

Modellering som proces i naturfagsundervisningen



Claus Auning, LSUL, SDU,
UC SYD

Abstract: *Modellering er en kernekompetence inden for naturfag. Elever kan anvende modeller til at forudsige og forklare fænomener. Vi har gennemført et mixed method-studie for at undersøge hvordan procesorienterede modelaktiviteter kan bidrage til elevernes forståelse. Forløbet er afprøvet i seks udskolingsklasser. Vi har konstrueret holistiske rubrics til at dokumentere gruppernes forklaringer knyttet til hver model og derefter sammenlignet scores over tid for at undersøge om der er en potentiel progression i kvaliteten af elevernes forklaringer. Resultaterne viser at der har været en signifikant udvikling i elevernes modelbaserede forklaringer, men at der også sker en opdeling af grupperne inden for progressionen i deres forklaringer.*

Artiklen her beskæftiger sig med den form for naturfagsundervisning der kaldes “modelbaseret undersøgelse” (MBU) (Model-based Inquiry på engelsk). Modeller bruges i naturvidenskabernes centrale hjælpe- og arbejdsværktøjer både til erkendelse af nye indsigter og til kommunikation af viden (Krüger et al., 2018; Gilbert & Justi, 2016; Gouvea & Passmore, 2017; Nielsen, 2015). Windschitl et al. (2008) og Passmore et al. (2009) argumenterer for at naturfagsundervisning centrerer omkring elevernes *udvikling* af forklaringer af komplekse naturfænomener, og at elevernes egne modeller bliver det centrale værktøj til at forklare de forskellige processer der har indvirkning på det komplekse fænomen. De aktiviteter og undersøgelser læreren udvælger, skal bidrage til at understøtte elevernes forståelse og forklaring af det komplekse fænomen ved at indgå i den samlede forklaring som udgør den endelige model. International forskning viser at en sådan modelbaseret tilgang til naturfagsundervisningen har en positiv effekt på elevers læringsudbytte (se fx Forbes et al. 2015; Schwarz et al. 2009). Forskerne har været nysgerrige efter at finde ud af hvad dette skift i elevernes forståelse/forklaringer skyldes. Baek et al. (2015) følger således to elever fra 5. klassetrin der deltager i et MBU-forløb, og fokuserer på hvad der fik elevernes modelbaserede forklaringer (MBF) til at ændre sig over tid. Resultaterne viser at dette skyldes mange faktorer, herunder valg af aktiviteter (undersøgelser) der understøttede elevernes

tænkning, de teknologiske hjælpemidler (i dette tilfælde computersimulationer) samt lærer-elev- eller elev-elev-samtaler om forståelsen af den nye viden og om hvordan denne viden kunne bruges til at forklare det komplekse fænomen. Dette har betydet at forskning om MBU i dag har større fokus på hvordan læreren kan understøtte elevernes forståelse af processer og deres transfer af viden til tilsvarende fænomener. Både Clement et al. (2019), Gilbert et al. (2016) og Windschitl et al. (2018) kommer med bud på metoder til at arbejde med MBU. I en dansk kontekst blev modelleringskompetencemålet implementeret i 2015 i Fælles Mål, men som Nielsen (2019) påpeger, så findes der næsten ingen vejledning i Fælles Mål til hvordan dette kan udmøntes i praksis. Niensens undersøgelser viser også at lærere har en overvejende produktorienteret tilgang til modeller og modellering, dvs. at de hovedsagelig ser modeller som repræsentationer af svært forståelige processer. Nielsen argumenterer bl.a. for en mere kompetenceorienteret tilgang til modellering som ligger i at anvende modeller som et procesværktøj. Dette er således også blevet tilføjet i læseplanen for Fælles Mål (UVM (2019)) hvor "modellering som proces" beskrives. Der er dog fortsat ingen vejledning til hvordan dette skal udmøntes i praksis. Derfor er der i høj grad behov for at dette undersøges i en dansk kontekst, samt hvilke effekter denne tilgang har på danske elever.

Forskningsspørgsmålene for studiet her har været at undersøge følgende:

1. På hvilke måder ændrer elevernes modelbaserede forklaringer sig gennem et MBU-inspireret undervisningsforløb?
2. Hvilke styrker og udfordringer opstår når elever arbejder med modellering som proces?

Teori

"Alt for ofte anvendes modeller i naturfagsundervisningen kun for deres repræsentative egenskaber (hvad de forestiller) og undlader derved deres egenskaber som et epistemologisk værktøj (hvad de er for)" (Halloun 2007, s. 22) (forf. oversættelse)

Hallouns udtalelse falder godt i tråd med Niensens (2019) undersøgelse af danske lærere som i høj grad ser modeller i undervisningen som "produktorienteret". Men hvori ligger forskellen mellem en produktorienteret tilgang og en procesorienteret/epistemologisk tilgang? Og hvilken betydning har det for undervisningen?

Modeller kan bruges forskelligt i undervisningen – både som en repræsentation af

noget (fx molekylemodeller) og som epistemologisk funktion til at forklare fænomener med. Lad mig give et eksempel. En produktorienteret tilgang: En klasse arbejder med varmeenergi og molekylers bevægelser. Eleverne tegner modeller for at forstå forskellen på varmestrømning, varmeledning og varmestråling. De kommer med eksempler på hvor disse tre processer findes i naturen. En procesorienteret/epistemologisk tilgang: Klassen har set en video af en tankvogn der er blevet damprenset og efterfølgende imploderer da den lukkes hermetisk. Eleverne fremstiller egne modeller for at forklare hvorfor det skete. Dette er et komplekst fænomen idet der indgår mange delprocesser i den samlede forklaring, heriblandt hvordan tankvognen overhovedet nedkøler. I processen indgår både varmestrømning, varmeledning og varmestråling, og eleverne bruger deres model til at forklare hvor og hvordan disse tre processer finder sted i tankvognen. Dette gøres på baggrund af hypotesedannelse, læsning, testning og gruppe- og klassediskussioner, og denne nye indsigt og evidens anvendes på deres model som forståelse/forklaring af hvordan tankvognen nedkøler. Undersøgelingsaktiviteterne kan i begge forløb være ens, men forskellen ligger i at i det første forløb reproducerer eleverne færdige modeller, mens de i det andet forløb konstruerer deres egne modeller for at forstå og forklare varmeenergi og molekylebevægelers virkning på et fænomen.

