

MONIA

Matematik- og Naturfagsdidaktik
– tidsskrift for undervisere, forskere og formidlere



Erhvervsakademi og
Professionshøjskole

KØBENHAVNS
PROFESSIONS
HØJSKOLE



DTU



AARHUS
UNIVERSITET



DASG
Danske Science Gymnasier

SYDDANSK UNIVERSITET



DET NATUR- OG BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET
KØBENHAVNS UNIVERSITET

2020-4

MONA

Matematik- og Naturfagsdidaktik – tidsskrift for undervisere, forskere og formidlere

MONA udgives af Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet ved Københavns Universitet, i samarbejde med Danmarks Tekniske Universitet, Det Tekniske Fakultet og Det Naturvidenskabelige Fakultet ved Syddansk Universitet, Hovedområdet Science & Technology ved Aarhus Universitet, Det Lærerfaglige Fakultet ved Københavns Professionshøjskole, UCL Erhvervsakademi og Professionshøjskole og Danske Science Gymnasier.

Redaktion

Jens Dolin, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet (ansvarshavende)
Ole Goldbech, Københavns Professionshøjskole
Sebastian Horst, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet
Kjeld Bagger Laursen, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet

Redaktionskomité

Brian Krog Christensen, Danske Science Gymnasier
Jan Sølberg, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet
Karin Lilius, Center for Skole og Læring, Professionshøjskolen Absalon
Lars Brian Krogh, Læreruddannelsen i Aarhus, VIA University College
Martin Niss, Institut for Natur, Systemer og Modeller, Roskilde Universitet
Morten Rask Petersen, Anvendt forskning i pædagogik og samfund, UCL
Sabine Schmidt-Johansson, Afd. for Uddannelse og Studerende, Danmarks Tekniske Universitet
Steffen Elmose, Læreruddannelsen i Aalborg, University College Nordjylland
Tinne Hoff Kjeldsen, Institut for Matematiske Fag, Københavns Universitet

MONA's kritikerpanel, som sammen med redaktionskomitéen varetager vurderingen af indsendte manuskripter, fremgår af www.science.ku.dk/mona.

Manuskripter

Manuskripter indsendes per mail, se www.science.ku.dk/mona. Medmindre andet aftales med redaktionen, skal der anvendes den artikelskabelon i Word som findes på www.science.ku.dk/mona. Her findes også forfattervejledning. Artikler i MONA publiceres efter peer-review (dobbelt blindt).

Abonnement

Abonnement kan tegnes via www.science.ku.dk/mona. Årsabonnement for fire numre koster p.t. 225,00 kr., for studerende 100 kr. Henvendelser vedr. abonnement, adresseændring, mv., se hjemmesiden eller ring til tlf 70 25 55 13 (kl. 9-16 daglig, dog til 14 fredag) eller mail til mona@portoservice.dk

Produktionsplan og deadlines for indsendelse af bidrag til MONA

MONA udkommer fire gange om året, normalt på onsdagen nærmest 5. marts, 5. juni, 5. september og 5. december.

Artikelmanuskripter og forslag til aktuelle analyser modtages løbende og behandles så hurtigt som muligt. Den redaktionelle proces (inkl. peer-review) tager mindst tre måneder. Deadlines aftales individuelt.

For kommentarer, litteraturanmeldelser og nyheder er deadline normalt 2 måneder før officiel udgivelsesdag.

Omslagsgrafik: Lars Allan Haugaard/PitneyBowes Management Services-DPU
Layout og tryk: Narayana Press

ISSN: 1604-8628. © MONA 2020

Citat kun med tydelig kildeangivelse

Indhold

- 4 Fra redaktionen
- 6 **Artikler**
- 7 Hvordan uddanner vi gymnasielærere?
Claus Michelsen
- 26 Efteruddannelse i CAS – erfaringer fra fire år med CMU
Henrik P. Bang, Niels Grønbæk og Claus R. Larsen
- 46 Evaluering af modelleringsprocessen i naturfagsundervisningen
Jørgen Løye Christiansen, Karin Lilius, Kari Astrid Thynebjerg, Mari-Ann Skovlund Jensen, John Andersson og Lars Bo Kinnerup
- 65 **Aktuel analyse**
- 66 Teknologisk dannelse: Hvorfor og hvad? – Oplæg til diskussion
Keld Nielsen og Martin K. Sillasen
- 83 **Kommentarer**
- 84 Perspektiver på læring og undervisning i matematik og naturfag
Jeppé Skott
- 93 Modelleringskompetence i naturfag – hvad er det?
Line Have Musaeus
- 97 Kan modellering adskilles fra undersøgelse i grundskolens naturfagsundervisning?
Claus Auning og Sanne Schnell Nielsen
- 104 Teknologiforståelse – forståelse af begrebet teknologi
Niels Anders Illemann Petersen
- 107 Det er menneskeligt at fejle
Steen Markvorsen
- 111 **Nyheder**
- 112 Nyheder

Fra redaktionen

Så blev det årets sidste måned – et år der også inden for uddannelsessektoren har været præget af Corona-virus og de mange forskellige tiltag, retningslinjer, aflysnings- og omlægnings-til digitale løsninger osv. Det er vores indtryk at situationen *både* har givet ærgrelse over alt det man plejer som nu ikke kunne lade sig gøre, *og* nye erfaringer på rekordtid – erfaringer det ville have taget mange år at have opnået uden Corona. Disse erfaringer må vi alle prøve at få noget godt ud af. For det første kan det ske igen – og det sker løbende for enkeltskoler – at man bliver lukket ned og bedt om at lave onlineundervisning. For det andet vil det – især for de ældre uddannelsesstrin – formentlig blive mere normalt ind i mellem at benytte sig af onlineaktiviteter uden tilstedeværelse, hvilket der også kan være ganske interessante muligheder i for matematik og naturfagene. På nogen måder er vores fag særligt udfordret af at gå online, men på andre måder tror vi i redaktionen at mange undervisere inden for disse fag netop vil være i stand til at udnytte mulighederne. Vi håber at mange vil formidle herom i MONA i den kommende tid.

En anden konsekvens af den fortsatte udfordring med Corona og især den usikkerhed den medfører i forhold til at planlægge arrangementer, er at vores årlige BigBang-konference i 2021 bliver 100 % online. Det betyder at vi kommer til at mangle det at mødes og tale på tværs og opleve den særlige stemning og gejst som deltagerne skaber. Til gengæld har vi så tryk for at det vi planlægger, også med sikkerhed kan gennemføres.

MONA er som sædvanlig også online på tidsskrift.dk, så læserne både kan muntre sig med en trykt udgave og en skærmudgave. I dette nummer finder man tre artikler, en aktuel analyse og en række kommentarer til tidligere tekster. I den første af dette nummers artikler, Claus Michelsens *Hvordan uddanner vi gymnasielærere?*, beskrives hvordan der på Syddansk Universitet er udviklet en række tilbud om didaktiske aktiviteter til studerende på de naturvidenskabelige tofagsuddannelser, der har gymnasielærerprofession som en jobmulighed efter endt studium.

Den næste, *Efteruddannelse i CAS – erfaringer fra fire år med CMU*, er af Henrik P. Bang, Niels Grønbæk og Claus R. Larsen og den handler om det fundamentale skisma mellem matematikfaglig degeneration og progressive anvendelser. I artiklen skildres en tilgang til efteruddannelse som eksplicit adresserer dette dilemma. På et aktionsforskningsgrundlag bygges på de deltagende matematiklæreres engagement i at inddrage computere “uden at ofre den matematiske kernefaglighed som gymnasieuddannelserne sigter mod”. Artiklen redegør for CMUs didaktiske fundament og giver en forståelsesramme for tilgangens implementering af computere i matematikundervisningen.

I den tredje artikel, *Evaluering af modelleringsprocessen i naturfagsundervisningen*, af Jørgen Løye Christiansen, Karin Lilius, Kari Astrid Thynebjerg, Mari-Ann Skovlund Jensen, John Andersson og Lars Bo Kinnerup, præsenteres et operationelt evalueringsværktøj der har til formål at afdække og udvikle elevers kompetenceniveau i relation til arbejdet med modelleringsprocessen i udskoling. Evalueringsværktøjet udgøres af en figur i kombination med en taksonomi. Figuren viser modelleringsprocessens delprocesser og kan give lærerne ideer til hvordan de kan være i dialog med deres elever om modellering i et læringsperspektiv og planlægge aktiviteter der stilladserer elevernes kompetenceudvikling. Taksonomien karakteriserer identificerbare elevhandlinger i relation til figuren for modelleringsprocessen på fem SOLO-taksonomiske niveauer.

Vores aktuelle analyse har titlen *Teknologisk dannelse: Hvorfor og hvad?* Den er skrevet af Keld Nielsen og Martin Sillasen og udformet som et oplæg til diskussion. Undervejs diskuteres behovet for en teknologisk dannende undervisning, og der gives et bud på indhold og mål for en sådan undervisning. Der har ikke tidligere været formuleret en samlet dagsorden for teknologisk dannelse i grundskolen, her forstået som en dannelse der giver eleverne viden og færdigheder til at være borgere i en fremtid med store systemiske udfordringer knyttet til teknologi, eksempelvis om-lægning af transport- og energisystemer, biodiversitetskrise og håndtering af globale klimaændringer. Forfatterne argumenterer for at man i disse bestræbelser bør skelne mellem at undervise i teknologiens funktionalitet og i en række meta-aspekter, som de betegner som teknologiens "betydning".

Kommentarafsnittet indledes med Jeppe Skotts diskussion af Jan Sølbergs *To metaforer for læring og kompetenceorienteret undervisning* som vi bragte i *MONA 2020-2*. Den har overskriften *Perspektiver på læring og undervisning i matematik og naturfag*.

Jørgen Løye Christiansens *Modeller og modellering i grundskolens naturfag*, i *MONA 2020-3*, får her to skriftlige reaktioner: *Modelleringskompetence i naturfag – hvad er det?* af Line Have Musaeus, samt *Kan modellering adskilles fra undersøgelse i grundskolens naturfagsundervisning?* som er skrevet af Claus Auning og Sanne Schnell Nielsen.

Om Keld Nielsen og Martin K. Sillasens aktuelle analyse i *MONA 2020-3*, *Teknologi-forstyrrelse: Hvad mener Børne- og Undervisningsministeriet, når de skriver "teknologi"*, bringer vi kommentaren *Teknologiforståelse – forståelse af begrebet teknologi* af Niels Anders Illemann Petersen. Og til sidst har vi Steen Markvorsens *Det er menneskeligt at fejle* som kaster et bredt perspektiv over Kasper Bjerling Søby Jensens *STX-studenternes algebraiske færdigheder*.

Vi ønsker alle en god julemåned og afslutning på 2020 – samt god læselyst!

Artikler

I denne sektion bringes artikler der er vurderet i henhold til MONA's reviewprocedure og derefter blevet accepteret til publikation.

Artiklerne ligger inden for følgende kategorier:

- Rapportering af forskningsprojekt
- Oversigt over didaktisk problemfelt
- Formidling af udviklingsarbejde
- Oversættelse af udenlandsk artikel
- Uddannelsespolitisk analyse

Hvordan uddanner vi gymnasielærere?



Claus Michelsen, Syddansk
Universitet

Abstract: Artiklen formidler hvordan der på Syddansk Universitet er udviklet en række tilbud om didaktiske aktiviteter til studerende på de naturvidenskabelige tofagsuddannelser, der har gymnasielærerprofession som en potentiel jobmulighed efter endt studium. Med afsæt i fire studerendes oplevelser af de didaktiske aktiviteter diskuteres det hvordan universiteterne kan bidrage til at styrke gymnasielærerprofessionen og give de kommende gymnasielærere en oplevelse af sammenhæng mellem videnskabsfag og undervisningsfag og forberede dem til på et videnskabeligt grundlag at bidrage til udvikling af undervisningspraksis.

Introduktion

Mens læreruddannelsen er en ideologisk kampplads der må leve med skiftende politiske vinde og regelmæssigt tilbagevendende såkaldte reformer, så er der sjældent debat om uddannelsen af lærere til de gymnasiale uddannelser. Sidstnævnte har sine højdepunkter når der med jævne mellemrum annonceres en gymnasiereform hvor de gymnasiale uddannelsers struktur og indhold sættes på dagsorden. Debatten handler som regel om typen af strukturelle og indholdsmæssige ændringer og de udfordringer lærerne står overfor i forbindelse med implementeringen. Udfordringerne kalder typisk på et behov for et fagdidaktisk kompetenceløft af lærerne (se fx Mathiasen 2016) og dermed efteruddannelse af praktiserende lærere. En årsag til den beskedne opmærksomhed på uddannelse af gymnasielærere kan selvfølgelig være at den nuværende uddannelsesmodel er velfungerende og opfylder de politiske og samfundsmæssige ønsker til uddannelse til gymnasielærerprofessionen. Der kan dog umiddelbart identificeres et par væsentlige problemstillinger. For det første har der i flere år været en efterspørgsel på naturvidenskabelige lærere til de gymnasiale uddannelser der overstiger produktionen af kandidater med naturvidenskabelige fagkombinationer. Selvom besparelser og vigende ungdomsårgange i de seneste år har reduceret jobmængden på det gymnasiale område, så vil det stadig være en udfordring at rekruttere lærere til

at varetage undervisningen i de naturvidenskabelige fag. For det andet fik de skriftlige eksamensresultater i matematik efter den seneste reform af de gymnasiale uddannelser i 2017 en omfattende medieomtale da kravet for at bestå eksamen styrtdykkede fra 33 procent rigtige svar til 21 procent (se fx Jensen 2019). Udøvelsen af hvervet som gymnasielærer fordrer således udover faglig ballast i sine fag også pædagogisk og didaktisk indsigt i hvilke udfordringer elevernes store faglige spredning, manglende motivation og arbejdsindsats, tidspres og fagligt samspil stiller underviseren overfor.

Denne artikel skal invitere til opmærksomhed på og debat om uddannelse af lærere til at varetage undervisningen i de naturvidenskabelige fag på de gymnasiale uddannelser og specielt på universiteternes rolle. Invitationen tager udgangspunkt i de erfaringer vi på Syddansk Universitet har gjort os med at udvikle særlige studieaktiviteter for studerende med interesse for gymnasielærerprofessionen. Af flere grunde præsenteres erfaringerne gennem de studerendes perspektiv på en universitetsuddannelse som en vej til en karriere som underviser på de gymnasiale uddannelser. For det første rekrutteres gymnasielærere typisk fra universiteternes tofags kandidatuddannelser. Dernæst har jeg i mine 23 år som forsker og underviser i matematikkens og naturfagenes didaktik ved Syddansk Universitet oplevet en stærkt stigende interesse for både didaktik og gymnasielærerhvervet blandt de studerende på de naturvidenskabelige studier. Selvom jeg ikke kan fremlægge videnskabelig evidens, vil jeg fremsætte den påstand at hovedparten af de studerende ikke som tidligere giver udtryk for at gymnasielærer bare er noget man altid kan blive. Tværtimod er der blandt mange studerende en klar bevidsthed om at en tofags kandidatuddannelse er vejen til et attraktivt og spændende job i gymnasieskolen. Sluttelig er der på de naturvidenskabelige studier ved Syddansk Universitet i dag nogle særlige muligheder for at de studerende tidligt i deres studium kan beskæftige sig med deres fags didaktik og en eventuel fremtidig karriere i gymnasieskolen.

Uddannelse af gymnasielærere

Ud over de allerede nævnte årsager til den oversete debat om uddannelse af gymnasielærere kan der være at vi i Danmark i modsætning til vores nabolande ikke har en egentlig gymnasielæreruddannelse forankret på en uddannelsesinstitution. Siden 1919 har vejen til en karriere i det gymnasiale uddannelsessystem gået gennem en bestået universitetsuddannelse med et eller flere gymnasierelevante fag efterfulgt af pædagogikum, der er et uddannelsesforløb med både praksisforankrede og teoretiske elementer. Meget groft kan den grundlæggende tanke i den danske uddannelse af gymnasielærer beskrives ved at den kommende lærer først tilegner sig et højt fagligt niveau i sine fag og derefter gennem kursuslignende aktiviteter og en form for side-mandsoplæring på en gymnasial uddannelsesinstitution stifter bekendtskab med pædagogisk og fagdidaktisk teori og møder undervisningspraksis.

Selvom opdelingen i universitetsuddannelse og pædagogikum har omkring 100 år på bagen, så er der løbende foretaget mere eller mindre omfattende ændringer. Ved universiteterne i Roskilde og Aalborg forsøgte man i 1970'erne at integrere pædagogikum i det faglige studium, men tanken blev ret snart opgivet (se fx Kampmann 2020). Og i starten af det nye årtusinde indgik Aarhus Universitet og Undervisningsministeriet en aftale om som et treårigt forsøg at oprette en ny uddannelse som skulle målrette naturvidenskabelige studerende til at blive gymnasielærere i matematik, fysik og kemi, og hvor man efter afsluttet uddannelse kunne gå direkte ind som underviser på et gymnasium uden først at skulle igennem et pædagogikumforløb (se fx Mikkelsen 2000). Forsøget var imidlertid kortlivet og har ikke sat sig synlige spor i debatten om gymnasielæreruddannelsen.

I dag er pædagogikum et reguleret forløb med tydelige krav for at kvalificere sig til at undervise på gymnasialt niveau. Der skelnes mellem faglig kompetence og undervisningskompetence (Undervisningsministeriet 2019). Faglig kompetence i et eller flere fag i den gymnasiale fagrække er en forudsætning for at blive fastansat gymnasielærer. For at opnå faglig kompetence skal læreren i de enkelte undervisningsfag have et fagligt niveau der opfylder de såkaldte faglige mindstekrav. Disse svarer til et uddannelsesforløb der er gennemført på et universitet og af et omfang på 120 ECTS-point på centralfagsniveau eller 90 ECTS-point på sidefagsniveau. Således fremgår det fx af bilag til Retningslinjer for universitetsuddannelser rettet mod undervisning i de gymnasiale uddannelser samt undervisning i gymnasiale fag i eux-forløb at kandidatens uddannelse skal omfatte studieaktiviteter med et samlet omfang på mindst 120 ECTS-point indeholdende: obligatorisk kernestof på mindst 60 ECTS-point, dybdestof på op til 20 ECTS-point og breddestof på ca. 30 ECTS-point samt fagdidaktik og videnskabsteori på ca. 10 ECTS-point (Undervisningsministeriet 2019). Hovedvægten er her på fagindholdet, men med etableringen af fagdidaktiske miljøer i naturvidenskab på alle danske universiteter inden for de sidste 20 år har alle tofags kandidatstuderende i dag mulighed for at følge et fagdidaktisk kursus, og pædagogikumuddannelsen er således ikke længere den nybagte gymnasielærers første møde med fagdidaktikken.

For at have undervisningskompetence skal man have faglig kompetence og bestået prøver i praktisk og teoretisk pædagogikum. Sidstnævnte er normalt afslutningen på den etårige pædagogikumuddannelse, der består af både et teoretisk og et praktisk pædagogikum. Ifølge Undervisningsministeriets pædagogikumbekendtgørelse er formålet med pædagogikum at give nyansatte lærere i de gymnasiale uddannelser de nødvendige pædagogiske kompetencer til at arbejde som lærere i en gymnasial uddannelse, samt at læreren aktivt kan indgå i udviklingen af de gymnasiale uddannelser og i disses samspil med det omgivende samfund. Praktisk pædagogikum foregår som udgangspunkt på kandidatens egen skole, mens teoretisk pædagogikum gennemføres ved et universitet (Undervisningsministeriet 2018).

Den stille debat om gymnasielæreruddannelse

Gymnasielæreruddannelse i MONA

Et blik på den efterhånden omfattende samling af MONA-artikler om matematik- og naturfagsdidaktik bekræfter artiklens indledende påstand om et næsten fraværende fokus på gymnasielæreruddannelse. I en af de få MONA-artikler om gymnasielæreruddannelse adresserer Laursen (2008) under temaet fødekæder i læreruddannelser udfordringerne med at rekruttere til de naturvidenskabelige gymnasielæreruddannelser. Udfordringerne anskues i en kontekst hvor der er en modsætning mellem matematikstuderendes dokumenterede ønsker om at blive gymnasielærer og universiteternes forestilling om generalistuddannelser. Med henvisning til et amerikansk projekt understreges betydningen af rollemodeller, og der peges på konkrete initiativer som universiteterne kan iværksætte med henblik på at tage medansvar for opretholdelse af fødekæden til naturvidenskabelige gymnasielæreruddannelser. Initiativerne er bl.a. didaktikkurser allerede i studiestarten, specielle seminarer for didaktisk interesserede studerende, feltture hvor fx god gymnasieundervisning opleves/observeres, samt deltagelse i de faglige foreningers møder og konference. I en kommentar til artiklen peger Michelsen (2008) på at et fags formidlingsaspekt må være en naturlig del af undervisningen både på universitets- og gymnasialt niveau, og at både universiteterne og gymnasieskolen må vedkende sig et ansvar og etablere konstruktive og fremadrettede samarbejdsrelationer med henblik på at opretholde fødekæden til naturvidenskabelige gymnasielæreruddannelser.

MONA arrangerede gennem flere år en årlig konference, der bl.a., omfattede workshopaktiviteter inden for et overordnet konferencetema. Dette var i 2009 "Flere og bedre lærere til matematik og naturfagene – hvorfor og hvordan?". En workshop havde uddannelse til gymnasielærer på programmet. Blandt emnerne var en regulær 5-årig gymnasielæreruddannelse med eventuelle bidrag fra professionshøjskolerne. Også styrker og svagheder ved pædagogikum samt universiteternes bidrag til at få flere og bedre gymnasielærere blev drøftet. Der var i gruppen enighed om at en gymnasielærer skal være i besiddelse af kompetencer indenfor såvel fag som fagdidaktik (MONA 2009).

Med udgangspunkt i gymnasireformen fra 2017 stiller Mathiasen, Melchjorsen og Jensen (2019) spørgsmålet: Hvad skal gymnasielærere inden for sciencefagene kunne i morgen og på længere sigt? Spørgsmålet besvares ved på baggrund af viden fra forsknings- og udviklingsarbejde samt konkrete erfaringer fra undervisningsaktiviteter at udfolde en vifte af udfordringer hvad angår de didaktiske rammer og præmisser for gennemførelse af undervisningen i sciencefagene. Udfordringerne kræver "komplekse kompetencer", og der oplistede en række konkrete bud på tiltag, fx øget fokus på udvikling af faglige og pædagogiske tilgange på naturvidenskabelige studieretninger og udbredelse af nyeste pædagogiske og didaktiske viden. Tiltagene handler fortrins-

vis om kompetenceudvikling af praktiserende gymnasielærere. Dog peges der på at udfordringerne også kan adresseres til universiteterne med henblik på at nytænke kandidatuddannelserne til gymnasielærere. Netop den pointe fremhæver Dixen (2020) i sin kommentar til artiklen og peger på behovet for en ny kandidatuddannelse hvor fag og didaktik løbende aktualiseres.

