Jens Jakob Ellebæk har arbejdet en årerække som lektor indenfor naturfagene på Institut for Læreruddannelse på University College Syddanmark. Han er desuden censorformand for natur/teknologi ved læreruddannelserne i Danmark og lektorbedømmelsesformand på professionshøjskoleniveau. For tiden arbejder han blandt andet med et PhD projekt tilkøbt Syddansk Universitet omkring natur/teknologi læreres udvikling af Pedagogical Content Knowledge (PCK) efter endt læreruddannelse (primary science teachers, grade 1-6).

JENS JAKOB ELLEBÆK

Institute of Teacher Education, University College South Denmark, Denmark
jjel@ucsyd.dk

PCK som "Materialefaglighed" – videns og handlingsstrukturer i naturfagslokalet

Abstract

Based on empirical data from three teachers' practice in the field of primary science (science and technology), the article discusses the relationship between materiality and the development of Pedagogical Content Knowledge (PCK). Methodologically, narrative inquiry is used as an approach in the analysis of the multiple data from in-depth interview, classroom observation and stimulated reflection. The results show several types of connections and pathways for perceived PCK development. Both socio-material resources and collegial collaboration around experiential material practice are highlighted. The analyzes show that PCK in science and technology is not only perceived as cognitively tied to the individual, but also linked to central materials and elements of the teachers' practice. At the same time, teachers perceive the development of PCK as being linked to the availability of particular socio-material structures, and to meaningful collaboration with colleagues who can convey, exemplify and make available the knowledge distributed in the materials. As a result of the analyzes, the concept of "Materialefaglighed" (Material-PCK) is constructed and stated as an analytical concept that contains the science teacher's distributed and socio-materially linked knowledge, ability and doing.

INDLEDNING

At natur/teknologi læreren som for eksempel skal undervise 4. klasse i årstider, skal have en vis basisviden i de naturvidenskabelige elementer og grundforklaringer af årstider er bl.a. velbelyst indenfor forskningsfeltet omkring Pedagogical Content Knowledge (PCK) (Gess-Newsome, 1999; M. Hashweh, 2013; Loughran, Berry, & Mulhall, 2012). Forskningen i PCK har gennem de seneste godt 30 år forsøgt at karakterisere, konceptualisere og indfange hvad en lærers faglighed består af (Abell, 2007, 2008; Chan & Hume, 2019; Gess-Newsome, 1999, 2015; Shulman, 1986a, 1986b, 1987). En lærers PCK ser ud til at være relativt fag- og emnespecifik (Hashweh, 2005; Loughran et al., 2012), men hvorvidt den også kan betragtes som værende koblet til de artefakter og de socio-materielle elementer, som den gode lærer erfaringsmæssigt benytter i undervisningen for at øge sandsynligheden for at skabe forståelse for emnet, er ikke særligt belyst indenfor denne forskning. Kun få studier har

haft eksplicit fokus på sammenhængen mellem det socio-materielle og lærerprofessionalitet indenfor naturfagene (Forbes, Madeira, Davis, & Slotta, 2009; Guerriero & Révai, 2017; Hetherington & Wegerif, 2018; Otrell-Cass & Cowie, 2019; Wei, Chen, & Chen, 2019), og sammenhængen mellem det socio-materielle og PCK er endnu mindre belyst (Forbes et al., 2009; Wei et al., 2019) ligesom den seneste konceptualisering af PCK baseret på et fælles arbejde mellem centrale forskere på feltet heller ikke særligt tydeligt har inddraget det sociomaterielles eventuelle betydning herfor (Carlson & Daehler, 2019; Gess-Newsome, 2015). Flere forhold og en aktuel udgivelse fra Milne og Scantlebury med den rammende titel: "Material Practice and Materiality: Too Long Ignored in Science Education" (2018), tyder således på, at der er behov for dybere indsigt i de evt. sammenhænge mellem det sociomaterielle og lærerfaglighed i naturfagene, og at øget forståelse på området kan bibringe med nye perspektiver særligt i forhold til forskningsfeltet omkring PCK.

Formålet med denne artikel er derfor at bidrage med øget viden om, hvorvidt natur/teknologi lærerens PCK i forhold til undervisningen i et givet emne (f.eks. undervisning i årstider i 4. klasse) kan betragtes som værende koblet til den lærerprofessionelle iscenesættelse og håndtering af artefakter og materialitet (f.eks. en globus) som forståelsesskabende repræsentation i undervisningsmomentet, og hvordan kollegiale samarbejder kan spille en rolle i den forbindelse. Artiklen undersøger, med baggrund i udvalgte natur/teknologi læreres italesættelse af egen PCK og udviklingen heraf, de materielle, sociomaterielle og sociale strukturers betydning for denne udvikling.

Med reference til både PCK og lærerfaglighed angives i artiklen at begge begreber er involverede, og at både lærerens generelle lærerfaglighed og mere specifikke PCK er under udvikling influeret af de forskellige faktorer, uden at det er artiklens anliggende at sondre præcist her. Jeg vil dog kort i forhold til denne artikel definere lærerfaglighed som *lærerprofessionel viden og kompetence* og dermed som et begreb om lærerens samlede og mere generiske faglighed som underviser i et givet didaktisk felt, og som følge deraf, et overbegreb til PCK, jeg ser som mere kontekst og emnespecifikt, og som jeg vil betydningsoversætte til *indholdsspecifik pædagogisk viden og kompetence* (Ellebæk & Nielsen, 2016). Der hvor jeg nedenfor kun anvender lærerfaglighed refereres således til et mere uspecifikt overbegreb, mens PCK anvendes med reference til begrebets teoretiske baggrund.

TEORETISK BAGGRUND

Siden Shulmans centrale artikler fra midt i 80'erne (1986a, 1986b, 1987) har forskningsfeltet omkring PCK haft som omdrejningspunkt at udvikle forståelse af, hvordan en lærers viden, kunnen og gøren kan karakteriseres. Selvom PCK forskningen startede som et alment forskningsprogram (Kind, 2009), er det specielt indenfor den internationale naturfagsdidaktiske forskning, at der blev igangsat et stort antal forskningsprogrammer (Abell, 2007, 2008; Chan & Hume, 2019; Ellebæk & Nielsen, 2016). Særligt konceptualisering af PCK som Magnusson et al. udviklede sidst i 90'erne (1999) har været flittigt anvendt i internationale naturfagsdidaktiske studier. Feltet har i den forgangne ca. 30-årige periode udviklet sig fra at være primært kognitivt og videns-orienteret, til også at have mere handlings- og kompetenceorienterede og kollektive elementer indeholdt i forståelsen og karakteristiken af en lærers praksis (Carlson & Daehler, 2019; Gess-Newsome, 2015). Også andre teoretiske positioner beskriver de sociomaterielle og sociale processer som er i spil i udvikling af professionalitet indenfor en profession. Lave og Wenger har påvist bevægelsen fra legitim perifer deltagelse til fuldt medlemskab af praksisfællesskaber, som et eksisterende, centralt og vigtigt element i at blive professionel inden for et fagligt felt, samtidigt med at de har påvist materialer og den sociomaterielle håndtering heraf som centrale for udvikling af professionalitet som situeret i et praksisfællesskab (Lave & Wenger, 1991). Derudover giver Latours problematisering af det sociale som begreb og hans forsøg på redefinering af sociologi-begrebet til i højere grad at være "*tracing of associations*" et mere rummeligt analytisk blik til at se på tilblivelser og sammenhænge i det sociale rum. Her skriver Latour:

In this meaning of the adjective, social does not designate a thing among other things, like a black sheep among other white sheep, but a type of connection between things that are not themselves social. (2005, p. 5).