Når modeller bruges som et erkendelsesværktøj, er det vigtigt som lærer at være bevidst om hvordan eleverne kan bruge modeller til at forklare, beregne og forudsige fænomener på tilsvarende måde som modeller bruges i naturvidenskabelig praksis. Man skal ikke alene have fokus på modellen som statisk vidensprodukt, man må også have øje for, hvordan modellen kan bruges til forklaring og forudsigelse af fænomener. Som lærer skal jeg således være bevidst om hvordan elevernes modellering kan bruges som proces, som metode og som redskab til at gøre et fænomen forståeligt for eleverne (Passmore, 2009; 2017).

Det følgende afsnit omhandler et konkret eksempel på et modelbaseret undervisningsforløb i fysik/kemi i 7.-8. klasse som vi har anvendt i denne undersøgelse.

Planlægning af et modelbaseret undersøgelsesforløb

For at undervise efter en modelbaseret tilgang skal tre kriterier ifølge Gouvea og Passmore (2017) være opfyldt i planlægningen af et MBU-forløb. Undervisningen skal omhandle:

1. Et komplekst fænomen: Der skal være noget ved fænomenet der ikke lige er til at forstå, noget, man som elev skal gruble over, og som kræver nærmere undersøgelse.
2. Undersøgelsesspørgsmål: Spørgsmålene kan komme fra både elever og lærer. Spørgsmål er med til at afklare indsigt i det undersøgte fænomen, hvad eleverne ikke forstår ved fænomenet, og hvad de vil finde forklaring på.

3. Krav til forklaringen: Der skal være kriterier for hvad der tæller som et fyldestgørende svar på fænomenets egenskaber og processer. Eleverne skal have indsigt i hvordan deres tænkning er udviklet gennem forløbet. Dette indebærer at eleverne skal gøres medansvarlige for at generere og evaluere deres model af fænomenet.

Et komplekst fænomen	Undersøgelsesspørgsmål	Krav til forklaringen
<p>Tankvognsmysteriet</p> <p>En tankvogn imploderer efter damprensning og efterfølgende hermetisk afslukning</p> <p>https://youtu.be/PN_NM5j4f2I</p> <p>Efterfølgende diskuteres følgende på klassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hvad de observerede der skete? • Hvorfor tror de det skete? • Hvilke uobserverbare processer er involveret i kollapset? <p>Link til den "videnskabelige" forklaring: https://llk.dk/r8j7ui</p> <p>(Prøv først at lave din egen før du ser vores 😊)</p>	<p>Eksempler på spørgsmål elever og lærer i fællesskab har formuleret efter at de har set og diskuteret tankvognsmysteriet på klassen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hvad skal der til for at få tankvognen til at kollapse? • Hvorfor fik tankvognen den form da den kollapsede? • Hvorfor kollapsede tankvognen ikke med det samme? • Hvorfor stoppede tankvognen med at kollapse? 	<p>Forklaringerne skal indeholde argumentation med udgangspunkt i de undersøgelser eleverne har udført i dette eller tidligere forløb.</p> <p>Undervejs i forløbet laves en tjekliste med punkter som skal være forklaret på elevernes model. Denne bliver lavet i fællesskab på klassen. Et eksempel på sådanne punkter til tjeklisten kunne være:</p> <p>Vores model skal kunne forklare følgende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hvordan forårsager molekyler tryk? • Hvordan er varmeenergi transformeret i tankvognen? • Hvordan har tankvognens ændrede volumen påvirket trykket?

Tabel 1. De tre vigtige kriterier i undervisningsforløbet (Gouvea & Passmore, 2017) udmøntet i nærværende undersøgelses undervisningsforløb i fysik/kemi i 7.-8. klasse

Organiseringen af en undervisning ud fra en modelbaseret tilgang er kendetegnet ved at tage udgangspunkt i fem epistemologiske træk ved naturvidenskabelig viden (Windschitl et al., 2008). Disse fem træk er at naturvidenskabelig viden er testbar, reviderbar, forklarende, hypotetisk og generativ. Ved en modelbaseret tilgang er det essentielt at eleverne stifter bekendtskab med at modellering er en måde at opnå forståelse og erkendelse på, og den modelbaserede undervisning bliver derfor opbygget omkring disse fem træk på følgende måde:

1. Testbar: En model laves på baggrund af hypoteser eller videnskabelig teori for at forklare et fænomens forskellige delprocesser. Dette gøres igennem testning og

evaluering af data, og resultaterne fra disse undersøgelser bruges som evidens i fremstillingen og revideringen af modellen.

- Reviderbar: En model kan ændres på baggrund af nye fund eller nye idéer, eller den kan repræsenteres på en anden måde.
- Forklarende: Modellen er et værktøj til at forklare et fænomen. Dette gøres ved at bruge data eller andre former for evidens i forklaring af hvorfor en proces forløb som den gjorde.
- Hypotetisk: Hypotetiske modeller er repræsentationer af naturfænomener som forbinder observerbare egenskaber af fænomenet med hypotetiske forklaringer derpå (fx energitransformation og molekylebevægelser). Dvs. at modellerne forklarer hvordan det observerede har sammenhæng med uobserverbare processer.
- Generativ: Modeller er ikke bare et slutprodukt af en undersøgelse. Modellen bliver brugt gennem hele forløbet og bliver løbende revideret på baggrund af ny viden, ændret forklaring eller nye spørgsmål.

Figur 1 MBU-forløbet




I MBU-forløbet (figur 1) revideres elevernes modeller på baggrund af en række forskellige aktiviteter og undersøgelser der skal understøtte elevernes forståelse af det komplekse fænomen. Undersøgelserne anvendes også som evidens for deres forklaringer på modellen. Revideringen sker på baggrund af deres undersøgelser hvor nye fund kan resultere i:

- at de har fået en ny idé
- at de ændrer en tidligere idé eller illustrerer den på en ny måde
- at nye spørgsmål er opstået.

I denne proces anvender gruppen Post-its i fire farver på deres model når de:

- tilføjer en **ny idé**
- **ændrer** en tidligere idé
- har **nye spørgsmål**
- **fjerner** noget fra modellen.

For at eleverne kan forklare tankvognsmysteriet, skal de forstå mange delprocesser der har indvirkning på den fulde forklaring. Mange af disse processer er uobserverbare. De enkelte undervisningsaktiviteter er udvalgt så de kan hjælpe eleverne med at forstå sammenhængen mellem implosionen af tankvognen og disse uobserverbare processer. Som støtte hertil laves umiddelbart efter hver aktivitet en opsamling på klassen. Her kobles hver enkelt aktivitet til tankvognsmysteriet. Nedenstående tabel viser et eksempel herpå. Opsamlingstabellen opbevares så **eleverne kan anvende den** når de reviderer deres modeller.