Gymnasielæreruddannelse i uddannelsespolitiske dokumenter

Centrale uddannelsespolitiske dokumenter indeholder ikke opsigtsvækkende visioner om uddannelse af gymnasielærere. I starten af 2000-tallet udsendte Undervisningsministeriet en række faglige rapporter, herunder "Kompetencer og matematiklæring" (også kaldet KOM-rapporten) om matematik (Niss & Jensen, 2002) og "Fremtidens naturfaglige uddannelser" om naturfagene (Undervisningsministeriet 2003). Ifølge KOM-rapporten er det en naturlig del af matematiklærerprofessionen at være i stand til i et fagligt perspektiv at reflektere over grundlæggende didaktiske spørgsmål og deres indbyrdes sammenhæng. Rapporten gør opmærksom på at inden for gymnasiområdet er det særlig de internt faglige, indholdsmæssige problemstillinger som fylder, og at de skygger for en diskussion med flere nuancer. Som årsag hertil peger rapporten på at gymnasielærere i matematik føler sig mindre kompetente på didaktiske områder i sammenligning med deres solide faglige kundskaber. Rapporten om naturfagene peger på at beskæftigelsesmuligheden som gymnasielærer ikke er særlig eftertragtet blandt universitetsstuderende, og anbefaler en genovervejelse af uddannelsen til gymnasielærer, fx ved at indføre kommunikations-, formidlings- og fagdidaktiske elementer i de naturvidenskabelige universitetsuddannelser. Endvidere anbefaler rapporten at professionshøjskoler og universiteter undersøger mulighederne for at udvikle gymnasielærerlinjer på de naturvidenskabelige uddannelser og fælles moduler som udbydes til kandidatstuderende med interesse for at blive gymnasielærer samt evt. til lærerstuderende.

I 2018 præsenterede den daværende regering en national naturvidenskabsstrategi med fem konkrete indsatsområder. Et af indsatsområderne er fagligt og didaktisk endnu dygtigere lærere i naturvidenskab. Fokus er på grundskolelærere, og der er kun et mindre afsnit om kompetenceudvikling af lærere på ungdomsuddannelser. Her er anbefalingen at lærernes faglige og fagdidaktiske kompetencer primært skal have et løft gennem netværk og vidensdeling (Regeringen 2018). Den nationale naturvidenskabsstrategi havde en forløber i form af den mere omfattende rapport "Sammen om naturvidenskab", som blev udarbejdet af en strategigruppe nedsat af Undervisningsministeriet. Rapporten er med 14 anbefalinger mere vidtgående og visionær end udspillet fra Regeringen. I et afsnit om styrket grunduddannelse af lærere og pædagogisk personale anbefaler rapporten at professionshøjskoler og universiteter undersøger mulighederne for at udvikle gymnasielærerlinjer og fælles moduler om

undervisning i naturvidenskab og teknologi som udbydes til kandidatstuderende med interesse for at blive gymnasielærere (ASTRA 2017).

Gymnasielæreruddannelse i et internationalt perspektiv

Som nævnt i indledningen har vi i Danmark sammenlignet med vores nabolande en særlig situation hvad angår uddannelse af gymnasielærere. Fx uddannes gymnasielærere og grundskolelærere sammen på de svenske læreruddannelser, der udbydes af professionshøjskoler (högskolar) og universiteter, og den enkelte lærer vælger undervejs at specialisere sig inden for en af de fire grupper: 1.-3. klasse, 4.-6. klasse, 7.-9. klasse eller gymnasiet. En tilsvarende model har eksisteret i Finland siden 1971, hvor både grundskolelærere og gymnasielærere uddannes på universiteterne. De fleste finske universiteter har i dag både institut for uddannelse og institut for læreruddannelse hvor førstnævnte har til opgave at forske i almen uddannelse og arbejde med udfordringer på det administrative og planlægningsmæssige niveau, mens sidstnævnte fokuserer på læreruddannelse både forsknings- og uddannelsesmæssigt. I Norge er der en lektoruddannelse som er en femårig læreruddannelse til 8.-13. klassetrin, som fører til en kandidatgrad og giver undervisningskompetence i to fag i de gymnasiale uddannelser (se fx Danmarks Evalueringsinstitut 2009, Weisdorf 2017, Kompetanse Norge 2020). Der er ikke mange lighedspunkter mellem uddannelsen af gymnasielærere i vores nordiske nabolande og i Danmark. I modsætning til uddannelsen i Danmark følger Sverige, Finland og Norge den internationale tendens hvor man har en egentlig læreruddannelse på universitetsniveau.

Internationalt er der en udbredt anvendelse af begrebet Pedagogical Content Knowledge (PCK) til at beskrive lærers faglighed og dermed også vidensgrundlaget for deres uddannelse. Begrebet PCK blev introduceret af Shulman (1986), og i sin oprindelige betydning blev begrebet anvendt til at skelne mellem tre typer af lærerviden (i) faglig indholdsviden, (ii) pædagogisk indholdsviden og (iii) viden om læreplaner. Begrebet er videreudviklet og finder i dag mange forskellige anvendelser, herunder til design og analyse af vidensdomæner og indholdselementer i læreruddannelser. Krogh og Andersen (2008) anvender PCK-begrebet som udgangspunkt til at undersøge og udvikle en model for naturfagslærernes vidensgrundlag. I den forbindelse bemærkes det at der er stor forskel på en gymnasie- og en grundskolelærers uddannelsesbaggrund. Mens gymnasielæreruddannelsen har sin tyngde inden for domænet indholdsviden, eller mere præcist faglig viden med særligt fokus på fagenes produkter, så har grundskolelæreuddannelsen i højere grad fokus på pædagogisk indholdsviden og almen didaktik. Uddannelsen af gymnasielærere i Danmark adskiller sig således på flere områder både fra grundskolelæreruddannelsen i Danmark og fra den internationale tilgang til struktur og indhold i en læreruddannelse.

Case: Universitetsuddannelse med elementer af gymnasielæreruddannelse

Fagdidaktiske studieaktiviteter på en universitetsuddannelse

Ligesom det var tilfældet på de fleste danske universiteter, blev der i slutningen af 90'erne taget de første skridt til etablering af et fagdidaktisk miljø inden for det naturvidenskabelige område på Syddansk Universitet. På initiativ af Det Naturvidenskabelige Fakultet og de fynske gymnasierektorer blev der i 1997 ansat en erfaren gymnasielærer i en stilling som kandidatstipendiat i naturvidenskabelig formidling på gymnasialt niveau. Som et resultat heraf blev der oprettet en frivillig studiegruppe for studerende med titlen "Didaktisk seminar" og et månedligt seminar, "MFK Debatforum", for gymnasielærere, universitetsansatte og studerende. I 2003 blev den første bacheloropgave i fagdidaktik afleveret, og der er indtil nu afleveret mere end 50 fagdidaktiske bachelor- og specialeopgaver. I 2004 blev det didaktiske seminar et valgfrit kandidatkursus, "Naturvidenskabernes didaktik", på 5 ECTS. I 2005 fulgte endnu et valgfrit kandidatkursus på 5 ECTS, "Fagsamspil og modellering". Som et resultat af den løbende udvikling af disse fagdidaktiske aktiviteter er der i dag en særlig situation på naturvidenskabelige uddannelser ved Syddansk Universitet hvor de studerende i modsætning til hvad der er tilfældet på de øvrige universiteter, allerede på første studieår af bacheloruddannelsen tilbydes fagdidaktiske studieaktiviteter.

Alle studerende på de naturvidenskabelige bacheloruddannelser ved Syddansk Universitet afslutter første studieår med et projektforsløb på 10 ECTS. Her knyttes de studerende i grupper til forskningsmiljøerne ved Det Naturvidenskabelige Fakultet og arbejder med en videnskabelig problemstilling i samarbejde med forskningsmiljøet. De studerende præsenterer deres projekt ved en postersession, der markerer afslutningen på første studieår. Siden 2014 er der i den forbindelse udbudt projekter hvor de studerende skal arbejde med videnskabelig problemstilling inden for fagdidaktik, fx hvilket fagdidaktisk teorigrundlag er der for undersøgelsesbaseret læring, og hvilke muligheder og begrænsninger er der i forbindelse med implementeringen af teorierne i praksis? Typisk vælger 10 studerende hvert år at arbejde med et fagdidaktisk førsteårsprojekt. (der vil i forbindelse med analysen af de semistrukturerede interview senere i artiklen blive givet eksempler på disse projekter). En del af disse studerende vælger i løbet af deres bacheloruddannelse at deltage i en individuel studieaktivitet med et fagdidaktisk tema på et omfang af 5-10 ECTS eller skriver bacheloropgave i fagdidaktik. På de naturvidenskabelige kandidatuddannelser var kurset på 10 ECTS "Fag, fagdidaktik og fagsamspil" indtil for nylig obligatorisk for alle tofags kandidatstuderende. Kurset introducerer som lignende kurser på de øvrige danske universiteter de studerende til de naturvidenskabelige fags didaktik. Kurset afrundes med et særligt forløb om fagsamspil med henblik på at forberede de studerende på de didaktiske udfordringer i det formelle krav i fagenes læreplaner om fagligt

samspil. Selvom Studienævnet i foråret 2019 med henvisning til fagtrængsel besluttede at ændre kursets status fra obligatorisk til valgfrit, så vælger så at sige alle de tofags-kandidatstuderende kurset. Kandidatstuderende bliver desuden tilbudt et valgfrit kursus på 10 ECTS, "Undervisningspraksis i de naturvidenskabelige fag", der bl.a. omfatter forskningslitteratur om lærerprofessionen og praktik på et gymnasium. En del af de studerende vælger også at lave en individuel studieaktivitet og /eller skrive speciale i fagdidaktik. Der således en gruppe studerende der i deres studieforløb har fagdidaktiske aktiviteter svarende til op til 90 ECTS, altså halvandet år. Denne gruppe er særlig interessant hvis man ønsker at undersøge hvilke forventninger og ønsker studerende med gymnasierrelevante fag har til en uddannelse der handler om deres fag på et videnskabeligt niveau og potentielt kan føre til en karriere i uddannelses-sektoren. Der er for tiden på årsbasis involveret omkring 40 studerende i ovennævnte aktiviteter.

Didaktiske studieaktiviteter på en universitetsuddannelse

Denne gruppe er udgangspunkt for et casestudie baseret på analyse af semistrukturerede interviews med fire studerende der har deltaget i flere af de didaktiske studieaktiviteter beskrevet ovenfor. De studerende er på forskellige trin i deres uddannelse og har forskellige fagkombinationer. Derved afspejler de diversiteten i studenterpopulationen der deltager i de didaktiske studieaktiviteter. Hovedparten af de studerende har matematik som det ene fag kombineret med et naturvidenskabeligt fag, typisk kemi eller biologi, eller et fag uden for den naturvidenskabelige fagrække, typisk dansk, engelsk, historie, religion, filosofi, idræt, psykologi eller samfundsfag. Enkelte har to eksperimentelle fag, typisk biologi og kemi, mens ganske få har et eksperimentelt fag kombineret med et humanistisk fag, fx biologi og psykologi. Hensigten med casestudiet er på den ene side at præsentere en fortælling om de udfordringer og muligheder studerende med et ønske om at blive gymnasielærer møder på et studium som både er præget af traditionel generalisttænkning og tilbyder professionsspecifikke aktiviteter, og på den anden side identificere nogle tiltag der kan give kommende gymnasielærere tidssvarende videnskabsfaglige og undervisningsfaglige kompetencer.

Interviewene med de fire studerende blev gennemført i perioden fra december 2019 til juni 2020, og hvert interview var på ca. 35 minutter. Med blik på den efterfølgende analyse havde interviewene følgende temaer som omdrejningspunkt:

- Motivation for valg af studiet og didaktiske aktiviteter.
- Erfaringer med, oplevelse og udbytte af didaktiske aktiviteter i studiet.
- Oplevelse af relationerne mellem studiets fagspecifikke kurser og didaktiske aktiviteter.
- Forventninger til studiet i relation til en fremtidig karriere som gymnasielærer.

- Forventede udfordringer i forbindelse med varetagelse af hvervet som gymnasielærer.
- Det optimale studieforløb for en fremtidig gymnasielærer.

De studerende fik i god tid inden interviewene ovenstående temaer tilsendt. Alle interviews blev audiooptaget og efterfølgende transskriberet. Med henblik på at anonymisere de interviewede studerende omtales de i det efterfølgende som henholdsvis Studerende1, Studerende2, Studerende3 og Studerende4. I det følgende præsenteres resultaterne af analysen af interviewene med de fire studerende.

Studerende 1

Studerende1 er på 3. semester af bacheloruddannelsen, studerer matematik og forventer at vælge kemi som sidefag, men har også kort overvejet at vælge psykologi. Studerende1 deltog i et fagdidaktisk førsteårsprojekt med titlen "Funktionsbegrebet i og uden for matematik". Sammen med sin projektgruppe udviklede Studerende1 et læringsspil bestående af trekantede brikker hvor der på hver af siderne er en repræsentation af en funktionssammenhæng i matematik eller et andet fag. Spillet går så ud på at lægge et puslespil hvor siderne i brikkerne matcher hinanden, fx matcher " $f(x) = a/x$ " med "I en idealgas med konstant temperatur er tryk og volumen omvendt proportionale". Spillet blev afprøvet i en 1. gymnasieklasse hvor projektgruppen observerede eleverne med særligt fokus på elevernes kommunikation og anvendelse af repræsentationer og interviewede to elever om deres oplevelse af spillet. Studerende1 beretter med stor begejstring om projektet og fremhæver specielt anvendeligheden af det udviklede spil:

"Jeg synes det var spændende at prøve at lave noget hvor du kan gå ud og sige: "Hej, det her vi lavet, og det fungerer på denne måde. Kan man bruge det til noget?" Også havde vi noget teori og hænge det op på. Og vi skulle også lave en poster."

Det er Studerende1's opfattelse at de i førsteårsprojektgruppen hurtigt var enige om hvad didaktik handler om. Det gav dem nogle ord at sætte på hvad der sker når man lærer. Gruppen har stadig kontakt og taler om at det kunne være sjovt igen at lave et undervisningsforløb. To af de øvrige deltagere i gruppen skriver i øvrigt bacheloropgave i didaktik. For Studerende1 er det vigtigt at man som underviser kan udvikle sig:

"Der er jo en undervisningsplan man skal følge – så vidt jeg husker. Jeg tror der er mange der bare følger den slavisk. Men hvis man selv kunne komme med nogle indskud en gang i mellem som måske er lidt uortodokse, og så afprøve og se om det virker. Det ville man få

meget ud af både som elev og lærer – ligesom udvikle sig. Man skal huske også at arbejde med sig selv når man er underviser.”

Studerende1 vil være underviser og ser en didaktisk aktivitet som førsteårsprojektet som en god afveksling i et studium med meget teoretisk matematik. Førsteårsprojektet har givet Studerendel god indsigt i hvad det betyder at arbejde med didaktik. I arbejdet med førsteårsprojektet indgik der læsning af didaktisk forskningslitteratur på engelsk om funktionsbegrebet. Dette finder Studerendel udfordrende, men også anderledes og interessant:

“Du skulle ikke læse om beviser og sådan noget. Det er mere humanistisk, jeg ved ikke om man kan sige subjektivt eller dagligdags. Man kan bruge det i dagligdagen, det er ikke som i Calculus, hvor man regner opgaver. (...) didaktik er noget man kan gå ud og bruge.”

Studerendel refererer til sit møde med praksis både i forbindelse med sit hverv som instruktør i et matematikkursus for studerende i biokemi og molekylær biologi og ved observationerne i en gymnasieklasse i forbindelse med førsteårsprojektet og reflekterer over udfordringerne i forhold til at skulle undervise elever eller studerende der ikke er lige så motiverede for matematik som en selv:

“Man skal jo vinkle det [matematik] lidt mere til dem end når man er til undervisning her [universitetet], så kan man godt bare tale meget matematik – og folk kan godt følge med. Det er lidt sjovt.”

Studerendel vil gerne lære mere didaktisk teori da det kan hjælpe til at forstå undervisningen, og ser frem til at blive gymnasielærer:

“Hvis man kan leve af at lære andre matematik, så er det bare fedt.”

At få alle med og motivere eleverne ser studerendel som de første udfordringer når matematikstudiet en gang skal skiftes ud med jobbet som gymnasielærer:

“Der er jo det at de alle sidder med deres Facebook, men det gør de jo ikke hvis de bliver motiveret.”

Studerende2

Studerende2 studerer matematik med religion som sidefag og er på 5. semester af bacheloruddannelsen. Studerendel har deltaget i et fagdidaktisk førsteårsprojekt og skrevet individuel studieopgave og bacheloropgave i fagdidaktik. I førsteårsprojektet

undersøgte Studerende2 sammen med sin gruppe gennem en kvantitativ undersøgelse gymnastiklæreres kendskab til og anvendelse af IBSME (Inquiry Based Science and Mathematics Education). Inden starten på sin naturvidenskabelige uddannelse var Studerende2 indskrevet på læreruddannelsen i et år og gennemførte bl.a. et praktikforløb. Erfaringerne fra læreruddannelsen spiller en stor rolle for Studerende2's opfattelse af mulighederne for at beskæftige sig med fagdidaktiske og pædagogiske emner i sit universitetsstudium:

“Læreruddannelsen er meget orienteret mod det didaktiske og pædagogiske – rigtig meget. De er faktisk hinandens modsætninger når man kommer på universitetet. Det faglige niveau er ikke højt på læreruddannelsen, men det er ligesom de to ting lige er vendt om, det faglige niveau er rigtig højt på universitetet, mens pædagogik og didaktik er manglende.”

I den forbindelse peger Studerende2 på, at der ikke nødvendigvis skal være en adskillelse af faglige og fagdidaktiske kurser:

“Når man havde undervisning på læreruddannelse først, så havde man det faglige lidt først, fx brøker, og så kom man til hvordan man underviser i brøker, og hvordan eleverne lærer brøker. På kandidatuddannelsen kunne man, tænker jeg, have små kurser i fx differentialregning hvor du tager differentialregning med henblik på gymnasiet, for på universitetet kommer du flere niveauer over gymnasiet, og det kan faktisk godt være svært at komme tilbage.”

Ifølge Studerende2 er de didaktiske tilbud ikke tilstrækkelig synlige på universitetet, og ved jobmesser og karriearrangementer gøres der ikke meget ud af at præsentere gymnasielærerjobbet. Hvis man vil tone sin uddannelse i retning af et fremtidigt virke i uddannelsessektoren, så skal man være opsøgende og tage initiativer og valg:

“Hvis jeg ikke havde haft førsteårsprojektet, havde jeg ikke vidst hvor jeg skulle starte for at komme i gang med noget didaktik (...) Jeg har ikke fået nogen vejledning, det har været mit helt eget valg.”

Studerende2 ser frem til sit kandidatstudium og kurset i fagdidaktik og efterspørger generelt flere tilbud, bl.a. om praktik:

“Nu er det jo valgfrit om man vil ud og have praktik. Jeg synes godt der kunne være et krav om praktik – og mere end de syv uger på det valgfrie kursus.”

Ønsket understreges af Studerende2 med en henvisning til at der på flere kandidatuddannelser, fx psykologi, er en ret omfattende praktikperiode.

Studerende 2's valg af den individuelle studieopgave og bacheloropgaven var bl.a. motiveret af deltagelse i "Laboratorium for matematikundervisning" der er et tre-årigt forsknings- og udviklingsprojektet om undersøgende og anvendelsesorienteret matematikundervisning med deltagelse af mere end 50 lærere fra grundskolen og gymnasiale ungdomsuddannelser. Projektets aktiviteter var organiseret i lokale udviklingsteams hvor lærerne i samarbejde med en fagdidaktisk forsker udviklede konkrete undervisningsforløb. Studerende 2 var i en periode på et halvt år knyttet til et udviklingsteam med otte grundskole- og gymnasielærere og deltog i teamets månedlige workshops. Med udgangspunkt i egen observationsprotokol fra workshopperne og interviews med henholdsvis en grundskolelærer og en gymnasielærer skrev Studerende2 en individuel studieopgave om matematik- og naturfagslæreres kompetenceudvikling gennem deltagelse i læringsfællesskaber. Ved en workshop opstod der foranlediget af den i forbindelse med gymnasiereformen indførte matematiktest af gymnasieeleverne efter tre måneders grundforløb en temmelig ophedet debat mellem teamets grundskole- og gymnasielærere om årsagerne til de nybagte gymnasieelevers ikke overbevisende løsning af opgaverne. Denne hændelse har stor betydning for Studerende2's syn på hvad der venter af udfordringer som gymnasielærer:

"Den største øjenåbner var at folkeskolen og gymnasiet ikke arbejder særlig godt sammen (...). Der er et kæmpe tab for eleverne. Der mangler kommunikation, og det kunne jeg godt tænke mig mere fokus på (...). Det kunne jeg godt tænke mig at gøre noget ved når jeg kommer ud som gymnasielærer."

For Studerende2 er der ingen tvivl om at det er et job i gymnasieskolen der er målet med Studerende2's universitetsuddannelse. Matematikstudiet er spændende selvom der godt kunne være noget mere pædagogik og didaktik, men Studerende2 ser frem til at gøre en forskel som gymnasielærer i matematik:

"Og så søger jeg en anden udfordring, det er at gøre matematik interessant, at man ikke kun gør matematik fagligt, det er det også, men at man kommer ud og siger hvad det kan bruges til. Rigtig mange aner ikke hvad de skal bruge matematik til (...). Man mangler nogle redskaber til at gøre det interessant og brugbart for eleverne."

Studerende3

Studerende3 studerer matematik med idræt som sidefag og er på 3. semester af kandidatuddannelsen. Studerende3 har deltaget i et førsteårsprojekt om undersøgende undervisning i matematik og naturfagene, skrevet en bacheloropgave om hvordan

undervisning baseret på en undersøgende tilgang kan fungere som didaktisk ramme for udvikling af et tværfagligt forløb mellem idræt og matematik på C-niveau, og en individuel studieopgave på 5 ECTS om hvilke muligheder læseplan og vejledning for Matematik giver for at inddrage computational thinking i undervisningen i Matematik B. Studerende3 har også fulgt og gennemført de to didaktiske kurser på kandidatuddannelsen og har således gennemført fagdidaktiske studieaktiviteter af et omfang af 45 ECTS og forventer at skulle have yderligere aktiviteter inden for området af et omfang på 40 ECTS. Studerende3 refererer konsekvent til studiets matematikkurser som teoretiske og sætter spørgsmålstegn ved nogle af kursernes betydning for en fremtidig karriere som gymnasielærere:

“Så startede jeg på min kandidat, og jeg kan huske at jeg tænkte at nu kom der igen en række teoretiske fag som jeg kunne have svært ved at se meningen med i forhold til hvor jeg vil hen.”