I dette perspektiv bliver det interessante ikke nødvendigvis hvilke mellem menneskelige og klassiske sociale strukturer, der fx kan facilitere udvikling af natur/teknologi-læreres lærerfaglighed, men også andre *typer af forbindelser*. Der lægges med andre ord op til en samlet bredere analyse af det komplekse netværk som den professionelle agerer i, og hvordan forskellige elementer har forbindelse til og påvirker aktiviteterne i udøvelse af professionen. Det være sig både sociale og materielle strukturer. Her kan Latours aktør-netværk-teori (ANT), med et samlet blik på de forbindelser der er i spil i et givet aktørnetværk, bidrage til et perspektiv på objekter og materielle strukturer, som ikke kun noget der indgår i en given forbindelse i kraft af objektet som fysisk element i sig selv, men som en aktør på lige fod med andre aktører. Latour bruger direkte vendingen; "Making objects participants in the course of action" (2005, p. 70), hvormed menes, at objekter og materielle strukturer skal betragtes som deltagere i netværket på linje med andre deltagere. I en Latour forståelse bliver materielle strukturer altså også sociale strukturer i de forskellige forbindelser de indgår i. Med dette perspektiv bliver materielle strukturer/objekter lige så gyldige typer af forbindelser til at udvikle PCK i en given sammenhæng, som det vi ellers forstår som klassiske sociale strukturer (personer mv.).

Det er dog forholdsvist uklart gennem de seneste konceptualiseringer af PCK både konsensusmodellen (Gess-Newsome, 2015) og den reviderede konsensusmodel (Carlson & Daehler, 2019) hvordan evt. sociomaterielle elementer spiller en rolle i forhold til PCK og udviklingen heraf. Materialitet har som sådan ikke en tydelig forbindelse til de sociale processer og kollektive elementer som er indlejret i modellerne eller i PCK-forskningen i øvrigt. Ud fra et Latour inspireret perspektiv jf. ovenstående fremtræder det bagvedliggende sociologibegreb i disse modeller umiddelbart som forholdsvist klassisk og begrænset, og som noget der videregiver en forestilling om "det sociale" som omhandlede forbindelser mellem mennesker, og ikke som et bredt begreb om de "typer af forbindelser" som kan detekteres til PCK (Latour, 2005). Her er med andre ord ikke i disse PCK-konceptualiseringer tydelig mulighed for at materielle elementer kan have betydning for PCK eller udviklingen heraf.

I modsætning hertil, har sociomaterielle perspektiver på professionskvalificering i norsk kontekst været betydelig. Perspektiver, der har givet grobund for udvikling af begreber som "kunnskapsformer" og "kunnskapsressurser", hvor særligt kunnskapsressurser er centralt for artiklen her. Jeg vil i det følgende vove at anvende en direkte oversættelse til dansk; "kundskabsressourcer", vel vidende, at man kan argumentere for, at kundskabsbegrebet har lidt forskellige betydning i de respektive nordiske kontekster. Monika Nerland og Hege Hermansen giver eksempler på begrebet kundskabsressourcer, som værende:

..tekster, modeller, instrumenter og materielle redskaper av ulike slag som er *bærere av kunnskap* i profesjonen. (2017, p. 167).

Her angives i samme forbindelse, at sociomaterielle perspektiver tilbyder analytiske tilgange til at studere, hvordan materialitet, handlinger og kollektiv meningsskabelse er tæt sammenfiltret i menneskelige aktiviteter (Nerland & Hermansen, 2017).

Enkelte studier har desuden påvist, at naturfagslærere nok har fokus på undersøgelsesbaseret læring (Inquiry Based Science Education (IBSE), mv.), hvor elevernes egne spørgsmål og undersøgelser står centralt, men at de i høj grad orienterer sig mod verbale dialogiske processer i undervisningen, og har en tendens til at overse den betydning de materielle strukturer i klasserummet har for elevernes læring og faglighedsudvikling. Særligt *koblingen* mellem materialitet og dialog påpeges at være et område, som naturfagslærere typisk ikke er opmærksomme på (Hetherington & Wegerif, 2018). Noget tyder altså på, at materialitetens evt. forbindelse til lærerens faglighed er uklar, og at den implicitte forventning til naturfagslærerens håndtering af materialer, der er indlejret i naturfagslokaler og skolelaboratorier, angiver et markant syn på lærerfaglighed som inkluderende håndtering af materialer, - også for læreren selv fremstår som en delvis tavs viden.

Indeværende artikel anfører, at den lærerfaglige håndtering af de i læringsrummet tilgængelige materialer og de kundskabsressourcer som disse indeholder, er centralt for en given undervisningssekvens læringspotentiale. En håndtering af kundskabsressourcer, som måske endda kan betragtes som en del af lærerens egen PCK, forstået som sandsynligheden for at eleverne lærer det tilsigtede i en given sammenhæng.

Figur 1: Overblikksfigur inkl. antagelsen om materialitet som influerende på udvikling af PCK. Dobbeltpilene antyder en gensidig påvirkning. De øvrige angivelser tjener som eksempler på andre mulige influatorer, der kan betyde noget for udvikling af PCK. Den centrale indre koncentriske cirkel refererer til den reviderede konsensusmodel.

Ovenstående figur 1 angiver således denne artikels antagelse om materialitet som influerende på udvikling af PCK. De øvrige influatorer indholdsviden (CK – Content Knowledge), pædagogisk viden (PK – Pedagogical Knowledge) og interaktion med elever, som er angivet i figuren er eksempler på elementer der er påvist at influere på udviklingen af PCK gennem de seneste års forskning på området (Carlson & Daehler, 2019; Gess-Newsome et al., 2019; Chan & Hume, 2019). Det tjener dog kun som eksempler, og "?" i figuren angiver, at der også kunne være tale om andre influatorer. Den centrale koncentriske cirkel med "enacted PCK" (ePCK), der angiver den fortsatte iteration mellem undervisning, refleksion og planlægning, referer til den centrale koncentriske cirkel i den reviderede konsensusmodel (Carlson & Daehler, 2019).

Fokus i denne artikel er således at teste en antagelse om materialitet som influerende på PCK og udviklingen heraf. En hypotese som er genereret på baggrund af induktive empiriske fund og teori-baseret undersøgelse, men som her forsøges testet i forhold til, hvorvidt og hvordan materialitet er en del af lærernes narrativer omkring PCK og udvikling heraf.

Det fører frem til denne artikels primære forskningsspørgsmål:

Hvorvidt og hvordan fremtræder og italesættes materialitet i natur/teknologilærerens refleksioner over udviklingen af egen PCK?