Aktivitet	Hvad observerede I?	Hvad forårsagede det?	Hvad kan vi bruge til tankvognsfor-klaring?
 <p>Dåseforsøg</p>	Dåser kollapse ved afkøling, men kun hvis dåsen ikke er helt tom eller helt fyldt.	Dampen kondenserer hurtigt til vand når den rammer vandoverfladen. Derved er der mindre damp i dåsen, så trykket falder fordi færre molekyler rammer indersiden af dåsen.	Når tankvogn nedkøler, kondenserer dampen til vand. Hvis tankvognen var fyldt med vand, ville den modstå kollaps. Og hvis der ingen vanddamp er i tankvognen, ville den heller ikke kollapse.

Tabel 2. Eksempel på opsamlingstabel anvendt på klassen

Metode

Forskningsdesign

I det konkrete projekt er der anvendt et “*explanatory sequential mixed methods study*” hvor data, indsamlet i MBU-afprøvningsperioden, først kvantitativt analyseres for relevante mønstre, hvorefter disse mønstre styrer den kvalitative analyse hvor målet er at finde forklaringer på de observerede mønstre. Undervisningsforløbet er udarbejdet i samarbejde med professor Mark Windschitl fra University of Washington og efterfølgende diskuteret og detailplanlagt i en afprøvningsgruppe bestående af ti lærerstuderende, fem lærere, en læreruddanner og en ph.d.-studerende (denne artikels forfatter).

Dataindsamlingen

Undersøgelsen er foretaget på tre syddanske skoler i seks klasser, fire 7.-klasser og to 8.-klasser. Projektet blev gennemført i perioden november-december 2018. Hver af de deltagende klasser var inddelt i grupper bestående af 2-4 elever, i alt 49 grupper. De seks klasser blev undervist af uddannede fysik/kemilærere (N=4), alle med mere end ti års undervisningserfaring. Undervisningsforløbet havde en varighed på tre til fire 90-minutters lektioner. Undervisningsaktiviteterne var ens i de seks klasser. For hver gruppe blev der indsamlet og fotograferet tre modeller, i begyndelsen, i midten og i afslutningen af undervisningsforløbet (N=145). Endvidere blev der efter første undervisningslektion udvalgt 14 grupper til interview. Grupperne blev udvalgt ud fra deres første modeltegning. Kriterierne var at finde stærke, mellem og svage faglige grupper idet vi ønskede et kvalitativt blik på grupper med forskellige faglige niveauer. Der blev foretaget interviews af grupperne umiddelbart efter første og sidste modeltegning (N=28). Det var første gang at klasserne arbejdede med en MBU-tilgang.

Analyse af model fra en gruppe i 8. klasse

Analyse af kvantitative data

Alle 145 modeller er kodet for både tekst og symboler. Dette er gjort i NVIVO 12 og efterfølgende induktivt kodet ved at bruge de kategorier som eleverne anvender på deres modeller. Fx blev koden "damp" anvendt hvis eleverne enten havde skrevet eller tegnet damp på deres model. Dette er gjort med henblik på at identificere *komponenter* anvendt af eleverne på modellerne. Komponenter er her fysiske størrelser eller begreber, fx damp, vand, tryk, undertryk, trykudligning. Hver model er efterfølgende kodet ved hjælp af en kodningsmanual. Kodningsmanualen er tilrettet ad flere omgange på baggrund af kodninger af udvalgte modeller. Dette er gjort i planlægningsgruppen samt ved at bruge udvalgte lektorer fra UC SYD, UCL og SDU (N=3). Vi koder alle modeller ud fra tre rubrics. Først for komponenter (k), dernæst sekvenser (s) (dvs. sammenkædninger af komponenter) og til sidst for forklarende processer (f). Alt dette eksemplificeres i analysen i afsnittet her. I det efterfølgende afsnit om kvantitativ dataanalyse redegøres for hvordan kodningsmanualen er konstrueret, se også tabel 3.

Kvalitativ analyse

Jeg redegør i det følgende afsnit for en gruppes læringsudbytte ud fra deres første og tredje model samt de to interviews foretaget med gruppen. Gruppen, fra en 8.-klasse, var i stand til at give en næsten fuld forklaring på tankvognsmysteriet. Valget af gruppen begrundes i at den er eksemplarisk i forhold til at vise hvordan kodningen er foregået, samt at vise forskellen på hvad vi ser som en beskrivelse og en forklaring.

Der blev foretaget interviews for at få gruppen til at uddybe deres model, dels for at se om gruppen var i stand til at forklare det de havde tegnet på deres model, og dels fordi vi var nysgerrige efter at få indblik i om gruppen havde fået tegnet alle deres idéer på modellen, dvs. om de viste alt det de vidste, eller om der var noget de ikke havde fået tegnet på eller grublede over. De to semistrukturerede interviews (Kvale et al., 2015) har en varighed på 5,04 og 8,24 min. Første interview havde et spørgsmål – *fortæl om jeres model* – og andet interview havde ud over det første spørgsmål følgende tre:

- Kan I vise mig og beskrive de ændringer I har lavet på jeres model?
- Fortæl hvordan jeres model viser hvorfor tankvognen kollapsede.
- Fortæl om hvordan videnskabelige begreber, som er vist på jeres model, hjalp jer med at forstå hvorfor tankvognen kollapsede.

Som opfølgningsspørgsmål anvendtes i begge interviews:

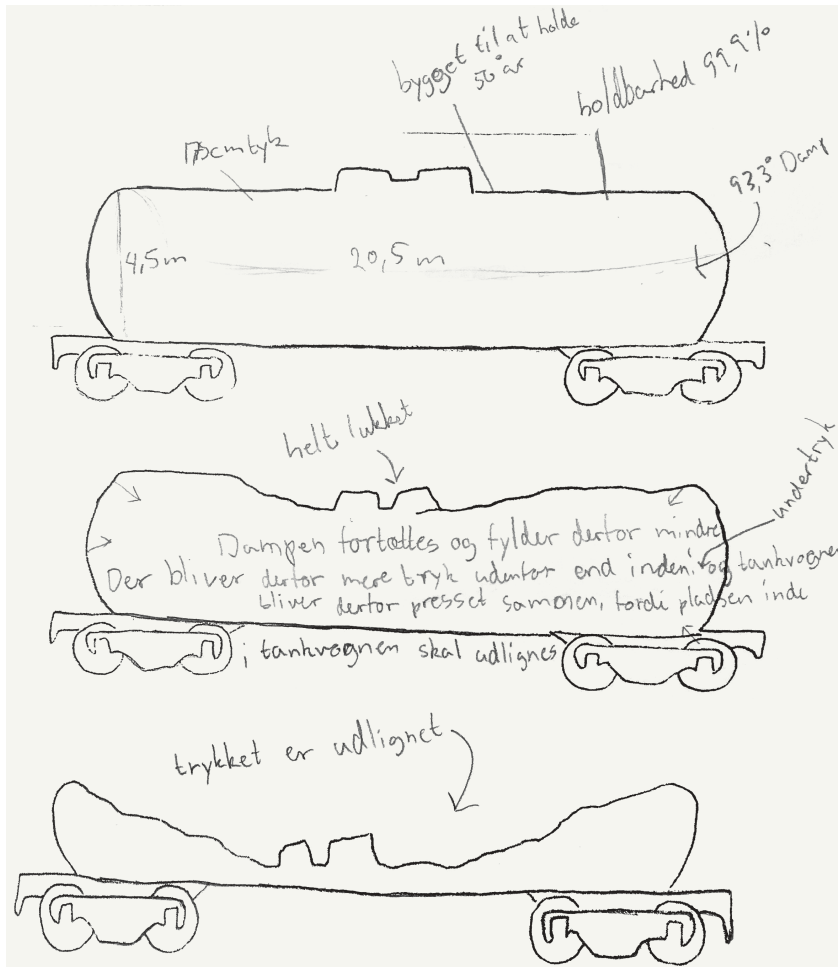
- Kan I fortælle mig mere?
- Hvad mener I med det?
- Kan I give et eksempel på det eller vise mig det på jeres model?
- Er det altid sådan?