Kurser som Calculus og Lineær algebra fremhæves af Studerende3 som havende værdi for et fremtidigt virke som gymnasielærer i modsætning til kurser som fx Banachrum, hvor koblingen til gymnasieundervisningen opleves fuldstændig fraværende:

“Jeg er med på at Banachrum hører til grundviden (...). Jeg synes koblingen, den er ikke til stede. Jeg har bare følt at jeg skulle igennem. Fordi det handler ikke om at få 12 i Banachrum, og det er ikke det der gør, at jeg bliver en god underviser.”

Ifølge Studerende3 er der i idrætsstudiet meget didaktik som kan bringes i spil i matematik. Bacheloropgaven om fagsamspil mellem idræt og matematik har efter Studerende3's mening givet nogle muligheder for at se sammenhæng mellem to fag, der både indholdsmæssigt og studiemæssigt er meget forskellige:

“Det er fedt at se at man som underviser i de to fag kan kombinere dem og se at det stadig giver mening, og jeg kan trække min idrætsfaglige og matematikfaglige viden.”

Studerende3 glæder sig til at skulle være gymnasielærer og komme ud blandt eleverne, men ser også nogle udfordringer. Specielt udtrykker Studerende3 bekymring for at selvom man har erhvervet didaktiske redskaber og har de bedste intentioner, så er der en risiko for at forlade sig på den traditionelle undervisning man selv har oplevet i gymnasiet – både som elev og ved besøg i klasserum i forbindelse med didaktiske aktiviteter i studiet:

“Jeg føler at jeg har fået mange redskaber som jeg kan bruge. Men så alligevel kan jeg mærke at jeg ser i udfordring i om jeg reelt i praksis kan gennemføre det, eller jeg alligevel vil have tendens til at følge en lærebog og lave traditionel undervisning (...).”

Her refererer Studerende3 til kurset “Undervisningspraksis i de naturvidenskabelige fag”, hvor der bl.a. indgår en 7 ugers praktikperiode på en ungdomsuddannelse med observation af undervisning og udførelse af egen undervisning som videofilmes og drøftes i et lektionsstudie med de øvrige studerende på kurset. Mere praktik og tidligere i studiet vil efter Studerende3’s opfattelse bidrage til at man bliver bedre forberedt til at varetage undervisningen i gymnasiet:

“Det kunne være fedt at komme rigtig ud i praktik – komme ud i et klasserum (...), og det skulle være i slutningen af bacheloruddannelsen (...). Der er jo pædagogikum, men hold op der har jeg jo allerede ansvaret.”

Studerende4

Studerende4 har netop forsvaret sin specialeopgave hvor temaet er forskelle i gymnasieelevers motivation for kemi og biologi. Med udgangspunkt i klassisk motivations-teori undersøges hypotesen at gymnasieelever finder biologi mere motiverende end kemi, ved brug af mixed metode med en kvantitativ spørgeskemaundersøgelse med deltagelse af 454 gymnasieelever og seks kvalitative interviews med gymnasieelever. Studerende4 har fagene kemi og biologi og har fulgt kurserne “Fag, fagdidaktik og fagsamspil” og “Undervisningspraksis i de naturvidenskabelige fag” på kandidatuddannelsen. I førstnævnte kursus deltog Studerende4 et i et projekt om fagsammenspil mellem kemi og biologi og udviklede et undervisningsforløb omhandlede enzymer og reaktionshastigheder. Først på kandidatuddannelsen blev Studerende4 opmærksom på tilbuddene om didaktiske aktiviteter:

“Jeg var længe misundelig på mine studiekammerater på idræt hvor de allerede det første halvandet år på studiet havde forløb hvor de var i gymnasiet for at undervise.”

Studerende4 havde i starten af sit studium ikke klare forestillinger om hvilke jobmuligheder uddannelsen kunne føre til. I forbindelse med deltagelsen i de didaktiske aktiviteter bliver Studerende4 opmærksom på gymnasiet som en fremtidig arbejdsplads:

“Da jeg fik didaktik, fik jeg et formål med at gå på universitetet. Før var det sådan at man havde nogle kurser som måske ikke var fagligt spændende eller måske fagligt udfordrende, og så skulle jeg have en grund for at lægge min energi i det.”

Studerende4 ser gerne at der tidligt i studiet er mulighed for at deltage i didaktiske aktiviteter, men understreger at det videnskabsfaglige også skal have en central plads:

“Hvis jeg nu ikke kan lide at være gymnasielærer, så ved jeg ikke hvad jeg så skal gøre. Jeg føler det er det dårlige ved at have taget de der didaktikkurser at jeg ikke er kemiker. Jeg vil ikke kunne varetage et kemikerjob.”

Et par uger før specialeeksamen blev Studerende4 tilbudt et årsvikariat på et gymnasium og et par dage før interviewet til denne artikel deltager Studerende4 i sommerfrokosten på sin kommende arbejdsplads. Her faldt samtalen med kommende kolleger på Studerende4's speciale:

“Jeg synes at de der motivationsteorier som jeg arbejdede med, er spændende. Det er også noget jeg kan høre at mine kommende kollegaer er interesserede i at høre mere om (...) De er også meget imponerede over at jeg har kunnet lave et speciale om didaktik. Mange af dem snakkede om at de slet ikke havde haft didaktik inden de begyndte at undervise. Mange sagde: at så er du jo godt klædt på til at undervise!”

Den opfattelse deler Studerende4 ikke og udtrykker bekymring for at skulle bevæge sig fra et højt fagligt niveau i kemi til kemiundervisningen på gymnasialt niveau. Bekymringen er dog ikke større end at Studerende4 har en drøm om at udvikle sin undervisning:

“På et tidspunkt når jeg sådan lige er faldet til i lærerrollen, gad jeg godt eksperimentere lidt med min undervisning og se hvad der virker. Det gad jeg godt på sigt. Det kunne godt være min drøm at lave noget eksperimenterende med min undervisning.”

Gymnasielæreruddannelse på universitetet

Motiverede studerende

Selvom universitetsstudierne i de gymnasierrelevante fag stadig er præget af generalisttænkning, så er der studerende på disse uddannelser der allerede fra starten af deres studium har en klar forestilling om at deres uddannelse vil føre dem til et job som underviser i gymnasieskolen. Mange studerende udnytter tidligt i studiet muligheden for at supplere kurserne i fagenes discipliner med didaktiske kurser og opgaver. Og selvom der ved Syddansk Universitet er mulighed for at deltage i didaktiske studieaktiviteter fra første studieår på bacheloruddannelsen, efterspørger de interviewede studerende flere aktiviteter af denne type, herunder længere praktikforløb. Didaktik-teori er efter de studerendes opfattelse vigtig for deres fremtidige virke

som gymnasielærere, og de betegner didaktisk teori som anvendelig i modsætning til fx Banachrum. De studerende er i stand til at formulere relevante problemstillinger vedr. undervisningspraksis i gymnasieskolen, og de kan belyse dem ved hjælp af aktuelle didaktiske tilgange, som fx undersøgende undervisning. Set i lyset af de i indledningen nævnte problemstillinger vedrørende resultaterne fra den skriftlige eksamen i matematik skal det bemærkes at de tre studerende med matematik som fag alle er bevidste om de pædagogiske og didaktiske udfordringer der venter dem. Alle fire studerende har beskæftiget sig med deres fags relationer til andre fag i undervisningsmæssig sammenhæng og har således både forholdt sig til det formelle krav om fagsamspil i gymnasiet og haft det fokus på udvikling af faglige og pædagogiske tilgange på naturvidenskabelige studieretninger som Mathiasen et al (2019) peger på som et konkret tiltag til at udvikle gymnasielærers kompetencer.

Udviklingsorienteret og forskningsbaseret

De fire studerende ser alle frem til at varetage jobbet som gymnasielærer. De har allerede skabt sig billeder af praksis og forholder sig kritisk reflekterende til de udfordringer som de forventer at møde som gymnasielærer, og udtrykker ønske om at gøre en forskel når de bliver gymnasielærere. De har allerede gjort sig forestillinger om hvor der skal sættes ind. De vil fx styrke overgangen fra grundskole til ungdomsuddannelse og motivere eleverne for de fag de skal undervise i. Samtidig udtrykker de bekymring for at ende i en situation hvor de underviser som de selv blev undervist. Der er et udtalt ønske om at udviklingsperspektivet bliver en del af lærergerningen, og de studerende vil gerne have redskaber til at løse denne opgave. Udover i samarbejde med eleverne at opfylde skolens mål skal læreren ifølge Anderson (2011) også være en aktør der kan frembringe viden om og udvikle praksis med passende videnskabelige metoder. Og den opgave skal lærerne løse ved i samarbejde med fagdidaktiske forskere ved at udvikle, implementere og evaluere undervisningsforløb. Det stiller krav til læreruddannelsen idet nyuddannede lærere skal opfatte sig selv som producenter af viden som ikke bare følger læreplanerne, men også bidrager til at videreudvikle den. Derfor skal lærerstuderende i deres studium gøre sig erfaringer med forskningsbaseret udvikling af undervisningspraksis. Universiteterne har bl.a. til opgave at give forskningsbaseret uddannelse indtil højeste internationale niveau. De tre studerende i casen har alle på et eller andet tidspunkt i deres studium stiftet bekendtskab med det fagdidaktiske forskningsmiljø ved Det Naturvidenskabelige Fakultet ved SDU. De studerende er blevet undervist og vejledt af aktive forskere inden for fagdidaktik, og flere studerende, fx Studerende2, har haft en nær tilknytning til og deltaget i aktivt i et forskningsprojekt. Som nævnt ovenfor deltog Studerende2 i et forskningsprojekt og tilrettelagde egne undersøgelser hvor den studerende gennemførte forskningslignende aktiviteter på lige fod med forskeren.

Relationer mellem videnskabsfag og undervisningsfag

Alle fire studerende forholder sig til relationerne mellem de fagdidaktiske aktiviteter og de mere traditionelle kurser, hvor fagenes centrale discipliner præsenteres. Specielt bliver det høje faglige niveau i de traditionelle kurser adresseret. Der er hos de studerende en accept af præmissen om at det kræver faglig indsigt og viden at varetage undervisningen i sine fag på gymnasialt niveau. Men de studerende forholder sig også kritisk til hvor højt det faglige niveau skal være. Og specielt hvis det høje faglige behov er på bekostning af mulighederne for at erhverve sig viden, kompetencer og færdigheder inden for områder der som fagdidaktik har en mere tydelig forbindelse til en fremtidig karriere i uddannelsessektoren. Med fagdidaktiske miljøer på de naturvidenskabelige fakulteter tæt på den naturvidenskabelige frontforskning og anvendelse af denne har universiteterne en unik mulighed for at kommende gymnasielærere i deres studietid får mulighed for at forholde sig til den såkaldte didaktiske transposition fra videnskabelig viden til undervisningsfaglig viden (se fx Winsløw, 2006). Som både Studerende1 og Studerende2 er inde på, kunne der til de rent matematikfaglige kurser som fx ordinære differentiallyigninger knyttes didaktiske refleksioner over hvordan indholdet i videnskabsfaget kan relateres til undervisningspraksis i gymnasieskolen. Videnskabsfaget og dets anvendelser er dynamiske størrelser, hvilket har såvel indholdsmæssige som didaktiske implikationer for undervisningsfaget. For en kommende gymnasielærer burde viden om og kompetencer i at anvende didaktiske redskaber til at omsætte frontforskningens idéer og anvendelse til undervisningspraksis være et centralt udkomme af uddannelsen til gymnasielærer.

Opsamling og perspektivering

Casen fra Syddansk Universitet viser at der inden for de eksisterende rammer kan tilbydes de studerende en bred vifte af gymnasielærerrelevante studieaktiviteter allerede fra første studieår. Casen understreger at der blandt de studerende er interesse for gymnasielærerprofessionen. Derfor skal de didaktiske tilbud og de karrieremuligheder de giver, synliggøres for de studerende. Synliggørelse af et uddannelsesstilbud der fører til et attraktivt job i uddannelsessektoren, kan forhåbentlig bidrage til at sikre en fødekæde af fagligt og fagdidaktisk kvalificerede undervisere til gymnasieskolen. Det handler om at skabe et studiemiljø hvor de studerende oplever at udvikle en form for professionalisme i forhold til deres fremtidige profession. Studerendes deltagelse i didaktiske udviklings- og forskningsprojekter kan give dem følelsen af at være medproducenter af den viden som deres fremtidige profession trækker på. Og det vil give de studerendes deres første erfaringer med at udvikle undervisningspraksis på et videnskabeligt grundlag.

Gymnasielæreruddannelsen i Danmark er en kompleks størrelse der både består af en universitetsuddannelse og praktisk og teoretisk pædagogikum. Artiklens fokus på universitetsdelen er ikke et udtryk for at pædagogikum ikke skal indgå i debatten om uddannelse af gymnasielærere. Tværtimod! Debatten skal handle om hvordan der skabes sammenhæng mellem uddannelsens mange elementer så de kommende gymnasielærere ikke oplever et fragmenteret forløb. Men efter min opfattelse er opdelingen i universitetsforløbet og pædagogikum et levn fra den tid hvor der ikke var stærke fagdidaktiske forskningsmiljøer på universiteterne i Danmark. Opdelingen i faglig kompetence, som erhverves i forbindelse med universitetsstudiet, og undervisningskompetence, der hører til pædagogikum, afspejler ikke den internationale tendens hvor lærernes vidensgrundlag beskrives ved PCK. Tilstedeværelsen af fagdidaktiske miljøer på de fleste danske universiteter giver en unik mulighed for både at styrke gymnasielærerprofessionen og give de kommende gymnasielærere en oplevelse af sammenhæng mellem videnskabsfag og undervisningsfag. Samarbejde mellem de naturvidenskabelige fakulteters videnskabsfag og de didaktiske miljøer kan skabe studieaktiviteter hvor studerende får erfaringer med og redskaber til at transformere og didaktisere naturvidenskabelig frontforskning og dens anvendelse til undervisningspraksis.

Referencer

- Andersson, B. (2011). Design och utvärdering av undervisningssekvenser. *Forskning om undervisning och lärande* (5), 18-27.
- Bohm, M., Salomonsen, D., Quistgaard, N., Binou, C.F., Wøhlk, E.B., Jensen, L.V & Kronvald, O. (2017). *Sammen om naturvidenskab*. København: Astra.
- Danmarks Evalueringsinstitut (2009). *Komparativt studium af de nordiske læreruddannelser*. København: Danmarks Evalueringsinstitut.
- Dixen, E. (2020). Fag og fagdidaktik i gymnasielæreruddannelsen. *MONA* 2020-1, 101-103.
- Jensen, L.C. (2019) Kravet til at bestå matematik på gymnasiet er i frit fald. *Kristeligt Dagblad*. Hentet den 10.august 2020 fra <https://www.kristeligt-dagblad.dk/danmark/kravet-til-bestaa-matematik-paa-gymnasiet-er-i-frit-fald>.
- Kampmann, T, (2020): *Lærer*. Den Store Danske, Gyldendal. Hentet 25. august 2020 fra: <https://denstoredanske.lex.dk/lærer>.
- Kompetanse Norge (2020). *Lektorutdanning*. Hentet 22. juni 2020 fra <https://utdanning.no/studiebeskrivelse/lektorutdanning>.
- Krogh, L.B. & Andersen, H.M. (2008). Naturfagslæreres vidensgrundlag – med udgangspunkt i PCK. *MONA* 2008-3, 37-55.
- Laursen, K.B. (2008). Fødekæder i læreruddannelserne. *MONA* 2008-3, 57-63.

- MONA (2009). Workshop B: Uddannelse il gymnasielærer i matematik og naturfagene. Hentet 16. april 2020 fra https://www.ind.ku.dk/mona/konference2009/Workshop_B_-_Uddannelse_til_gymnasiel_rer.pdf.
- Mikkelsen, M. (2000). Ny gymnasielærer-uddannelse. Kristeligt Dagblad. Hentet 16. april 2020 fra <https://www.kristeligt-dagblad.dk/kirke-tro/ny-gymnasielærer-uddannelse>.
- Mathiasen, H., Melchjorsen, J. & Jensen, P.M. (2019). Hvad skal gymnasielærere inden for science-fagene kunne i morgen og på længere sigt? MONA 2019-4, 68-87.
- Michelsen, C. (2008) Fødekæden i gymnasielæreruddannelsen – et fælles ansvar for universiteterne og gymnasierne. MONA 2008-4, 72-74.
- Niss, M. & Jensen, T.H. (2002) Kompetencer og matematiklæring. Ideer og inspiration til udvikling af matematikundervisning i Danmark. Undervisningsministeriet.
- Regeringen (2018). National naturvidenskabsstrategi. Undervisningsministeriet.
- Shulman, L. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher* 15 (2): 4-14. doi:10.3102/0013189X015002004.
- Undervisningsministeriet (2003). Fremtidens naturfaglige uddannelser. København: Undervisningsministeriet.
- Undervisningsministeriet (2018). Bekendtgørelse om pædagogikum i de gymnasiale uddannelser. Hentet 27. marts 2020 fra <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2018/1169>.
- Undervisningsministeriet (2019). Bekendtgørelse af lov om de gymnasiale uddannelser. Hentet 27. marts 2020 fra <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=209370#idbcd112a7-ecc0-4758-9efe-bd0ebdc3d1ad>.
- Weisdorf, A.K. (2017). Læreruddannelsen i internationalt perspektiv. – Et studie af læreruddannelserne i Norge, Sverige, Finland og Holland. Sorø: Professionshøjskolen Absalon.
- Winsløw, C. (2006). Didaktiske elementer. En indføring i matematikkens og naturfagenes didaktik. Frederiksberg: Forlaget biofolia.

English abstract

This article describes how a number of mathematics and science education activities have been developed at the University of Southern Denmark for students considering a high school teacher profession as a potential job opportunity after graduation. Based on four students' experiences of these activities, the article addresses how universities can strengthen the high school teacher profession and give future high school teachers an experience of the connection between scientific subjects and teaching subjects and prepare them to contribute on a scientific basis to the development of teaching practice.

Efteruddannelse i CAS – erfaringer fra fire år med CMU



Henrik
P. Bang,
Christianshavns
Gymnasium



Niels
Grønbæk,
Institut for
Matematiske
Fag, KU



Claus R. Larsen,
Christianshavns
Gymnasium

Abstract: *Anvendelse af matematisk software i gymnasieundervisningen har længe befundet sig i et skisma mellem matematikfaglig degeneration og progressive anvendelser. I artiklen skildres en efteruddannelsesmodel som eksplicit adresserer dilemmaet. Ud fra et aktionsforskningsgrundlag bygges på deltagende matematiklæreres engagement i at inddrage computere uden at ofre den matematiske kernefaglighed som gymnasieuddannelserne sigter mod. Vi redegør for det didaktiske fundament og en virksomhedsteoretisk forståelsesramme for modellens implementering af computere i matematikundervisningen. Vi illustrerer modellen gennem eksemplariske deltagerforløb som afdækker fundamentale vilkår, og som peger på at efteruddannelse og erfaringsdeling vedrørende brug af matematisk software vil være et påtrængende behov, også i fremtiden.*

Kort om baggrunden for CMU-initiativet

Introduktionen af CAS (computer algebra systems) i gymnasiet hvilede på en vurdering at CAS er en nødvendig, men også ønskelig udvikling i matematikundervisningen. Nødvendig fordi CAS spillede og fortsat ville spille en rolle i professionel matematik og dermed for matematik fx på videregående uddannelser. Ønskelig fordi CAS gav nye muligheder i matematikundervisningen.

Bag den positive tilgang til CAS lå dansk og international forsøgsundervisning som havde påvist et didaktisk potentiale i CAS. Gevinsten er dog ikke gratis, hvilket allerede tidligt var klart.

Gymnasiereformen i 2005 anlagde et optimistisk CAS-syn og anførte arbejdet med it som en vigtig del af alle aspekter af matematiktilegnelse, det være sig færdighedsindlæring, mere komplicerede manipulationer, matematisering og begrebsdannelse. Men tankerne er meget generelle. Mens Undervisningsvejledningen til Matematik B – STX (Juli 2008) i afsnit 2 om faglige mål og fagligt indhold specificerer det faglige stof (kerne- og supplerende stof) over en række sider, klares anvendelsen af it med få linjer. CAS-anvendelse vurderes som ukompliceret, anskues ikke som

en del af de faglige mål og indhold, men betragtes blot som et – næsten magisk – hjælpemiddel.

Baggrunden for oprettelsen af CMU¹ i 2013/14 var en bekymring om at den udstrakte brug af CAS-værktøjer ikke var modsvaret af udvikling af undervisningsforløb, nye typer aktiviteter og opgaver samt en didaktisk efteruddannelse af lærere. Mere grundlæggende skulle forholdet mellem matematik og værktøj underkastes en revurdering i lyset af computerens slagkraft. Eksempelvis lyder undersøgende tilgang, der fremhæves i officielle styredokumenter, besnærende. Den er imidlertid ikke lige til. Eleverne er allerede vænnet til at benytte computere til en afsøgning af nettet med henblik på at reducere arbejdsprocesserne med fokus på resultat og effektivitet. Matematisk software kommer derfor til at indgå i en kontekst hvor dybdelæring overskygges af hurtige svar og præsentable produkter.

CMUs arbejde med matematisk software har helt overvejende drejet sig om CAS, især platformene Maple og TI-Nspire. Begrundelsen har været at generelle forhold ved inddragelse af matematisk software i undervisningen er særligt udtalte ved CAS.

Efter 10 år med CAS i gymnasiet udkom Matematikudredningen, som gav udtryk for behovet for en bedre fundering af CAS i gymnasiet:

“Elevernes generelle løsningsstrategi for en aflevering med opgaver, der ligner eksamensopgaverne, er: at åbne deres matematikværktøjsprogram, skrive den første opgaves tekst ind, og finde det der skal beregnes eller løses (“solves”).” (Jessen, Holm, & Winsløw, 2015)

Der er mange årsager til den begrænsede CAS-succes. En af de væsentligste er underkendelse af at CAS betyder en afgørende transformation både af matematikfaget i sig selv og af dets didaktik. CMUs mission har været at styrke det matematikfaglige samspil med CAS ved at give deltagende gymnasielærere mulighed for at tilrettelægge særlige undervisningsforløb i det ændrede fag ud fra bevidste og kvalificerede valg.

Coachet aktionsforskning – en model for udvikling og efteruddannelse

På baggrund af vores erfaringer om efteruddannelse og udvikling i gymnasie- og universitetsregi satte vi nogle grundlæggende principper for CMU. Deltagerprojekter skulle bestå af design af undervisningsforløb, tilhørende faktisk undervisning og selvevaluering som tilgodeså CMUs fagdidaktiske agenda om styrkelse af samspil mellem CAS og det matematikfaglige. Deltagelse skulle bygge på den enkelte lærers

1 Center for Computerbaseret MatematikUndervisning, oprettet ved Institut for Matematiske Fag, Københavns Universitet med støtte fra Industriens Fond, Institut for Matematiske Fag, Undervisningsministeriet, Maplesoft.

personlige engagement og have skolens fulde opbakning. Deltagerne ans­kuedes som resurser for en udvikling snarere end personer med behov for opgradering – læreren er ekspert i egen undervisningsvirkelighed. Fastholdelse af projektprocessen, kollegial sparring og feedback skulle have særlig opmærksomhed.

