

Lærerstuderendes undervisning i modeller og modellering i praktikken – handlinger og udfordringer i et PCK-perspektiv



Lars Brian Krogh, VIA University College, Aarhus



Pernille Andersen, VIA University College, Aarhus



Harald Brandt, VIA University College, Aarhus



Peer Daugbjerg, VIA University College, Aarhus



Martin Sillasen, VIA University College, Aarhus

Abstract: I dette casebaserede ($N=29$) studie har lærerstuderende i kontekst af deres praktik gennemført undervisning om modeller og modellering (M&M) i fagene fysik/kemi og biologi. Undervisningen er dokumenteret vha. lektionsplaner, videoklip og refleksioner. Empirien er analyseret mhp. at identificere typiske træk og udfordringer i de lærerstuderendes tidlige praksis. Cases er samtidig analyseret for tegn på M&M-PCK ud fra en nyudviklet analyseramme. Resultaterne peger på at de studerende har solid metamodelviden, og at de fortrinsvis baserer deres undervisning på formater som de kender fra læreruddannelsen. PCK-analysen indkredser dog samtidig en række udfordringer som har konsekvenser for arbejdet med M&M på læreruddannelsen.

Baggrund

Modelleringskompetence er central som målkategori i nationale mål for alle naturfagene i grundskolen. Følgeforskning i forbindelse med prøver afholdt i sommeren 2017 viser at færdiguddannede lærere i folkeskolen har svært ved at adressere aspekter af modelleringskompetencen i forbindelse med prøven (Krogh & Daugbjerg, 2018). Dette afspejler sig også i læreres ønske om kompetenceudvikling, hvor hver fjerde naturfagslærer i grundskolen peger på et behov inden for modelleringskompetence (Secher &

Hindsholm, 2019), hvilket yderligere antyder et behov for at kvalificere arbejdet med modeller i læreruddannelsen. Her udvikles kommende læreres didaktiske kompetencer så de i deres kommende praksis kan udvikle elevers modelleringskompetencer.

I læreruddannelsen i VIA opstod der i 2018 i naturfaggruppen en erkendelse af behovet for at forbedre arbejdet med modelleringskompetence på læreruddannelsen, hvilket i 2018-2019 resulterede i et trestrengt udviklingsprojekt: 1) Intern kompetenceudvikling i undervisergruppen, 2) udvikling af et nyt undervisningsformat om modeller og modellering samt 3) et tilhørende forsknings- og udviklingsprojekt som fokuserede på lærerstuderendes udvikling af undervisningsfaglighed om modeller og modellering.

Vores forståelse af undervisningsfaglighed om modeller og modellering var forankret i den internationale litteratur om PCK (bl.a. Gilbert & Justi, 2016). Da den omfattede både viden om modeller og evne til modellering, betegner vi den M&M-PCK i artiklen her.

I en tidligere artikel (Andersen et al., 2020) har vi formidlet indsigter fra udviklingsprojekterne 1) og 2). Denne artikel rapporterer resultaterne af den tilhørende forskningsindsats om lærerstuderendes M&M-PCK (udviklingsindsats 3 ovenfor), hvor følgende forskningsspørgsmål har været i centrum:

RQ1: Hvordan implementerer lærerstuderende arbejdet med modellering i deres praktik? Hvilke udfordringer er der for deres tidlige M&M-praksis?

RQ2: Hvilke elementer af lærerstuderendes M&M-PCK kommer til udtryk i praktikvideoer og de relaterede planer og refleksioner?

Teoretisk baggrund

Artiklens grundlæggende teoretiske fundament udgøres af en forståelse af modeller og modellering og et begreb om PCK som forenes i et begreb om M&M-PCK. Med inspiration fra den internationale litteratur er M&M-PCK-forståelsen operationaliseret i form af en rubric som fokuserende redskab for vores analyse i relation til RQ2. Disse aspekter vil kort blive omtalt i det følgende sammen med de for forskningsspørgsmålene mest relevante forskningsstudier.

Forståelsen af modeller og modellering

Projektet forstår modeller som repræsentationer af træk ved virkeligheden ("representational view", fx Giere (Giere, 1999). Hvad angår elevers formåen ift. arbejdet med modeller har Schwartz et al. (Schwarz et al., 2009) formuleret en konsensusmodel der indbefatter at eleverne både skal have viden *om* modeller ("metamodelling knowledge" med specificerede delelementer) og kunne indgå i modellering som proces, fx opbygge, validere og revidere modeller ("modelling practices"). I det danske felt har Schwarz et al.s konceptualisering også været brugt af andre (Christiansen et al., 2019).

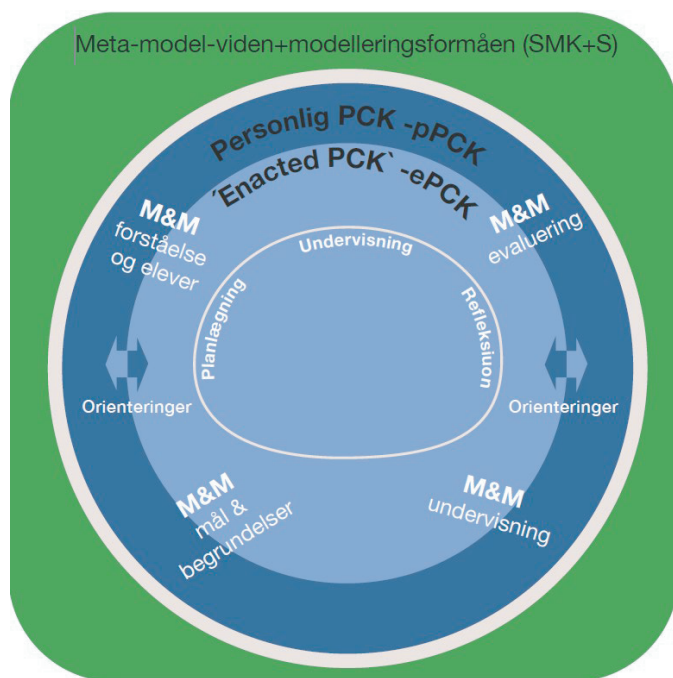
Læreres undervisningsfaglighed (PCK)

I artiklen forstår vi PCK i overensstemmelse med den såkaldte *Refined consensus model* (RCM-PCK) af Carlson & Daehler (Carlson & Daehler, 2019).

Vores primære fokus er her ePCK, der skal forstås som “den specifikke viden og undervisningskompetence som bruges af den enkelte lærer” i en situeret kontekst (ibid., s. 83). ePCK er den delmængde af en større personlig PCK (pPCK) som aktiveres og anvendes i den specifikke undervisningskontekst (“omsat PCK”). Den kommer til udtryk i lærerens undervisningsplanlægning, den realiserede undervisning samt i lærerens refleksioner over den konkrete undervisning til den givne elevgruppe. En mere udfoldet diskussion vil blive givet ifm. figur 1 nedenfor, hvor det også vil blive tydeligt at vi har hentet yderligere analytiske fokuspunkter fra en tidligere PCK-model af Magnusson et al. (Magnusson et al., 1999).