Der refereres i teksten til model et og to for henholdsvis gruppens 1. og 3. model, og der bruges A, B og C når der refereres til de tre tankvogne på hver model.

For hver model redegøres først for hvorfor gruppen fik den komponentscore de fik, derefter sekvensscore og sidst forklarende processcore (jf. tabel 3). I teksten bruges forkortelserne k, s og f for henholdsvis komponenter, sekvenser og forklarende proces. Tallene, fx k5, henviser til gruppens scoreniveau. Nedenstående tekst trækker i øvrigt på det efterfølgende afsnit for at påpege hvor gruppen er atypisk og på linje med de andre 48 grupper i undersøgelsen. Den sidste del af analysen fokuserer på gruppens revidering af modellen.

8. klasses første model (model 1) (k5s3f1)

Ved den første model ses en beskrivelse skrevet i tankvogn B: *“Dampen fortættes og fylder mindre. Der bliver derfor mere tryk udenfor end indeni og tankvognen bliver derfor presset sammen fordi pladsen inde i tankvognen skal udlignes.”* Ud over dette er der tegnet en pil ind i tankvognen med teksten *“Undertryk”* samt en pil på C med teksten *“trykket er udlignet”*. På A er alle tankvognens specifikationer fra videoen oversat til metersystemet og grader i celsius: *“93,3° Damp”* og *“20,5 m”*. Gruppen uddyber i deres interview at



(Model 1, 8. klasse, gruppens første modellering)

“... når tanken lukkes, vil der ikke være noget luft der vil kunne overtage den plads der bliver lavet af det vakuum der vil laves når dampen fortættes og bliver til vand...” På spørgsmålet om hvorfor dampen bliver til vand, svarer gruppen: “Vi læste kort om det. Tror måske det er noget med at de gasser bevæger sig sådan, og på et eller andet tidspunkt begynder de at bevæge sig langsommere og bliver så til vand...”

Gruppen får derved k5, fem komponenter (damp, vand, tryk, undertryk, trykudligning). Komponenten damp ses hyppigst (86 %) på de i alt 145 modeller efterfulgt af tryk med 63 % og vand med 56 %. Undertryk (26 %) og trykudligning (23 %) ses ikke så ofte. At gruppen scorer k5, er også atypisk for første model da grupperne gennemsnitligt ligger på 2,15 komponenter (to komponenter på 58 % af gruppernes førstemodeler). Gruppen har forståelse af at trykket vil være forskelligt uden for og inden i tankvognen, og at en

af grundene skyldes ændring af vands tilstandsform som efterfølgende er med til at forårsage kollapset. Gruppen scorer s3 da de sammensætter minimum 3 komponenter til en sekvens, jf. deres tekst på B hvor de beskriver sammenhæng mellem tilstandsforms-, volumen- og trykændring. Generelt har grupperne (N=49) en god forståelse af tilstandsformsændring som ses på 45 % af alle modeller, dog kun på 31 % af første-modellerne. Gruppen scorer f1 fordi de beskriver to virkninger på tankvognskollapset der har sammenhæng med den videnskabelige forklaring, nemlig ændring af vands tilstandsform og den opståede trykforskel. Grunden til at dette ses som beskrivelse og ikke forklaring, er at de ikke kobler det uobserverbare sammen med det observerbare. En begyndende forklaring ses dog i interviewet: “... *begynder de at bevæge sig langsomme...*”. Her hentydes muligvis til molekylebevægelser på baggrund af nedkøling. Der hentydes under alle omstændigheder til det uobserverbare niveau og en kobling til hvorfor dampen bliver til vand. Gruppen er primært skriftlige – dette er et fællestræk ved stort set alle grupperes første model. Dog anvender de pile på B til at vise noget om trykket. Gruppen ender således med at få en score på k5, s3, f1. De har på deres model fem forskellige komponenter, de sammensætter minimum tre komponenter til en sekvens, og de beskriver to delprocesser der har indvirkning på hvorfor tankvognen imploderer.

8. klasses afsluttende model (model 2) (k6s5f4)

Gruppen udvikler sig meget fra deres første til afsluttende model. Der kommer mere tekst på modellen. Men de begynder også at illustrere flere processer – dette sker på A hvor de tegner molekyler som cirkler. Hvis cirklen har to streger efter sig, er bevægelsen langsom, og hvis den har tre streger efter sig, bevæger den sig hurtigt. Streger foran cirklen angiver bevægelsesretningen. Nederst til højre på A ses et molekyle der rammer tankvognens side med høj fart, og som derefter bevæger sig væk med lavere fart. Pile bliver inden i A brugt til at vise varmestromning, og bølgestreger repræsenterer varmeledning (ses parallelt med tankvognens væg både indeni og udenpå). Gruppen har flere end seks komponenter og scorer derfor k6. Ud over de tidligere nævnte komponenter har gruppen nu også afkøling, temperaturforskel, luft, temperaturstigning og -fald og trykfald.

Gruppen scorer s5 da flere sekvenser er koblet sammen. Dette ses eksempelvis i gruppens forklaring øverst ved A (den lyserøde Post-it). Her kobler gruppen sekvenser om tryk, temperatur og molekylebevægelsen sammen i en forklaring:

“Trykket påvirkes af molekylernes hastighed. Jo hurtigere molekyler bevæger sig, jo varmere bliver der, og jo højere tryk bliver der. Molekylerne støder også ind i hinanden og fortættes, så bevæger de sig langsommere, temperaturen falder, og der bliver skabt et undertryk.”