Disse principper blev fastslået i nogle overordnede rammer af kontraktlig natur, op­lagt vedrørende læreren at acceptere CMUs koncept om deltagelse og afrapportering. For skolens vedkommende var forpligtelsen at give deltagende lærere den nødvendige tid til efteruddannelsen og herved at medvirke til deling af de kvaliteter som CMU forsøgte at bibringe matematikuddannelsen i Danmark. CMUs forpligtelse angik de organisatoriske og didaktiske rammer og som noget helt særligt personlig coaching af deltagende lærere. Coachene var gymnasielærere hyret af CMU. Deres overordnede funktion var fastholdelse af projektprocessen gennem kollegial sparring, rådgivende om de konkrete projekter og medierende i forhold til CMUs intentioner.

Et skoleårs projekter afsluttedes med et 2-dages internatseminar hvor deltagerne præ­senterede deres projektforsløb for de andre deltagere i den aktuelle foreløbige ver­sion. Internatet var tilrettelagt som et kollegialt miljø til fremme af udveksling af idéer og afklaring i forhold til den endelige projektrapport, men også som et lærerfagligt fællesskab. I et projektår afholdtes et antal coachsamlinger med CMU-ledelsen, dels om de enkelte projekters fremdrift, dels med matematikdidaktiske oplæg/workshops af relevans for det generelle CMU-projekt.

	april	maj	jun	aug	sep	okt	nov	dec	jan	feb	mar	april	maj	jun
Udbud														
Godken­delse														
Gennem­førelse														
Evaluering														
Afslut­ningsin­ternat														
Projektrap­portering														
Coachsam­linger														

Tabel 1. Tidslinje for projektafvikling.

I årene 2014-2017 gennemførtes mere end 50 undervisningsforløb ved individuelle lærere fra alle niveauer i STX, HTX, HHX og 8 skoleprojekter med samarbejdende lærere fra et gymnasium. I alt har mere end 90 lærere fordelt på 27 skoler deltaget. Der var i forløbet tilknyttet i alt 7 coaches. En årlig coachportefølje bestod af 6-7 individuelle deltagere eller 4 skoleprojekter.

I samråd med coachene udarbejdede vi en model for projektprocessen og coach-lærer-samarbejdet. Det er i det væsentlige aktionsforskningsmodellen 'den reflekterende praktiker' (Jaworski, 2014). Andre inspirationskilder har været (Dale, 2008), RUME-projektet (Dubinsky, 1997) og (UCLA Curtis Center for Mathematics and Teaching, 2007).

SSS-modellen

Modellen udgøres af de tre S'er: 'Startstedet' for projektet opfattet som det enkelte projekts oplæg og overordnede bærende idé, 'Sløjfen' der forbinder den bærende idé med den gennemførte undervisning, og 'Stafetten' der konkret og løbende forbinder de enkelte dele af undervisningen med hinanden.

Ved 'Startstedet' kan læreren være alt fra interesseret i at gennemføre et projekt til at have et mere eller mindre færdigudtænkt projekt, og som CAS-bruger kan læreren være alt fra novice til ekspert. En vigtig del af 'Startstedet' er i samarbejde med coachen at udarbejde en slagplan for projektet på baggrund af den/de bærende matematiske eller didaktiske idé/idéer.

'Stafetten' er dialogen mellem coach og lærer om udarbejdelse af forløb, tilpasning undervejs, udarbejdelse af materialer m.m. Konkret består den i konsultation telefonisk eller via mail og i besøg af coach på skolen.

'Sløjfen' er central for at fastholde og videreformidle refleksioner over undervisningsforløbet. I CMU's model knyttes Sløjfen med et mundtligt oplæg for en mindre gruppe på det afsluttende seminar. På grundlag af feedback herfra udarbejdes en dokumentation af det gennemførte projekt i form af undervisningsplaner, udarbejdet materiale og refleksioner. For at lette deltagernes arbejde hermed og for at sikre en vis ensartethed udformede CMU en vejledende skabelon til afrapportering. De færdige projektbeskrivelser blev efterfølgende lagt op på CMU's hjemmeside (CMU, 2020).

Coachens rolle og kompetencer

Deltagerevalueringerne priser dialog med coachen om værktøjsbrug og læreproces og støtten til egen projektproces, og mere end 90 % af de deltagende lærere er nået helt i mål i form af endelig projektrapportering.

Coachkvalifikationer er mangesidede. Ud over en solid matematikfaglig baggrund kræves et indgående kendskab til CAS-værktøjer sådan at man kan bidrage med idéer og inspiration og helt konkret sparre på udformning af arbejdsark m.m. En central del

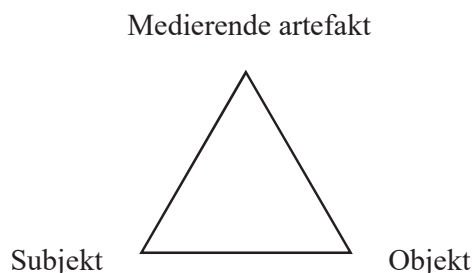
af coacharbejdet var løbende dialog og deltagelse i seminarer med ledelsesgruppen. Her udvikledes en fælles forståelse af forskellige almene tendenser vi så i projekterne. Dette fordrer en velfunderet praksisindsigt i didaktiske aspekter knyttet til brug af CAS i undervisningen. Endelig er kvaliteter der vedrører selve coachfunktionen, helt essentielle, herunder hvordan man håndterer mulige konflikter eller flytter grænser.

Først og sidst er coachens opgave selvfølgelig at sikre at projektet kommer fra 'Startstedet' til 'Sløjfen', den enkelte lærers faktiske udbytte af projektet. Coachen spiller endvidere en vigtig rolle i knytningen af Sløjfen gennem støtte af oplæg og ved sikring af projektdokumentationen som bidrag til almen videnformidling.

CMU-modellens teoretiske indlejring

Virksomhedsteori

Computeres indvirkning på matematiklærervirkelighed bør ses i en sammenhæng som inddrager didaktiske, systemiske og socialpsykologiske omstændigheder. Virksomhedsteori er velegnet for et sådant perspektiv. Udgangspunktet er Vygotskys trekant, Figur 1 (Vygotsky, 1978).



Figur 1. Den grundlæggende virksomhedsteoretiske trekant.

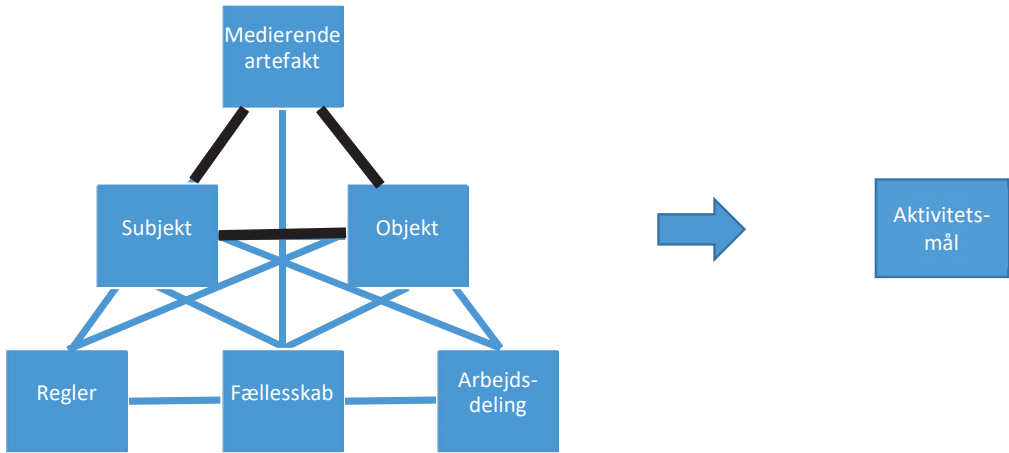
'Subjekt-objekt' skal ikke blot forstås som 'person-ting', men snarere som i grammatik: subjekt-(verbum)-objekt, noget indvirker på noget. Med 'artefakt' menes en menneskelig frembringelse som kan henføres til bestemte kulturelle/sociologiske forhold. Artefaktet ansues som noget *i sig selv* med et bestemt (uudfoldet) potentiale, fx en formelsamling. Artefaktet medierer subjekt-objekt-relationen. Virksomhedsteoriens fundamentale påstand er at der er ikke nogen subjekt-objekt-relation uden et medierende artefakt. Det giver ingen mening at analysere siderne i Vygotskys trekant uden at inddrage det modstående hjørne. Vygotskys trekant er en 'unit of analysis'. Herved placerer virksomhedsteori afgørende vægt på 'redskaber' og har derfor med informa-

tionsteknologien fået (fornyet) betydning som forståelsesramme for menneskelig virksomhed. Virksomhedsteoretiske aspekter af matematikdidaktik har i overensstemmelse hermed haft stor vægt, se fx kap. 9 i (Monaghan, Trouche, & Borwein, 2016). CMUs mission vedrører bestemte inkarnationer af Vygotskys trekant: Subjekt-objekt relationen drejer sig udadtil om udøvelse af matematiske og matematikdidaktiske hverv, dvs. om at svare på mere eller mindre afgrænsede matematiske problemer eller at planlægge og udføre undervisning. Indadtil handler det om tilegnelse af computers matematiske og matematikdidaktiske muligheder.

CMU's virke angik lærerens tilrettelæggelse og udførelse af undervisning, på den ene side 'klassisk medieret' med blyant og papir og på den anden side med computer der medierer i input-output-termer vha. et software-bibliotek e.g. Maple, Geogebra, Excel, TI-Nspire, WordMat. Det fundamentale samspil/modspil mellem disse to medierende artefakttyper er eksplicit i de fleste CMU-projekter. Mens papir-blyant-medieringen hovedsagelig har været virksomhedsteoretisk ukompliceret, er forholdet mellem udadrettet mediering (fx CAS-matematisering af et problem) og intern mediering (forståelse, beherskelse af dele af det implementerede softwarebibliotek) et kernepunkt i anvendelse af digitale teknologier i matematik.

Vygotskys trekant er efterfølgende blevet modificeret og udbygget på mangfoldige måder. I (Wartofsky, 1979) indføres en klassifikation på 3 niveauer af artefakter: Primære artefakter ('hvad'-artefakt) som relateres direkte til produktion, fx en kommandolinje i et matematisk software eller en anvisning til elever om en bestemt computeraktivitet, sekundære artefakter som relaterer sig til primære artefakter ('hvordan'-artefakt), fx en vejledning i brug af CAS-værktøj eller undervisningstilrettelæggelse medieret af en hypotetisk CAS-læringsbane, og tertiære artefakter som vedrører sekundære artefakter ('hvorfor'-artefakt), fx ved at give begrundelser for valg af software, men også mere overordnet politik, visioner, didaktik om brug af matematisk software. Herved gives et hierarki af 'units of analysis', som alle er relevante for den udøvende lærer, og som har været styrende for CMUs arbejde.

I (Engeström, 1987) udbygges det virksomhedsteoretiske begrebssystem til en mere nuanceret teori som eksplicit inddrager den samfundsmæssige kontekst (dvs. alle interessenter i det pågældende virksomhedssystem). Vygotskys tre basale komponenter udvides med Wartovskys hierarkiske struktur og flere interessenter, arbejdsdeling, fællesskab (community) og regler (Figur 2).



Figur 2. Engeströms virksomhedssystem.

Den udvidede virksomhedsteoretiske struktur er i Engeströms opfattelse en 'unit of analysis'. De konstituerende trekanter repræsenterer hver især en medieret virksomhedsrelation. Fx medierer 'regler' 'fællesskab-subjekt'-relationen og 'arbejdsdeling' medierer subjekt-objekt'-relationen.

Engeström angiver kun en struktur og forbigår at pilen er normativ. Subjektet er ikke blot underlagt diagrammets dialektiske omstændigheder. Hvad er subjektets motiv for at indgå og udforme den faktiske relation til objektet, og hvordan erkender en interesser sig selv som objekt i nogle Engeströmske relationer, artefakt i andre samtidig med at være subjekt i tredje? Vi bruger derfor i første omgang Engeströms diagram til en delvis kortlægning gennem en oprensning af de vigtigste virksomhedsteoretiske interesser. Herefter redegør vi for CMU's placering og motiver.

Regler: Love og bekendtgørelser. Ministerielle læreplaner og vejledninger. Vejledende opgaver (herunder tidligere eksamenssæt). Standarder for matematikudøvelse, herunder standarder for anvendelse af digitale teknologier. Standarder for undervisning og læring (e.g. eksperimenterende, undersøgende, it-baseret, sekvensering af undervisningsformater, digital dannelse). Disse standarder er såvel officielt nedfældede som kollegiale. Overenskomster for arbejdsmarkedet. Faglige timetal. Ledelsesprincipper (top-down, bottom-up).

Fællesskab: Dette udgøres af alle sociale sammenhænge som er af relevans for subjekt-objekt'-relationen. Der er tale om et meget omfattende interessefællesskab, men ikke et paradigme­fællesskab eller målsætnings­fællesskab. Fællesskabet er således præget af modsætninger. Nogle vigtige medlemmer af fællesskabet er uddannelses­politikere, interesseorganisationer (DI, Finans Danmark, Danske Gymnasier), arbejds­markedsorganisationer (GL, Moderniseringsstyrelsen), faglige foreninger (Matema-

tiklærerforeningen herunder regionalgrupperne), netværksgrupper (e.g. Facebook), de enkelte gymnasier, skoleledelsen, skolesamarbejde, skolens faggrupper (specielt selvfølgelig matematiklærergruppen), uddannelsesforlag (Systime, L&R, Gyldendal) og softwareproducenter (Maple, Texas Instruments, Geogebra, Microsoft).

Arbejdsdeling: Efteruddannelse, lærerteams, individuel lærer, vidensdeling, 'frikøb' og anden støtte til udvikling, (it-)ressurser.

Aktivitetmålet er først og fremmest bestemt af hvem subjekt er. Hvis det er 'lærer', er essensen i CMU-sammenhæng undervisningstilrettelæggelse. I tilfældet 'elev' er målet 'læring' dvs. at løfte subjekt-objekt'-aktiviteterne fra genstandsområdet til at være en del af et generelt beredskab, subjektets 'teori' om matematikhandlinger. Vi fremhæver at der intet idealistisk skal lægges heri. Målet er resultatet af et samspil mellem subjektets motiver og de forskellige medieringer af subjekt-objekt-relationen. Der vil ofte være et pragmatisk aspekt. Fx kan målet for både lærer og elev være at optimere eksamensperformance, således som det er påpeget adskillige steder, fx (Jessen, Holm, & Winsløw, 2015).

Virksomhedsdiagrammet rummer en række dilemmaer for de enkelte lærere, konflikter som overvejende har rod i fællesskabets interessermodsatninger. En dybere analyse af dette kompleks falder uden for denne artikels sigte. Vi påpeger her nogle iøjefaldende forhold som har været bestemmende for CMU's arbejde. Det mest åbenbare er hvorledes 'regler' i form af læreplaner/vejledninger medierer subjekt-objekt-relationen motiveret af interesser i it-modernitet og it som produktivkraft ('vi skal være i front af it-udviklingen') i modsætning til eksamensnormer i form af opgavesæt der skal sikre 'løft af eksamensresultater'. Den ene mediering skal fremme kognitiv frisættelse, mens den anden udgør en fare for kognitiv regression. Kompetencer reduceres til eksamenspræstation. En stigende opmærksomhed om dilemmaet ses i ministerielle styredokumenters udvikling fra 2005-reformens bagatellisering af didaktiske problemer med den digitale dagsorden til 2017-reformens mere detaljerede beskrivelse af ændring af undervisningens indhold og vilkår. Etableringen af CMU, herunder forløberprojekter i 2008-2009 og 2011-2013 støttet af UVM (CMU, 2017), var foranlediget af dette dilemma. CMU er født med det ene ben i gymnasiet og det andet i universitetets matematikundervisning, fokuseret på gymnasiet matematikundervisning og med tilhør på Institut for Matematiske Fag, KU som udtryk for universiteternes forpligtelse til at sikre det samlede uddannelsessystems faglige bonitet. Umiddelbart syntes dilemmaet at handle om overgang mellem uddannelsesniveauer: Er gymnasiet brug af matematisk software kompatibel med den indledende universitetsmatematikundervisning hvor fx Maple er fremherskende? Hvordan sikrer man at gymnasiet matematiske software peger ud over skolen selv og bliver andet end et pædagogisk redskab til at opbløde 'hård matematik' inden for institutionens egne rammer? Det blev dog hurtigt klart at den

fundamentale modsætning mellem kognitiv frisættelse og kognitiv regression var et fælles anliggende for sekundær og tertiær uddannelse. I gymnasiesammenhæng fremhæves 'trekantssolveren' ofte som et eksempel på regression. Trigonometrisk forståelse reduceres til korrekt indtastning af trekantsdata. I universitetssammenhæng er et eksempel at flux af vektorfelt reduceres til beregningsalgoritmer til hvilke de studerende kan levere korrekte input i relativt komplicerede tilfælde, men hvis betydning i de begrebsdannende (banale) eksempler de ikke kan redegøre for ud over algoritmens resultat. Universitetsundervisningen kan altså ikke umiddelbart tjene som et pejlingsmærke for indsigtsgivende anvendelse af matematisk software. Snarere udtrykker CMU's forankring på Institut for Matematiske Fag den opfattelse at matematik er ét fag med institutionelle overgange som begge institutioner har ansvar for. Dette har bl.a. vist sig ved CMU's insistensen at projekternes matematiske kernebegreber hvilede på stofdidaktisk analyse.

Et andet fundamentalt konfliktforhold findes i fællesskabets mediering af 'arbejdsdeling – subjekt'-relationen. Skoleledelsens interesse er bl.a. funderet på økonomiske resurser til opgradering af it-beredskab (udstyr og efteruddannelse), skolens uddannelsespolitiske og pædagogiske profil og skolens medarbejderpolitik mht. den enkelte lærer og lærergrupper. CMU's samlede projektportefølje vidner om vidt forskellige afvejninger af disse. De fleste deltagere har opfattet et CMU-projekt som et frirum til udvikling af lærerkompetencer både personligt og kollegialt og har selv taget initiativ til deltagelse. Enkelte skoler har deltaget i såkaldte skoleprojekter med deltagelse af hele den matematiske faggruppe. Skoleprojekterne har været resultat af en top-down ledelsesbeslutning med en markant anderledes medarbejderpolitik hvor nogle lærere følte sig tvunget med. CMU's coachkoncept var afgørende for at skoleprojekterne overvandt den indledende delvise modvilje.

Den måske mest afgørende konflikt skyldes den statslige mediering ud fra et arbejdsgivermotiv. Omprioriteringsbidrag og Moderniseringsstyrelsens sejr i OK13 om lærernes arbejdstid er i oplagt modsætning til uddannelsespolitiske målsætninger om højnelse af uddannelsernes kvalitet. Som konsekvens af skolernes selveje skal den enkelte skole forsøge at forlige disse modsætninger. Dette gav oplagt dårlige vilkår for efteruddannelse. I det første projektår var der stort set ingen projektdeltagere, så reelt blev CMU's virke udskudt et år. Lignende forhold gjorde sig gældende i andre efteruddannelses tiltag.

At de fundamentale subjekt-objekt-relationer, 'lærer-undervisningstilrettelæggelse' og 'elev-matematikproblemer' ikke fuldbyrdes i de tidlige faser af brug af digitale teknologier i matematikundervisningen, skyldes i høj grad at de blev anskuet uden hensyn til Vygotskys 'unit of analysis'. Digitale værktøjer betragtedes som noget der kan *inddrages* som *hjælpemidler* i en subjekt-objekt-relation hvis grundlæggende natur forbliver uændret. For læreren optræder de som en slags effektivisering af en i

øvrigt dækkende universitetsuddannelse, for eleverne ses de som en teknisk fjernelse af visse forhindringer. Herved 'frisættes' eleverne til arbejdet med de samme fagligheder som før. De digitale værktøjer fremstår som omkostningsfrie – der er blot tale om en resurse der byder sig til, se fx (Kissane, Kemp, & Bradley, 1997). Det er fejlagtigt på to måder. At udnytte digitale værktøjer progressivt kræver en betydelig indsats af brugeren og natur og indhold af relationen matematikudøver – matematisk hverv ændres fundamentalt.

CMU skal som virksomhedsteoretisk interessant placeres i fælleskabet med primær interesse i mediering af subjekt-objektrelationen i form af tilrettelæggelse af computerbaserede undervisningsforløb med det sigte som vi har beskrevet. Vi indså tidligt vigtigheden af relationer med 'regler' og 'arbejdsdeling'. Computerens betydning for matematik bør erkendes i kongruens med de samfundsmæssige matematikbehov ud fra en fælles forståelse gennem alle niveauer og forgreninger af uddannelsessystemet. I maj 2014 afholdt CMU i samarbejde med DTU Compute konferencen Fremtidens Matematik² med oplægsholdere fra universiteter og erhvervsliv med fokus på det 21. århundredes matematikuddannelser: Hvilke kompetencer er afgørende for vores elever og studerende i en verden der i stigende grad styres af avanceret computerbaseret matematik? Hovedbudskabet var at digitale teknologier mangedobler det matematiske potentiale, men ikke kan erstatte fundamental matematisk indsigt.

Det var fra begyndelsen klart at en syntese mellem kernefaglighed og software-potentiale ikke ville finde sted uden ændring af den arbejdsdeling som lærere i almindelighed er underlagt. Coachmodellens funktion er at fremme en arbejdsdeling med kollegial sparring og fastholdelse af udviklingsprocessen. Det bygges på den enkelte lærers motivation og arbejdsmæssige muligheder. Dette kræver finansiering. CMU afholdt coachudgifterne m.m. gennem økonomisk støtte fra Industriens Fond og Institut for Matematiske Fag, KU. Skolernes medfinansiering bestod i at give det nødvendige lærerfrirum typisk i form af 40 timers arbejdsreduktion. En lærer kunne ikke deltage uden en sådan forpligtelse fra sin skole. Ud over at forhindre 'fritidsefteruddannelse' sikredes herved også at CMUs faglige mission anerkendtes som en del af skolens ergonmi.

Matematikdidaktik

De lærende må nødvendigvis selv opbygge indsigt og handlepotentiale. Det kan ikke påføres. Dette er vores didaktiske udgangspunkt. Vi vil belyse de principielle muligheder og begrænsninger ved computeranvendelse ved nedslagspunkter i tre fremherskende teoridannelser – (1) læringsteoretisk om erkendelse, (2) kognitiv ergonomisk

2 https://www.math.ku.dk/english/research/conferences/2014/konference_fm/

om disciplin/redskab, (3) antropologisk om matematik som menneskelig adfærd. Der er tale om en pragmatisk tilgang. Vi hævder intet paradigme-fællesskab mellem disse teoridannelser, ej heller er der tale om egentlig 'networking of theories'.