M&M-PCK

Figur 1 viser vores syntesemodel for M&M-PCK med særligt fokus på M&M-ePCK.



Figur 1. M&M-PCK-model udarbejdet som en syntese af Gilbert & Justi (2016) og Carlson & Dahler (2019) samt Magnusson et al. (1999).

I centrum for modellen er M&M-ePCK- “enacted” eller “omsat” PCK af relevans for arbejdet med modeller og modellering. Figuren fremhæver at denne både udtrykkes gennem planlægning, faktisk undervisning og refleksioner omkring undervisning af M&M i en given kontekst. Uden om ePCK-domænet er den større og mere dekontekstuelle fagdidaktiske pPpPCK, som er afsættet for den situerede ePCK. Afgørende for hvilke dele af pPCK som aktiveres i konteksten, er lærerens undervisningsmæssige præferencer eller *orienteringer*. Disse optræder som filtre og forstærkere i situationen. Inspireret af Magnusson et al. (1999) anser vi tillige at M&M-ePCK (lige så vel som M&M-pPCK) kan inddeles i domæner der handler om henholdsvis 1. *M&M-mål og begrundelser*, 2. *M&M-forståelse og elever*, 3. *M&M-undervisning/-strategier* og 4. *M&M-evaluering*. Hvor cirklerne anskueliggør den undervisningsfaglige M&M-PCK, så anskueliggør figurens yderste grønne firkant at underviseren selvfølgelig også skal have en fagfaglig viden om modeller og evne til selv at modellere (Subject matter knowledge, SMK).

Studier relateret til modeller og modellering i læreruddannelsen

En række udenlandske studier har relevans for dette projekt da de enten belyser lærerstuderendes undervisningsfaglige M&M-udbytte af målrettede interventioner eller belyser lærerstuderendes udfordringer ved at omsætte M&M til praksis.

Danusso et al. (2010) undersøgte 400 fysik- og matematiklærerstuderes viden om M&M efter at de havde været udsat for struktureret undervisning om modellering. Efter den forskningsbaserede intervention var cirka 2/3 af de studerende i stand til at beskrive naturvidenskabelige modellers natur, komponenter og funktioner, centrale aspekter af metamodelviden.

Nogle studier viser at lærerstuderende har svært ved at opfatte modeller som andet end statiske, simplificerede og skematiske repræsentationer af virkeligheden. Et eksempel er et hollandsk studie hvor de studerende før en praktik udtrykte en intention om at vægtlægge elevers design og revision af modeller, men endte med ikke at engagere eleverne i en modelleringsproces. Det kan ifølge van Driel & de Jong (2007) skyldes en mulig præference for kendte og “sikre” undervisningsstrategier såsom at præsentere og udlægge kanoniserede modeller.

Andre studier godtgør dog at man kan bearbejde lærerstuderendes præferencer og kompetence mht. modellering som proces i undervisningen. Et studie hvor lærerstuderende fx konstruerede deres egne dynamiske modeller på en computer, viste således at de samtidig fik udvidet deres forståelse af modellering som proces og blev mere artikulerede omkring modeller (Crawford et al., 2004). Tilsvarende har Soulios & Psillos (2016) vist at modelbaserede undersøgelser kan forstærke lærerstuderendes procesorienterede og epistemologiske viden om modeller.

Justi & van Driel (2005) studerede hvorledes en gruppe af lærerstuderende opbyg-

gede model-PCK (i Magnusson-forstand) gennem et kursusforløb hvor de indledningsvis fik input som de bagefter inkorporerede i egen undervisning og reflekterede over. Forfatterne konkluderede bl.a. at de lærerstuderendes praktiske afprøvning var af største vigtighed for PCK-tilvækst, og at deres refleksioner blev fremmet hvis de blev holdt fast på at analysere ud fra forskningsmæssige perspektiver.

Metode

Dette studium er i udgangspunktet et multicase-study sådan som dette er udlagt af Stake (Stake, 2006). Lærerstuderende udgør de enkelte cases mens det samlede fokus er hvorledes lærerstuderende i praktik håndterer M&M-arbejdet og bringer M&M-PCK i spil. Hensigten er at forstå den enkelte for derigennem at forstå problemer og muligheder knyttet til flerheden.

Caseudvalget: Der er alt i alt 29 cases, hver repræsenterende en lærerstuderende eller et par af lærerstuderende i praktik. Cases relaterer sig til fagene fysik/kemi og biologi på 2. og 4. læreruddannelsesårgang, som det fremgår af tabel 1.

	Fysik/kemi	Biologi
2. årgang	5	7
4. årgang	5	12

Tabel 1. Fordelingen af cases i samplet

Samplet er formålsrettet, alle cases er tjenlige til at belyse den centrale problemstilling – og alle har et sammenligneligt afsæt ved at være undervist i henhold til det M&M-format som på undersøgelsestidspunktet var etableret på læreruddannelsen i VIA (Andersen et al., 2020). Konkret giver formatet de studerende adgang til:

- forskningsbaseret viden om modeller, svarende til artiklen *What Teachers of Science Need to Know about Models – an overview* (Oh & Oh, 2011)
- øvelser og diskussioner omkring forskellige tilgange til undervisning med fokus på M&M (se tekstboks 2 i (Andersen et al., 2020))
- diskussioner om modelleringskompetence og træning i at evaluere modelleringskompetence via micro-teaching
- forskningsbaserede overvejelser om progression og forløbsopbygning med fokus på M&M
- planlægning, gennemførelse, refleksion og postaktiviteter i forlængelse af afprøvning af M&M i praktik (denne artikels udgangspunkt).

På tværs af cases er der således væsentlige fælles forudsætninger. Samtidig betyder de forskellige fag og læreruddannelsesårgange at forskningsspørgsmålene belyses med betydelig diversitet.

Empiriindsamlingen: Blandt de hyppigst anførte karakteristika ved casestudy-forskning er at denne prøver at forstå sine cases, og at dette må ske kontekstuel. Fx anfører Stake (2006, s. 2): "Kvalitativ forståelse af cases kræver, at man oplever case-aktiviteten i dens kontekst og specifikke situation". Derudover betoner man typisk at der må indsamles en mangesidig ("rig") empiri hvortil især hører observationer i kontekst. (ibid. s. 4).