METODE

Datamaterialet som denne artikel trækker på er fremkommet som en del af et større projekt (Ellebæk & Nielsen, 2016; Ellebæk, 2017), der med en induktiv tilgang til empiriske data har benyttet flere forskellige metodikker til at undersøge natur/teknologi-læreres udvikling af PCK i forhold til bla. materielle og kollegiale strukturer. De empiriske kvalitative data som denne artikel fokuserer på indhentet med baggrund i tre cases.

Figur 2: Dataindsamlingsteknikker i cases. OBS og TEM i de stimulerede refleksionsinterview står for hhv. observationer og tematiser.

Der har været anvendt flere forskellige dataindsamlingsteknikker med henblik på at få righoldige og mangesidige beskrivelser af fænomenerne (Cohen, Manion, & Morrison, 2011; Kvale & Brinkmann, 2015). Dataindsamlingen har været inddelt i to dele; D2.1 og D2.2, som angivet i figur 2. Første del (D2.1), var med et induktivt grounded theory perspektiv centreret omkring et dybde-interview med et til lejligheden udviklet interview-instrument (Graph-Instrument). Her blev respondenter i takt med det fremadskridende interview bedt om at indtegne og beskrive oplevet udvikling af PCK i natur/teknologi i sit hidtidige lærerliv, med baggrund i oplevet udviklingspotentiale af de 10 mest betydende selvrapporterede begivenheder (crucial incidents) i forhold til udvikling af PCK. Med et analytisk udgangspunkt i grounded theory og tematisk analyse (Braun & Clarke, 2006, 2014; Charmaz & Belgrave, 2007) har centrale fund i første del af projektet (D2.1) antydte en forbindelse mellem PCK og materialitet. Hvorvidt og hvordan lærerne har oplevet, at materialitet har betydet noget for udviklingen af PCK blev der i anden del (D2.2) søgt yderligere indsigt i.

Anden del (D2.2) bestod af klasserumsobservation af lærernes natur/teknologi undervisning og om muligt observation af teammøde mellem lærerne i naturfagsgruppen. Så hurtigt som muligt blev begge observationer efterfulgt af et semistruktureret stimulated reflection interview (Evans, 2009; Lyle, 2003; Wood & Bennett, 2000) med den pågældende lærer. Her blev lærerens refleksioner over virksomme praksiselementer/"elementer af god praksis" (Ellebæk & Østergaard, 2009) fra netop gennemført undervisning stimuleret af forskerens billeder og noter fra undervisningen (OBS) og forskerens udvalgte tematiseringer af elementer, der blev oplevet som god praksis og virksomt/effektivt i situationen (TEM). Forskerens tematiseringer (TEM) med fokus på materialitet som betydende for udviklingen af PCK udgjorde et hovedfokus i det semistrukturerede stimulated reflection interview (Kvale & Brinkmann, 2015). Her blev læreren bedt om at reflektere over de udvalgte virksomme praksiselementer og den tilsyneladende bagvedliggende PCK, og om muligt besvare hvor de i situationen anvendte virksomme praksiselementer /elementer af god praksis var blevet udviklet fra, og om udviklingen heraf f.eks. var influeret af materiale elementer. Med andre ord blev læreren i samarbejde med forskeren bedt om at konstruere narrativer (Clandinin & Connelly, 2000) om de typer af forbindelser (Latour, 2005) mellem observerede tilsyneladende virksomme praksiselementer og mulige materiale influatorer, der igennem et lærerliv opleves at have bidraget til udviklingen af PCK.

NARRATOLOGI SOM ANALYTISK GREB OM DET EMPIRISKE MATERIALE

Hvorvidt og hvordan materialitet fremtræder i lærernes fortællinger som *typer af forbindelser* (Latour, 2005), der spiller en rolle i udvikling af PCK, undersøges både empirisk og teoretisk. I forhold til det empiriske materiale anlægges et analytisk blik baseret på en velbeskrevet forskningstra-

dition omkring *narrative inquiry*, hvor man sætter fokus på og undersøger de forskellige involverede aktørers fortællinger (Clandinin & Connelly, 2000). Ifølge Clandinin & Connelly er en persons nuværende oplevelse og erkendelse et direkte produkt af deres tidligere oplevelse og erkendelse. På denne måde angiver de en given persons erfaringer som centrale kilder til at beskrive og forstå menneskelig interaktion og praksis (2016). Clandinin et al. beskriver Deweys to kriterier for erkendelse; "interaction and continuity enacted in situations" (Dewey, 1938) som det egentlige grundlag for en narrativ forståelse af erkendelse gennem tre dimensioner; *temporality, place and sociality* (Clandinin, Cave, & Berendonk, 2017). Disse tre komponenter angives at være byggestenene i *narrative inquiry* (Clandinin, 2016).

I denne sammenhæng giver de tre komponenter mulighed for at anlægge et særligt analytisk blik på det empiriske materiale fra observationer og interviews med de tre lærere, så centrale elementer og fortællinger træder frem. Elementer og fortællinger, som fremkommer ved at anlægge et samlet analytisk blik på materialet, ved både at analysere respondenternes direkte fortællinger og udsagn, og at "gå bagom" disse udsagn og de eventuelle bagvedliggende årsager/fortællinger, som udsagnene er indlejret i. *Temporalitet*, giver forskeren mulighed for at se på materialet i et tidsmæssigt perspektiv. Når narrativer fortæles, bliver oplevelsen husket, og små ændringer bliver ofte lavet for at kunne indlejre og imødekomme nye oplevelser/erkendelser. Der er ligeledes sociale tidsmæssige aspekter i et narrativ, hvor det som tidligere var socialt accepteret måske, ikke mere er accepteret på samme måde. Hermed influerer tidligere oplevelser på hvordan fremtidige oplevelser bliver opfattet (Haydon, Browne, & van der Riet, 2018). I det første dybdegående interview bliver lærerne bedt om at anlægge et retrospektivt blik på udviklingen af deres egen PCK gennem deres hidtidige lærerliv, hvor de temporale perspektiver træder frem. *Spatialitet*, giver forskeren et blik for artikulerede narrativer i forhold til sociale normer, og når sociale normer ændres - ændres også det pågældende narrativ (Haydon et al., 2018). Narrativer er centrale for vores identitet og selvforståelse, og når et narrativ konstrueres og fortælles, bliver det over tid rekonstrueret i forhold til egen identitet og i forhold til de andre personer fortællingen er relateret til. Folk skaber mening i deres oplevelser gennem det at fortælle narrativer. Her er narrativet f.eks. også afhængigt af hvem det fortælles til, hvormed forskeren i denne sammenhæng ikke kan undgå at påvirke og på sin vis være indlejret i fortællingen (Clandinin, 2006; Clandinin & Connelly, 2000). I denne sammenhæng har der været et særligt fokus på de materielle og kollegiale strukturer som kunne betyde noget for hvordan lærerne opfatter dette influerer på udviklingen af deres PCK. *Spatialitet*, og de omgivelser som indlejres i narrativet er centrale i kraft af deres betydning for narrativet, men det angives også som centralt at have blik for hvor narrativet er fortalt, og hvordan disse omgivelser kan påvirke narrativet (Clandinin, 2006, 2016; Clandinin & Connelly, 2000). I denne sammenhæng har omgivelserne haft en helt særlig betydning for de enkelte læreres narrativer. Både i forhold til hvordan lærerne opfatter udviklingen af egen PCK som værende påvirket af rummelige og materielle strukturer eller socio-materielle elementer. Men også, at de omgivelser hvorunder lærernes narrativerne er opstået til en vis grad er med til at skabe grobund for det pågældende narrativ.