6

... bevæger sig langsomere
... = hurtige

Trykkel påvirkes af molekyleernes hastighed. 30 hurtigere molekyler bevæger sig, 30 varmere bliver der og jo højere tryk bliver der. Molekyler støder også ind i hinanden og fortales, så bevæger de sig langsomere, temperaturen falder og der bliver skabt et undertryk.

Der er mere tryk udenfor end inde i tankvognen derfor bliver den afbalanceret.

Når molekylerne bevæger sig langsomere støder de ikke så hurtigt ind i hinanden på tankvognen og den vil derfor balle under for tryk udenfor, det bliver dermed udliget.

Vi undrer os over, hvorfor den imploserer gradvist.

Svar: Først hopper konstruktionen tankvognen fra at implodere, man drejter bukler der under for tryk.

Vi undrer os over hvordan idealgasligningen fungerer.

Hvorfor bevæger molekyler sig overhovedet?

Samligning med Døsen

Døsen var lukket hurtigere afkølet Mindre Samling med skumfiduser

Når man med luften inde i sprøften prøver skumfidusen vil den implodere ligesom tankvognen

Når man trækker støvplet tilbage bliver der skabt et undertryk og skumfidusen udvider sig så for at udligne tryk.

Vi har tilføjet beginger af molekyleernes bevægelse, der påvirker trykket

Kalvin skal nok være en skala der tager størst ved det absolutte nul-punkt det gør den gode til at bruge uden at bruge minus-grader

Idealgasligningen viser sammenhængen mellem Volumen, tryk og temperatur. DVS, at hvis man ændrer på en af tingene ændres de andre også. Ex vil tryk blive højere og temperaturen stige hvis volumen ændres.

bygger til at holde 50 år holdbarhed 99,9%

93,3° Damp

varmt = 20,5 m

koldt

4,5 m

helt lukket

undertryk

Der bliver derfor mere tryk udenfor end inden i tankvognen bliver derfor presset sammen, fordi pladsen inde i tankvognen skal udlignes

trykkel er udlignet

(Model 2, 8. klasse, gruppens 3. og sidste revidering af deres model)

Gruppen beskriver ikke alene at temperaturfald forårsager trykfald – de forklarer også hvad der sker på et hypotetisk niveau: at det er molekylebevægelser som har indvirkning på både temperatur og tryk. Dette repræsenterer de også ved symboler på A. Gruppen er i stand til både skriftligt og illustrativt at koble det “observerbare” (at temperaturen falder, som kan måles) med hvad der sker på et uobserverbart niveau

(hvordan molekylerne mister energi). Gruppen får i dette tilfælde k4 fordi de forklarer flere end to processer der har med tankvognens kollaps at gøre. Både processer der omfatter gasligningen, forholdet mellem tryk, temperatur og volumen samt overvejelser om konstruktionen af tankvognen. Derved præsterer de en næsten fuldendt redegørelse for den videnskabelige forklaring. Gruppen er således på niveau k6, flere end seks komponenter, s5 da de har mange sekvenser koblet sammen, og f4 da de forklarer minimum tre delprocesser. Gruppen er et eksempel på en meget skrivende gruppe. Dette er atypisk idet de fleste grupper er mere illustrerende end skrivende.

Næste del af analysen har fokus på gruppens revidering af deres model.

En lyserød Post-it markerer at gruppen er blevet klogere og har tilføjet denne nye forklaring som tillæg til deres oprindelige forklaring på model 1. Dette bekræftes også af gruppens andet interview hvor de kobler denne forklaring til deres symboler uden for og inden i A: “... her kan du se at molekylerne bevæger sig langsommere og fortættes, det har vi også skrevet herover (den lyserøde Post-it)...”.

Til at fastholde hvad gruppen endnu ikke har forstået, benytter gruppen en gul Post-it (nederst i venstre hjørne): “Vi undrer os over hvordan idealgasligningen fungerer.” Det henviser til en tekst de har læst om gasloven, som de på nuværende tidspunkt ikke kan koble til tankvognskollapset eller forstå teorien bag. Gruppen har efterfølgende undersøgt dette spørgsmål og skriver på den øverste lyserøde Post-it ved C:

“Idealgasligningen viser sammenhængen mellem volumen, tryk og temperatur. Dvs. at hvis man ændrer på en af tingene, ændres de andre også, fx vil trykket blive højere, og temperaturen stige hvis volumen ændres.”

De er dog ikke i stand til at koble det til tankvognen. Gruppen kunne have skrevet at dette jo forekom ved C hvor tankvognens volumen mindskes, og trykket derfor igen stiger til det er udlignet med trykket udvendig. Gruppen har efter den sidste modeltegning tilføjet et nyt spørgsmål på den gule Post-it (nederst i højre side): “Hvorfor bevæger molekylerne sig overheadet?” Så nye spørgsmål opstod i takt med at gamle spørgsmål er blevet besvaret. Modellen bruges også til at sammenligne et forsøg de har lavet i undervisningen, med tankvognsmysteriet. Gruppen sammenligner dåseforsøget med tankvognen på en grøn Post-it nederst på modellen. Her skriver gruppen: “Sammenligning med dåsen. Dåsen var lukket. Hurtigere afkølet. Mindre.” Gruppen indser en sammenhæng mellem dåseforsøget og tankvognen, men mener at den adskiller sig på den måde tankvognen er blevet lukket, størrelse og nedkølingshastighed. Det at grupperne inddrager og sammenligner med aktiviteter fra undervisningen for at argumentere for en forklaring, ses på i alt 20 % af modellerne. Gruppen er bevidst om at de bruger modellen til bedre at forstå grunden til tankvognskollapset. I gruppens andet interview udtaler de:

“... vi har prøvet at tegne flere pile på, tegne molekyler indeni, for ligesom for bedre selv at forstå hvorfor er det den bliver mindre, og hvorfor er det at trykket indeni bliver lavere.”

Kodningen af modellerne samt samtale med gruppen (interviewet) synliggør hvordan gruppens MBF ændrer sig igennem forløbet. Gruppen har fra begyndelsen en god forståelse af hvilke delprocesser der skal være til stede for at tankvognen imploderer. På deres sidste model er de i stand til at forklare disse delprocesser ved at koble det uobserverbare med det observerbare, fx hvorfor molekylernes hastighed falder, og hvordan dette har sammenhæng med trykfald. Gruppen kobler aktiviteter fra undervisningen med deres forklaringer på modellen, og brugen af Post-its er med til at synliggøre gruppens revideringsproces. Modellen bruges også som et undersøgelsesværktøj idet den er med til at fastholde de spørgsmål gruppen har undervejs, og den indeholder endog ved afslutningen af forløbet spørgsmål gruppen ønsker at kunne forklare.