Vores empiriindsamling omfatter:

- **Videoklip** fra de studerendes afprøvnings i praktik
- **Lektionsplaner og postrefleksioner** for den undervisning som er på videoerne. I udgangspunktet var der flere videoer, men studiet her forholder sig til de 29 cases hvor der også foreligger lektionsplaner og postrefleksioner
- **Post-survey** med åbne refleksive spørgsmål
- **Diverse underviserobservationer** fra opsamling med de studerende ved tilbagekomst fra praktikken.

Kommentarer og uddybninger til empirien:

- *Videoklippene er den centrale empiri for dette studium:* Først og fremmest fordi de er så rige på information. De giver adgang til observation og muliggør indblik i casekonteksten. Videoklip bruges i stigende grad som omdrejningspunkt for læring og forskning i læreruddannelsen, herunder i studier af PCK (se fx Nilsson & Karlsson, 2019).

Videoklippene er relativt korte og tillige rammesat af at være en særlig praktikopgave. Opgaveformuleringen var her at de studerende skulle planlægge og gennemføre "en undervisningssekvens, hvor I arbejder målrettet med at udvikle et eller flere delasppekter af modelleringskompetence." Afprøvningsen skulle dokumenteres med lektionsplan, et udvalg af videosekvenser (1-2 klip, i alt maks. 5 min.) samt et refleksionspapir med begrundelser, kommentarer til egen læring og punkter til postdrøftelse med andre lærerstuderende.

Alt andet lige betyder denne rammesætning at vi kun har et begrænset vindue ind til de studerendes M&M-praksisser. Da de studerende selv har udvalgt videoklippene, er der en reel risiko for at nogle kan have fravalgt videoklip som stiller dem i et uheldigt lys. Omvendt lægger rammesætningen omkring efterbehandling op til at der ud fra et læringsperspektiv gerne må være noget at diskutere ifm. de udvalgte klip.

- Postrefleksionspapirer er én blandt en række måder at fremme lærerstuderendes refleksion og deres professionelle blik for elever og undervisning (se fx Coffey, 2014). Opgaveformuleringen her indeholdt kun få og overordnede prompts for ikke at styre de studerendes refleksion. Videorefleksionerne blev indsamlet i tilknytning til videoerne på IrisConnect-plattformen.
- Post-surveyen blev indsamlet ved modulafslutningen, dvs. et antal uger efter fremlæggelser og peer-drøftelser af videoerne. Den bestod af nogle få åben-respons-spørgsmål, bl.a. *“Hvad var det vigtigste, som du lærte om modeller og modellering i undervisningen i din seneste praktik?”* og *“Hvad lærte du mest af i forløbet?”*.

Analyseprocesser: Alle cases (videoer og tilhørende materialer) er studeret af flere uafhængige forskere fra projektet for på denne måde at sikre at de analytiske kondenseringer blev dækkende (se nedenfor), og at der var enighed om de identificerede udfordringer i den enkelte case.

Analysen af lærerstuderendes praksis og udfordringer i relation til M&M (RQ1): Her var analysen overvejende induktiv: videoer og øvrigt materiale blev studeret – og casen blev genbeskrevet vha. en overordnet template som sikrede at en række forhold i hvert fald var ret ensartet beskrevet. Den kondenserede beskrivelse skulle bl.a. omtale hvorledes aktiviteten var rammesat, hvad det var for en M&M-aktivitet, hvordan den var tænkt ind i et fagligt forløb, lærerrollen, herunder lærerens input, stilladsering og måden at indgå i M&M-dialog med eleverne. Endelig indeholdt casebeskrivelsen også en vurdering af evt. udfordringer hos casens studerende. Overlappende casebeskrivelser fra flere forskere blev diskuteret og afstemt (*“forsker-triangulering”*). Det endelige case-kondensat blev herefter det analytiske udgangspunkt for at forstå den enkelte case.

Den sammenlignelige casebeskrivelsesstruktur gjorde det relativt overkommeligt at analysere på tværs af cases, fx at identificere typiske eller sjældne træk ved casene sådan som det især er relevant for besvarelsen af RQ1.

Analysen for M&M-ePCK (RQ2): Mange forskere (bl.a. Gess-Newsome, 1999) har anført at PCK-begrebet nemt bliver en flydende betegn. Derfor har det været vigtigt for os at få M&M-ePCK operationaliseret og bragt på en form så det muliggør en mere deduktiv analyse af empirigrundlaget. Dette har resulteret i en analytisk ramme hvor operationaliseringen i forlængelse af vores PCK-forståelse primært søger at eksplicitere M&M-ePCK knyttet til hver af de fire dimensioner:

- M&M-mål og begrundelser (fire indikatorer – som tegn på M&M-ePCK)
- M&M-forståelse og elever (fire indikatorer)
- M&M-undervisning/-strategier (ni indikatorer)
- M&M-evaluering (tre indikatorer)

Vores analytiske ramme operationaliserer tillige vigtige aspekter af *Orienteringer* og af fagfaglig metamodelviden og modelleringsformåen. Disse analyseaspekter er først og fremmest brugt til at belyse RQ1. Det fulde skema udgør en syntese af forskningen i henholdsvis PCK og i M&M i forlængelse af bl.a. Gilbert & Justi (2016) og Kenyon et al. (2011).

Af pladshensyn vises kun dimensionen M&M-undervisningsstrategier, se tabel 2. Det fuldstændige skema kan tilgås via linket (<https://drive.google.com/file/d/1bEvy6IfneADkCfrf-I9M63BRj7lK24vH/view?usp=sharing>). Der er tale om en deduktiv analyse hvor empirien i form af lektionsplaner, videoer, refleksioner m.m. nærstudies for en række konkrete indikatorer.

Undervisningsstrategier til M&M	1. Udvikler selv M&M-indslag – genbruger ikke kun andres aktiviteter m.m.
	2. Bruger hyppigt modeller til faglige forklaringer.
	3. Giver eksempler, analogier, narrativer, cases som afsæt for at fremme elevernes M&M-forståelse.
	4. Italesætter og ekspliciterer hyppigt træk ved modeller (deres natur, formål og anden metamodeleringviden).
	5. Har forskellige strategier for at få modellering (som proces) ind i undervisningen (fx model-based inquiry).
	6. Demonstrerer kendskab til multimediale læringsressourcer som støtte for M&M-undervisningen.
	7. Stilladserer elevernes M&M-læring i den løbende dialog (fx gennem spørgsmål, hints, kompleksitetsreduktion, modellering.)
	8. Integrerer M&M-læringen med anden faglig læring.
	9. Etablerer sammenhæng og progression i arbejdet med M&M.

Tabel 2. Operationaliseringen af dimensionen *Undervisningsstrategier* i analytisk rubric.

