan separeres fordi stoffene har forskjellige egenskaper, noe som også er overordnede mål for undervisningsopplegget som vi tok i bruk. Modellens simuleringer av kromatografi er en styrke, fordi den viser tidsutviklingen av separasjonen av blandingen. For elever kan det da bli lettere å forstå at separeringen av blandinger er en prosess og ikke en statisk hendelse som figurer i en lærebok eller nanomodellene lettere kan gi inntrykk av (se sitatet nedenfor). Således har viftemodellen fellestrekk med animasjoner som man har funnet at kan styrke elevers forståelse for kjemiske prosesser på mikronivået (Doymuş, Şimşek & Karaçöp, 2009).

Studenten Kamilla:.. På tegningen [nanomodellen] kan det på en måte være vanskeligere å skjønne hva som skjer på tiden. For det at alt er liksom samtidig på papiret da, men der [viftemodellen] så ser du liksom hva som-, hvilken rekkefølge ting hadde.

Spørsmålet om hva som er en god modell henger altså nøye sammen med hva som er *målet* med å bruke modellen. Hvis man setter som mål at elevene kun skal forstå at det har skjedd en separasjon av en blanding må man uansett være tydelig på at viftemodellen ikke gir en faglig korrekt sammenligning med papirkromatografiforsøket. En slik presisering manglet for øvrig i undervisningsopplegget som vi tok i bruk. Det er alvorlig at lærerstudenter sitter igjen med en *feilaktig* opplevelse av læring, da dette er kunnskap som de kan ta med seg videre til egen lærerpraksis. Studentene i denne studien gav for eksempel uttrykk for at de likte opplegget veldig godt og at de kunne tenke seg å bruke dette når de selv ble naturfaglærere.

KONKLUSJON OG IMPLIKASJONER

I denne studien har vi undersøkt følgende forskningsspørsmål: Hvilke kunnskaper om molekylegenskaper og prosessen som driver papirkromatografi viser elever og studenter etter arbeid med viftemodellen? Og hvilke muligheter og utfordringer ser vi ved bruk av analogimodeller i undervisning? Som forventet sitter studentgruppen igjen med kunnskaper om flere molekylegenskaper enn elevgruppen (jf. læringsmål 1), men det var et overraskende funn at alle respondenter gir uttrykk for en faglig feil forklaring på hva som er den avgjørende faktoren i papirkromatografi (jf. læringsmål 2). Vi knytter feillæringen til bruken av viftemodell-analogien, der blant annet *vekt* er en avgjørende egenskap hos modellmolekylene, mens vekt er av liten betydning for fargemolekylene i papirkromatografi.

Det kan se ut som om viftemodellen forsterket en eksisterende feiloppfatning av molekylvekt som forklaring i papirkromatografiforsøket. I en slik undervisningssituasjon bør læreren introdusere en kognitiv konflikt slik at elevene blir nødt til å utfordre sine egne meninger (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982), noe som blant annet kan gjøres ved spørsmål av typen «hva hvis...?» (Ødegaard, Haug, Mork & Sørvik, 2016). I vår studie kunne vi ha testet hypotesen om at vekt er viktig for resultatet ved å gjennomføre et opp-ned papirkromatografiforsøk. Tilfører man vannet ovenfra, skal det være lettere å frakte de tunge fargemolekylene nedover papiret enn oppover, og resultatet skal bli omvendt i forhold til det første kromatografiforsøket. I stedet får man nøyaktig samme resultat, og respondentene kunne da oppleve at det ble vanskelig å holde fast på vekt som den viktigste forklaringen på forsøket.