De tre ovenstående komponenter og perspektiver på materialet giver analytisk grobund for et samlet *emplotment*, som Haydon et al. beskriver som følger; *Emplotment is the merger of multiple dialogues/conversations into one narrative that encompasses the events conversed, though presented in a sequence that creates a narrative plot* (Haydon et al., 2018). De angiver endvidere, at et narrativ uden et plot blot ville være en række af ord uden mening, og at *emplotment* muliggør en vej til at forbedre fragmenterede, afbrudte og nogle gange modsatrettet kommunikation til forståelige narrativer (Haydon et al., 2018). Jeg vil ud fra det indsamlede empiriske materiale og ovenstående forskningsspørgsmål i nedenstående afsnit konstruere 3 *emplotments*. Et *emplotment* fra hver lærer, som hver især bidrager til et samlet analytisk forskningsnarrativ og giver deres individuelle bidrag til en meningsfuld besvarelse af forskningsspørgsmålet. Her angiver Clandinin det som afgørende og vitalt, at forsker og respondent har samarbejdet og blevet enige om pågældende forskningsnarrativ/*emplotment* (2016). Alle *emplotments* har således været sendt til de respektive lærere som validering/member checking med efterfølgende tilretning og samskabelse af plottet, så de eventuelle forskellige opfattelser af situationer, begivenheder, udtalelser mv. så vidt muligt samkonstrueres mellem forsker og respondent

til en samlet fælles forståelse af den oplevede virkelighed. De analytiske teoretiske rammer omkring narrative inquiry identificerer det centrale i relationen mellem forsker og respondent (Clandinin & Connelly, 2000), hvorved forskeren som konsekvens helt naturligt indgår og spiller en rolle direkte i resultaterne. Af nedenstående præsentation af resultaterne vil derfor fremgå, at min rolle som forsker ikke kan adskilles fra observationerne, hvorfor mine tanker og oplevelser til en vis udstrækning fremgår af det enkelte emplotment.

RESULTATER

Hvert emplotment ledsages i det følgende af en overskrift, som angiver det centrale plot i teksten. Både valg af plot og elementerne i de enkelte emplotments er foretaget med henblik på tydelighed ift. afklaring af forskningsspørgsmålet og empirisk bekræftelse af bagvedliggende antagelse. I efterfølgende diskussionsafsnit vil jeg trække vigtige analyser og elementer frem med henblik på at binde de tre emplotment sammen og bidrage til at belyse artiklens forskningsspørgsmål.

Emplotment 1: Oplevet decimering af PCK gennem materiel og spatial reduktion

Georg har lavet kaffe og serverer napoleonskage for mig i det 70' er renoverede naturfagslokale, som bugner af endnu ikke færdigpakkede papkasser. Materialerne fra flere lærerlivs naturfagsundervisning forestår en udvælgelse og efterfølgende sammenpakning, da skolen flytter og slås sammen med en af de andre byskoler. Lokalefaciliteterne i den nye skole er langt mindre, og Georg virker tyngt af den kommende opgave. Gejsten gemt i sætningen; *"Det klarer vi også ligesom alle de andre udfordringer, vi har klarer"*, virker en smule påtaget. Georg er en meget erfaren lærer, som har undervist i flere naturfag i en lang årrække. Han er velforberedt til vores første interview, og har lavet noter om den professionelle udvikling han mener at have gennemgået i sit lange lærerliv som naturfagslærer. Særligt et bestemt udviklingsprojekt N-Tek står centralt i Georgs fortælling, og han beskriver en kraftig udvikling af PCK og øget kompetence til at varetage de mere teknologiske sider af faget natur/teknologi i løbet af dette projekt, hvor der pludseligt var gode muligheder for materielle indkøb. Georg omtaler N-Tek projektet som, *"oasen, hvor man vandede kamelerne"*, og at det gav nogle nye muligheder for udvikling af feltet: *"lige pludseligt, så finder jeg jo rigtigt ud af, hvad muligheder der egentlig er med det her, med at bringe 'teknikken' ind. For lige pludseligt har jeg råd til de ting, som jeg aldrig har haft råd til at købe ind"*. Georg opsummerer lidt opgivende i forhold til sin egen lærerprofessionelle udvikling og de mere materielle udfordringer i faget:

"...Men ellers det jeg har lært af det, er at det er utroligt vigtigt, at der er de rigtige ressourcer. Fordi os som undervisere. – Føler man, at man ovenfra bliver taget alvorligt og det bliver forstået, at der rent faktisk også skal noget til, for at man kan komme med de store 'armsving', som de gerne vil have os til at komme med, så er vi altså også nødt til at skulle have de ressourcer, som er fornødne. Om ikke andet så bare et dagligt budget, som gør at vi kan købe nogle spændende ting ind, som børnene de kan arbejde med, så det heller ikke kun går op i papir og pap og sugerør, som vi kan købe ind billigt. Der skal være lidt mere bid i det (lidt opgivende). Det er faktorer som jeg ikke kan gøre noget ved, så derfor så fortsætter jeg med pap og papir og gør det så super interessant som jeg kan...."

Ca. et halvt år efter ankommer jeg til Georgs nye skole. Georg tager imod mig på lærerværelset og viser mig den nye skoles naturfagsfaciliteter. Jeg ser hans velforberedte undervisning omkring syrer og baser, hvor eleverne med begejstring får rødkålen i stykker, smager og sanser og får udtrækket til at antage forskellige farver efter pH-grad. Georg er rutineret og håndterer både Benjamins forstyrrende ADHD-udbrud ved at tale videre i samme stemmeleje, gå hen til ham, og lægge en rolig hånd på hans skulder, og skænderiet i gruppe 1, samtidig med at han lader eleverne tilnærme sig de læringsmål, han havde for dobbeltlektionen. Han virker dog en smule decimeret bag kateteret og ærgres tydeligt over smartboardets nye reaktioner og computerens latenstid. I det efterfølgende interview bliver Georgs evne til at operere med hele sin lærerfaglighed i det nye naturfagslokale det mest påtrængende emne. Han savner flere af de gamle oversigtstavler fra 60'erne, de tidligere nedtrækskort og kridttavlen, som ikke kom med til den nye skole. Han føler sin faglighed decimeret i det nye lokale, og taler om

materialerne som hans *"forlængede arm"*. Særligt, når han skal samle op efter det praktiske arbejde, angiver Georg tid og samlede repræsentationsmuligheder som afgørende for om plenumsekvensen lykkes. Opretholdelse af elevernes koncentration og muligheden for at komme frem til en *"fælles erkendelse"* er stærkt afhængig af hans muligheder for at bruge sin krop, stemme, blik, naturfagsarterefakter, udvalgte kort og oversigter til at fremme forståelsen og imødegå de spørgsmål, han erfaringsmæssigt ved der kommer fra eleverne i denne undervisningssekvens. Her er smartboardet simpelthen ikke hurtigt, præcist og rummeligt nok - for Georg. I afslutningen af interviewet siger han: *"...Som gammel rotte, så føler man sig lige i starten sat lidt af. Man står et fremmed sted og kigger rundt; Hvor er jeg lige? Hvad skal jeg lige gribe og gøre i? Det andet sted (på den gamle skole), skulle jeg næsten bare kigge ind i lokalet, så vidste jeg lige hvad jeg skulle gøre..."*