Med anvendelse af dette analyseværktøj er den enkelte case blevet analyseret og genbeskrevet for hver PCK-dimension. Som det var tilfældet ved første forskningsspørgsmål, er disse PCK-kondensater blevet brugt som afsæt for cross-caseanalysen. I tvivlstilfælde eller ved uenighed har det i nogle tilfælde været relevant at gå tilbage til den oprindelige empiri for at opnå afklaring.

Resultater

Resultatafsnittet er struktureret i to hovedafsnit, som hver især svarer på de to forskningsspørgsmål.

RQ1: Hvordan implementerer lærerstuderende arbejdet med modellering i deres praktik? Hvilke udfordringer er der for deres tidlige M&M-praksis?

På tværs af cases ser vi de lærerstuderende gå selvtillidsfuldt til M&M-opgaven, og de fleste lykkes med at planlægge og implementere M&M-undervisning af rimelig kvalitet. Ikke overraskende baserer mange sig på aktiviteter som de er fortrolige med fra læreruddannelsen, svarende til første trin i en use-modify-create-progression for tilegnelse af M&M-undervisningsstrategier. Som det vil blive udfoldet nedenfor, ser vi imidlertid ikke alle læreruddannelsens input omsat til tidlig M&M-praksis på videoerne.

I det følgende vil vi med tre udvalgte cases forsøge på samme tid at anskueliggøre hyppige praksistræk og udtalte udfordringer hos samplets lærerstuderende. I mange af praktikvideoerne viser de studerende at de anvender modeller til at forklare og simplificere faglige pointer. Koblingen mellem model og virkelighed er et andet område som en del studerende forsøger at inddrage i modelarbejdet ved at lade eleverne drøfte og pege på styrker og svagheder ved anvendte modeller. Endelig forsøger en række studerende at formidle metamodelviden. De valgte cases belyser bl.a. disse forskellige tilgange.

Case 1: M&M-perspektivet overskygges nemt af fagfaglige forklaringer

Vi er i videoklipet inviteret indenfor i en 7. klasse, der forud for en dissektionsøvelse af hjertet er blevet undervist i det humane blodkredsløb. Den lærerstuderende (LS) understreger i sit refleksionspapir at hun har betonet i undervisningen at svinehjertet der skal dissekeres, skal betragtes som en model for menneskehjertet.

Sammen med to faglige mål associeret til biologifaglig viden angiver undervisningsplanen M&M-mål med et indhold der handler om at elever skal kunne anvende og have viden om modeller, og at de skal have viden om hvordan man vurderer modeller i naturfag.

I videoklipet ser vi at eleverne får udleveret et svinehjerter og en illustrationsmodel af hjertet. LS indleder en dialog med en gruppe af elever da hun opdager at eleverne har svært ved at finde rundt i de forskellige begreber knyttet til hjertet. Hun forsøger at få eleverne til at koble de to modeller med hinanden og dermed lave koblingen mellem model og virkelighed: *“Prøv at se på hjertet ... er væggen tykkere her (peger på venstre side af hjertet i illustrationsmodellen) end her (peger på højre side i modellen)?”*. Eleven forsøger at orientere sig i hjertets opbygning og finde venstre og højre side på svinehjertet og svarer: *“Det er lidt svært det her – synes de er lige tykke.”* Vender og

drejer hjertet igen og peger så på venstre side: *“Okay – den er lidt tykkere her”*. LS: *“Ja – hvorfor er hjertet tykkere her?”* Eleven mumler lidt og svarer: *“Der skal hjertet åbne sig lidt.”* LS er ikke helt tilfreds med svaret og forsøger at ændre spørgsmålet: *“Hjertet er faktisk en muskel. Hvorfor er musklen større i venstre side sammenlignet med højre?”*

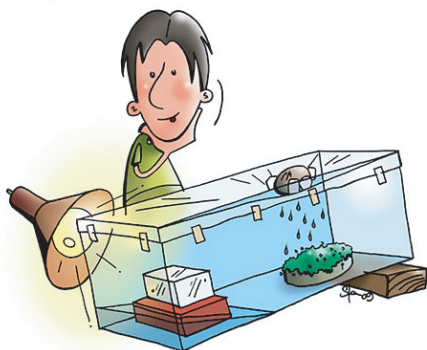
Den nye formulering af spørgsmålet aktiverer tydeligvis noget hukommelse hos eleven, der prompte svarer: *“Det er fordi blodet skal pumpes rundt i hele kroppen fra venstre side.”* LS fortsætter dialogen og inddrager i de efterfølgende spørgsmål illustrationsmodellen når hun spørger ind til svinehertets opbygning. Hun forsøger at vise de biologifaglige begreber på illustrationsmodellen på det konkrete hjerte og dermed bygge bro mellem model og virkelighed. Ingen af hendes spørgsmål er dog knyttet til de beskrevne modelleringsmål.

Casen illustrerer et eksempel på en studerende der på den ene side har gode intentioner om at bruge og introducere forskellige modeller i undervisningen til at forklare komplicerede sammenhænge. Men i forhold til intentionen med undervisningen, hvor målene var tydelige omkring at modelleringskompetencen skulle i spil i øvelsen, viser casen og i særdeleshed den studerendes postrefleksion at det fagfaglige omkring blodets kredsløb overtager på bekostning af M&M-læringsmålene.

Case 2: Den vanskelige stilladserende samtale om modeller

Vi er i en 9. klasse på en efterskole for elever med dysleksi, hvor undervisningen handler om det tværfaglige tema om *“drikkevandsforsyning for fremtidige generationer”*. Videoen er en sammenklipning af flere forskellige situationer hvor der anvendes forskellige typer af modeller og modellering i undervisningen. Det overordnede mål for undervisningen er beskrevet som at eleverne kan modellere vandkredsløbet og få en større forståelse for hvor vandet kommer fra.

Der anvendes forskellige typer af modeller i videomaterialet: Eleverne bruger et atlas til at undersøge klima- og befolkningsdata, de ser en video om vandets kredsløb, hvori der indgår en animation, og til sidst skal eleverne konstruere en model over vandets kredsløb [i Capetown]. Eleverne får udleveret en række konkrete materialer, og LS forklarer opgaven og linker denne til andre aktiviteter i undervisningsforløbet. LS pointerer bl.a. at eleverne skal bruge fagbegreber til forklaring af modellen, de fagbegreber som er blevet vist og forklaret i animationsvideoen.



Figur 2. Standard modelforsøg om vandets kredsløb (efter Ole Steen Pedersen. Gengivet med tilladelse af Økolariet).

Det fremgår af refleksionspapiret at målet med modelleringsopgaven om vandets kredsløb er at have fokus på forskellen mellem model og virkelighed, men også at kunne videreudvikle modellen så den bliver mere detaljerig. I refleksionspapiret skriver LS således at eleverne skal undersøge hvad der ville ske hvis vi skruede op for varmen i vandets kredsløb (klimaforandringer) ud fra den konstruerede model.