Respondentgruppene våre har svært forskjellig kunnskapsnivå innen kjemi. I motsetning til naturfagstudentene, oppfatter ikke elevene forklaringspotensialet som ligger i teipringmolekylet som en analogi for fargemolekylenes evne til å binde seg til andre molekyler. Denne analogien kan potensielt bidra til en bedre forståelse for kromatografiforsøket, men poenget kan komme tydeligere fram hvis man også inkluderer et teipringmolekyl der klistret er på innsiden av ringen. Vekt og fasong vil være lik hos de to teipringmolekylene, og da blir det tydeligere at klistringsevnen er en avgjørende faktor i viftemodellen. Det er uklart i hvilken grad elevene forventes å forstå en slik egenskap som ulik bindingsevne mellom molekyler, men en grundigere behandling av temaet er nødvendig dersom elever på mellomtrinnet skal forstå begrepet bindingsevne.

Det at studentene nevnte *flere* av de ukorrekte forklaringene på kromatografiforsøket enn det elevene gjorde, indikerer at viftemodellen kan være en for avansert (jf. begrepet bindingsevne) eller innholdsrik (kompleks) analogi for elevene på mellomtrinnet. Viftemodellen inkluderer mange delkomponenter og vi savner en presisering av faglige læringsmål til analogien. Analogien retter seg tydelig inn mot å forklare papirkromatografi, noe den ikke lykkes særlig godt med. En mer grunnleggende målsetning er nok at analogien skal skape forståelse for forskjellige molekylegenskaper, og akkurat det har den i noen grad lyktes med i vår studie.

Dersom undervisningsopplegget som vi gjennomførte hadde lagt større vekt på å formidle svakhetene ved viftemodellen, kunne respondentene trolig fått redusert feillæringen av hvordan papirkromatografi fungerer. Dette understreker hvor viktig det er å diskutere svakheter ved analogier, og for å fremme slike avklarende diskusjoner anbefaler vi lærere på alle utdanningsnivå til å analysere bruken av analogier i egen undervisning, for eksempel ved hjelp av TWA modellen (Glynn et al., 1995). Kanskje spesielt viktig er det at lærerutdanningen legger vekt på en bevisst bruk av analogier i naturfagundervisningen for å utruste fremtidige lærere.

TWA-modellen handler om hvordan analogier benyttes i undervisning, men det hjelper ikke å følge en god undervisningsstrategi dersom selve analogien ikke er god nok. Vi vurderer de grunnleggende mekanismene i viftemodellens analogier og målet (det faglige innholdet) som så forskjellige at vi ikke vil anbefale denne analogien som et hjelpemiddel til å forklare hvordan papirkromatografi fungerer.

Vi testet ut et kvalitetssikret undervisningsopplegg fra Naturfag.no, og våre funn understreker at læreren alltid bør foreta en selvstendig vurdering av de læringssressursene hun tar i bruk i undervisningen. Ved valg av analogier må man da sjekke at de i stor nok grad representerer de relevante trekkene ved det faglige fenomenet som elevene skal lære.

REFERANSER

- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101. doi:10.1191/1478088706qp0630a
- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level: Structural representations. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (Eds.) *Multiple representations in chemical education* (pp. 11-29). Springer, Dordrecht.
- Choi, K., & Chang, H. (2004). The effects of using the electric circuit model in science education to facilitate learning electricity-related concepts. *Journal of the Korean Physical Society*, 44(6), 1341.
- 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
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2003). Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 40(5), 464-486. doi:10.1002/tea.10085