Emplotment 2: Virksomt kollegialt samarbejde og distribueret viden også socio-materielt koblet

Birger har en lille undervisningssekvens omkring kodning i 7.A. Jeg fornemmer, at Birger er en rutineret underviser, som har et helt bestemt mål med sekvensen. Eleverne ved tydeligvis, hvad der skal ske og er overraskende hurtigt koncentreret omkring den faglige opgave med kodning af en af skolens robotter, selvom undervisningen startede med en grædende elev og en ikke overstået konflikt fra pausens snældkamp. Sekvensen er på 30 minutter, og efter et ultrakort læreroplæg fungerer Birger som vejleder på de individuelle opgaver eleverne har stillet sig selv. En gruppe af elever sidder på gulvet med en indkøring og kan ikke få den gule robot til at reagere. Birger spørger om de har genstartet både robot og program, og må til sidst selv have fingrene i robotten. Umiddelbart efter har en gruppe svært ved at få en funktion i programmet med den blå robot til at virke, og Birger må efterlade dem til selv at udforske og fejlfinde videre. Specielt de to typer af robotter og tilhørende styringsprogrammer giver mange forskelligartede problemstillinger, som Birger skal håndtere samtidigt med at målet for lektionen holdes for øje. Jeg bliver nysgerrig på hvordan Birgers *"robot- og fejlfindings-undervisningskompetence"* er blevet udviklet og spørger i det efterfølgende interview ind til udviklingen af den faglighed, jeg antager der ligger gemt her. Birger angiver samarbejdet med kollegaen Leif som afgørende for, at han har udviklet denne viden og kompetence, og mener de har udviklet en særlig fælles faglighed omkring den pædagogiske håndtering af robotter og kodning. Jeg spørger ind til dette samarbejde og hvad det betyder for hans egen udvikling af PCK i faget. Han angiver en situation, hvor de havde opbygget og udviklet en fælles PCK omkring robotter i undervisningen på baggrund af nogle indledende undersøgelser: *"Der fejl fandt vi jo rigtigt rigtigt meget. På et tidspunkt var vi klar til at kaste de der robotter langt langt væk, fordi vi syntes, at det fungerede slet ikke i et klasserum. Fordi de robotter vi havde dengang var jo bluetooth, og det interfererede fuldstændigt med hinanden. – Du har jo set min arbejdsplads. Leif har arbejdsplads nede ved vores bod, lige hvor man kommer ind. At han lige pludseligt kunne styre min og jeg kunne styre hans, - hvor vi lige pludseligt ikke forstod hvorfor hinandens robotter kørte. Så var det fordi vi havde fanget hinandens. [...] Det var en kæmpe frustration for os, og vi var klart til at kaste dem langt væk, indtil vi fandt ud af, at de også fås med sådan en dongle i stedet for, - og så spillede det bare helt vildt. Så var det rigtigt rigtigt godt. [...] Først havde vi tænkt at, eleverne kunne kode på hver deres computer, - dengang var vi jo ikke så berigede, at de havde en hver. – Men der kunne de godt sidde med en PC og kode noget, og så tænkte vi, at de kunne "connecte" til robotten, når det var.. Men det kunne de bare ikke, for når først den robot var "connectet" et sted, så kunne det ikke sådan lige ændres... Og de bluetooth koder hed det samme.. og... Ja.. – Det der med at tage en dongle ud, og kunne proppe den i en robot og sige; nu er det mig der har kontrollen over den her bil. – Så kunne vi se, at så kunne det virke i en undervisning."*

Fjerde gang jeg kommer på skolen, får jeg lov til at deltage i deres årlige teammøde i natur/teknologi. De fire natur/teknologi-lærere har en time og 15 minutter til mødet, men de bruger en halv time mere af deres egen fritid for at få afsluttet mødet fornuftigt. Rollerne i teamet er ikke helt klare og det er også indledningsvist lidt uklart, hvem der er ansvarlig for dagsordenen og hvor den ligger, da det er et år siden de havde sidste møde. Efter en fælles drøftelse og tilretning af årsplanen og *"den røde*

tråd" gennem natur/teknologi undervisningen på skolen angiver den fremskaffende dagsorden, at de har aftalt oprydning i materialesamlingen. Midt under oprydningen finder kollegaen Tobias en firkantet genstand, og spørger hvad det er for en tingest. Birger svarer; *"Det er en skydemodstand. Den kan f.eks. bruges som lysdæmper.."* Tobias står lige og tænker lidt samtidigt med han forsøger at regulere på skydemodstanden, og hans åbenlyse interesse og opmærksomhed indikerer, at han ser dele af et nyt undervisningsforløb foran sig. Samtidigt lytter den forholdsvis nyansatte kollega Bent aktivt i forsøget på at indfange viden om materialerne. Bent er ny lærer på skolen og tilsyneladende interesseret i at vide, hvad der er i kasserne med ledninger, pærer og batterier til ellære-forløb, og at få det organiseret pænt i kasserne. Det virker til at give ham en vis ro og sikkerhed, at vide hvad der er i disse kasser og om det overhovedet virker som det skal.

Emplotment 3: PCK som kollegialt distribueret og sociomaterielt koblet

På mit første besøg viser Merete mig rundt på den lidt nedslidte forstadsskole, som også er blevet et centralt led i kommunens skolesammenlægninger, hvor det er meldt ud, at skolen skal lukke. Her virker tomt på trods af både elever og læreres åbenlyse aktivitet i de omkringliggende klasselokaler, og jeg fornemmer en vis afmagt gemt i de lange gange. Elevtallet er faldende og flere lærere har allerede søgt væk, men Merete virker fortrøstningsfuld og forholdsvis upåvirket af den "støj" fra omgivelserne, som jeg umiddelbart oplever. Det vigtigste er, *"at man selv brænder for faget"*, som hun siger til mig i det efterfølgende interview, hvor vi taler om den lærerfaglighed, hun skal besidde for at varetage god undervisning i natur/teknologi. I samme åndedrag angiver hun sine kollegers engagement omkring faget som *"måske endda endnu vigtigere"* for sin egen udvikling af lærerfaglighed i faget. Jeg tænker det var et lidt markant udsagn, og beder hende folde det ud; *"Fordi, du kan godt blive smittet" af dine kolleger også. Så det tænker jeg er endnu vigtigere. Nu er jeg måske også så heldig, at vi sidder som naturfagslærere rimeligt tæt inde i forberedelsen og der går jo næsten ikke en dag hvor vi ikke lige snakker sammen; "Ej. Nu har vi lige prøvet det.. og det fungerer super godt derinde i den klasse der.." og "Nu skal du se. Jeg har lige fundet det her." og.."* Det slår mig, at Merete på trods af mange års arbejde som social og sundhedsassistent virker til at have fundet sin rette hylde som lærer i folkeskolen.