LS beskriver hvordan eleverne er konkrettænkende og har svært ved at overføre konkrete materialer til faglige begreber. Fx mener flere elevgrupper at folien der lægges over akvariet (se figur 2), er et symbol på drivhuseffekten, mens den egentlig var tænkt til blot at skulle illustrere atmosfæren og dannelse af kondensvand. Det vanskelige ved at koble model og virkelighed kommer til udtryk da LS beder en elev forklare sin model: "Vandet fordamper, så kommer det op og rammer vita wrappen og bliver kølet ned, så løber det ned til stenen, hvor det skal forestille at blive tungt..." LS: "Kan du huske hvad det hed i filmen?" Elev: "Ikke helt – nej." LS: "Der skete en fortætning." Elev: "Der skete en fortætning, og så bliver det for tungt til at være deroppe, og så ryger det ned som regn, og så rammer det skålen." Den studerende får aldrig fastholdt en samtale om hvorledes model og virkelighed svarer til hinanden – og ender med at afbryde elevens redegørelse for kredsløbsprocessen med sit spørgsmål om en sproglig betegnelse.

Opsamlende er indtrykket af casen at den studerende er godt på vej til reflekteret at inkorporere modeller og modellering i sin undervisning. LS har imidlertid ikke helt gennemskuet hvor vanskeligt det kan være for konkret tænkende elever at rumme det fysiske fænomen, den konkrete fysiske model og en fagsproglig modelrepræsentation af vandkredsløbet i hovedet på samme tid. Stillet over for denne udfordring savner LS et fokus for sin stilladserende indsats samt et lydhørt optag af elevbidrag og gode opfølgende spørgsmål.

Case 3. Metamodelviden med indbygget lærercentrering

Konteksten er her en 8. klasse i faget fysik/kemi. Timen er en optakt til et forløb om energiteknologi. Ud over et par fagfaglige mål har den lærerstuderende angivet modelleringsrettede mål, nemlig 1) at eleverne skal lære hvad modeller er, og hvad de kan bruges til, 2) Eleven kan vurdere modellers anvendelighed og begrænsninger.

Efter en kort generel optakt til energiforløbet går LS lige på i plenum: *“Hvad er en naturvidenskabelig model i det hele taget?”* *“I får lige to minutter til at snakke med jeres sidemand eller bordgrupper om hvad en naturvidenskabelig model er ... og hvilke kender I?”* Efter et par minutters livlig snak i grupper starter LS en fælles opsamling med metafokus: *“Kan vi få nogle bud ... hvad gør en sådan model godt for? Kan I give eksempler?”* Trods tre-i-én-spørgsmålet byder eleverne ind med gode eksempler: Vandets kredsløb, fotosyntese, respiration. I et enkelt tilfælde spørger LS opfølgende, men noget diffust: *“Tænker du, hvad tænker du på der ... eller ... hvordan ser sådan en model ud, fx ... eller ... hvor har du set den henne?”* Eleven påbegynder svar som LS hurtigt overtager så han får sin pointe frem om hvad der gør elevens bud til en model. En elev bringer på bane at modeller *“gør det nemmere at forstå”* – hvilket LS straks sætter på tavlen og italesætter som en grund til at have modeller. Her får det følgeskab af et andet elevudsagn om at en model *“giver et billede af noget”*. LS tvister et elevsvar, så *“forklare noget”* også kommer på tavlen. Det bliver aldrig helt klart at stikordene alle handler om modellers funktion. LS viser dernæst et billede af en model af Jordens *“strålingsbalance”*. LS diskuterer specifikke træk: Hvorfor en pil her? Hvorfor er den lille der? Hvorfor gul hhv. rød? Her er spørgsmålene mestendels retoriske. Hurtigt og uden markering ryger fokus fra metamodelbetragtninger til en lærerforklaring af modellens faglige indhold.

LS introducerer dernæst en elevaktivitet med fokus på metamodelviden: *“Nu skal I gå på Google og finde en model af strålingsbalance eller drivhuseffekten – og prøve at lave en vurdering af den”*. Til støtte for elevernes arbejde er der et selvudviklet ark med stilladserende spørgsmål om modellens formål, hvilke fagbegreber den viser, og om disse vises mere eller mindre korrekt. Yderligere spørges der til modeltype og brug af virkemidler.

I næste videoklip fremlægger elevgrupper deres modelanalyse: *“Modellen er korrekt, men vi synes ikke, at den er så præcis”*. LS spørger M&M-relevant ind til hvorfor de mener det – men besvarer jævnt hen spørgsmålene selv. En gruppe har selv lavet en model, og LS italesætter at det er et mål at de lærer at lave egne modeller. Den aktuelle model viser faktisk en atmosfære der er for tyk ift. Jorden. LS pointerer, at *“modellen simplificerer virkeligheden – men er ikke virkeligheden!”*.

Denne sidste case viser en lærerstuderende der har en solid base af fagfaglig viden om modeller. Han demonstrerer gode planlægningsovervejelser og formår også at få eleverne til at arbejde fint med metamodelviden. LS vil imidlertid etablere for mange

pointer på for kort tid – og har ikke erfaring med hvordan elever guides til at *opdage* nogle af disse. Derfor ender det med at LS siger alle de rigtige ting, mens det forbliver uvist om eleverne faktisk tilegner sig den metamodelviden der var målet.

RQ2: Hvilke elementer af lærerstuderendes M&M-PCK kommer til udtryk i videoer og de relaterede planer/refleksioner?

I dette afsnit fremlægges analysen af de lærerstuderendes tidlige praksis mhp. at afdække i hvilken udstrækning læreruddannelsen har hjulpet dem med at opbygge M&M-ePCK. Udgangspunktet er vores analytiske ramme for M&M-ePCK, og resultaterne vil blive omtalt med samme dimensioner og struktur som denne (jf. link ovenfor).

M&M-mål og begrundelser: I samplet er der ingen lærerstuderende som anfægter at M&M er et prioriteret mål for den naturfaglige undervisning. Der er enkelte eksempler på LS som eksplicit samtaler med sine elever om at M&M-læring er en vigtig del af faget/naturfagene. Hvor dette sker, er det snarere som en kendsgerning end ud fra en argumentation om at naturvidenskab af natur handler om modeller og modellering.

Det er i vores empiri tydeligt at flertallet (to af tre) af de lærerstuderende begrundet deres undervisning eksplicit ved at referere til mål relateret til M&M i Fælles Mål. De studerende refererer ofte til relevante vejledende M&M-målpar fra Fælles Mål uden direkte at forholde sig til de mere forpligtende formuleringer af delkompetencen "Modellering i naturfag". Kun et mindretal af de studerende formulerer til gengæld nedbrudte og mere specifikke M&M-læringsmål. Hvor det sker, er de typisk hentet direkte fra prøvevejledningen uden at der eksplicit henvises til denne. Eksempler er her læringsmål som "Eleverne kan reducere kompleksitet og skabe overblik ved hjælp af modeller", "Eleverne kan benytte relevante symboler og repræsentationer". Det hører til sjældenhederne i vores cases at eleverne får kendskab til de konkrete læringsmål, hvilket gør at arbejdet bliver knap så målrettet som det kunne have været.