(1) Læringsteoretisk har (Sfard, 1991) været dominerende. Erkendelse opnås ud fra processer, fx at tælle. Erkendelsesfremdrift består i *reificering*, dvs. at det processuelle kan tilgås under ét som objekt (in casu, tal) uden reference til delelementer af processen. Processen er blevet en struktur i sig selv som kan indgå som elementer i processer (e.g. at addere) på et højere erkendelsesniveau. Undervisningstilrettelæggelse består i at understøtte denne dualitet i en faglig progression. Sfard forholdt sig imidlertid ikke til konkrete medier, redskaber eller institutionelle rammer. APOS-projektet (Asiala, et al., 1996) udviklede med nogenlunde samme udgangspunkt (konstruktivisme, processtruktur) et koncept for matematiklæring baseret på en algoritmisk og hermed processuel tilgang til matematiske begreber. Tilgangen er proklameret computerbaseret. 'Concepts first' (se fx (Heid, 1988)) bestræbelsen har taget det modsatte udgangspunkt. Hovedtesen er at sætte begreberne forud for processerne, fx addition ved først at bruge +-operatoren i det digitale værktøj og derefter slutte af med færdighedstræning (af det nu kendte begreb).

(2) Et CAS-program er et artefakt. Det kræver aktiv indsats af brugeren at virkeliggøre artefaktets muligheder i forhold til bestemte matematiske hverv. Gennem målrettede aktiviteter, læring og problemløsning formes kognitive skemaer for anvendelse. Brugeren realiserer artefaktets potentiale og omvendt former artefaktets muligheder og begrænsninger brugerens virke. Denne dialektik er fundamentalt den samme som når fx 'musiker-instrument' skabes ud fra 'person-guitar'. Processen kaldes *instrumentel genese* (Trouche, 2014).

(3) Matematik som målrettet menneskelig adfærd beskrives i ATD (antropologisk teori for didaktik (Chevallard & Sensevy, 2014)) som udførelse af bestemte hverv og et rationale for udøvelsen. Læreren er leder af didaktiske processer, hvis mål er tilvejebringelse af meningsfulde relationer mellem elever og viden/udførelse i områder af matematikken inden for institutioner, typisk en skoleklasse og dens lærer. Læreren foretager strategiske valg om udførelse og rationale med henblik på de institutionelle læringsmål, fx om anvendelse af computerteknikker og rationale herfor.

Analyse af tre udvalgte projekter

Den løbende dialog med coachene, Sløjfen (afslutningsseminar og afrapportering) og interviews med udvalgte projektdeltagere har muliggjort at ledelsen har kunnet følge projekterne tæt. Vi præsenterer og diskuterer empiriske elementer til analyse af CMU's efteruddannelsesmodel. De repræsenterer en betydelig variation i emner, elevniveau, lærerbaggrund og -erfaring og motiv for deltagelse. Beskrivelserne skal

vise de muligheder projekterne har givet for refleksion over egen praksis inden for de overordnede institutionelle rammer fastlagt af CMU.

Empirien bag beskrivelserne udgøres af

- Projektdeltagernes dokumentation og selvevaluering af forløb på CMU's hjemmeside i SSS-modellens format eller dennes forløber (CMU, 2020).
- Undervisningsmateriale udarbejdet af projektdeltagere.
- Projektdeltagernes slidepræsentationer om projektet på SSS-modellens afsluttende seminar.
- Semistrukturerede individuelle interview, dels generelt om projektforløbet og i tilfældet S et længere interview ud fra en ATD-tilgang om til- og fravalg af CAS
- Coachenes statusrapporter på coachmøder.

Projektdeltagerne J og P er nogle af de første som gennemførte et CMU-projekt. Erfaringerne herfra har medvirket til udarbejdelse af CMU's endelige projektkoncept.

Projektdeltager J

J har mange års undervisningserfaring og benytter CAS-plattformen TI-Nspire. Projektclassen er 2. g. med matematik på A-niveau og forløbet omhandler chi-i-anden-test baseret på fremstillingen i (Grøn, Felsager, Bruun, & Lyndrup, 2014). J angiver læringsudfordringerne:

“I statistik er der mange begreber – Statistik bliver enten meget enkelt og redegørende - ...eller det bliver tungt og svært – Hvordan kan det blive et eksamensspørgsmål, der tilgodeser ræsonnementet?” (Chi-i-anden-test, Afsluttede projekter 2015 (CMU, 2020))

J ønsker at bruge CAS-simuleringer af chi-i-anden-fordelinger eksperimentelt som middel til at møde udfordringerne. Forløbet var planlagt til 18 lektioner.

J formulerede to formål med CMU-projektet, ét der vedrører elevernes læringsmål og ét der vedrører lærerkompetencer om undersøgelsesbaseret undervisning i et CAS-miljø. Begge mål formuleres ift. det konkrete undervisningsforløb, men J lægger vægt på også at opnå kompetencer der kan bruges ift. andre tilsvarende forløb. Læringsanskuelsen er proces/struktur-dualisme:

“... blive bedre til at lave en veksling mellem det eksperimenterende matematik og det teoretiske. At få integreret CAS-værktøjet som en del af læringen ... også at få de mere CAS-forskrækkede elever til at blive mere fortrolige med mediet.” (ibid.)

Coachen har hjulpet med tilpasning af TI-N-spire og med at fremskaffe materiale der belyser forbindelsen mellem simuleringstilgangen og chi-i-anden-fordelingen.

Der er fx følgende i en skriftlig kommunikation fra coachen:

“... hvis man vil arbejde med at forstå ... chi-i-anden-værdi ..., skal man lave mange simuleringer af det samme eksperiment Eleverne kan også indtegne sandsynlighedstæthedsfunktionen med de aktuelle antal frihedsgrader og sammenligne og beregne areal under grafen, svarende til 95 % ...” (ibid.)

Kommentaren følger efter nogle forslag til konkret N-spire kode og vedrører i høj grad den måde simuleringen kan indgå i undervisningsforløbet. Coaching omhandler ikke kun værktøjet, men også didaktisk design og instrumentel genese for lærere såvel som elever.

J har været meget positiv overfor efteruddannelsesforløbet og lagt vægt på de særlige muligheder der ligger i coaching med et fokus på lærerens egne matematikfaglige og didaktiske ønsker og behov.

Js overvejelser og selv-evaluering, fremkommet gennem fokusgruppe-interview, indgik i det efterfølgende CMU-arbejde. Js forløb involverer hele det Wartofskyske hierarki. J havde på forhånd udtrykt ønske om støtte på det primære artefaktniveau niveau både personligt og for eleverne. Hvad kan TI-Nspire egentlig udføre? Dette er essentielt et spørgsmål om instrumentel genese. Den anførte coachkommunikation om hvordan forløbet kan tilrettelægges, angår det sekundære niveau. Hvordan udnyttes CAS-mulighederne i den erklærede hensigt? I Js overvejelser om udbygning af egne it-kompetencer i relation til progressive undervisningsformater (e.g. eksperimenterende matematik) anskues computeren som artefakt på tertiært niveau. CMU-skabelonen til et fælles afrapporteringsformat er bl.a. udviklet på baggrund af erfaringerne med J, ligesom CMU's overvejelser om oplæg til projektdeltagere, fx vedrørende dialektikken mellem computer og matematisk indhold, er inspireret af samtaler med J og Js coach. Alle tre sider i den virksomhedsteoretiske trekant 'lærer-CMU-undervisningstilrettelæggelse' er således udtalte. Relationerne 'CMU-lærer' og 'CMU-undervisningstilrettelæggelse' belyses og formes gennem interaktionen med læreren. Dette er den dybe mening bag CMU's proklamation af læreren som resurse.

Projektdeltager P

P er en relativt erfaren lærer med mangeårig baggrund som ingeniør. Projektclassen er 2. g med matematik på B-niveau. Projektet omhandler indledende differentialregning med fokus på sekant/tangent gennem tretrinsmetoden. CAS-plattformen er TI-Nspire.

Ps projektidé blev udviklet i løbet af et seminar for projektdeltagere. P tog udgangspunkt i seminarets oplæg om stofdidaktisk analyse, både ved udarbejdelsen af sit konkrete forløb og den efterfølgende evaluering.

P har været coachet både på skolen og via nettet. P beskriver sine negative erfaringer med at lave opgaver hvor eleverne gennem mange blyant-papir-beregninger skulle få en fornemmelse af grænseværdi for sekant-hældninger, og ønsker at imødegå mange års frustration. P beskriver sin målsætning:

“... at give eleverne en hands-on oplevelse af beregning af sekant- og tangenthældning samt grænseværdi. Fordelen ved at benytte CAS ... at det ville fremme elevernes forståelse for stoffet, at de kunne arbejde selvstændigt med emnet.” (Differentialregning, tretrinsreglen, Afsluttede projekter 2015, (CMU, 2020))

P lægger sig op ad de betragtninger som vi anførte i de tidlige faser af computer-baseret matematikundervisning (Kissane, Kemp, & Bradley, 1997). På baggrund af stofdidaktisk analyse udpegede P tolv punkter der er en forudsætning for forståelse af tretrinsmetoden som den traditionelt behandles. Det er fx afklaring af hvad der menes med $f(x + \Delta x)$ når man indsætter i funktionsudtrykket $f(x) = x^2$, eller algebraiske forudsætninger såsom kvadratsætninger og brøkmanipulationer. Tre af disse punkter blev identificeret som steder hvor CAS og visualisering kunne være fordelagtig.

Ps egen vurdering af projektet er at det først og fremmest har betydet noget i hans egen måde at se på stoffet på:

“Det mest givende for mig har uden tvivl været at indse, hvor megen baggrundviden det kræver at forstå tretrinsreglen.”

Ps arbejde var fundamentalt for CMU's interne diskurs om effekten af inddragelse af CAS i undervisningen. Vi fremhæver her betydningen af tid. Hvor en blyant-papir-tilgang til visualiseringen af sekant-tangent-overgangen er tidskrævende og kun realistisk udført i ganske få trin, giver værktøjerne mange andre muligheder. Ps overordnede iagttagelse var imidlertid at eleverne forholdsvis hurtigt kom igennem visualiseringerne. De rykkede på skyderne og iagttog at sekanterne nærmede sig tangenterne, men drog kun overfladiske konklusioner heraf. Aktiviteten som proces er ikke rig nok til at føre til reificering.

I senere diskussioner på CMU's seminarer anvendte vi bl.a. termen 'CAS fastfood' om den slags observationer. Man afskaffer tidskrævende elevarbejde med en CAS-tilgang, men i stedet for at brugen af værktøj udfordrer og giver større dybde, bliver iboende træk ved computertilgangen, som eleverne jo også kender i andre sammenhænge (e.g. overfladisk google'ing i stedet for egentlige studier), dominerende. Elevernes målopfyl-

delse, at aktiviteten overstås, er i modstrid med læringsintentionerne. Det egentlig tidskrævende arbejde bliver på den måde ikke elevernes, men lærerens, der har arbejdet i timevis med at få visualiseringen til at virke. Dette misforhold ændres ikke afgørende ved at benytte færdiglavede applikationer. Der er stadig et betragteligt lærerarbejde i at forhindre 'CAS-fastfood'. Ps minutiøse stofdidaktiske analyse og refleksioner gjorde det klart i CMU at en del af forklaringen er at standarder (regler i Engeströms skema) for brug af computere reelt blot er tilpassede blyant-papir-standarder, men uden tilpassede normer for kvalitet. P transskriberer en standard for blyant-papir-mediering trin for trin til en computer-mediering af den selvsamme subjekt-objekt-relation i et forsøg på at fremtvinge kognitive aspekter som knytter sig til standarder for blyant-papir-matematik. I de senere år har betydningen af standarder for computeranvendelse fået stigende opmærksomhed, se fx (Trgalová & Tabach, 2018).

Projektdeltager S

S er en yngre lærer, på projekttidspunktet i gang med sit 7. undervisningsår i gymnasiet. Han er en erfaren bruger af Maple. Projektklassen er 3. g. med matematik i studieretningen, og forløbet handler om binomialmodel ud fra simulering med en af Maples tilfældighedsgeneratorer. På baggrund af teoretiske overvejelser i (Bang, Grøn­bæk, & Larsen, 2017a) er S blevet interviewet om sine strategiske beslutninger om elevernes teknikker til udførelse af matematiske hverv. Overvejelserne angår de muligheder det bagvedliggende rationale giver eleverne for kontrol af problembehandlingen, og om læringsmålene rent faktisk indbefatter brug af disse muligheder.

S havde allerede forud for den konkrete planlægning et relativt veludviklet syn på muligheder og dilemmaer i forhold til brug/ikkebrug af CAS og elevernes mulighed for validering. Fx formulerer han i en dialog hvor vi bl.a. kommer ind på om man skal bruge Geogebra eller Maple:

“Det det handler om for mig det er at kunne forstå hvad problemstillingen går ud på og ligesom kunne instruere værktøjet ...”

S vurderer at Geogebra kan give eleverne bedre matematisk kontrol over processen (skæring mellem grafer), men at det jo kræver at eleverne i forvejen behersker Geogebra.

Hvad er den didaktiske omkostning af inddragelse af et nyt værktøj med brug der skræddersys til et bestemt formål? Interviewet kredser flere gange om dette tema. At værktøjet i sig selv giver mulighed for kontrol over de matematiske processer, er ikke det samme som at kontrollen faktisk opnås. Hvis man til specielle forløb inddrager nye kommandoer og procedurer eller som i dialogen evt. et helt andet værktøj, kræves undervisning som eksplicit udvikler elevernes muligheder for mere selvstændigt at

bruge disse sider af værktøjet (e.g. instrumentel genese) til andre problemstillinger. Ellers er der tale om afgivelse af kontrol til værktøjet.

Ss projekt om binomialfordeling med simulering (Binomialfordelingen, Afsluttede projekter 2017 (CMU, 2020)) fik derfor fokus på hvordan eleverne selv inddrages i hvad der sker, så det ikke blot bliver læreren som får værktøjet til at levere output til (elevernes) fortolkning. Konkret handler det om at forstå hvordan man i Maple arbejder med visse datastrukturer. Isoleret set er dette ikke mål i læreplanerne, og i tilrettede applikationer er det oftest helt skjult. Der er ikke desto mindre tale om meget generelle strukturer som fx indgår når man skal indtaste data til en regression.

For S var det nyt at gå denne vej, og for CMU var det et konkret eksempel som illustrerer vores grundlæggende udgangspunkt at CAS transformerer faget fundamentalt. S står mellem valget at komme hurtigt til “den rene matematik”, binomialfordelingen, frembragt som output af computersimulering som er kodet af læreren og derfor uden for elevernes kontrol, eller at åbne op for at eleverne får mulighed for at kontrollere output. Det sidste indebærer nye matematiske repræsentationer som i sig selv ingen relation har til binomialfordeling.

At processer med datastrukturer og programmering har matematik-epistemiske implikationer er i tråd med læringsopfattelsen i APOS-teorien

Ss refleksioner over forbedringer af forløbet handler om at lærerens egen brug af værktøjet ganske vist kan overføres til eleverne som udøvelse, men syntesen mellem fag og værktøj forudsætter at elevernes faglige viden er på adækvat niveau. I modsat fald har de ikke mulighed for fuldt at erkende det matematiske indhold.

Opsamling og konklusion

Matematikundervisning er også efter 2017-reformen udfordret af de digitale værktøjer, og der vil være et løbende behov for udvikling af lærerkompetencer. Grundvilkårene blev allerede påpeget i 90'erne således som refereret i (Blomhøj, 1999):

“... inddragelse af avancerede edb-værktøjer i matematikundervisningen bevirker, at den didaktiske situation kompliceres (Balacheff, 1993, s. 155), at den traditionelle fagopfattelse af matematik udfordres (Noss & Hoyles, 1996, s. 3), at det matematiske indhold undergår en datalogisk transposition (Hillel, 1993), at behovet for undervisningsdifferentiering øges, samt at kravene til lærernes matematiske og didaktiske kvalifikationer vokser (Noss & Hoyles, 1996, kap. 8).” (Blomhøjs referencer).

At de stadig gælder, tyder på at de er permanente.

En del efteruddannelser har som mål at indkalde ekspertviden eller at udvikle eksemplariske forløb. CMU-projekternes egentlige værdi ligger først og fremmest hos

den enkelte lærer der reflekterer over praksis, og i den fælles diskussion og viden der opbygges om vilkår og muligheder med CAS. CMU-modellen giver således både individuelle kompetenceløft og oprustning af hele branchen. De tre cases bevidner dette.

Projektdelegerne har udtrykt stor tilfredshed med muligheden for at forfølge egen dagsorden, at møde opbakning til egne ønsker og at have et forum til at drøfte fagdidaktiske temaer. Den meget store gennemførelsesprocent viser en samklang mellem deltageres efteruddannelsesbehov og de rammer som CMU har tilbudt.

Efteruddannelse i anvendelse af matematiksoftware er i øjeblikket underlagt to overordnede forhold. Reformen fra 2017 har øget andelen af gymnasieelever der skal lære matematik, herunder at beherske CAS. Folkeskolens valg af teknologier ændrer gymnasieovergangen fagligt og i forhold til praksis.

Nedenfor er en langt fra fyldestgørende liste med udfordringer vi ser aktuelt.

- Læreren skal løbende afveje/vælge hvilke(n) platform(e) der er hensigtsmæssig(e), også set i lyset af hvad eleverne i forvejen behersker. Valget træffes ud fra forskellige prioriteter i et bredere og i et længere perspektiv. Hvad er mest relevant i forhold til anvendelser i andre fag eller med henblik på videregående uddannelse? Det er vigtigt at matematikundervisning ikke foregår i en gymnasieboble hvor valg alene begrundes ud fra pragmatiske hensyn fx ift. eksamensopgaver.
- Heri ligger også et stedsevarende spørgsmål om elevernes værktøjsbeherskelse, eksempelvis i valget mellem at give eleverne et færdigt ark som læreren selv har udviklet, eller at inddrage elevernes egen beherskelse af værktøjet mere eksplicit. Hvordan balanceres det i forhold til andre kernefaglige kompetencer, hvordan ser det ud i forhold til den nye gruppe af elever der nu er på B-niveauerne? Det er særlig vigtigt i prioriteringen mellem at udvikle mere undersøgende og eksperimenterende tilgange og tid og kræfter sat ind på fx eksamen, men også ift. at motivere arbejde med tilegnelse af redskaberne hos eleverne som en del af matematiklæring.
- Der er fortsat brug for rammer for udvikling af vidensdeling om matematik med digitale værktøjer.
- Det er fortsat nødvendigt med et fokus på overgange. Hvilke CAS-kompetencer har eleverne fra folkeskolen, og hvordan arbejdes der videre med det? Hvordan ser værktøjsbrug ud på de efterfølgende niveauer, hvad forventes, og hvad er relevant?
- Universiteternes matematikstudier inddrager digitale værktøjer mest for deres pragmatiske værdi: at løse matematikproblemer. Herved har lærerne fået den nødvendige faglige ballast for at benytte matematisk software i undervisningen. Dette er imidlertid ikke tilstrækkeligt til at lærerne uden videre kan ændre deres undervisning til et transformeret fag præget af udfordringerne med skiftende værktøjer og elevers ændrede omgang med faget.

I et internationalt perspektiv er det mest iøjnefaldende ved CMU's efteruddannelse nok at Danmark har været langt fremme i implementering af computerbrug i undervisningen, tydeligst fordi elevernes brug af egne medbragte computere skete tidligt og i stort omfang. Vores udfordringer og erfaringer er derfor pejlemærker til diskussion og deling i andre lande, se fx (Bang, Grønbaek, & Larsen, 2017b), (Bang, Grønbaek, & Larsen, 2019), (Groenbaek, Larsen, & Bang, 2017). De grundlæggende omstændigheder for computerbaseret matematikundervisning er imidlertid fælles, herunder tid som didaktisk parameter (Abboud-Blanchard, 2014). Både lærerens og elevernes tid har været under pres i de senere år. Vi har set et skift fra fokus på fagets indhold og praksis til et mere individualiseret lærings syn. Matematikteknologi betragtes af mange elever som en slags effektivisering (på linje med stavekontrol), men som vi flere gange har påpeget, er det en misopfattelse. Arbejdet med teknologierne er tidskrævende med heraf vanskelige prioriteringer for både lærere og elever. Eksemplet projektdeltager P viser at lærerens tidsforbrug med tilrettelæggelse og design kan være særdeles omfattende, mens eleverne overstår arbejdet hurtigt uden megen refleksion. Enhver lærer kender givetvis også til det modsatte, at elevernes beherskelse af selv små detaljer i programmerne tager rigtig meget tid.

Efteruddannelse modvirker ikke sådanne tidspres, men at adressere vilkårene i fællesskab og ikke blot negligere dem er kendetegnende for CMU.

Referencer

- Abboud-Blanchard, M. (2014). Teachers and Technologies: Shared Constraints, Common Responses. I A. Clark-Wilson, O. Robutti, & N. Sinclair (Red.), *The Mathematics Teacher in the Digital Era* (s. 297-317). Dordrecht: Springer. doi:10.1007/978-94-007-4638-1_13.
- Asiala, M., Brown, A., Mathew, D., Dubinsky, E., DeVries, D. J., & Thomas, K. (1996). A framework for research and curriculum development in undergraduate mathematics education. *Research in Collegiate Mathematics Education II*, 1-32.
- Bang, H., Grønbaek, N., & Larsen, C. (2017a). Out- and insourcing, an analysis model for use of instrumented techniques. *CERME10 Proceedings, TWG15*. Dublin. Hentet 10. oktober 2020 fra <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01942147>.
- Bang, H., Grønbaek, N., & Larsen, C. (2017b). Coaching and engaging. Developing teaching with CAS in High School. *CERME 10 Proceedings*. Dublin. Hentet 10. oktober 2020 fra https://keynote.conference-services.net/resources/444/5118/pdf/CERME10_0218.pdf.
- Bang, H., Grønbaek, N., & Larsen, C. (2019). Teachers' choices of digital approaches to upper secondary calculus. I J. Monaghan, E. Nardi, & T. Dreyfus (Red.), *Calculus in upper secondary and beginning university mathematics* (s. 67-70). Kristianssand, Norway: MatRIC. Hentet 10. oktober 2020 fra https://matric-calculus.sciencesconf.org/data/pages/CalcConf2019_Papers_190910.pdf.