Jeg ankommer til Meretes nye arbejdsplads. Jeg skal observere hendes undervisning i to 4. klasser, i et forløb omkring vind og vejr, hvor luftens tryk er lektionens centrale faglige begreb. Her er ikke nogen ledige faglokaler, så undervisningen foregår i elevernes stamklasser. Rullebordet kan netop lige rumme materialerne til den forsøgsrække hun har tiltænkt eleverne skal rotere mellem. På 15 minutter skal hun skabe ro, introducere til dagens emne, antyde de faglige begreber der skal udforskes, understøtte at eleverne selv kan føle sig som "undersøgende eksperter" med udgangspunkt i et startforsøg omkring over- og undertryk, hvor alle elever får en engangssprøjte i hænderne. Derefter har hun 30 minutter til, at de etablerede grupper skal rotere mellem 3 forsøgsstationer omkring lufttryk, samle klassen igen i en plenumsekvens omkring forsøgsresultaterne for til sidst at elaborere omkring lektionens centrale faglige begreber. Det forekommer mig at være en smule for ambitiøst, men hun kommer fint i mål i begge 4. klasser, på trods af store undervisningsmetodiske forskelle de to klasser i mellem. I pausen mellem de to lektioner får hun lige tid til at fortælle en kollega om de to barometre i materialesamlingen, som ikke virker mere. Jeg bliver fascineret af hendes håndtering af materialerne i denne komplekse pædagogiske sammenhæng, og spørger i det efterfølgende interview ind til den viden og kompetence, som tilsyneladende ligger gemt her. Hun siger direkte, at man fint kan betragte den pædagogisk håndtering af materialerne som en del af hendes faglighed, som lærer i faget. Jeg beder hende folde det ud og give eksempler på, at "materialerne indeholder faglighed", og hvordan denne faglighed måske endda kan gå videre fra erfarne kolleger til hende som novicelærer. Hun uddyber; *"Der kan det jo faktisk være lidt interessant, hvis man går ned i natur/teknik lokalet hernede. Der står nemlig en masse af sådan nogle kasser, som er blevet bygget. Men når man så kigger ned i kasserne i dag, når man kommer udefra. Så vil man ikke ane hvad du skulle bruge kasserne til. Fordi den viden er gået tabt, fordi de personer der har lavet kasserne, de ikke er der mere.... Når man ligesom får bygget de her "emnekasser" op, - eller hvad man kan sige. Så er det jo vigtigt at man enten sørger for, at den der viden, der ligger i de kasser, går videre mundtligt. Eller man sørger*

for, at man ligesom får skabt et eller andet skriftligt, som gør at de næste, der måske ikke kender det, kan anvende det. Men det vil aldrig være det samme, som hvis du får den der "oplæring", eller den der "mundtlighed" med, som når man er der fysisk samtidigt. F.eks. der, hvor Jesper han står og... vi står og snakker om den her samling han har af de her røntgenbilleder, og hvordan han har anvendt dem. Så bliver den der kasse røntgenbilleder lige pludseligt noget helt andet end bare de fysiske billeder. Så kommer der jo en masse faglighed bag ved lige pludseligt. [...] F.eks. hvordan eleverne står og holder dem op, og så kan de se sådan en hvid skygge, hvor hjertet egentlig er. Hvor Jesper så måske kunne finde på at sige; Hvor filen er lungerne så henne? Hvorfor kan vi ikke se dem på billedet? [...] Der var også en som ikke havde fået sine smykker og sin BH af, og der kunne man så meget tydeligt se de her metalstreng og den her kæde. Og så snakkede han jo med eleverne om det faglige i det, og hører dem ind til; hvad tror de det er og hvorfor man kan se det?"

DISKUSSION OG KONKLUSION

Kundskabsressourcer og sociomaterielle elementer uden kollegial tilknytning kan identificeres flere steder i ovenstående emplotments som en bekræftelse på, at materialitet er en del af lærernes forestilling om PCK og udviklingen heraf. Særligt første emplotment påviser med eksemplet, hvor Georg angiver materialer som oversigtstavler og nedtrækskort som hans "forlængede arm", at Georg oplever materielle kundskabsressourcer som værende knyttet til sin fysiske person og lærerprofessionalitet (Lave & Wenger, 1991) og som en direkte del af sin egen PCK (Forbes et al., 2009; Wei et al., 2019). Uden disse kundskabsressourcer, kan han angiveligt ikke være lige så effektiv en lærer i natur/teknologi – en lærer der faciliterer, at eleverne lærer det tilsigtede (Ellebæk, 2017). For Georg, er materialerne og de nødvendige ressourcer for at kunne indkøbe dem, vigtige for udførelsen af sin professionalitet og for udvikling af PCK i natur/teknologi. Georg oplever således sin PCK som stærkt sociomaterielt koblet og decimeret, når tilgængeligheden af vanlige materialer og spatiale artefakter reduceres, hvor Georg skal agere professionelt i et helt nyt lokale på den nye skole. På samme måde som Georg følte sig mindre værdsat og oplevede sin PCK decimeret – og nærmest reduceret – umiddelbart efter, at N-Tek projektet blev stoppet udefra.

I denne sammenhæng er det dog påfaldende, hvordan udvikling af PCK influeret af materielle kundskabsressourcer i to af ovenstående emplotments opfattes med et særligt potentiale, når det er tilknyttet det kollegiale. Her tydeligt illustreret i emplotment 3, hvor Merete direkte italesætter, at udviklingen af en sociomaterielt influeret PCK er stærkt afhængig af centrale kolleger, der kan videredistribuerer og tydeliggøre de kundskabsressourcer, som der ligger "gemt" i materialer på skolen. Kollegaen Jespers videregivelse af lærerfaglige overvejelser omkring anvendelsen af kundskabsressourcen "røntgenbilleder" er et eksempel herpå. Kundskabsressourcer, der i modsat tilfælde blot ville være nogle materialer (billeder) i en kasse, men som pludseligt får en social karakter og kan noget andet og mere, når de bliver sat i en undervisningsmæssig sammenhæng af en erfaren kollega (Latour, 2005). Merete oplever således, at hendes udvikling af PCK er stærkt knyttet til konkrete fysiske materialer og hendes uformelle og situerede samarbejde med centrale kolleger heromkring. Endda i en grad, at hun af sig selv angiver kollegers engagement som *vigtigere* for hendes udvikling af PCK, end hendes eget engagement. Virksomt kollegialt samarbejde er altså ikke nødvendigvis møderelateret, men kan videredistribueres mellem kolleger i uformelle - og materielle - sammenhænge. Her i en uformel samtale om kollegaen Jesper's brug af røntgenbilleder i natur/teknologi undervisningen. Det samme ses i 2. emplotment med eksemplet hvor Tobias finder særlig interesse i undervisningsmæssig anvendelse af skydemodstanden og kasserne til ellære, som Birger kort forsøger at give ham et indblik i. Et billede på kollegial indvielse i/tilgængeliggørelse af en sociomaterielt koblet distribueret viden, og dermed en overlevering af centrale materielle kundskabsressourcer.