I vores materiale findes der også praktikvideoer fra fællesfaglige forløb, og der er eksempler på at M&M-arbejde ses tværfagligt. For eksempel er der en LS som både eksplicit italesætter M&M som en central kompetence der binder de tre naturfag sammen, og samtidig italesætter M&M som vigtig også fx i danskfaget.

M&M og elevers forståelse: Som det er fremgået ovenfor, ser vi flere eksempler på LS som tilsyneladende i situationen har svært ved at forstå de udfordringer eleverne har ved fx at koble model til virkelighed. Det fremgår fx af elev-/lærerdialogen i enkelte af klippene at de taler forbi hinanden. LS svarer på noget andet end det eleverne spørger ind til. I et tilfælde fremgår det dog af det tilhørende refleksionspapir at LS er i stand til selv at få øje på problemet og selv foreslå en anden strategi i forhold til at agere som lærer i forhold til denne type M&M-udfordring.

Der er også flere eksempler på LS's manglende stilladsering af elevers M&M-arbejde. Vi kan i videomaterialet fx se LS bruge modelleringsaktiviteter de selv har mødt i læreruddannelsesregi, men *uden* den stilladsering de selv har mødt. Det vidner om en ukritisk genbrug af M&M-aktiviteter uden blik for sværhedsgraden i forhold til målgruppen.

Flere LS kommenterer i refleksionspapiret at eleverne sådan set ikke havde svært ved at italesætte hvad en model er, men at udfordringen lå i at koble fagbegreber til model.

Der er også en række eksempler på undervisning hvor LS tydeligt har fokus på at ekspliciterer hvad modeller kan og ikke kan, og hvad der kan misforstås ud fra den valgte model.

Enkelte LS reflekterer også over betydningen af elevernes faglige og begrebsmæssige forudsætninger, dog uden direkte at reflektere over på hvilket niveau eleven skal kende et begreb før eleven vil kunne lave en faglig repræsentation af det. Fornemmelsen er her at især de andetårsstuderende i udgangspunktet har manglet viden om elevers vanskelighed ved M&M forud for praktikken, og at de derfor har svært ved at inkorporere en sådan tænkning i deres planer. I M&M-undervisningen på læreruddannelsen har de til gengæld mødt en tænkning om progression (Schwarz et al., 2009). Vi ser imidlertid ikke eksempler på at denne viden bringes i spil i de studerendes praksis.

M&M og undervisning/strategier for undervisning: Modelleringsundervisningen bedrives i langt de fleste tilfælde som en fagligt integreret aktivitet med M&M-arbejde inden for de faglige tematiseringer som man lige var i gang med. Som vi har set ovenfor, betyder dette dobbelte læringsperspektiv samtidig at fagfaglige aspekter risikerer at overskygge M&M-læringen.

Omkring 80 % af praktikvideoerne indeholder modelleringsaktiviteter som LS har hentet inspiration til gennem undervisningen på læreruddannelsen. Flere har konstrueret en modelopgave hvor eleverne bliver præsenteret for to eller flere modeller af samme fænomen, og elevernes opgave er efterfølgende at finde styrker og svagheder ved modellerne. Denne type af modelopgaver ses i mange variationer, hvor fx interaktive modeller sammenlignes med konkrete modeller og illustrationsmodeller. Det er ofte i forbindelse med en faglig gennemgang af processer og fænomener at modellerne tages i anvendelse i undervisningen, og modellerne bruges i høj grad som undervisningsredskab til at supplere en forståelse af en faglig pointe. I ca. 1/3 af vores cases arbejder eleverne med at konstruere modeller, men da udelukkende af konkret eller illustrativ art. Vi ser ingen tilfælde hvor eleverne gennemløber en modellerende proces, hvor undersøgelse og modellering går hånd i hånd. Det er lidt overraskende at denne tilgang til M&M-undervisning er fraværende, al den stund at model-based inquiry har været et tema i undervisningen på læreruddannelsen. Dette kunne in-

dikere at undersøgelse og modellering hver for sig er udfordrende dagsordener for kommende undervisere – og samtænkningen forøger bare kompleksiteten.

I en del af videoerne interagerer LS med eleverne når elevgrupperne arbejder med modelopgaverne og fx undersøger styrker og svagheder ved modellerne. I disse tilfælde hjælper lærerspørgsmålene med at give en retning på vurdering af modellerne. Når eleverne i efterfølgende klassesamtaler skal udtrykke styrker og svagheder ved modellerne, afspejler videoklippene at eleverne giver gode eksempler på forskelle modellerne imellem, og at de i mange tilfælde også har fået øje på væsentlige aspekter ved modellerne. Det er dog sjældent at eleverne forklarer og udtrykker sig med et decideret mofdelfagsprog, hvilket kan skyldes den manglende stilladsering af netop denne del fra LS.

M&M-evaluering: Vi har kun enkelte cases hvor modelleringskompetence målrettet evalueres. I en enkelt video ser vi LS agere eksaminator i en fællesfaglig prøveeksamen, hvor eleverne har medbragt egne modeller, og praktiklæreren optræder som censor. LS stiller en række spørgsmål som imidlertid udelukkende er af faglig karakter. Følgelig tjener de hverken til at afdække elevernes modelleringskompetence eller metamodelviden.

Tilsvarende går den formative feedback i videomaterialet hyppigere på fagligt indhold end på M&M-aspekter. I videomaterialet finder vi dog eksempler på at LS giver feedback på arbejdet med modeller i en klasserumsdialog. Feedbacken er da anerkendende, men ikke for alvor formativ, idet der mangler den information som fremadrettet kunne forbedre elevernes M&M-arbejde eller deres modelleringsrelevante fagsprog. Situeret feedback er generelt vanskeligt, og udfordringen synes at blive større når genstandsfeltet er så komplekst som M&M.

Evaluering nævnes i flere refleksionspapirer, undertiden med angivelse af tegn på M&M-læring ifm. lektionen såsom: "Kan eleven argumentere med fagord og lave en vurdering?" Selvom der således er eksempler på eksplicite vurderingskriterier, vurderes graden af målopfyldelse udelukkende uformelt, fx ved at tage bestik af elevernes fremlæggelse af deres modelvurderinger. Ingen studerende har brugt værktøjer eller på anden måde systematisk søgt at evaluere om de intenderede læringsmål er nået. Fraværet af systematisk evaluering relateret til modelleringskompetence er en væsentlig barriere for den videre udvikling af M&M-praksis.