- Blomhøj, M. (1999). Vilkår for læring i en computerbaseret matematikundervisning – tre typer af elevvirksomhed. *12*, 35. København, Danmark: Center for Forskning i Matematiklæring.
- CMU. (2017). *Rapport*. Hentet 10. oktober 2020 fra <https://cmu.math.ku.dk/dokumenter/rapport-v-5-2.pdf>.
- CMU. (2020). *Afsluttede projekter*. Hentet 10. oktober 2020 fra Center for Computerbaseret Matematikundervisning – Københavns Universitet: <https://cmu.math.ku.dk/projekter/>.
- Dale, E. L. (2008). *Pædagogik og professionalitet*. Århus: Klim.
- Dubinsky, E. (1997). Research on Undergraduate Mathematics Education: A way to get started. USA: Mathematical Association of America. Hentet 10. oktober 2020 fra <https://www.maa.org/rume-a-way-to-get-started#SECTION00090000000000000000>.
- Engeström, Y. (1987). *Learning by Expanding: An Activity Theoretical Approach to Developmental Research*. Helsinki, Finland: Orienta-Konsultit. Hentet 10. oktober 2020 fra <http://lhc.ucsd.edu/mca/Paper/Engestrom/Learning-by-Expanding.pdf>.
- Heid, K. (1988). Resequencing Skills and Concepts in Applied Calculus Using the Computer as a Tool. *Journal for Research in Mathematics Education*, *19*(1), 3-25.
- Groenbaek, N., Larsen, C., & Bang, H. (2017). Challenges in Teaching Praxis When CAS Is Used in Upper Secondary Mathematics. I G. Kaiser (Red.), *Proceedings of the 13th International Congress of Mathematical Education. ICME-13 Monographs* (s. 661-662). Springer, Cham.
- Grøn, B., Felsager, B., Bruun, B., & Lyndrup, O. (2014). *Hvad er matematik? C*. København: L&R Uddannelse.
- Jessen, B. E., Holm, C., & Winsløw, C. (2015). *Matematikudredningen: Udredning af den gymnasiale matematiks rolle og udviklingsbehov*. Københavns Universitet, Institut for Naturfagenes Didaktik. Copenhagen: IND. Hentet 10. oktober 2020 fra https://www.ind.ku.dk/publikationer/inds_skriftserie/2015-42/Matematikudredningen-web.pdf.
- Kissane, B., Kemp, M., & Bradley, J. (1997). Symbolic manipulation on a TI-92: New threats or hidden treasures? I N. Scott, & H. Hollingsworth (Red.), *Mathematics: Creating the future* (s. 388-396). Melbourne: Australian Association of Mathematics Teachers.
- Monaghan, J., Trouche, L., & Borwein, J. (2016). *Tools and Mathematics*. Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-319-02396-0.
- Nielsen, K., & Fogh, E. (2006). *Vejen til Matematik*. Silkeborg: HAX.
- Sfard, A. (1991). On the dual nature of mathematical conception: Reflections on processes and objects as different sides of the same coin. *Educational Studies in Mathematics*, *22*(1), 1-36.
- Trgalová, J., & Tabach, M. (2018). In Search of Standards: Teaching Mathematics in a Technological Environment. (L. Ball, P. Drijvers, S. Ladel, H.-S. Sille, M. Tabach, & C. Vale, Red.) *Uses of Technology in Primary and Secondary Mathematics Education, ICME-13 Monographs*, s. 387-397. doi:10.1007/978-3-319-76575-4_23.
- Trouche, L. (2014). Instrumentation In Mathematics Education. I S. Lerman (Red.), *Encyclopedia of Mathematics Education* (s. 307-313). Dordrecht: Springer. doi:10.1007/978-94-007-4978-8.

UCLA Curtis Center for Mathematics and Teaching. (2007). Hentet 10. oktober 2020 fra 10.oktober 2020 på <https://curtiscenter.math.ucla.edu/about/>.

Undervisningsministeriet. (2004). 3.1 Didaktiske principper. STX bekendtgørelse nr. 1348, bilag 34&35. Undervisningsministeriet.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Wartofsky, M. (1979). *Models:Representaions and the scientific understanding*. Dordrecht, Netherlands: Reidel.

English abstract

The use of mathematical software in upper secondary education has long been in a schism between mathematical degeneration and progressive applications. The article describes an in-service education model explicitly addressing the dilemma. Based on action research, it builds on participating mathematics teachers' commitment to involving computers without sacrificing the mathematical core subject matter that upper secondary educations aim at. We explain the didactic foundation and an activity theory framework for the model's use of computers in mathematics teaching. Exemplary participant project works uncover fundamental conditions and point to a sustained demand for in-service education and experience sharing regarding the use of mathematical software.

Evaluering af modelleringsprocessen i naturfagsundervisningen



Jørgen Løye
Christiansen



Karin Lilius



Kari Astrid
Thynebjerg



Mari-Ann
Skovlund Jensen



John
Andersson



Lars Bo
Kinnerup

Center for Skole og Læring, Professions-højskolen Absalon

Abstract: Artiklen præsenterer et operationelt evalueringsværktøj med det formål at afdække og udvikle elevernes kompetenceniveau i relation til arbejdet med modelleringsprocessen i udskolingen. Evalueringsværktøjet udgøres af en model/figur i kombination med en taksonomi. Figuren viser modelleringsprocessens delprocesser og kan give lærerne idéer til hvordan de kan være i dialog med deres elever om modellering i et læringsperspektiv og planlægge aktiviteter der stilladserer elevernes kompetenceudvikling. Taksonomien karakteriserer identificerbare elevhandlinger i relation til figuren for modelleringsprocessen på fem SOLO-taksonomiske niveauer. Evalueringsværktøjet er udviklet til lærernes dialog med og evaluering af elevernes udvikling af kompetence med hensyn til modelleringsprocessen. I artiklen udfoldes evalueringsværktøjets brug til formativ og summativ evaluering.

Introduktion

Naturfagsundervisningen i den danske grundskole er rammesat af fire naturfaglige kompetenceområder hvoraf ét er modelleringskompetencen. Med denne artikel vil vi komme med et bud på et operationelt evalueringsværktøj, der kan afdække elevernes kompetencer i relation til deres arbejde med modelleringsprocessen.

Med udgangspunkt i to statusnotater (Rambøll et al., 2018 og 2020) og læseplanerne for naturfagene i udskolingen definerer og begrundes vi vores fokus på modellerings-

processen. Med udgangspunkt i en model (herefter kaldet figur 1) for modelleringsprocessen har vi udviklet en rubric hvis formål det er at gøre modelleringsprocessen operationaliserbar i relation til en evalueringsdialog. Lærerne kan derfor med udgangspunkt i denne evaluere og være i dialog med eleverne om niveauet for deres målopnåelse i relation til de opstillede mål for modelleringsprocessen. Rubricen kombinerer generelle karakteristika ved modelleringsprocessen med SOLO-taksonomien og peger dermed på aktivitetstyper der gør det muligt at se tegn på elevernes opnåede kompetenceniveau.

Modelleringsprocessen som selvstændig disciplin

Modelleringsprocessen er en del af modelleringskompetencen der igen er et af de fire områder der tilsammen udgør naturfaglig kompetence. Dolin et al. (2003) har følgende definition af den generelle naturfaglige kompetence:

“Evne og vilje til handling, alene og sammen med andre, som udnytter naturfaglig undren, viden, færdigheder, strategier og metaviden til at skabe mening og autonomi og udøve medbestemmelse i de livssammenhænge hvor det er relevant.” (Dolin et al., 2003, p. 72).

I artiklen anvender vi styringsdokumenternes definitioner af modelleringskompetencen og modeller da det er disse dokumenter lærerne i sagens natur skal styre efter i planlægningen af deres undervisning. Samtidig er målene for udvikling af naturfaglig kompetence, herunder modelleringskompetencen, bindende (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019a, b, c).

I udviklingen af et evalueringsværktøj til brug for evaluering af modelleringskompetencen benytter vi os derfor af den definition af modelleringsprocessen der fremgår af styringsdokumenterne, og hvor *udvælgelse* af data/informationer er inkluderet, mens det at *indsamle* og *producere* egne data ikke er inkluderet i modelleringsprocessen (se endvidere Christiansen et al. 2019 og Christiansen 2020b).

Modelleringskompetencen defineres i styringsdokumenterne (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019a, b, c, d), som bestående af tre delelementer:

1. **brug af modeller** til at forstå, forklare eller forudsige fænomener og systemers opførsel
2. **metamodelleringsforståelse**, hvor eleven kan diskutere og forholde sig kritisk til modeller
3. **modelleringsprocessen**, hvor eleven skal vise evnen til at kunne revidere/konstruere modeller.

Modeller er genstande for alle tre dele. I styringsdokumenterne karakteriseres en model som: “... en repræsentation af naturfaglige relevante aspekter af naturen eller den menneskeskabte verden. Typisk fremstiller en model faglige begreber, sammenhænge, processer eller hele systemer. Modeller er i princippet forskellige fra det, de fremstiller, og de er typisk forsimplinger, hvor kun udvalgte træk fremhæves. En model er oftest kun brugbar til bestemte formål.” (Børne- og undervisningsministeriet 2019a, b, c, d).

I det følgende vil vi fokusere på den “rene” modelleringsproces da det er denne del af modelleringskompetencen som har vist sig at være nærmest fraværende når elever arbejder ved den fællesfaglige naturfagsprøve (Rambøll et al. 2018).

Dette understøttes desuden af følgende lærerudsagn fra Christiansen et al. (2019), der ved brug af interviews bl.a. har undersøgt hvordan der arbejdes med modelleringsprocessen i undervisningen i udskoling:

“[Jeg] har ikke tidligere i undervisning ladet eleverne udvælge, vurdere eller udvikle (producere) modeller. Det er egentlig ikke, fordi tanken har været, at det er for svært at lade eleverne producere modeller, det har bare ikke være med inde i overvejelserne.” (Christiansen et al., 2019 p. 21).

Undersøgelsen afdækkede at meget få lærere havde fokus på at eleverne arbejdede med at udvikle og designe modeller i deres undervisning.

Hvordan er modelleringskompetencen hidtil blevet evalueret?

Ifølge statusnotatet fra 2018 var der ved den fælles prøve i udskolingens naturfag i 2017 primært fokus på kompetenceområderne perspektivering og kommunikation. Generelt var der et fravær af evaluering af undersøgelses- og modelleringskompetencen fra underviser og censors side, og eleverne fik dermed ikke i tilstrækkelig grad mulighed for at vise deres niveau for udvikling af disse kompetencer (Rambøll et al. 2018).

Vurderingskriterierne for den fælles prøve blev efterfølgende justeret for at få dem til at fremstå mere operationelle og vejledende for lærerne og med en tydeligere sammenhæng til Fælles Måls kompetenceområder og -mål. De fagspecifikke færdigheds- og vidensmål blev desuden gjort vejledende, mens de tilsvarende mål for de fire kompetenceområder fortsat er bindende.

Formålet med ændringerne var at understøtte lærerne i at kunne vurdere elevernes naturfaglige kompetencer både i undervisnings- og prøvesammenhæng. Endvidere blev det præciseret at de uddybende spørgsmål som skal stilles til eleverne under prøven, skal være kompetenceorienterede, dvs. skal kunne afdække elevernes naturfaglige kompetencer – ikke kun deres faktuelle viden og færdigheder.

Eleverne var i 2020 ifølge Rambøll et al. (2020) blevet bedre til at *anvende* modeller og illustrationer til at *forklare* fænomener og sammenhænge, men de forholdt sig fortsat ikke *kritisk* til de anvendte modeller, ligesom man ikke observerede at eleverne *reviderede/udviklede* modeller ud fra egne undersøgelser.

Behovet for en kompetenceorienteret evalueringsform

Lærerne tilkendegiver at de har fokus på de naturfaglige kompetencer, men en effekt af dette fokus observeres ikke ved prøverne (Rambøll et al. 2018 s. 32).

Lærerne har ifølge Rambøll et al. (2020) fortsat behov for kompetenceudvikling, både til integrering af de fire naturfaglige kompetenceområder i undervisningen og til evaluering af elevernes niveau af udviklet kompetence i det daglige og under selve prøven.

I relation til resultaterne fra Rambøll et al. (2020) kunne lærerne have behov for et værktøj som støtter dem i at evaluere de naturfaglige kompetencer både formativt og summativt, ikke mindst i relation til modelleringskompetencen og i særdeleshed i den del der vedrører modelleringsprocessen – *at revidere og udvikle modeller* – der som anført var fraværende under de observerede prøver.

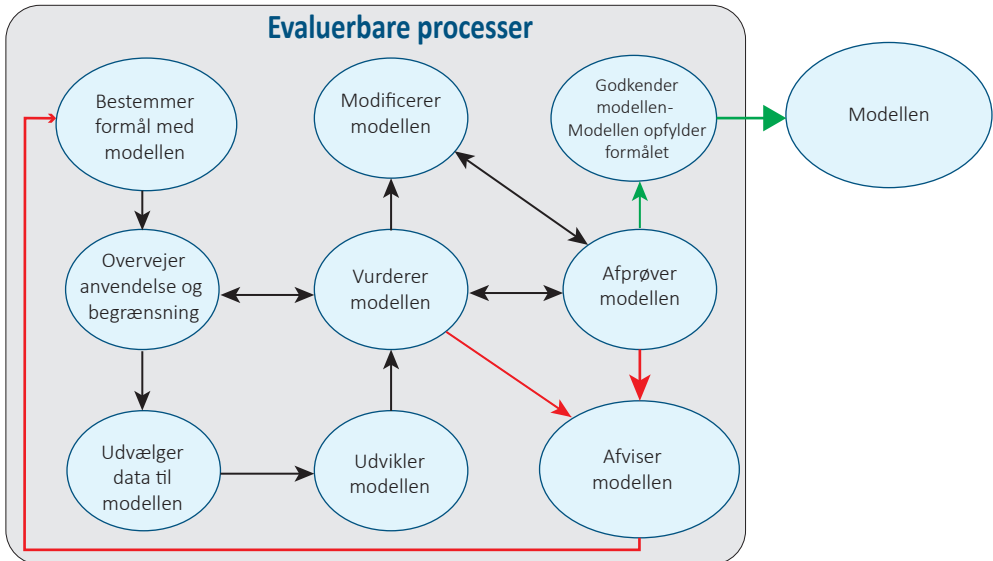
For at kompetencebegrebet skal give mening, skal et givent kompetenceområde kunne operationaliseres og gøres konstaterbart (Elmose, 2007). Med afsæt i den viden har vi udviklet en model (figur 1) der opdeler modelleringsprocessdelen af elevernes modelleringskompetence i delprocesser som hver især kan gøres konstaterbare. Nogle er konstaterbare i sig selv da processerne er handlingsbaserede, mens andre kan gøres konstaterbare gennem en dialog med eleven.

Præsentation af evalueringsværktøjet

Nedenfor præsenteres *Figur til evaluering af modelleringens delprocesser* (figur 1). Figurens terminologi sammenholdes i tabel 1 med terminologien i styringsdokumenterne så sammenhængen fremgår tydeligt. Terminologien i figur 1 er forskellig fra den i styringsdokumenterne da formuleringen af delprocesserne i styringsdokumenterne ikke umiddelbart tilbyder en stringent konstaterbarhed da styringsdokumentet primært beskriver mentale processer der er tanker i elevernes hoveder som ikke umiddelbart giver anledning til konstaterbare *“tegn på læring”*. Dette er i modsætning til konkrete processer der er handlinger eleven udfører, og som derfor er umiddelbart konstaterbare. Da der er tale om en kompetence, og da kompetence er defineret bl.a. som evne og vilje til handling (Dolin et al., 2003, p. 72), er det netop vigtigt at kunne konstatere på handleniveau.

Figur 1's terminologi	Læseplanernes terminologi
Mentale modeller, tankeeksperimenter	Modellering er mentale eller konkrete aktiviteter
Bestemmer formål med modellen	eleverne får et skærpet blik for betydningen af en models funktion
Overvejer anvendelse og begrænsning	eleverne får et skærpet blik for forholdet mellem model og virkelighed eleverne sammenligner modeller
Udvælger data til modellen	... på baggrund af egne eller andres undersøgelser
Udvikler modeller/Udvikler modeller	eleverne konstruerer nye modeller
Vurderer modellen	eleverne får et skærpet blik for modellens styrker og svagheder
Modificerer modeller	eleverne bearbejder eksisterende modeller eleverne reviderer modeller
Afprøver – afviser eller godkender model	eleverne undersøger modeller

Tabel 1. Figur 1's beskrivelse af modelleringens konstaterbare delprocesser sammenholdes med de beskrevne processer i styringsdokumenterne. I relation til begge dokumenters terminologier er mentale processer i fed og konkrete processer i kursiv.



Figur 1. Model over modelleringens delprocesser der indgår i SOLO-taksonomi-evalueringsskemaet udviklet med inspiration fra Justi og Gilbert, 2002, Gilbert og Justi, 2016 og Christiansen, 2020a. Figuren beskrives nedenfor både i sin helhed og i de enkelte delprocesser.

Modelleringsprocessen indledes med at beslutte et **formål** med den model der skal udvikles. Det er dermed hensigten med modellen der bestemmes i den første fase. I den efterfølgende fase overvejes hvad modellen skal anvendes til, og derefter udvælges de data på baggrund af hvilke elevmodellen skal udvikles. Elevmodellen udvikles og bliver efterfølgende vurderet. Modelleringsprocessen frem mod udviklingen af en færdig elevmodel kan herefter gå forskellige veje. Disse delprocesser er i figur 1 illustreret med dobbeltpile:


- **Modellen afvises** af eleven, og modelleringsprocessen starter forfra med at bestemme et (nyt) **formål med modellen**. Denne proces er i figur 1 markeret med en lang rød pil.
- Ved at følge dobbeltpilene kan eleven vende tilbage til **overvejelser om anvendelse og begrænsning**, hvorefter det er muligt at processen **udvælgelse af data** foregår på ny, eller eleven **revurderer modellen** etc., som indikeret af dobbeltpilene.
- **Modellen modificeres** af eleven inden afprøvningen. Herefter **vurderes den** eventuelt igen, eller den sendes tilbage til **modificering** etc., indikeret af dobbeltpilene.
- **Modellen afprøves** af eleven. Det vurderes om modellen er i overensstemmelse med de data den er udviklet på baggrund af, og om den tilgodeser det opstillede formål. Herefter enten **godkendes** eller **afvises** modellen (hhv. en grøn og en rød kort pil).

Sammenhængen mellem de enkelte delprocesser i figur 1 bliver tydelige når læreren i sin undervisning tager udgangspunkt i en modelleringsproces og dermed har mulighed for på en gang at udvikle elevernes delkompetencer i modelleringsprocessen og understøtte elevernes kompetenceudvikling til at *forstå, forklare, forudsige med, diskutere* og *forholde sig kritisk til* modeller, da disse handlinger indirekte indgår i modelleringsprocessens delprocesser.




For eksempel kræver delprocessen **modificerer modellen** at eleven *forstår* modellens budskab og kan *forholde sig kritisk* til den måde det kommunikeres på, mens delprocessen **vurderer modellen** kræver at eleven kan *forklare* og *diskutere* modellens budskab. Når eleven arbejder med delprocessen **afprøver modellen**, bliver det nødvendigt for eleven at kunne *forudsige med* modeller.

I undervisningen kan læreren derfor implicit arbejde med at udvikle alle tre dele af elevernes modelleringskompetence: brug af modeller, metamodelleringsforståelse samt at udvikle og revidere modeller (modellering som proces) samtidig.

Til figur 1 knytter sig en rubric (figur 2) der angiver en taksonomi som tager udgangspunkt i Biggs' SOLO-taksonomi (Biggs & Tang, 2011). Figur 1 giver en kort karakteristik af de forskellige faser af modelleringsprocessen. Disse faser er udfoldet taksonomisk i den udviklede rubric (figur 2).

Modellerings- proces/ SOLO niveau	SOLO 1 Ikke struktureret	SOLO 2 Ensidigt struktureret
SOLO Taksonomien		
Kognitive verber	Misforstå	Kendskab til Viden om Genkende Tilegne sig Huske Identificere Benævne Definere
Bestemmer formål med modellen og kommunikerer det	<i>Kommunikere ikke et fagligt formål med udviklingen af modellen</i>	<i>Kommunikere med egne ord et fagligt formål med udviklingen af modellen</i>
Udvælger relevant data for model	<i>Udvælger irrelevante data</i>	<i>Udvælger mangelfulde eller ikke-relaterbare data</i>
Udvikler modellen og kommunikerer om den	<i>Anvender få eller begrænsede data. Kommunikere ikke, hvad modellen viser.</i>	<i>Baserer modellen på få usammenhængende aspekter og kommunikerer en begrænset faglig viden</i>
Kontrollerer om der er overensstemmelse mellem model og data	<i>Forholder ikke modellen til de udvalgte data</i>	<i>Kommunikere en mangelfuld forståelse af sammenhængen i modellen</i>
Vurderer modellen i forhold til formålet	<i>Vurderer ikke sammenhængen mellem formål og model</i>	<i>Vurderer mangelfuldt sammenhængen mellem formål og model</i>
Perspektiverer modellens anvendelses- områder og begrænsning ved modellen	<i>Kommunikere ikke sammenhængen mellem model og virkelighed og/eller redegør ikke for modellens anvendelsesområder og begrænsninger</i>	<i>Kommunikere med fokus på ét aspekt, og konkluderer ubegrundet og enstrenget på sammenhængen mellem model og virkelighed</i>

Figur 2. Rubric udviklet ud fra en SOLO-taksonomisk forståelse af modellering som proces (Biggs & Tang 2011). Mål for aktiviteten: "Du kan udvikle en model af..." (kortlink.dk/28hud) (se en version hvor der er vist eksempler på mulige elevudsagn i relation til de enkelte taksonomiske niveauer samt forslag til stilladserende lærerspørgsmål under de enkelte delprocesser (kortlink.dk/28huf).

SOLO 3 Multi struktureret	SOLO 4 Relationelt	SOLO 5 Abstrakt
		
Klassificere Opremse Beskrive Beregne Strukturere	Sammenligne Forklare/fortolke Analysere Anvende Årsagsforklare Relatere	Teoretisere Generalisere Reflektere Genere/udvikle Perspektivere
<i>Kommunikerer om formål med udviklingen af modellen ud fra kendt fagfaglig viden</i>	<i>Kommunikerer om formål med udviklingen af modellen ud fra komplekse faglige sammenhænge</i>	<i>Kommunikerer og problematiserer formål med udvikling af modellen ud fra egne fremsatte hypoteser og kompleks faglig viden</i>
<i>Udvælger og kombinerer forskellige data</i>	<i>Udvælger, kombinerer og relaterer forskellige data</i>	<i>Udvælger ud fra den fremsatte hypotese data og relaterer til relevante eksisterende teorier</i>
<i>Baserer modellen på flere aspekter med nogen sammenhæng og kommunikerer faglig forståelse, men relaterer ikke de forskellige faglige elementer</i>	<i>Baserer modellen på relationen mellem flere aspekter og generaliserer faglige sammenhænge og observationer på en let kommunikerbar måde</i>	<i>Baserer den enkle generaliserende model på en fagoverskridende analyse af hypotese, teorier og data. Generaliserer faglige sammenhænge og observationer og lægger op til en kompleks kommunikation og analyse om og med modellen</i>
<i>Kommunikerer beskrivende om sammenhænge i modellen</i>	<i>Kommunikerer og analyserer overordnede sammenhænge gennem modellen</i>	<i>Kommunikerer og behersker en overordnet sammenhængsforståelse af data og integrerer flere relevante faglige forståelser og teorier til en helhed</i>
<i>Vurderer på enkelte parametre sammenhænge mellem formål og model</i>	<i>Vurderer og forholder sig kritisk til sammenhænge mellem formål og model</i>	<i>Vurderer, forholder sig kritisk og videreudvikler modellen på et reflekteret grundlag med afsæt i det oprindelige formål for modellen</i>
<i>Kommunikerer om flere relevante faglige forhold, der behandles gennem modellen, men relaterer dem unuanceret til virkeligheden</i>	<i>Kommunikerer om alle væsentlige relevante faglige forhold, der behandles gennem modellen, og relaterer dem til den komplekse virkelighed</i>	<i>Kommunikerer om alle væsentlige relevante faglige forhold og teorier, der behandles gennem modellen, og konkluderer på baggrund af den opstillede hypotese i relation til modellens formål. Perspektiverer modellen til den komplekse virkelighed og kommunikerer ideer til at videreudvikle modellen efter en nuanceret analyse og vurdering af dens anvendelsesområder og begrænsninger</i>

Horisontalt viser rubricen de fem SOLO-taksonomiske niveauer (Brabrand et al. 2019), som beskrives både billedligt og gennem kognitive verber. Vertikalt er delprocesser i modelleringsprocessen karakteriseret svarende til delprocesserne i figur 1.