Mens ovenstående påviser overlevering af en sociomaterielt koblet distribueret viden, opfattes det tilsyneladende som et mere jævnbyrdigt kollegialt og materielt samarbejde i situationen, hvor Birger i emplotment 2 arbejder fysisk sammen med kollegaen Leif. Han oplever at udvikle en naturfaglig praksis og en særlig fælles faglighed sammen med ham. Et jævnbyrdigt forhold, hvor det at arbejde

undervisningsrelateret og innovativt med materialer (her robotter) sammen med en central kollega, i sig selv kan vise sig som særligt virksomt, i forhold til at udvikle lærerens egen PCK. En PCK, som her opleves at indeholde dels en naturfaglig/teknologisk komponent om håndtering af robotterne, men også en lærerfaglig fingerspidsfornemmelse af, hvornår og hvordan robotterne kan indgå meningsfuldt og effektivt som *deltagere* i en undervisning i natur/teknologi (Latour, 2005). En fornemmelse af et aktørnetværk (ANT), og hvad der sandsynligvis er en virksom – eller ikke virksom – fremgangsmåde i en konkret natur/teknologi undervisning om kodning og robotter, hvor Birger og kollegaen Leif først ser en mulig succesfuld undervisning foran sig, da de finder dongle-muligheden for kodning af robotterne. En dongle, der som mulig *deltager* pludseligt ændrer netværket og gør en virksom undervisningssekvens sandsynlig for Birger og Leif (Latour, 2005). Alt i alt i ovenstående eksempler på sammenkoblinger mellem enactet PCK, materialitet og sociomateriel kollegial praksis som jeg her vil driste mig til at kalde; ”kollegialt distribueret materialitet”.

Analyserne viser, at lærerne oplever PCK som ikke kun værende et kognitivt anliggende i det enkelte individ, men også som sociomaterielt forbundet. En sammenhæng, der også er påvist af andre (Forbes et al., 2009; Wei et al., 2019). Desuden påvises, at udvikling af PCK gennem demonstration og samtaler omkring kollegialt distribueret materialitet kan opleves at have markant potentiale til individuel professionel udvikling (Lave & Wenger, 1991; Van Driel & Berry, 2012). Kollegial sparring og overlevering af viden omkring sociomaterielle kundskabsressourcer italesættes og påvises dermed som noget lærerne oplever har vigtigt potentiale til udvikling af PCK.

På denne måde bidrager analyserne til en øget indsigt i lærernes oplevelse af de sociomaterielle kundskabsressourcer og den kollegiale sparring heromkring som influator for udviklingen af PCK, og som sådan som en bekræftelse af antagelserne angivet i figur 2. Dobbeltpilene i figur 2 antyder en gensidig påvirkning, hvor materialitet også influeres af lærernes PCK. Dette syntes bekræftet teoretisk i en Latour forståelse af aktørnetværket, og empirisk gennem lærernes oplevelse af materialerne som noget der ændrer karakter, når kolleger eksempelvis sætter ord på undervisningsmæssig anvendelse heraf. Endvidere oplever lærerne, at materialitet er en direkte del af deres PCK og ikke kun fungerer som en influator for udviklingen af deres PCK.

Som et resultat af analyserne vil jeg anføre begrebet ”Materialefaglighed”, som et analytisk sociomaterielt lærerfaglighedskoblet begreb. Et begreb, der tjener som samlet begreb for ovenstående empiriske fund og kan hjælpe til at belyse den indholdsspecifikke viden, kunnen og gøren, som kan være indlejret i artefakter fra naturfagsundervisningen, og dermed som en vigtig del af naturfagslærerens enactede PCK.

Perspektivering og implikationer

At materialer, apparater, fysiske opstillinger har en rolle at spille i forhold til at lette og forstærke formidlingen af det naturfaglige indhold er på sin vis selvfølgelig. Her er helt objektivt tale om omkostningstunge læringsomgivelser, der allerede er til stede som læringsmiddel i skolernes naturfagslokaler mange steder i verden. Læring i naturfag må således formodes at blive befordret gennem disse elementer (Solomon, 1980; Hodson, 1990). Ovenstående bekræfter denne formodning, og anfører desuden, at en lærers PCK i natur/teknologi også til en vis udstrækning er gemt og lagret i den materialitet som læreren omgiver sig med. Her skal ”Materialefaglighed” - som begreb for den type af faglighed der ligger gemt i Jespers kasse med røntgenbilleder, Birger og Leifs robotter og dongle eller Georgs nedtrækskort - jo ikke som mange naturfagslærere intuitivt vil tænke handle om den rent naturfaglige viden som eksempelvis en globus har lagret i sig med længde- og breddegrader, geografiske positioner, vendekredse eller jordaksens hældning, - men om den sociomaterialitet og distribuerede viden som ligger gemt i forbindelsen mellem naturfagslæreren og hendes anvendelse af en globus som læringsartefakt for formidlingen af et vist naturfagligt emne. Her bliver det pågældende artefakt ikke mere et neutralt objekt men indgår som en kundskabsressource og en del af lærerens PCK ift. formidlingen af det pågældende emne (f.eks. emnet årstider). Lærerens PCK som underviser kan som en følge deraf opleves som kompromitteret og decimeret, hvis hun eksempelvis skulle undervise i emnet uden at en globus var til stede i formidlingssituationen. Hun oplever ikke at kunne gøre det

lige så effektivt, forstået som sandsynligheden for at hendes elever lærer det intenderede. Ud over at lærerne oplever en sådan sammenhæng mellem materialer og PCK eksisterer, påvises i denne artikel, at natur/teknologilærerne oplever, at centrale materielle strukturer og kollegial sparring heromkring har et markant potentiale til udvikling af PCK.

Materialers specifikke betydning for naturfagslærerens PCK i de enkelte naturfaglige indholdsområder og hvordan kollektive strukturer kan facilitere udviklingen af denne faglighed kunne med fordel undersøges nærmere. Det er således stadig uklart hvilke materialer og spatiale strukturer, som lærerne indenfor de enkelte naturfaglige emner og aldersgrupper oplever som vigtige kundskabsressourcer og bærere af central kundskab i professionen, og hvordan kollegiale strukturer bedst muligt sikrer en overlevering af denne kundskab til nye lærere i professionen/på skolen (Nerland & Hermansen, 2017). Desuden mangler vi også i denne sammenhæng mere viden om, hvordan elevernes læring faciliteres af specifikke kundskabsressourcer og materielle strukturer. Yderligere forskning i feltet er således ønskelig. Forskning, der ville kunne bidrage til belysning af kompleksiteten i lærerens PCK, som den udspiller sig indlejret i praksis (Henze & Van Driel, 2015), og forskning, som kan bidrage med nye indsigter i de typer af forbindelser (Latour, 2005), der faciliterer udviklingen af en stærk og robust generisk lærerfaglighed i forhold til undervisning i den danske folkeskole, og den mere indholdsspecifikke pædagogiske viden og kompetence (PCK) i natur/teknologi (Ellebæk & Nielsen, 2016).