Der er ikke eksempler på at eleverne inddrages i peer-to-peer-evaluering. I enkelte tilfælde ser vi dog forsøg på at eleverne indvies i kvalitetskriterier for M&M-arbejde, hvilket er et første skridt i etableringen af både peer-to-peer-evaluering og selvevaluering.

Diskussion og implikationer

De studerende synes at anerkende arbejdet med modeller og modellering som en naturlig del af en tidssvarende naturfagsundervisning. I materialet ser vi ingen holdningsmæssige barrierer for arbejdet med modelleringskompetence i undervisningen. Disse aspekter af *orienteringer* er således positive hos de lærerstuderende. Samtidig ser vi dog at mange iscenesætter M&M-undervisning som brug af en model til forklaringer, samt en tendens til at intenderet M&M-indhold overskygges af det faglige indhold når først der undervises. Der tegner sig dermed et billede af at de lærerstuderende enten ikke aldeles har frigjort sig fra et traditionelt videnscentreret fagsyn og/eller simpelthen tyer til velkendte og "sikre" formater, som beskrevet af Jong & van Driel (2007).

I forlængelse heraf er det påfaldende at en stor del (ca. fire ud af fem) af de lærerstuderende tager udgangspunkt i M&M-formater som de har mødt på læreruddannelsen. De fleste lærerstuderende har tilegnet sig et vist repertoire af M&M-indslag, som de i deres udviklingsproces er nået til at (gen)bruge og i bedste fald tilpasse ift. den givne elevgruppe. De færreste er nået til selv at udtænke M&M-indslag – et aspekt som kunne styrkes i læreruddannelsen.

Det omtalte fokus på fagfaglig brug af modeller og på udvalgte aspekter af meta-model-viden (fx styrker og svagheder ved en model) sker på bekostning af modellering som proces. Kun 4 af 29 studerende/grupper af studerende lader således deres elever konstruere eller revidere modeller og kun én via en egentlig proces. Retfærdigvis må man her fastslå at undervisning mht. modellering som proces er så sammensat og kompleks at det forudsætter en temmelig udbygget M&M-PCK. Det ville være ønskeligt at styrke arbejdet med modellering som proces på læreruddannelsen, herunder at få det ind i en progression for lærerstuderendes tilegnelse af M&M-undervisningskompetence. Da der aktuelt ikke foreligger et empirisk belagt bud på en sådan progression, ligger her en relevant udviklingsopgave.

Hvad angår metamodelviden, indikerer vores studium at de lærerstuderende grundlæggende har tilegnet sig et fundament af viden om modeller. Vi ser således ingen situationer hvor lærerstuderende udlægger modellens natur, forholdet mellem model og virkelighed samt modellens formålsrettethed på misvisende manér. Men kun i 6/29 cases bliver disse aspekter eksplicit italesat ift. eleverne. Tilmed ser vi i flere tilfælde at lærerstuderende har svært ved at formulere sig om disse ting på måder som mere konkret tænkende elever kan forstå. Metamodelviden er et aspekt af Nature of Science (NOS), og fra den omfattende NOS-forskning ved man at det er ultimativt vigtigt at NOS-læring forudsætter at pointerne italesættes og reflekteres af eleverne (Akerson et al., 2000). Eksplicit-refleksive tilgange til M&M-undervisning bør rimeligvis betones i undervisningen af de lærerstuderende.

M&M-ePCK-analysen indikerer generelt at komponenterne planlægning og især

post-refleksion af M&M-undervisning står stærkere end praktisk undervisning. Det er velkendt fra forskningen i både læreruddannelse og efteruddannelse at det er vanskeligt at gå fra teoretisk “knowing-about” til handlerettet “knowing-to” (fx Sun & Strobel, 2014), træk som vi altså også genfinder her.

Inden for de forskellige PCK-dimensioner finder vi at de studerende har kendskab til og forholder sig til modellering i Fælles Mål, mens de i mindre grad selv formulerer specifikke M&M-mål for deres interventioner. De studerende har rimelige refleksioner over relevansen af M&M ift. læreplanerne, men typisk er begrundelserne mere pædagogiske end epistemologiske således at modelarbejdet i højere grad anskues som et hjælpemiddel til faglig læring end som et centralt aspekt af naturvidenskabens videnskabsbende natur. I de (få) enkelttilfælde hvor vi ser lærerstuderende begrunde M&M-arbejdet ift. elever, sker det med henvisning til de formelle rammer for faget, først og fremmest at det er prøverrelevant. Det forekommer relevant her at styrke deres indsigt i modellering som en altafgørende komponent i naturvidenskabens praksis. Dette ville samtidig styrke arbejdet med modellering som proces.

De lærerstuderende har i udgangspunktet kun begrænset viden om elevers modeltænkning og få praktiske erfaringer for hvor M&M-arbejdet bliver vanskeligt for elever. Det gør det rimeligvis svært for de lærerstuderende at planlægge deres interventioner med hensyntagen til elevudfordringer, fx via differentierende indslag og stilladsering. I hvert fald ser vi meget lidt af den slags i de studerendes lektionsplaner, praktikvideoer og refleksioner. Af flere postrefleksioner fremgår det til gengæld at praksisafprøvningen faktisk bidrager til at udvikle den dimension af M&M-ePCK som handler om elever og M&M. En lærerstuderende anfører som sin vigtigste læring af afprøvningen at have indset “hvor ringe forudsætninger elever har for modellering,” en anden hæfter sig ved at eleverne “ikke i så høj grad er kritiske ift. modeller,” mens en tredje har indset at “modellering er ekstra svært for børn med autisme – men at det kan lade sig gøre hvis tempoet, målene og strukturen er tilpasset efter dem”. Her åbner ePCK-tilvækst således for overvejelser om differentiering og stilladsering.

Af M&M-ePCK-analysen fremstår stilladsering som en særligt udfordrende undervisningsstrategi. I forskningslitteraturen er forhåndsplanlagt (såkaldt “hård stilladsering”) oftest nemmere at realisere end in-situ-stilladsering (“blød stilladsering”). Først og fremmest fordi underviseren har tid til at tænke sig om. I de analyserede lektionsplaner er der imidlertid meget lidt hård stilladsering. Videoanalysen godtgør samtidig at der også i en række tilfælde er problemer med at gennemføre blød stilladsering, først og fremmest at stille M&M-spørgsmål og give eksempler som ikke lukker for elevernes aktive medtænkning. Her er problemet at man på læreruddannelsen godt vil kunne oparbejde M&M-ePCK mht. hård stilladsering, mens træning af M&M-ePCK reelt kun lader sig gennemføre i en autentisk skolekontekst.