Fire delprocesser i figur 1 er slået sammen til én kategori i rubricen (figur 2). Det er delprocesserne: **vurdering af** den udviklede model, **modificering af** den udviklede model samt **afprøvning af** den udviklede model og at **sammenholde modellen med data**. Det har vi valgt at gøre da det at vurdere kan være en skjult mental proces som læreren først ser tegn på når eleven fx modificerer sin model, mens det at afprøve en model kræver noget at afprøve op imod, fx de data modellen er udviklet på baggrund af, og som dermed bliver en konstaterbar proces.

Den tætte relation mellem figur 1 og figur 2 udgør tilsammen et værktøj som læreren kan anvende både i planlægningen af undervisningen, planlægning af de enkelte modelleringsaktiviteter og til at evaluere elevernes udvikling af kompetence, både formativt og summativt. Dette udfoldes senere i artiklen.

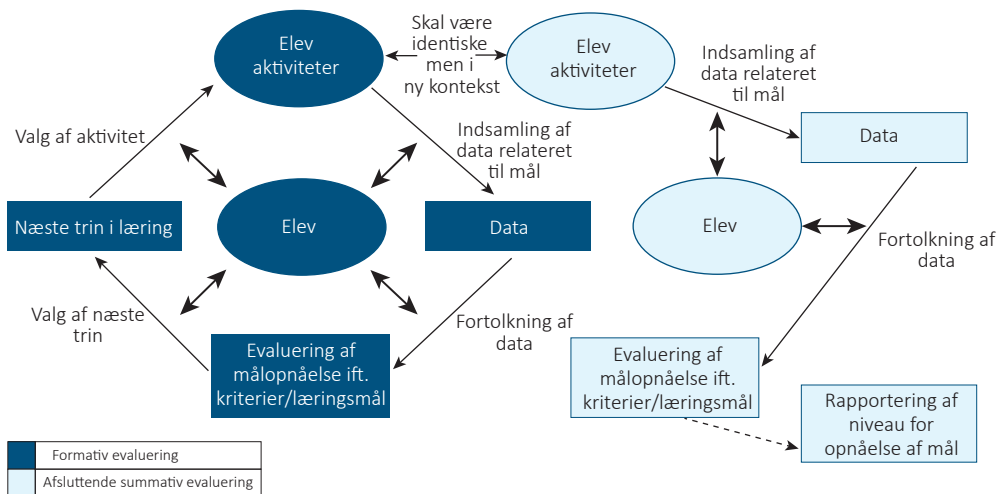
Brugen af værktøjet kan være med til at holde fokus på elevernes mestring af kompetencer i stedet for et fokus på præstationsorientering både i undervisningen og i evalueringssituationer, hvad enten disse er formative eller summative (Dolin & Nielsen 2016).

Evaluering af modelleringsprocessen under modelleringskompetencen

Dolin et al (2017) argumenterer for at valid vurdering af kompetencer nødvendiggør udvikling af nye evalueringsmetoder der baseres på et sociokulturelt evalueringsparadigme hvor eleverne kan udfolde sig i autentiske, virkelighedsnære kontekster. Enhver evaluering forudsætter mål. Hvis lærerne skal evaluere kompetencer, må målene nødvendigvis være kompetenceorienterede. Mål som er vidensfokuserede, eller manglende mål for elevernes læring umuliggør evalueringen af kompetencer.

En formativ evalueringssdialog tilbyder mulighed for at evaluere kompetencer. *Formativ evaluering* indeholder en *summativ komponent*, idet den formative evalueringssdialog tager afsæt i en vurdering af elevens niveau i nuet inden for det mål der evalueres. Den *afsluttende summative evaluering* er en formativ evaluering hvor den summative komponent fremhæves. Ved at anvende en formativ evalueringssdialog bidrager evalueringen til at eleven ser sig selv i et udviklingsperspektiv og ikke som afsluttende vurderet med et tal.

Evaluering af niveauet for målopnåelse



Figur 3. Relationen mellem den formative og den afsluttende summative evaluering udviklet på baggrund af Dolin et al (2018).

Figuren *Evaluering af niveauet for målopnåelse* (figur 3) viser hvordan man kan opfatte evalueringsprocessen – som både formativ og summativ evaluering – og er en videreudvikling af en model/figur præsenteret af Dolin et al (2018). I figuren kan man betragte processen fra en elevaktivitet til næste elevaktivitet som en læringscyklus. Dermed beskriver figuren hvordan en læringscyklus kvalificeres af formativ evaluering, og hvordan en afsluttende summativ evaluering kan forstås og gennemføres ud fra de samme mål for undervisningen/vurderingskriterier. Eleven tager aktiv del i evalueringsprocessen markeret med dobbeltpile til eleven. Dobbeltpilene markerer dermed en summativ komponent som i den rent formative proces markerer at der også i denne indgår en summativ komponent, idet elevens niveau må bestemmes som afsæt for den rent formative evalueringssdialog med eleven.

Det udviklede værktøjs anvendelse til evaluering

Interaktionen i dialogform mellem eleven og læreren samt evt. censor som vist i figur 3 kan fx give indblik i modelleringsprocessen og dermed muliggøre en vurdering af elevens præstation i relation til fastsatte vurderingskriterier. Under denne interaktion kan det udviklede værktøj der udgøres af figur 1 (modelleringsens delprocesser) og figur 2 (rubric), bringes i anvendelse.

Værktøjet kan foruden at understøtte evalueringssdialoger med eleven imødekomme et ønske hos nogle lærere om støtte til at udvikle og gennemføre en kompetenceorienteret naturfagsundervisning (Rambøll et al. 2018 & 2020).

Figur 1 tydeliggør modelleringsprocessen så lærerne støttes i at stille spørgsmål der kan understøtte elevernes præstationer og demonstration af niveauet for udviklet kompetence. Figur 1 kan anvendes både i forbindelse med den afsluttende summative fælles prøve i udskolingens naturfag og i den daglige undervisning både formativt og summativt som hjælp til at stilladsere elevernes arbejde med modelleringsprocessen.

Hvis rubricen (figur 2) anvendes i en **formativ evaluering**, vil den kunne understøtte en undervisningstilrettelæggelse med fokus på udvikling af elevernes kompetence til at gennemføre modellering som proces. Dermed vil rubricen kunne bidrage til at sætte retning for lærernes tilrettelæggelse af kompetenceorienteret naturfagsundervisning inden for modellering. Ved at anvende rubricen til **summativ evaluering** af elevernes kompetence til at udvikle modeller kan man umiddelbart erfare elevernes niveau for udviklet kompetence, herunder elevens begrænsede kompetence i arbejdet med modelleringsprocessen.

Det udviklede evalueringsværktøj, der udgøres af *Figur over modelleringens delprocesser* (figur 1) og de tilhørende vurderingskriterier i rubricen (figur 2), viser hvordan man i interaktionen med eleven på én gang kan stilladsere og samtidig vurdere elevens præstation under modelleringsprocessen. Evalueringsværktøjet er med afsæt i formulerede og kommunikerede mål for undervisningen og med sin formative tilgang desuden tænkt anvendt summativt til vurdering af elevernes niveau af udviklet kompetence, fx ved afslutningen af et forløb eller ved den afsluttende prøve. Dermed lever evalueringsværktøjet både op til at have operationaliserbare kompetenceorienterede mål og ud fra målene at kunne lægge op til konstaterbare processer i relation til modelleringsprocessen.

Figur 1 og den tilknyttede rubric (figur 2) giver dermed lærerne et værktøj til planlægning af undervisningsaktiviteter i forbindelse med udvikling af elevernes kompetence til at modellere og til i den daglige undervisning at kommunikere med eleverne om målet for deres kompetenceudvikling.

Evalueringssprocessen i detaljer

En elevaktivitet giver anledning til en dialog mellem elev og lærer (og evt. censor) så eleven støttes til gennem processen at demonstrere sit niveau for målopnåelse.

Læreren (og evt. censor) indsamler data om elevens præstation (det kan være gennem et elevprodukt, noter etc.). I praksis kan det ske i form af åbne spørgsmål som får eleven til at demonstrere sin evne til at modellere. Hvis elevens kompetence til at udvikle en model med baggrund i et formål skal afdækkes, kan det fx ske gennem spørgsmålet: "Hvad skal din model vise?" Et opfølgende spørgsmål kunne afdække elevens niveau i forhold til at vurdere modeller: "Hvordan synes du at din model og dit formål passer sammen?" Åbne spørgsmål som disse vil ikke alene kunne evaluere elevens kompetenceniveau, men også kunne stilladsere elevens tilegnelse af kompe-

tence i arbejdet med modelleringsprocessen, og dialogen som spørgsmålet afstedkommer, vil desuden kunne give eleven mulighed for at opbygge en metaforståelse af modelleringsprocessen, som kan styrke læringen. Se yderligere forslag til spørgsmål i rubricen med elevudsagn (kortlink.dk/28huf).

De indsamlede data fortolkes i en dialog med eleven i relation til de opstillede vurderingskriterier for målopnåelse så eleven forstår det niveau som lærer og evt. censor vurderer eleven til at være på. Herefter vil den afsluttende summative evaluering være afsluttet, evt. med en karakterafgivelse og indberetning af denne.

Den formative evaluering fortsætter idet elev og lærer på baggrund af elevens niveau for målopnåelse i relation til vurderingskriterierne beslutter hvad det næste trin i elevens kompetenceudvikling er. Ud fra evalueringen vælger elev og lærer hvilken aktivitet der kan understøtte elevens videre kompetenceudvikling, og en ny læringscyklus starter.

I forlængelse af eksemplet fra før kunne evalueringen vise at eleven har udviklet kompetence til at opstille et formål for sin model på SOLO-taksonomisk niveau 3 ved at kommunikere om formål for modellen ud fra kendt fagfaglig viden. Kompetencen til at vurdere overensstemmelsen mellem formål og den udviklede model vurderes måske til at være på niveau 2, og målopnåelsen er derfor mangelfuld. Næste trin kunne derfor være at fokusere på at eleven udvikler sin kompetence til at vurdere modeller ud fra overensstemmelse mellem formål og udviklet model i kommende undervisningsaktiviteter. Dette fokus kan læreren have for hele klassen eller for udvalgte elever. Læreren vælger fx at tilrettelægge modelleringsaktiviteter hvor peer-feedback bringes i anvendelse. Eleverne skal gennem en samtale opbygge viden om hvilke formål/hensigter der kan være med forskellige typer af modeller. Efterfølgende skal eleverne vurdere hinandens modeller for sammenhængen mellem formål og model. Denne peer-feedback er en formativ evaluering, og en ny læringscyklus er dermed gennemløbet.

Forskellen på den afsluttende summative og den formative evaluering er at den afsluttende summative evaluering ikke udgør en fuld læringscyklus, idet der ikke vælges et næste trin for elevens kompetenceudvikling da der ikke skal vælges ny elevaktivitet.

Figuren *Evaluering af niveaulet for målopnåelse* (figur 3) adskiller sig fra den originale (Dolin et al 2018) ved at den formative evaluering der anvendes afsluttende summativt, er flyttet ud, og den indgår dermed ikke i den fortsatte proces. Den summative komponent der indgår i den formative evaluering som ikke anvendes afsluttende summativt, er i modellen markeret med dobbeltpile mellem eleven i midten og processerne der forløber mellem aktiviteterne. Den tilgodeser at en evaluering af kompetencer i sagens natur er nødt til at evaluere elevens evne og vilje til handling (Dolin 2003), og derfor må evalueringen foregå i en situation hvor lærer og evt. censor

har mulighed for at stille spørgsmål til elevens tanker i forbindelse med elevaktiviteten i relation til vurderingskriterierne under selve modelleringsprocessen.

Diskussion

Hvis indholdet i undervisningen skal fremstå meningsfuldt for eleverne, må det organiseres omkring et centralt begreb og/eller et centralt princip (Winsløw 2009). Naturligvis har det naturfaglige indhold og dets karakter også en betydning, fx kan abstraktionsniveauet have en direkte afsmittende effekt på abstraktionsniveauet i elevernes modeller.

Med afsæt i denne forståelse har vi udviklet en figur for delprocesserne som man kan arbejde med i en undervisning der tager udgangspunkt i modelleringsprocessen. Undervisningen der tilrettelægges så elevernes forståelse af hver enkelt af de underliggende delprocesser opbygges først, er i princippet lettere at tilrettelægge. Dog vil der ved en sådan tilrettelægning være en risiko for at modelleringsprocessen bliver fragmenteret, og undervisningen kommer i værste fald til at fremstå meningsløs (Winsløw 2009). Ved at tage udgangspunkt i den samlede modelleringsproces som det centrale princip i stedet for én delproces ad gangen prøver vi at undgå elevens oplevelse af modelleringsprocessen som fragmenteret.

Under arbejdet med modelleringsprocessen må elevernes kompetence og faglige forståelse udvikles samtidig og i en vekselvirkning. En sammenhæng mellem elevens eksisterende færdigheder og viden og det der skal læres, er en forudsætning for meningsfuld læring. Fravær af denne sammenhæng kan være en hindring for at eleverne kan tilegne sig struktureret læring (Winsløw 2009).

Eleverne kan i starten når kompetencen skal udvikles, have uklare forestillinger om den samlede modelleringsproces. Dette afhjælpes ved at de enkelte delprocesser introduceres løbende når den enkelte elevs behov opstår, og undervisningen struktureres så kompetencen udvikles gennem arbejdet med at: *Bestemme modellens formål, overveje anvendelse og begrænsninger af, udvælge data til, udvikle, vurdere, modificere og afprøve modeller.*

Den viden og de færdigheder vi på denne baggrund forventer at eleverne udvikler, kan gradvist indgå i en sammenhæng med en tydelig reference til det centrale princip og med baggrund i den motivation som udspringer af det centrale princip, *modelleringsprocessen*. Gennem denne proces vil eleverne udvikle en sammenhængende kompetence til at gennemføre en samlet modelleringsproces.

Vores forventning er at elevernes forståelse for og færdighed i at gennemføre en fuld modelleringsproces samt kompetencen til de enkelte delprocesser i modelleringskompetence udvikles, integreres og/eller konsolideres ved brug af formativ evaluering som en væsentlig del af arbejdet med elevernes modelleringskompetence.

Formålet med den udviklede rubric (kortlink.dk/28huf) har været at give lærerne inspiration til hvordan de i en dialog med eleverne under deres arbejde med en modelleringsproces kan vurdere elevernes niveau for mål opnåelse for den udviklede modelleringskompetence og samtidig stilladsere elevernes udvikling af kompetence.

Praksissen med at udvikle og anvende rubrics er ikke ny, og den understøttes blandt andet af ASTRA, der på hjemmesiden astra.dk giver lærere vejledning til brug og udvikling af egne rubrics.

Niveauerne i rubricen for hver enkelt delproces er beskrevet i generelle vendinger. Det gør det muligt for lærerne at tilpasse rubricen til deres undervisning med det formål at udvikle elevernes kompetence til at revidere eksisterende/konstruere egne modeller.

Anvendelsen af SOLO-taksonomiske niveauer (Biggs & Tang 2011) er valgt da disse i højere grad har fokus på "learning outcomes" og dermed konstaterbare udtryk for den lærendes (her elevens) udviklede kompetence. SOLO-taksonomien finder ligeledes anvendelse i lærerkredse, fx på skolerne i Gladsaxe Kommune (Gladsaxe 2020). Ved at anvende SOLO-taksonomien til at beskrive tegn på læring understøttes lærerne i at målsætte på kompetenceniveau når de tilrettelægger undervisning og aktiviteter der fx skal udvikle elevernes modelleringskompetence gennem arbejdet med modelleringsprocessen.

Rubricversionen med eksempler på mulige elevudsagn i relation til de enkelte SOLO-taksonomiske niveauer for hver af delprocesserne i modelleringsprocessen er udviklet for at tilbyde konkrete eksempler på hvilket niveau af tænkning eller færdighed et givet taksonomisk niveau repræsenterer (kortlink.dk/28huf).

Forslagene til åbne spørgsmål til evaluering af hver delproces (kortlink.dk/28huf) er inspiration til lærerne til hvordan elevens blik på modellen og modelleringsprocessen kan gøres til genstand for en dialog. Spørgsmålene kan desuden anvendes til at stilladsere elevernes udvikling af modelleringskompetencens tre delelementer: færdigheder og viden til at bruge og konstruere/revidere modeller og metamodelleringsforståelse.

Elevudsagnene under de fem taksonomiske niveauer for hver af modelleringsprocessens delprocesser skal betragtes som eksempler på hvad en elev på et givet SOLO-taksonomisk niveau *eventuelt kunne* udtrykke under arbejdet med den specifikke delproces. I eksemplet er der stor forskel på hvad elever på niveau 2 og niveau 4 ville svare på et åbent lærerspørgsmål af typen: "Hvad viser din model?" Eleven på niveau 2 udtrykker sig overfladisk om sin model, mens eleven på niveau 4 kan redegøre for underliggende delprocesser i modellen. I relation til vands kredsløb kunne det være faseovergange, afstrømning osv. Udsagnene skal opfattes som en kilde til inspiration til hvilken karakter af udsagn man kan kigge efter. De kan ikke opfattes som et absolut krav til hvad eller hvordan eleverne skal kommunikere på det specifikke SOLO-taksonomiske niveau under den givne delproces i deres arbejde med modelleringsprocessen.

Udsagnene er delvist forfatterens konstruktioner baseret på erfaring med undervisning af elever i udskoling og delvist autentiske udsagn fra elever i undervisningssituationer der ikke nødvendigvis har haft elevernes tilegnelse af modelleringskompetensens modelleringsproces som mål.

De præsenterede rubrics er udviklet til udskolingens 7.-9. klasser. Samme type rubrics vil kunne udvikles til natur-/teknologiundervisningen. En anden mulighed er at lærerne for at kunne anvende rubricen i skolens 4.-6. klasser reducerer antallet af SOLO-taksonomiske niveauer og kun forholder sig til niveau 1 til 3.

Opsummering

Resultaterne fra Rambøll et al. (2020) indikerer at lærerne har behov for et værktøj der kan støtte dem i både formativt og summativt at evaluere især den del af modelleringskompetencen der omhandler modelleringsprocessen.

Vi har på den baggrund forsøgt os med at udvikle et værktøj hvor kombinationen af en figur/model af modelleringsprocessen og en taksonomi (rubric figur 2) giver lærerne redskabet til både at gennemføre formative og summative evalueringsdialoger med elevernes til afdækning af deres opnåede kompetenceniveau under arbejdet med modelleringsprocessen.

Værktøjet, hvor figur 1 og taksonomi skal anvendes i en kombination, er udviklet til at inspirere og stilladsere lærernes udvikling af en kompetenceorienteret undervisning, som igen kan udvikle elevernes modelleringskompetence. Udviklingen sker i relation til den del der omhandler modelleringsprocessen. Evalueringsværktøjet må ikke forstås som en facitliste for hvad en elev skal kunne på et givet tidspunkt for at opnå en given karakter. Værktøjet kan og bør tilpasses i forhold til lærernes specifikke kompetencemål for den undervisning hvor værktøjet bringes i anvendelse.

Når lærerne anvender værktøjet som inspiration til at opstille operationaliserede og konstaterbare kompetencemål, kan det uhensigtsmæssige fokus på præstationsorientering nedbrydes og et større fokus på elevernes mestring af kompetencer opnås når undervisning og evalueringssituationer planlægges (Dolin & Nielsen 2016).

Anbefaling

Vi foreslår at skolernes naturfaglige teams tager evalueringsværktøjet til sig og anvender det til at tilrettelægge undervisningsforløb der har til formål at udvikle elevernes modelleringskompetence i relation til modelleringsprocessen. Dette kan ske med et produkt af en elevudviklet model for øje, selvom der fra gang til gang kan være ekstra fokus på udvalgte delprocesser. Arbejdet kan ledsages af udarbejdelsen af en lokal plan for hvordan der arbejdes med en progression i elevernes kompetence til at modellere.

Med afsæt i det fællesfaglige fokusområde: *Drikkevandsforsyning for fremtidige generationer* i 7., 8. eller 9. klasse foreslår vi fokus på udvikling af følgende delkompetencer som skitseret i rubricen (figur 2):

I 7. klasse kunne fokus være på at udvikle elevernes kompetence til at opstille formål for egne modeller og vurdere om dette formål er opfyldt i den afsluttede model. I undervisningen kan eleverne have arbejdet med modeller der forklarer vandkredsløbets delprocesser, fx vejr, tilstandsformer, nedsivning og dannelse af grundvand. Når de formulerer et formål med modellen, kan der evalueres på om eleverne inkluderer denne viden og viser målopnåelse på SOLO-niveau 3 ved fx at sige noget i retningen af: "Jeg vil lave en model der viser hvordan vandet kommer fra atmosfæren til jorden og tilbage til atmosfæren igen. Grundvandet skal også være med. Man kalder modellen for vands kredsløb." Hvis eleven også i relation til at vurdere sammenhængen mellem formål og udviklet model tilfredsstiller målopnåelse på SOLO-niveau 3, vil elevens udsagn kunne være: "Ja, min model har pile for overgange og også pile for nedsivning." (kortlink.dk/28huf)

I 8. klasse foreslår vi at eleverne i undervisningen arbejder med problemstillinger og modeller om vandrensning, partikkelmodellen, faseovergange, klima etc., som kan føre til at eleverne reviderer eller konstruerer modeller af vands kredsløb. I modellerne vil det derfor være oplagt at arbejde med at inkludere viden opnået fra elevernes egne undersøgelser og modelleringsprocesser i undervisningen og dermed med delprocessen *udvælgelse af data*. Elevernes egne modeller kan på denne baggrund sigte mod at vise både det naturlige vandkredsløb og menneskets påvirkning af dette. Elevens målopnåelse på SOLO-niveau 3 kan evalueres ud fra udsagn som: "Vi finder vand forskellige steder (grundvandet, atmosfæren, nedbør, regnskyer, hav). Vand findes i tre tilstandsformer, og der er faseovergange mellem tilstandsformerne. Vand siver ned gennem jordlagene og bliver til grundvand." Arbejdet forudsætter at eleverne tidligere i undervisningen har gjort brug af modeller og vurderet deres relation til virkeligheden samt deres styrker og svagheder, fx i 7. klasse. (kortlink.dk/28huf)

I 9. klasse kunne man anvende temaet som udgangspunkt for at udvikle elevernes kompetence til at perspektivere modellens anvendelsesområder og begrænsninger. Fx kan eleverne i undervisningen have særligt fokus på arbejdet med flere datasæt fra undersøgelser af samme forhold samt på vurderingen af kvaliteten af de forskellige datasæt. Eleverne kan gennem dette arbejde forholde sig til hvilke konsekvenser valget af data har for den model der udvikles. Noget af dette arbejde kan dermed tage udgangspunkt i brugen af data fra elevens egne undersøgelser og give anledning til sammenligning med data fra fx andre elever eller meteorologisk institut etc. Elevens målopnåelse på SOLO-niveau 3 giver anledning til elevudsagn af typen: "Modellen kan bruges til at vise at vandets faseovergange får vandets kredsløb til at løbe rundt fra atmosfæren til jorden og måske til grundvandet og tilbage igen." (kortlink.dk/28huf)

Ved at anvende rubricen som et værktøj vil lærerne kunne producere deres egne rubrics til evaluering af elevernes udvikling af modelleringskompetence. At producere rubrics er tidskrævende, hvilket kan være en barriere for at bringe dem i anvendelse. Med rubricens generelle vendinger (figur 2) tilbydes lærerne en genvej der kan begrænse tidsforbruget. Den tid der investeres, kan formentlig genvindes når der samarbejdes i fagteams under tilrettelæggelsen af fællesfaglige forløb, samt med censor ved afgangsprøven.