Kvantitativ dataanalyse

Udvikling af kodningsmanual

Planlægningsgruppen har som tidligere skrevet udviklet en kodningsmanual for at undersøge hvorvidt der er sket en progression i elevernes modelbaserede forklaringer fra første til tredje model. Kodningsmanualen er inspireret af tidligere forskning på området (Zangora et al., 2017; Forbes et al., 2015) som på tilsvarende måde har undersøgt progression i elevers forklaringer. Kodningsmanualen er opbygget omkring tre rubrics: komponenter, sekvenser og forklarende processer, se tabel 3. Hver rubric er udviklet med udgangspunkt i den videnskabelige forklaring, jf. linket i tabel 1 til den “videnskabelige” forklaring. Vores rubrics bruges således som reference til hvordan eleverne kan opnå det højeste niveau inden for hver rubric. Planlægningsgruppen har efterfølgende identificeret de lavere niveauer, hvor niveau 0 indikerer at eleverne ikke har repræsenteret nogen af disse niveauer på deres model. Rubric’en bygger på den antagelse at før eleverne kan begynde at forklare nogle af de processer der foregår under tankvognsimplosionen, må de først kunne beskrive de komponenter som indgår i processerne, og sammensætte disse til sekvenser. Det er vigtigt at eleverne har en forståelse af at komponenter uden for tankvognen har stor betydning for at tankvognen imploderer, og derfor skal eleverne, for at få en score på 3, have mindst en komponent med uden for tankvognen. Den højeste score på komponenter er 6. Den højeste score på sekvenser er 5. Det kræver mindst to komponenter at lave en sekvens. Den maksimale score på en forklarende proces er 4 – så skal eleverne have forklaret mindst tre årsager som har sammenhæng med tankvognskollapset. Forskellen på score 2 og 3 beror på at eleverne går fra at beskrive til at forklare processer. Denne skelnen

mellem forklaring og beskrivelse laves med udgangspunkt i Windschitl et al.s (2008) definition på hypotetiske og forklarende modeller: Ved beskrivelse repræsenterer eleverne processer som kan ske på både et observerbart og et uobserverbart plan. Ved forklaring er eleverne i stand til at forklare hvordan det observerbare har sammenhæng med uobserverbare processer (hypotetisk træk ved modellen). Lad os give et eksempel fra undersøgelsen. Mange grupper skriver eller viser med pile på deres model at trykket inde i tankvognen falder efter et tidsrum (men gør ikke forsøg på at forklare hvorfor trykket falder). Beskrivelsen er rigtig, men en forklaring kræver at de sammenkobler deres observation af trykfaldet med molekylernes ændrede hastighed og kraft. Molekylerne vil ramme tankvognens inderside færre gange og med mindre kraft, som vil resultere i at trykket falder. Dette eksempel var gruppen ovenfor også i stand til på deres sidste model (jf. scoren f4 i deres model 2). Dette er også en delforklaring idet man efterfølgende kunne stille spørgsmålet om hvorfor molekylernes hastighed og styrke falder, som vil føre til en forklaring om temperaturfald.

Tabel 3:

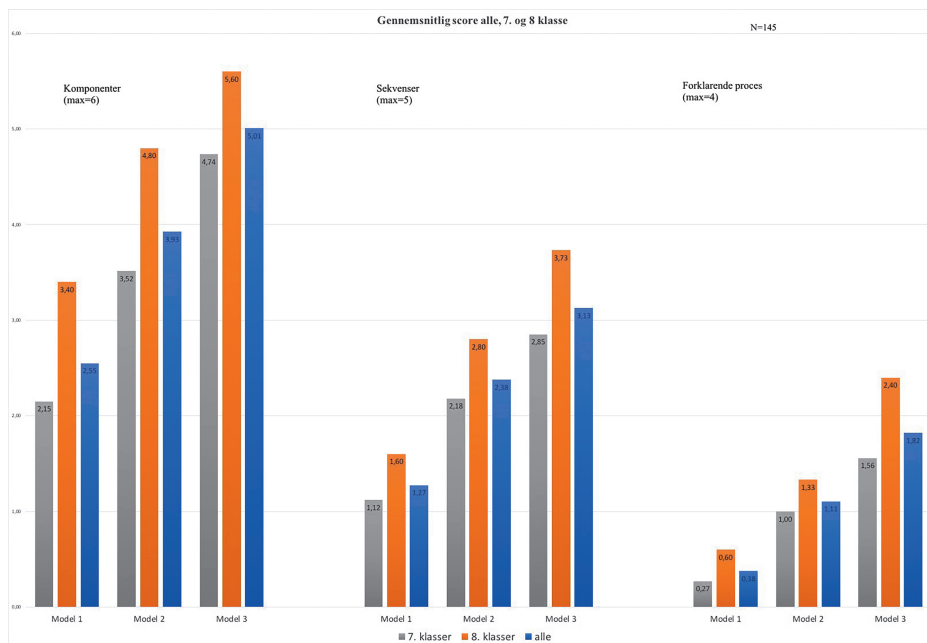
Komponenter	
Niveau	Beskrivelse
0	Ingen komponenter
1	Mindst 1 komponent
2	Mindst 2 komponenter
3	Mindst 2 komponenter inde i og mindst 1 uden for tankvognen
4	Mindst 4 komponenter i alt både inde i og uden for tankvognen
5	Som 4 + en komponent
6	> 5 komponenter i alt både inde i og uden for tankvognen

Sekvenser/sammenkobling af komponenter	
Niveau	Beskrivelse
0	Ingen sekvenser
1	To komponenter er forbundet, en sekvens
2	Flere sekvenser med to komponenter
3	Tre komponenter er forbundet, en sekvens
4	To sekvenser er koblet sammen
5	Flere sekvenser er koblet sammen

Forklarende proces	
Niveau	Beskrivelse
0	Forklarer eller beskriver ikke noget af den videnskabelige forklaring på tankvognskollapset
1	Beskriver op til to virkninger på tankvognskollapset der har sammenhæng til den videnskabelige forklaring
2	Beskriver flere virkninger på tankvognskollapset der har sammenhæng til den videnskabelige forklaring
3	Forklarer op til to årsager til virkning på tankvognskollapset der har sammenhæng til den videnskabelige forklaring
4	Forklarer flere end to årsager til virkning på tankvognskollapset der har sammenhæng til den videnskabelige forklaring

Resultater af det kvantitative data

Gennemsnitligt er der sket en stor udvikling i alle grupper fra første til tredje model, se tabel 4 og 5. Denne progression ses hos både 7. og 8. klasse. 8.-klasserne starter dog inden for alle tre rubrics på et højere niveau, men den efterfølgende procentmæssige stigning fra 1. til 3. modeltegning er på alle tre rubrics næsten identisk.