I det omfang evalueringsdimensionen af M&M-ePCK bearbejdes via afprøvningen,

er det primært knyttet til formativ evaluering. Det er påfaldende at mens de lærer-studerende generelt er i stand til at udpege læringsmål i relation til modellering, så bliver disse sjældent fulgt til dørs i en struktureret evaluering. I nogle få tilfælde indgår tegn på læring i de studerendes postrefleksioner, men ellers bundet evalueringen mestendels i løse indtryk af elevskabte modeller eller af elevernes modelbaserede fremlæggelser. Hvilket helt modsvarer til rutinerede læreres mangel på evaluering af nye interventioner i efteruddannelsessammenhænge, som fx projektet *Engineering i skolen*. I det M&M-format som ligger til grund for indsatsen på læreruddannelsen, er der faktisk bud på forskellige evalueringsformater for metamodelviden, men ingen af disse har fundet vej til de studerendes praksis. Igen et eksempel på at “knowing-about” ikke nødvendigvis er tilstrækkeligt.

Vores studie peger alt i alt på at M&M-PCK-dimensionerne knyttet til mål og til undervisningsstrategier i udgangspunktet er bedst tilgodeset gennem den aktuelle undervisning. Det peger samtidig på at praktikafprøvningen i særdeleshed gavner udviklingen af M&M-ePCK knyttet til viden om elever og deres forståelse af M&M. Hvor praktikafprøvningen i sig selv træner planlægningsiden af M&M-ePCK, anfører flere studerende at videogranskningen efterfølgende har været særlig brugbar ift. udviklingen af den refleksive side af M&M-ePCK. På alle M&M-ePCK-dimensioner er der plads til forbedring – men samtidig må man holde sig for øje hvad man realistisk kan nå inden for naturfagenes timerammer på læreruddannelsen. Måske ville det være mere givtigt at udvikle og indarbejde et udvidende M&M-ePCK-forløb i transitionen til professionen.

Afslutningsvis vil vi tage forbehold for at vores resultater relaterer sig til et begrænset sample og en rammesat videoopgave. I rapporteringen her har vi først og fremmest vægtet gennemgående træk på tværs af årgange og fag, hvorfor resultaterne må anses at være rimelig robuste. Hvad angår opgavens rammesætning, betyder denne givetvis at vi ikke har fået *fuldt* indblik i de lærerstuderes M&M-ePCK. Her vil det være relevant med yderligere og mere dybtgående studier, fx gerne videooptagelser i kombination med CoRe-skrivning (Nilsson & Karlsson, 2019) om konkrete M&M-aspekter. Et sådant opfølgende studie vil naturligt kunne bruge den operationalisering af M&M-ePCK som vi her har udviklet. Denne vil også kunne bruges på læreruddannelsen ifm. diskussioner om M&M, herunder i video-club-drøftelser. Operationaliseringen er således efter vores opfattelse et selvstændigt og meget relevant bidrag til det fagdidaktiske felt.

Referencer

- Akerson, V. L., Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Influence of a Reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 295-317.
- Andersen, P.; Brandt, H.; Krogh, L.; Sillasen, M.; & Daugbjerg, P. (2020). Udvikling af modelleringskompetence i læreruddannelsen. *MONA (Matematik Og Naturfagsdidaktik)*, 19(2), 65-83.
- Carlson, J.; et al. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, A.; Cooper, R.; Borowski (Ed.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science (77-94)*. Springer International Publishing.
- Christiansen, J.; Andersson, J.; Hansen, D.; Jensen, M.; Kinnerup, L.; Lilius, K. (2019). Brug af modeller og modellering i udskolingens naturfagsundervisning. *MONA – Matematik- Og Naturfagsdidaktik*, 4, 8-27.
- Coffey, A. M. (2014). Using Video to Develop Skills in Reflection in Teacher Education Students. *Australian Journal of Teacher Education*, 39(9), 86-97.
- Danusso, L., Testa, I., Vicentini, M., Danusso, L., Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving Prospective Teachers' Knowledge about Scientific Models and Modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical Content Knowledge: An introduction and orientation. In J. Gess-Newsome & N. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education*. (Issue 1, 3-17). Kluwer Academic Publishers.
- Giere, R. N. (1999). Using models to represent reality. In P. Magnani, L.; Nersessian, N.J.; Thagard (Ed.), *Model-based Reasoning in Scientific Discovery (41-57)*. Kluwer/Plenum.
- Gilbert, J.K.; Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education*. Springer International Publishing.
- Justi, R., & Driel, J. Van. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573.
- Kenyon, L., Davis, E. A., & Hug, B. (2011). Design Approaches to Support Preservice Teachers in Scientific Modeling. *Journal of Science Teacher Education*, 22(1), 1-21.
- Krogh, L.B.; Daugbjerg, P. (2018). Fællesfagligheden til prøve. *MONA (Matematik Og Naturfagsdidaktik)*, 4, 28-54.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In J. Gess-Newsome & N. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education* (Issue 4, 95-132). Kluwer Academic Publishers.
- Nilsson, P., & Karlsson, G. (2019). Capturing student teachers' pedagogical content knowledge (PCK) using CoRes and digital technology. *International Journal of Science Education*, 41(4), 419-447.

- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & 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.
- Secher, A.;Hindsholm, M. (2019). Kompetencebehov blandt naturfagslærere i grundskolen. *MONA – Matematik- Og Naturfagsdidaktik*, 4, 28-48.
- Soulios, I., & Psillos, D. (2016). *Enhancing student teachers' epistemological beliefs about models and conceptual understanding through a model-based inquiry process*.
- Stake, R. (2006). *Multiple Case Study Analysis*. Guilford Publications.
- Sun, Y., & Strobel, J. (2014). From Knowing-About to Knowing-To: Development of Engineering Pedagogical Content Knowledge by Elementary Teachers through Perceived Learning and Implementing Difficulties. *American Journal of Engineering Education*, 5(1), 41-60.
- Van Driel, J.;De Jong, O. (2007). Growth of prospective chemistry teachers' pedagogical content knowledge of models and modelling. In *Research in chemistry teaching: New horizons: contextualizing and modelling*. Universitat Autònoma de Barcelona.

English abstract

This case-based (N=29) study follows teacher students as they practice-teach about models and modelling (M&M) in secondary science subjects. Their performance is documented by lesson plans, video-clips, and post-reflections. These empirical components are analyzed in order to identify characteristics and challenges of students' early M&M-practices. Cases are also analyzed from a PCK-perspective, using a new operationalization of enacted M&M-PCK. Results indicate that students act on a solid base of knowledge of metamodeling, but largely confine themselves to re-using M&M-activities from teacher education. PCK-analysis pinpoints further challenges that suggest changes in M&M-teaching in teacher education.