- Dikmenli, M. (2010). An analysis of analogies used in secondary school biology textbooks: Case of Turkey. *EGITIM ARASTIRMALARI-EURASIAN JOURNAL OF EDUCATIONAL RESEARCH*, 10(41), 73-90.
- Dolphin, G., & Benoit, W. (2016). Students' mental model development during historically contextualized inquiry: How the 'tectonic plate' metaphor impeded the process. *International Journal of Science Education*, 38(2), 276-297. doi:10.1080/09500693.2016.1140247
- Doymuş, K., Şimşek, Ü., & Karaçöp, A. (2009). The Effects of Computer Animations and Cooperative Learning Methods in Micro, Macro and Symbolic Level Learning of States of Matter. *Eurasian Journal of Educational Research (EJER)*, 36.
- Eskandar, F.-A., Bayrami, M., Vahedi, S., & Ansar, V. A. A. (2013). The effect of instructional analogies in interaction with logical thinking ability on achievement and attitude toward chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 566-575. doi:10.1039/c3rp00036b
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. (Eds.). (2000). *Developing models in science education*. Springer Science & Business Media.
- Glynn, S. M. (2007). The teaching-with-analogies model. *Science and children*, 44(8), 52-55.
- Glynn, S. M., Duit, R., & Thiele R. B. (1995). Teaching science with analogies: A strategy for constructing knowledge. In S. M. Glynn, & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 247-273). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Glynn, S. M., & Takahashi, T. (1998). Learning from analogy—enhanced science text. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 35(10), 1129-1149. doi:10.3389/fpsyg.2016.00860.
- Harrison, A. G., & De Jong, O. (2005). Exploring the use of multiple analogical models when teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 42(10), 1135-1159. doi:10.3389/fpsyg.2016.00860
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. Van Driel (Eds.) *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 189-212). Springer, Dordrecht.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science education*, 80(5), 509-534. doi:10.3389/fpsyg.2016.00860
- Naturfag.no.(n.d.) Modeller i kjemi. Retrieved September 28, 2019, from <https://www.naturfag.no/undervisningsprogram/vis.html?tid=2047762>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227. doi:10.1002/sce.3730660207
- Pouw, W. T., Van Gog, T., Zwaan, R. A., & Paas, F. (2016). Augmenting instructional animations with a body analogy to help children learn about physical systems. *Frontiers in psychology*, 7, 860. doi:10.3389/fpsyg.2016.00860
- Resnick, I., Davatzes, A., Newcombe, N. S., & Shipley, T. F. (2017). Using relational reasoning to learn about scientific phenomena at unfamiliar scales. *Educational Psychology Review*, 29(1), 11-25. doi:10.1007/s10648-016-9371-5
- Sarantopoulos, P., & Tsaparlis, G. (2004). Analogies in chemistry teaching as a means of attainment of cognitive and affective objectives: A longitudinal study in a naturalistic setting, using analogies with a strong social content. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(1), 33-50. doi:10.1039/B3RP90029K
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemistry knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156-168. doi: 10.1039/C3RP00012E

- Wu, H.-K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 754-767. doi:10.1007/s10956-011-9363-7
- Ünlü, Z. K., & Dokme, I. (2011). The Effect of Combining Analogy-Based Simulation and Laboratory Activities on Turkish Elementary School Students' Understanding of Simple Electric Circuits. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 10(4), 320-329.
- Ødegaard, M., Haug, B., Mork, S., & Sørvik, G. (2016). På forskerføtter i naturfag: Oslo: Universitetsforlaget.

APPENDIKS 1

Oversikt over innholdet i undervisningsopplegget. Oversikten er basert på gjennomføring hos naturfagstudentene, men er i hovedsak sammenlignbar med gjennomføring hos grunnskoleelevene.