Tabel 4

Modeltegninger	Komponenter		Sekvenser		Forklarende proces	
	(max.6)	Standardafvigelse	(max.5)	Standardafvigelse	(max.4)	Standardafvigelse
1.	2,55	1,24	1,27	1,07	0,38	0,49
2.	3,93	1,80	2,38	1,27	1,11	1,04
3.	5,01	1,37	3,13	1,17	1,82	1,27

Tabel 5: Beskrivende statistik af de 49 gruppers scorer og standardafvigelse fra 1. til 3. model

Elevernes komponentscore næsten fordobles fra gennemsnitligt 2,55 på deres første model til 5,01 komponentscore på deres tredje model. Den samme tendens ses på sekvensscore hvor gennemsnittet forøges med 59 % fra 1,27 til 3,13. Den største procentstigning ses ved den forklarende processcore hvor gennemsnittet stiger med 79 % fra 0,38 til 1,27. For både komponenter og sekvenser ses at variansen stiger fra første til anden modeltegning for igen at falde ved tredje modeltegning, hvorimod variansen er stigende ved forklarende processer fra 0,49 til 1,27. Dvs. at der bliver større forskelle mellem grupperne når de skal forklare det komplekse fænomen. Derimod er variansen næsten den samme fra første til tredje modeltegning når vi analyserer på komponenter og sekvenser, dvs. at selv de svage grupper kan få komponenter indtegnet, men kan ikke forklare deres funktion/betydning i modellen. Man får en "top og bund" hvor en stor gruppe ikke er i stand til at forklare hvad k og s har af betydning for tankvognsmysteriet. Ved første modeltegning kunne størstedelen (63 %) af grupperne ikke forklare eller beskrive noget af den videnskabelige forklaring på tankvognskollapset, se tabel 6. Dette ændrer sig ved den tredje modeltegning hvor kun 16 % af grupperne ikke viste progression. Ved tredje modeltegning ses at størstedelen af grupperne (70 %) ligger på enten niveau 1 eller 3, begge med 35 %, hvorimod kun 7 % ligger på niveau 2 og 4, hvilket fortæller at 42 % bliver på et beskrivende niveau, mens en lige så stor gruppe, 42 %, er i stand til at forklare processer der har indvirkning på det komplekse fænomen. Kun 7 % af grupperne (N=3) ender på højeste niveau, altså er i stand til at komme med en fuld forklaring på tankvognsmysteriet.

Forklarende procesniveauer i procent (%)					
	0	1	2	3	4
Model 1	63	37	0	0	0
Model 2	35	37	14	14	0
Model 3	16	35	7	35	7

Tabel 6: Forklarende processcore i procent for hvert niveau ud fra grupperne (N=49)

Opsamling og diskussion

Vi ville i undersøgelsen finde ud af hvordan elevernes modelbaserede forklaringer ændrede sig gennem et MBU-undervisningsforløb (forskningsspørgsmål 1). Ud af vores resultater ses på gruppernes modeller en større procentmæssig stigning inden for de tre målepunkter, komponenter, sekvenser og forklarende processer, hvilket indikerer at elevernes modelbaserede forklaringer bliver mere og mere detaljerede igennem forløbet. Den samme tendens ses i tilsvarende forskning på området. Schwarz et al. (2009) og Forbes et al. (2015) har på tilsvarende måde undersøgt disse tre områder k, s og f, og deres forskning viser samme procentmæssige tendenser. I analysen af modelleringsprocessen i den fremhævede gruppe fra 8. klasse kan vi finde alle fem epistemologiske træk (Windschitl et al., 2008): Gruppens model er blevet til på baggrund af **testning** både teoretisk og praktisk. I gruppens sidste interview udtaler den ene gruppedeltager at den faglige læsning hjalp hende med at forstå elementer i forklaringen, hvor en anden i gruppen fremhævede det eksperimentelle (dåse- og skumfidusforsøget). Modellen bliver løbende **revideret** på baggrund af ny indsigt eller nye repræsentationer. Gruppens model ændres fra næsten udelukkende at indeholde tekst til at blive mere illustrativ (dette er i øvrigt et generelt træk hos alle grupper). Gruppen kobler flere af processerne på deres sidste model til aktiviteter fra undervisningen (dette træk ses på 20 % af gruppernes sidste modeller). Ud fra vores data ses et bevis for at modellerne er blevet revideret igennem forløbet: Den gennemsnitlige komponentscore stiger fra 2,15 til 5,01, og sekvensscoren stiger fra 1,27 til 3,13.

Gruppen opfatter deres model som **generativ** idet den indeholder nye spørgsmål også efter forløbets afslutning, gruppen bruger deres model som forudsigelses- og formidlingsværktøj af gruppens idéer, og gruppen fremhæver i interviewet, jf. analyseafsnittet, at modellen har bidraget til deres læring og omverdensforståelse. Et andet fokus for undersøgelsen var hvilke styrker og udfordringer der opstår når elever arbejder med modellering som proces (forskningsspørgsmål 2). Vores resultater viser at når man anvender Gouvea og Passmores (2017) komplekse fænomen og undersø-

gelsesspørgsmål som grundlag for undervisningsforløbet, så udfordrer det komplekse fænomen uanset gruppernes faglige standpunkt, og endvidere styrkes elevernes evne til at koble deres forforståelse med ny viden i deres forklaring af fænomenet. Ligeledes ser vi at spørgsmålene understøtter en mere dybdegående forklaring af fænomenet.