REFERENCER

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. In Sandra K. Abell, K. Appleton, D. L. Hanuscin (Eds.) *Handbook of research on science education*, 1105-1149. doi:10.4324/9780203824696
- Abell, S. K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405-1416. doi:10.1080/09500690802187041
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101. doi:10.1191/1478088706qp063oa
- Braun, V., & Clarke, V. (2014). What can "thematic analysis" offer health and wellbeing researchers? *International journal of qualitative studies on health and well-being*, 9. doi:10.3402/qhw.v9.26152
- Carlson, J., & Daehler, K. R. (2019). The refined consensus model of pedagogical content knowledge in science education. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.) *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (pp. 77-92): Springer. doi:10.1007/978-981-13-5898-2
- Chan, K. K. H., & Hume, A. (2019). Towards a Consensus Model: Literature Review of How Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Is Investigated in Empirical Studies. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.) *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (pp. 3-76): Springer. doi:10.1007/978-981-13-5898-2
- Charmaz, K., & Belgrave, L. L. (2007). Grounded theory. In *The Blackwell encyclopedia of sociology*. doi:10.1002/9781405165518.wbecosg070.pub2
- Clandinin, D. J. (2006). *Handbook of narrative inquiry: Mapping a methodology*: Sage Publications. John Wiley & Sons. doi:10.4135/9781452226552
- Clandinin, D. J. (2016). *Engaging in narrative inquiry*: Routledge. doi:10.4324/9781315429618
- Clandinin, D. J., Cave, M. T., & Berendonk, C. (2017). Narrative inquiry: a relational research methodology for medical education. *Medical education*, 51(1), 89-96. doi: 10.1111/medu.13136
- Clandinin, D. J., & Connelly, F. M. (2000). *Narrative inquiry: Experience and story in qualitative research*. Josey-Bass: San Francisco.
- Cohen, Manion, & Morrison. (2011). *Research methods in education*. New York: Routledge.
- Ellebæk, J. J. (2017). *Towards a more balanced view on PCK development through collaborative processes?* Paper presented at the ESERA 2017, Dublin.
- Ellebæk, J. J., & Nielsen, B. L. (2016). Pedagogical Content Knowledge (PCK) – et tiltrængt naturfagsdidaktisk forskningsfelt i Danmark? *MONA-Matematik-og Naturfagsdidaktik*, (4).
- Ellebæk, J. J., & Østergaard, L. D. (2009). "Best Practice"–visdommen i dansk naturfagsformidling. *MONA-Matematik-og Naturfagsdidaktik*, (4).

- Evans, M. (2009). Using stimulated recall to investigate pupils' thinking about online bilingual communication: Code-switching and pronominal address in L2 French. *British educational research journal*, 35(3), 469-485. doi:10.1080/01411920903017986
- Forbes, C. T., Madeira, C. A., Davis, E. A., & Slotta, J. D. (2009). *Activity-theoretical research on science teachers' learning: Challenges and opportunities*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, April. San Diego.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In J. Gess-Newsome, & N.G. Lederman (Eds.) *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 3-17): Springer.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK. In A. Berry, P Friedrichsen, & J. Loughran (Eds.) *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*, (pp 28-42): Routledge. doi:10.1080/09500693.2016.1265158
- Gess-Newsome, J., Taylor, J. A., Carlson, J., Gardner, A. L., Wilson, C. D., & Stuhlsatz, M. A. (2019). Teacher pedagogical content knowledge, practice, and student achievement. *International Journal of Science Education*, 41(7), 944-963. doi:10.1080/09500693.2016.1265158
- Guerriero, S., & Révai, N. (2017). Knowledge-based teaching and the evolution of a profession. In *Pedagogical Knowledge and the Changing Nature of the Teaching Profession*. OECDiLibrary.
- Hashweh, M. (2013). Chapter 6 pedagogical content knowledge: Twenty-five years later. In *From teacher thinking to teachers and teaching: The evolution of a research community* (pp. 115-140): Emerald Group Publishing Limited. doi:10.1108/S1479-3687(2013)0000019009
- Hashweh, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions: a reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching*, 11(3), 273-292. doi:10.1080/13450600500105502
- Haydon, G., Browne, G., & van der Riet, P. (2018). Narrative inquiry as a research methodology exploring person centred care in nursing. *Collegian*, 25(1), 125-129. doi:10.1016/j.colegn.2017.03.001
- Henze, I., & Van Driel, J. H. (2015). Toward a more comprehensive way to capture PCK in its complexity. In A. Berry, P Friedrichsen, & J. Loughran (Eds.) *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*, (pp 120-134): Routledge. doi:10.4324/9781315735665
- Hetherington, L., & Wegerif, R. (2018). Developing a material-dialogic approach to pedagogy to guide science teacher education. *Journal of Education for Teaching*, 44(1), 27-43. doi:10.1080/02607476.2018.1422611
- Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 71(256), 33-40.
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*: New York, Collier Books
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: perspectives and potential for progress. *Studies in science education*, 45(2), 169-204. doi:10.1080/03057260903142285
- Kvale, S., & Brinkmann, S. (2015). *Interview: Det kvalitative forskningsinterview som håndværk*: Hans Reitzel.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*: Oxford university press. doi:10.1108/eoi.2008.27.3.307.2
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*: Cambridge university press.
- Loughran, J., Berry, A., & Mulhall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge* (Vol. 12): Springer Science & Business Media. doi:10.1007/978-94-6091-821-6
- Lyle, J. (2003). Stimulated recall: A report on its use in naturalistic research. *British educational research journal*, 29(6), 861-878. doi:10.1080/0141192032000137349
- Milne, C., & Scantlebury, K. (Eds.). (2019). *Material practice and materiality: Too long ignored in science education*. Springer. doi:10.1007/978-3-030-01974-7
- Nerland, M., & Hermansen, H. Y. (2017). Sosiomaterielle perspektiver på profesjonskvalifisering: Kunnskapsressurenes betydning. In S. Mausestaden, & J.C. Smeby (Eds.) *Kvalifisering til profesjonell yrkesutøvelse* (pp.167-179), Universitetsforlaget.
- Otrell-Cass, K., & Cowie, B. (2019). The Materiality of Materials and Artefacts Used in Science Classrooms. In C. Milne, & K. Scantlebury (Eds.) *Material Practice and Materiality: Too Long Ignored in Science Education* (pp. 25-37): Springer.

- Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard educational review*, 57(1), 1-23.
- Shulman, L. S. (1986a). Paradigms and research programs in the study of teaching: A contemporary perspective.
- Shulman, L. S. (1986b). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Solomon, J. (1980). *Teaching children in the laboratory*. London: Croom Helm.
- Van Driel, J. H., & Berry, A. (2012). Teacher professional development focusing on pedagogical content knowledge. *Educational Researcher*, 41(1), 26-28. doi:10.3102/0013189X11431010
- Wei, B., Chen, S., & Chen, B. (2019). An Investigation of Sources of Science Teachers' Practical Knowledge of Teaching with Practical Work. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(4), 723-738.
- Wood, E., & Bennett, N. (2000). Changing theories, changing practice: Exploring early childhood teachers' professional learning. *Teaching and teacher education*, 16(5-6), 635-647. doi:10.1016/S0742-051X(00)00011-1