Tema	Aktivitet
Økt 1 (Opprinnelig økt 1.1.)	<i>Les: Laget av stoffer</i>
Introduksjon	Lærer introduserer arbeidet med undervisningsopplegget
Partikler, atomer og molekyler	<p>Parvis og felles samtale om partikler Parvis samtale om atomer og molekyler</p> <p>Undervisningsark 1 henges opp på begrepsveggen. - Hva vet vi om atomer og molekyler? - Hva ønsker vi å lære om atomer og molekyler? Fyller inn med respondentenes svar på spørsmålene</p> <p>Introduserer to nøkkelspørsmål som henges opp på begrepsveggen 1. Hva er felles for molekyler? 2. Hvordan er molekyler forskjellige?</p>
Aktivere forkunnskaper før lesing	<p>Respondentene svarer på om de er enig/uenig i noen påstander om stoffer (Forskerark 1.1)</p> <p>Respondentene gjør seg kjent med boka «Laget av stoffer» (Gina Cervetti), ved å se på forsiden, bilder, overskrifter og uthevede ord</p> <p>Lærer skriver opp flere punkter på undervisningsark 1 (se over), basert på tilbakemeldinger fra respondentene</p> <p>Respondentene får i oppgave å skrive ned egne tanker om det de vet og det som de lurer på, før de begynner å lese. Dette skrives inn i et utdelt forskerhefte. Lærer forklarer at å aktivere forkunnskaper kan gjøre det lettere å forstå og huske det de leser.</p>
Lesing	<p>Høytlesing fra boka «Laget av stoffer» (s.3-5) . Respondentene leser for klassen. Tema: Stoffer, atomer er bittesmå byggesteiner.</p> <p>Felles lesing, og lærer modellerer hvordan respondentene kan notere i forskerheftet det som de legger merke til. Respondentene deler tanker om det som de leser.</p> <p>Respondentene parleser boka og oppfordres til å notere ned det som de finner ut.</p> <p>Når respondentene er ferdige med lesingen går de tilbake til forskerarket 1.1. og ser om de har endret mening om påstandene de svarte på før lesing.</p>
Etter lesing	<p>Felles oppsummering der respondentene deler noe av det som de har funnet ut eller har lagt merke til under lesingen. <i>(*Fellsessamtalen kommer bl.a. inn på molekylers ulike egenskaper)</i></p> <p>(Usikker på om vi kommer inn på forkunnskaper igjen, selv om det står i instruksjonen)</p>

	<p>Introduserer begrepet modeller ved å tegne enkle sirkelmodeller av atomer og molekyler på et nytt undervisningsark (på begrepsveggen).</p> <p>Snakker om at atomer er små. Snakker om sammenhengen mellom atomer og molekyler. Viser et eksempel på en modell av vannmolekylet. Svarer på Nøkkelspørsmålet om hva som er felles for alle molekyler.</p> <p>Lærer sier noe om hvorfor vi bruker modeller (for å kunne jobbe med noe som vi ikke kan se). Det blir kort fortalt at modellene ikke (nødvendigvis) er korrekte, men at dette er noe vi skal komme tilbake til.</p> <p>*Vi går ikke tilbake til spørsmålene på undervisningsark 1 (jf. instruksjonen).</p>
Økt 2 (1.2)	<i>Separer en fargeblanding</i>
Observere vann	<p>*Vi kuttet ut T-P-D om «hva vet du om molekyler», siden vi kun hadde en kort pause mellom økt en og to.</p> <p>Respondentene observerer hvordan vannet trekker oppover i et stykke filterpapir som stikkes ned i et begerglass fylt med vann. Lærer går rundt i klasserommet og viser frem.</p> <p>Lærer forklarer at vannet stiger oppover fordi vannmolekylene binder seg til molekylene i filterpapiret.</p>
Naturfagsord og hverdagsord	<p>Lærer fremhever naturfagsspråket; at man bruker faguttrykk og at et ord kan bety noe annet når vi arbeider med naturfag enn det gjør i hverdagsspråket.</p> <p>Undervisningsark 3: Naturfagsord og hverdagsord. Lærer introduserer ordet OBSERVERE. Respondentene kommer med forslag til mulige hverdagsord som kan bety nesten det samme. Forslagene skrives inn i undervisningsarket. Man diskuterer forskjellene mellom naturfagsordet og hverdagsordene.</p>
Papirkromatografi- oppstart av øvelsen	<p>Lærer introduserer ordet kromatografi og demonstrerer hvordan forsøket med papirkromatografi skal gjennomføres.</p> <p>Oppstart av øvelsen papirkromatografi. Tidlig observasjon i ca. 1 minutt.</p>
En modell laget av pastablanding	<p>Naturfagsordet MODELL blir ført opp på undervisningsark 3. Samtale om hverdagsord som ligner på modell.</p> <p>Diskusjon om forskjellen mellom en modell og en kopi, det er mange viktige forskjeller mellom modellen og den virkelige tingen.</p> <p>Lærer og respondenter mimer at de tar «nanobriller» på, slik at de kan se det som er veldig smått. Læreren introduserer pastamodellen, som består av tre glass med ulike typer pasta (pastarør, pastaskruer og makaroni).</p>