Ud fra vores undersøgelsesresultater ser vi dog en udfordring i at størstedelen af grupperne forbliver på et beskrivende niveau og ikke er i stand til at forklare de enkelte delprocesser. Det lykkedes kun tre grupper (alle fra 8. klasse) at komme på det højeste niveau i forklaringen. Derudover ses at standardafvigelsen (tabel 5) stiger fra 0,49 til 1,27 (se også tabel 6). Dette indikerer at den (intellektuelle) forskel på grupperne bliver større og større. Endvidere er der 16 % (N=8) for hvem det ikke lykkes at komme med nogen form for forklaring på tankvognsmysteriet. I vores 8.-klasseeksempel lykkes det gruppen både at være forklarende og hypotetisk idet gruppen kan forbinde det de observerede i videoen, med de uobserverbare processer. Størstedelen af grupperne (58 %) er dog ikke i stand til at forklare ud fra vores definition af forklaring. Dette hænger måske sammen med Gouvea og Passmores (2017) tredje kriterie om hvad der tæller som en forklaring. Kang et al. (2015) påviser i en undersøgelse af 707 skriftlige elevforklaringer af komplekse fænomener at brugen af opsamlingstabeller (se tabel 2) på klassen og "tjeklister" for hvad gruppens sidste model skal indeholde, styrker elevernes forklaringer markant. Vi har i vores forløb ladet grupperne arbejde med den samme model som de har revideret tre gange. En mangel i vores afprøvning er dog at vi ikke har fået udfærdiget sådanne "tjeklister" som grupperne skulle have anvendt når de reviderede deres modeller. Vi anvendte opsamlingstabeller på klassen, men tilbagemeldingerne fra lærerne var at de var svære at bruge med eleverne. Dette kan bero på flere faktorer. Dels at det for lærerne var nyt at arbejde med at overføre viden fra klasseaktiviteter til det komplekse fænomen, dels er lærerne uerfarne i hvordan man faciliterer en klassediskussion hvor eleverne skal anvende data som evidens for deres forklaringer af fænomenet. Så et fremadrettet fokus vil være hvordan vi kan understøtte elevernes forståelse af processer, og hvordan denne viden kan overføres til fænomenet. Nunez-Oviedo og Clement (2019) og Windschitl et al. (2018) fremhæver her at de diskussioner lærer og elever har, er vigtige for at understøtte elevernes ændring af deres forståelse og modelbaserede forklaringer. Dette er en aktiv proces der kræver at læreren dels tilbyder hjælp til elever der er gået i stå, dels får eleverne til at komme dybere i deres forklaringer ved hjælp af opfølgende spørgsmål. Disse to områder, a) hvad tæller som en forklaring, og b) samtaler der i højere grad udfordrer elevernes evne til at koble de uobserverbare processer til komplekse fænomener, kræver mere forskning. Et spørgsmål som er opstået i forbindelse med denne undersøgelse, er om eleverne vil være i stand til at overføre det lærte til andre komplekse fænomener. Et hovedargument for en MBU-tilgang er transferværdien: at tilgangen gør eleverne i stand til at bruge deres viden til at forklare processer i andre sammenhænge/kon-

tekster. Forløbet vi her har designet, er opbygget som et storylineforløb (et begreb som bruges af fx Reiser et al. (2019) for tilsvarende forløb). Eleverne ser videoen af tankvognen der imploderer, og læreren "fører" dem efterfølgende igennem en række nøje overvejede aktiviteter der skal hjælpe eleverne med at forstå og forklare hvad der skete. Men vil eleverne kunne bruge denne viden på andre tilsvarende fænomener? Og vil eleverne være i stand til at bruge en sådan modelbaseret tilgang når de arbejder projektorienteret med egne problemer/fænomener? Disse problemstillinger kræver mere forskning, men de rummer interessante perspektiver for det fremtidige arbejde med modellering, især da eleverne i en kompetencetænkning selv skal være i stand til at bruge modellering som et element i deres selvstændige undersøgelser.

Referencer

- Baek, H. & Schwarz, C.V. (2015). The Influence of Curriculum, Instruction, Technology, and Social Interactions on Two Fifth-Grade Students' Epistemologies in Modeling throughout a Model-Based Curriculum Unit. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2), 216-233.
- Clement et al. (2019). Introduction to the full theory. <https://dev.www.umass.edu/modeling-discussions/introduction-full-theory>.
- Forbes, C.T., Zangori, L. & Schwarz, C.V. (2015). Empirical validation of integrated learning performances for hydrologic phenomena: 3rd-grade students' model driven explanation-construction. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(7), 895-921. <https://doi.org/10.1002/tea.21226>.
- Gilbert, J.K. & Justi, R. (2016) *Modelling-based Teaching in Science Education*, Springer.
- Gouvea, J. & Passmore, C. (2017). "Models Of" versus "Models For": Toward an Agent-Based Conception of Modeling in the Science Classroom. *Science & Education*, 26(1), 49-63.
- Halloun, I. (2007). Mediated modeling in science education. *Science & Education*, 16(7), 653-697.
- Kang, H., Thompson, J. & Windschitl, M. (2014). Creating Opportunities for Students to Show What They Know: The Role of Scaffolding in Assessment Tasks. *Science Education*. DOI 10.1002/sce.21123.
- Krüger, D., Kauertz, A. & Upmeier zu Belzen, A. (2018). Modelle und das Modellieren in den Naturwissenschaften. I: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (red.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 141-157). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kvale, S. & Brinkmann, S. (2015). Interview. Denmark: Hans Reitzels Forlag.
- Nielsen, S. (2015). Fælles Mål og modelleringskompetence i biologiundervisningen – forenkling nødvendig for fortolkning. *MONA – Matematik- Og Naturfagsdidaktik* (4). Hentet fra <https://tidsskrift.dk/mona/article/view/36335>.

- Nielsen, S. (2019). Teaching for Modelling Competence. Ph.d.-afhandling. Københavns Universitet. <https://www.ind.ku.dk/begivenheder/2019/sanne-schnell-nielsen/SchnellNielsen-Thesis.pdf>.
- Núñez-Oviedo, M. & Clement, J. (2019). Large scale scientific modeling practices that can organize science instruction at the unit and lesson levels. *Frontiers in Education*, 4(68). <https://doi.org/10.3389/educ.2019.00068>.
- Passmore, C., Stewart, J. & Cartier, J. (2009). Model-based inquiry and school science: Creating connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394-402.
- Passmore, C. et al. (2017) Developing and using models, Helping Students Make Sense of the World Using Next Generation Science and Engineering Practices, National Science Teachers Association. https://www.nsta.org/store/product_detail.aspx?id=10.2505/9781938946042.
- Reiser et al. (2019) <https://www.nextgenstorylines.org/>.
- Schwarz, C.V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D. & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. doi: 10.1002/tea.20311.
- UVM. (2019). Fysik/kemi Faghæfte. <https://emu.dk/sites/default/files/2019-08/GSK-Fagh%C3%A6fte-Fysik-kemi.pdf>.
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.
- Windschitl, M., Thompson J. & Braaten, M. (2018) *Ambitious Science Teaching*, Harvard Education Press.

English abstract

Modeling is a core practice in science. Students can create or use models to predict and explain phenomena. To explore how process-oriented model activities can contribute to students' understanding, we conducted a mixed-method study by designing a teaching course focusing on students' model-based explanations. The course has been tested in six middle school classes. We constructed a holistic rubric to analyze the groups' explanations associated with each model and then compared scores to examine whether there is a progression in the quality of students' explanations. Results show that there was a significant development in the students' model-based explanations, but that the groups are divided within the progression in their explanations