	<p>Hver kopp representerer <i>rene stoffer</i>. Pastabiten representerer ulike typer <i>molekyler</i> som har bestemt <i>form, størrelse og vekt</i>. Siden alle pastabiten i hver kopp er like, modellerer de poenget i følgende Nøkkelsegning som henges opp på begrepsveggen: <i>I et rent stoff er alle molekyler like. Molekylene i et rent stoff er forskjellige fra molekylene i et annet rent stoff.</i></p> <p>Respondentene får lage en blanding av pastamolekylene og klassen diskuterer hvordan det går an å separere blandingen. Klassen diskuterer deretter om det går an å bruke de foreslåtte metodene til å skille blandingen hvis den bestod av molekyler.</p>
Diskutere resultatene fra kromatografiøvelsen	<p>Respondentene observerer og noterer resultatene fra øvelsen med papirkromatografi.</p> <p>Felles gjennomgang av resultatene fra øvelsen. Observasjonene blir notert på Undervisningsark 5- Observasjoner fra kromatografi.</p> <p>Kort diskusjon om fargen i øvelsen var et rent stoff eller en blanding.</p> <p>Lærer viser frem ingrediensene som ble benyttet i øvelsen. Tre ulike farger konditorfarge. <i>På Høgskolen forteller læreren at hun fikk ulikt resultat med ulike merker konditorfarge. Det samtales om molekylers polaritet og andre mulige forklaringer på dette.</i></p>
Tegne en Nanomodell	<p>Lærer henger opp en nøkkelsegning på begrepsveggen: <i>Et molekyl er for lite til at vi kan se det, selv med de fleste typer mikroskoper</i></p> <p>Lærer viser en modell av vannmolekyler (undervisningsark 6) og tegner en kalottmodell av vannmolekylet. Sammenligner med et glass vann.</p> <p>Lærer viser en modell av vann- og sukkerblanding (undervisningsark 7). Samtale om hvordan man kan tegne molekyler. Forklarer andre elementer ved modellen som blir vist.</p> <p>Respondentene får utdelt et nytt forskerark med en tegning av papirkromatografiforsøket. De skal lage en nanomodell som viser hva som skjer med farge- og vannmolekylene i forsøket. Lærer fremhever det som modellene bør vise. Dette skjer i samtale med respondentene. Lærer sier at modellen ikke trenger være «riktig».</p> <p>Respondentene tegner Nanomodellen (nr. 1)</p> <p>Respondenter som har tid til overs oppfordres til å fylle ut et punkt pm «hvordan er molekyler forskjellige» på et forskerark.</p>
Økt 3 (1.3)	<i>Utforsk kromatografimodeller</i>
Samtale om gårsdagens kromatografiøvelse	Tenk-par-del Felles samtale
Viftemodellen blir gjennomført	Før: Samtale om egenskaper til «molekylobjektene» i modellen. Hva tror respondentene vil skje når vi setter på hårfønen?

(Hårføner ble benyttet på Høgskolen)	Gjennomføring Etter: Samtale om «molekylegenskapene» sin betydning for resultatet: Hvorfor noen «molekyler» flytter seg lenger enn andre, og noen ikke flytter seg i det hele tatt.
Samtale om molekylens egenskaper (ulik: vekt, størrelse, form og bindingsevne)	Felles samtale om molekylers egenskaper Nøkkelsestninger og samtale om molekylers egenskaper Vi sjekker i elevboken om egenskapene vi har snakket om er reelle Samtale om kapillærkrefter og kromatografi*
Revisjon av Nanomodell (lage Nanomodell nr. 2)	Felles og parvis samtale om hvordan papirkromatografi fungerer, med utgangspunkt i to «forskerspørsmål» 1. Fargen beveget seg oppover fordi: 2. Noen farger beveget seg lenger enn andre fordi: Individuelle, skriftlige svar på de to «forskerspørsmålene» Felles samtale om respondentenes svar på de to «forskerspørsmålene» Lager revidert versjon av Nanomodell nr. 1. Den første modellen er ikke tilgjengelig for respondenten. Individuelt arbeid.
Økt 4 (1.5)	<i>Forstå kromatografi: Del 1</i>
Ordkoblinger	Respondentene arbeider i grupper og setter sammen setninger med ordkort. Hver gruppe presenterer en setning for klassen. Felles samtale om hva respondentene tenker om aktiviteten*
Nøkkelspørsmål	Gruppearbeid med samtale om, og deretter individuelle skriftlige svar, på to nøkkelspørsmål: 1. Hva er felles for molekyler? 2. Hvordan er molekyler ulike?
Vurdere naboens Nanomodell nr. 2	Lærer introduserer aktiviteten Vurdering av sidemannens Nanomodell. Respondent noterer. Samtale i par om hverandres Nanomodell nr. 2. Felles samtale om nanomodellene som respondentene har vurdert
<i>Mysterium 1</i>	<i>Gjennomføre mysterium 1 (krittkromatografi)* (kun grunnskolen)</i> <i>Felles samtale om krittkromatografi</i>
Oppsummerende samtaler om modeller	Felles samtale om likheter og forskjeller mellom viftemodellen og nanomodellen Felles samtale om nanomodellene som respondentene har vurdert

APPENDIKS 2

Spørreskjema som ble brukt i pre-posttest. Respondentene svarte på de fem første spørsmålene før og etter deltakelse i studien. Naturfagstudentene svarte i tillegg på et sett åpne spørsmål (nr. 6-9) i posttesten.

Appendiks 2. Spørreskjema som ble brukt i pre-posttest. Respondentene svarte på de fem første spørsmålene før og etter deltakelse i studien. Naturfagstudentene svarte i tillegg på et sett åpne spørsmål (nr. 6-9) i posttesten.

Dato/ditt alias:

1. Hvor finner man atomer?

2. Kan man se et enkelt atom? Kryss av for det svaret du mener er riktig.

- ☐ Ja
- ☐ Nei
- ☐ Bare i gode mikroskoper

3. Skriv tre setninger om molekyler

-

-

-

4. Hvordan vil du forklare hva luft er for noe?

5. Hvilke av påstandene nedenfor er riktige?

- ☐ Det finnes vann mellom vannmolekylene
- ☐ Et molekyl kan ikke endre størrelse
- ☐ Vann er en blanding av hydrogen og oksygen
- ☐ Et vannmolekyl endrer farge hvis vi blander saft i vannet
- ☐ Alle vannmolekyler er helt like

Snu arket!

6. Har du lært noe nytt disse to dagene? Hvis ja, fortell litt om hva du lærte og hvordan noen aktiviteter bidro til å øke forståelsen.

7. Var det noe du syntest var særlig interessant (fagstoff og/eller undervisningsopplegg)? Hvis ja, fortell litt om dette. Du kan også si noe om det du ev. syntes var mindre interessant.

8. Tenk deg at du er naturfaglærer på mellomtrinnet. Er det noe av det du har gjort disse to dagene som du tror du ville ha brukt i egen undervisning? Hvorfor/ hvorfor ikke?

9. Er det noe i dette undervisningsopplegget (alt vi har gjort disse to dagene) som er annerledes enn den naturfagundervisningen du har hatt ellers som naturfagstudent ved denne høghskolen?