Vi anbefaler at lærerne i de naturfaglige teams arbejder på at opnå en fælles forståelse af både modelleringsprocessens delprocesser og hvordan de kan evaluere elevernes niveau for målopnåelse. Dette kan evt. ske gennem en fælles drøftelse af rubricens generelle beskrivelser af niveauerne for modelleringens delprocesser og ud fra figuren som viser delprocesserne (figur 1).

Beskrivelserne i rubricen kan desuden give inspiration til hvordan både den enkelte lærer og naturfagsteams i fællesskab kan tilrettelægge undervisning i modellering. I selve undervisningen kan rubricen anvendes til formativt at evaluere elevernes udvikling af kompetence.

Under den fælles naturfaglige afgangsprøve tilbyder rubricen lærere og censor et fælles afsæt for dialogen med eleven i selve prøvesituationen og når elevens målopnåelse skal vurderes.

Endvidere foreslår vi at der til de øvrige tre naturfaglige kompetenceområder (eller i hvert tilfælde de to der skal evalueres ved den afsluttende prøve (undersøgelses- og perspektiveringskompetencen) udvikles tilsvarende evalueringsværktøjer.

Referencer

- ASTRA, lokaliseret d.13. september på Rubric – Forventninger til fælles naturfagsprøve.
- Biggs J. & Tang C. (2011): *Teaching for Quality Learning at University*, *Open University Press* s. 81-94.
- Brabrand, C., Sørensen, H.K, Kragh, H., Søndergaard B. D., Kjeldsen, H., Madsen, T. V., (2019) SOLO: Liste over verber, PPT <https://slideplayer.dk/slide/5349480/>.
- Børne- og Undervisningsministeriet, (2020) Fælles Mål – Historisk oversigt Lokaliseret d.13. september 2020 på <https://www.uvm.dk/folkeskolen/fag-timetale-og-overgange/faelles-maal/historisk/historisk-oversigt>.
- Børne- og Undervisningsministeriet (2019a). Læseplan for faget Natur/teknologi. Lokaliseret d. 18.sep.2020 på https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/Gsk_1%C3%A6seplan_Naturteknologi.pdf.
- Børne- og Undervisningsministeriet (2019b). Læseplan for faget biologi. Lokaliseret d. 18.sep.2020 på https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/Gsk_1%C3%A6seplan_biologi.pdf.

- Børne- og Undervisningsministeriet (2019c). Læseplan for faget fysik/kemi. Lokaliseret d. 18.sep.2020 på https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/Gsk_1%C3%A6seplan_fysik-kemi.pdf.
- Børne- og Undervisningsministeriet (2019d). Læseplan for faget geografi. Lokaliseret d. 18.sep.2020 på https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/Gsk_1%C3%A6seplan_geografi.pdf.
- Christiansen, J. L. Anderson, J., Hansen, D., Jensen, M.S., Kinnerup, L.B., Lilius, K.M. (2019). Brug af modeller og modellering i udskolingens naturfagsundervisning. *MONA 4, 2019, p. 8-27*.
- Christiansen, J. L. (2020a). Modelleringsprocessen. *MONA 2, 85-88*.
- Christiansen, J.L (2020b): Modeller og modellering i grundskolens naturfag. *MONA 3, 7-26*.
- Dolin, J., Black, P., Harlen, W., & Tiberghien, A. (2018). Exploring Relations between Formative and Summative Assessment. In Dolin, J., & Evans, R. (Eds.). (2018). *Transforming Assessment: Through an Interplay between Practice, Research and Policy*. Springer International Publishing. (pp. 53-80).
- Dolin, J., Krogh, L.B. & Troelsen, R. (2003). En kompetencebeskrivelse af naturfagene. I: H. Busch, S. Horst & R. Troelsen (red.), *Inspiration til fremtidens naturfaglige Uddannelser* (s. 59-140). Uddannelsesstyrelsens temahæfteserie, nr. 8, 2003. København: Undervisningsministeriet.
- Dolin, J., Nielsen, J. A., & Tidemand, S. (2017). Evaluering af naturfaglige kompetencer. *Acta Didactica Norge, 11(3), Art. 2, 28, s. 3-11*.
- Dolin, J., Nielsen, J. A. (2016) Evaluering mellem mestring og præstation, *MONA (1) 2016, s. 51-6*.
- Elmose, S. (2007). Naturfaglige kompetencer – til gavn for hvem? *MONA, 2007(4), s. 49-67*.
- Gilbert, J.K. & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education*, Springer.
- Gladsaxe kommune, lokaliseret d.13. september 2020 på <https://gladsaxe.dk/fremtidens-skole/hvordan-goer-vi/hvilken-laeringsmodel-bruger-vi/solo-taksonomi>.
- Illeris, K. (2011). *Kompetence – Hvad, Hvorfor, Hvordan?* Samfundslitteratur.
- Jensen, P.E. (2000). Kapabiliteter og kompetencer som ledelsesværktøj. I Torben Andersen, Inger Jensen og Arne Prahl (red.). *Kompetence i et organisatorisk perspektiv*, Roskilde Universitetsforlag. s. 123-152.
- Justi, R. & John Gilbert, J. (2002). Teachers' Views on the Nature of Models. *International Journal of Science Education, 25(11), s. 1369-1386*.
- Jørgensen, P.S. (1999). Hvad er kompetence? *Uddannelse, 3, s. 4-13*.
- Levy, A. (2015). Modeling without Models. *Philosophical Studies, 172(3), s. 781-798*.
- Louca, L.T. & Zacharia, Z.C. (2012). Modeling-Based Learning in Science Education: Cognitive, Metacognitive, Social, Material and Epistemological Contributions. *Educational Review, 64(4), s. 471-492*.
- Nielsen, S. S. (2020), Et bud på en mere procesorienteret tilgang til modellering i skolens naturfagsundervisning, *MONA, 2020(1), s. 91-96*.

- Prins, G.T., Bulte, A.M.W. & Pilot, A. (2016). An Activity-Based Instructional Framework for Transforming Authentic Modeling Practices into Meaningful Contexts for Learning in Science Education. *Science Education*, 100(6), s. 1092-1123.
- Rambøll, Krogh, L. B., Daugbjerg, P., Ormstrup, I. C. N., Clausen, S. W., Nielsen, S. S., & Goldbech, O. (2018). *Statusnotat – evaluering og følgeforskning: Indførelse af den ny fælles prøve i Fysik/kemi, biologi og geografi – prøvens betydning for undervisningens form og indhold*. Undervisningsministeriet, 2018.
- Rambøll, Krogh, L. B.; Daugbjerg, P.; Goldbech, O. (2020) *Statusnotat 3: Evaluering og følgeforskning – Indførelse af den ny fælles prøve i fysik/kemi, biologi og geografi – udviklingen i elevers motivation og interesse for naturfagene*. Undervisningsministeriet, 2020.
- Schwarz, C.V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Schwartz, 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, s. 632-654.
- Winsløw, Carl, 2009, *Didaktiske elementer*, Forlaget Biofolia, s. 104-111. 04-03-2019

English abstract

This paper presents a tool for teachers to evaluate students' learning outcomes in relation to the modelling process in lower secondary school. The model of the modelling process can provide teachers with ideas on how to discuss modelling in a learning perspective with students and how to plan activities that scaffold the students' learning outcomes. The taxonomy characterizes identifiable learning outcomes related to the model of the modelling process in five SOLO-taxonomic levels. In combination, model and taxonomy provides a tool for teachers to discuss and evaluate student competence-based learning outcomes with respect to the modelling process formatively and summatively.

Aktuel analyse

I denne sektion tages aktuelle problemstillinger i relation til matematik- og naturfagsdidaktik op til analyse og diskussion. Teksterne gennemgår ikke peer review, men skal være saglige, analytiske og argumenterende. Kontakt gerne redaktionen med idéer til indhold på mona@ind.ku.dk.

Teknologisk dannelse: Hvorfor og hvad?

- Oplæg til diskussion



Keld Nielsen,
Aarhus
Universitet



Martin K.
Sillasen, VIA
University
College

Abstract: I denne analyse diskuteres behovet for en teknologisk dannende undervisning, og der gives et bud på indhold og mål for en sådan undervisning. Der har ikke tidligere været formuleret en samlet dagsorden for teknologisk dannelse i grundskolen. En dannelse som giver eleverne viden og færdigheder til at være borgere i en fremtid med store systemiske udfordringer knyttet til teknologi, som fx omlægning af transport- og energisystemer, biodiversitetskrise og håndtering af globale klimaændringer. I teknologisk dannende undervisning bør man ifølge forfatterne skelne mellem at undervise i teknologiens funktionalitet og i en række meta-aspekter, her omtalt som teknologiens "betydning".

Introduktion

"I et demokratisk samfund må hovedformålet med at undervise i teknologisk dannelse være at forberede kommende generationer til aktivt at deltage i udviklingen af samfundets teknologiske fremtid, så det sker på en moralsk forsvarlig måde". (Cordes & Miller, 1999). Citeret fra (Shume, 2013, s. 93)

Vi har i en tidligere analyse i MONA argumenteret for at der er behov for at styrke teknologiundervisningen i grundskolens naturfag så det bliver tydeligere hvordan undervisningen bidrager til elevernes almene dannelse (Nielsen & Sillasen, 2020). Her begrundes vi nu den teknologiske dannelses nødvendighed, og vi giver et første bud på hvad indhold og mål for en dannende teknologiundervisning kan være.

Den analyse vi fremlægger, bygger på læsning af rapporter og artikler. I en efterfølgende artikel vil vi beskrive det konkrete indhold og nogle resultater fra et kursus i teknologiundervisning og teknologisk dannelse som vi i foråret 2020 afholdt med lærerstuderende. Vi anvender flere citater fra engelsksprogede referencer, som vi efter bedste evne har oversat til dansk.

Hvorfor teknologisk dannelse?

Teknologi er en uadskillelig del af at være menneske. Siden fremstillingen af de første stenøkser har menneskers evne til at omdanne ting fra naturen til redskaber som gør kampen for overlevelse nemmere, været kernen i aktiviteter vi omtaler som "teknologiske". Dermed har teknologi til alle tider været et centralt element i menneskets udvikling. Uden teknologi ville vi være henvist til at skrabe huller i jorden med neglene og spise hvad naturen umiddelbart byder på af bær og smådyr.

Teknologi har således altid udgjort en basis for udvikling af samfund, kultur og velstand. Men brug af teknologi har mange sideeffekter, og vi er nu i en situation hvor århundreders brug af teknologi ikke bare har skabt fremskridt, men også store, store problemer.

Afbrænding af fossile brændstoffer i energimaskiner og motorer har siden midten af 1700-tallet forøget atmosfærens indhold af drivhusgasser med klimaændringer til følge. Udbredt brug af plasticstoffer har de sidste hundrede år fyldt naturen – ikke mindst havene – med syntetiske og vanskeligt nedbrydelige stoffer til stor skade for marint liv. Intensivt fiskeri og landbrug der anvender syntetisk fremstillede sprøjtemidler, har ført til decimering eller udryddelse af mange arter – i havet og på landjorden. Så det er indlysende at visse måder at bruge teknologi på har voldsomme negative effekter.

Samtidig hviler vores fødevareproduktion, transport, sundhed, kommunikation, forskning, byers infrastruktur og mange andre sider af det moderne liv mere end nogensinde på brug af sofistikeret teknologi. De problemer der er skabt gennem vores (tankeløse?) brug af teknologi, kan kun løses gennem fornyet brug af teknologi; men på en anderledes og mere gennemtænkt måde og med udvikling af nye teknologier.

Derfor – og argumentet er ikke mere indviklet end som så – er det nødvendigt at undervisning der omhandler teknologi og giver eleverne mulighed for at blive kritiske, reflekterende, indgribende og nytænkende i forhold til teknologi, får en solid plads i undervisningen i grundskolen. Undervisningen må være teknologisk dannende. Det gælder ikke mindst i naturfagene.

Det nye forsøgsfag "Teknologiforståelse" lægger vægt på et dannende element i undervisningen. To kendere af fagets intentioner skriver:

Anvendelsen af digital teknologi ændrer det samfund, som skolen uddanner til. Det giver uddannelsessystemet en unik og vigtig rolle. Det skal understøtte de nødvendige digitale kompetencer, som børn og unge skal have for at kunne agere meningsfuldt i et demokratisk samfund. De skal kunne mestre den digitale teknologi, [...] evne at analysere eksisterende teknologier og deres konsekvenser. (Wagner & Iversen, 2020, s. 20)

Vi er helt enige. Der er ingen modsætning mellem de intenderede demokratisk-teknologiske kompetencer i faget digital teknologiforståelse og den dannelse vi skriver om her. Men arbejde i skolen med det meget udbredte – og historisk udstrakte – fænomen vi omtaler som teknologi, må omfatte langt mere end nye, digitale teknologier. Dannende undervisning forudsætter at man opererer med et bredt teknologibegreb.

Elevers arbejde med nye digitale tænkemåder og artefakter er nødvendigt for at fremme en forståelse af hvordan videns-, kontrol- og kommunikationsteknologier for tiden udvikler sig, hastigt og helt radikalt. Men arbejdet med det digitale kan ikke give eleverne kompetencer der er relevante for aktive, kritiske og demokratiske borgere, når mega-udfordringer som resursepild, klimaændringer, forarmelse af naturen, biodiversitetkrisen, fødevarekvalitet og sundhed skal overskues og adresseres. Omfattende teknologier som energi, transport, landbrug, medicin og produktion er i kraft af deres lange udviklingshistorie og deres komplicerede systemnatur anderledes at arbejde med, analysere, reflektere over og påvirke end digitale teknologier.

Vores udgangspunkt

Som udgangspunkt for dette forslag til en tydeligere dagsorden for teknologisk dannelse i grundskolen har vi valgt rapporten *“Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology”* fra 2007 (ITEA, 2007). Vi vil herefter referere til rapporten som STL.

Selv om rapporten er mere end 10 år gammel, fremstår den stadig som det mest gennemarbejdede bud på hvordan man i forbindelse med undervisning kan beskrive teknologi og især teknologisk dannelse, der i rapporten omtales som “technological literacy”.

Rapporten bygger på et længere forarbejde, der går tilbage til tiden før 1990 og var koblet til den oprustning af naturfagsundervisningen som i USA blev lanceret under sloganet “Science for All Americans”. I 1996 kom en rapport der for en gangs skyld ikke kun var rettet mod naturfag, men mod teknologiundervisning med den sigende titel *“Technology for All Americans: A Rationale and Structure for the Study of Technology”* (ITEA, 1996).

Rapporten fra 1996 var ikke vellykket og slog ikke bredt igennem. Men den satte som mål at undervisningen skal være dannende gennem at sætte eleverne i stand til at “forstå, forvalte og forholde sig til teknologi og teknologisk udvikling”. Dette mål blev fastholdt i en række efterfølgende og mere anvendelige rapporter, også i STL fra 2007.

I Danmark blev idéerne bag Science for All Americans introduceret i naturfagssammenhæng med rapporten *“Fysik-kemi. Naturvidenskab-for-alle”* fra 2002 (Arbejdsgruppen for fysik og kemi, 2002). De samme idéer blev året efter præsenteret med mere

baggrund, bredde og dybde i den kendte og dagsordenssættende rapport “*Fremtidens naturfaglige uddannelser. Naturfag for alle – vision og oplæg til en strategi*” (Andersen, Busch, Horst, & Troelsen, 2003).

Men en dansk parallel under sloganet “teknologi for alle” blev det ikke til, hverken i form af rapporter eller andre former for debat. I de følgende godt 10 år udgav Undervisningsministeriet derimod en række rapporter som alle indeholdt forslag til hvorledes det ville være muligt at udvikle og forbedre naturfagsundervisningen (se fx (Bohm et al., 2017)). Men der blev aldrig sat en lignende dagsorden i Danmark for teknologi og teknologiundervisning.

I det følgende præsenterer vi nogle af de grundlæggende synspunkter i STL. I et senere afsnit vil vi se på den kritik der er rejst mod den samme rapport, og hvorledes rapportens forslag kan suppleres med henblik på at sætte lærere i stand til at undervise i teknologisk dannelse. Vi vil også argumentere for at rapporten – efter at dens synspunkter i nogle år var henvist til et sidespor – i de sidste 5-6 år har fået en renæssance. Faktisk er der grund til at være optimistisk, idet det ser ud til at diskussionen internationalt er på vej mod noget der ligner konsensus om hvad der er vigtigt at undervise i.

Teknologi og teknologisk dannelse i STL

Rapporten udtaler sig om “standards”. Det vil sige at den ikke er en detaljeret læseplan (syllabus), men netop prøver at begrunde undervisningen og beskrive generelle læringsmål: Hvad drejer det her sig om? Hvad er indholdet? Hvorfor er det relevant?

Man kan ikke arbejde med teknologisk dannelse medmindre man afklarer hvad man lægger i ordet “teknologi”. STLs beskrivelse af begrebet teknologi er bred og bevidst inkluderende:

[Ved teknologi forstår vi] hvordan mennesker ændrer naturen, så den tilpasses deres egne formål. Det at handle eller skabe, eller mere generelt ... den samling af processer og viden, som mennesker gør brug af for at ekspandere menneskelige egenskaber og for at tilfredsstille menneskelige behov og ønsker (s. 2)

Teknologi kan være produkter og genstande, opsamlet viden, processer der producerer viden, hvordan produkter udvikles, herunder samlede systemer af produkter, viden, mennesker, organisationer, love og sociale strukturer (s. 23)

Beskrivelsen er også passende løs i det. Man kan finde forsøg på at formulere mere præcise definitioner, men de lider for det meste under at de enten er vanskelige at forstå, eller at de alligevel ikke er nyttige i forbindelse med undervisning.

Et hovedproblem er at teknologi traditionelt opstilles som en modsætning til natur. Teknologi er "bearbejdet natur". Men i vore dage er grænsen mellem hvad man på den ene side kan opfatte som teknologi og på den anden side som natur, udvisket. Er en gensplejset majsplante et stykke natur eller et stykke teknologi? I undervisningssammenhæng kan det være helt relevant at diskutere hvor grænsen går, men man kan ikke forvente at komme frem til nogen klar fastlæggelse af samme grænse. Derfor er det hensigtsmæssigt at STL opererer med en omfattende, men ikke voldsomt præcis beskrivelse af hvad vi bør forstå ved "teknologi".

Målene for undervisning der fastlægger teknologisk dannelse, opstilles i STL i 20 punkter. De sidste 7 punkter er en inddeling af eksisterende teknologier i kategorier (medicinske teknologier, dyrknings- og bioteknologier, fremstillingsteknologier, kommunikationsteknologier osv.). De 7 teknologier betegnes samlet som "The Designed World". Denne inddeling vender vi tilbage til i en kommende artikel. Her ser vi på de øvrige 13 delmål.

Udtrykket "Nature of Technology" kunne måske oversættes ved "teknologiens natur" (der dog nemt kan forvirre når vi har et fag der hedder natur/teknologi) eller "teknologiens væsen", men vi har valgt at beholde det engelske udtryk, sommetider forkortet NOT.

Teknologiske mål	Delmål
Eleverne udvikler indsigt i The Nature of Technology (NOT). Det omfatter at de får viden om:	1. Karakteristiske træk ved teknologi og afgrænsning af teknologi
	2. Teknologiske kernebegreber
	3. Forholdet mellem forskellige teknologier og mellem teknologi og andre aktiviteter
Eleverne udvikler indsigt i forholdet mellem teknologi og samfund. Det omfatter at de lærer om:	4. De kulturelle, sociale, økonomiske og politiske effekter af teknologi
	5. Teknologiens effekter på miljøet
	6. Samfundets rolle i udvikling og anvendelse af teknologi
Eleverne udvikler indsigt i Design. Det omfatter at de får kendskab til:	7. Teknologien indflydelse på historien
	8. Egenskaber ved design
	9. Engineering-design
	10. Betydningen af problemanalyse, forskning og udvikling, opfindelse og innovation samt eksperimenter i forbindelse med problemløsning

Eleverne udvikler indsigt i Den Designede Verden. Det omfatter at de kan vælge mellem og anvende:	11. Anvendelse af designprocessen
	12. Brug og vedligeholdelse af teknologiske produkter og systemer
	13. Vurdering af effekterne af produkter og systemer

Tabel 1. 13 af de 20 delmål for teknologisk dannelse, der opstilles i STL-rapporten (ITEA, 2007). Skemaet er baseret på (Nia & de Vries, 2016).

Delmålene 8-11 refererer til engineering, opfattet som en procesorienteret arbejds metode hvor målet er at eleverne gennem designprocesser når frem til teknologiske løsninger på en given problemstilling. Engineeringmål er altså også teknologiske mål, men i forbindelse med naturfagsundervisning i grundskolen er engineering velbeskrevet (og meget aktuell). Se fx ("Astra", 2018). Af pladshensyn behandler vi derfor ikke engineeringmålene her. I STL-sammenhæng indskrænker delmål 13 om vurdering af en teknologisk effekt sig til den analyse som eleverne foretager når de designer. Så også delmål 13 ser vi bort fra.

Delmål 12 opfatter vi i denne sammenhæng som et mål der koncentrerer sig om teknologiers funktion og hvordan man servicerer dem så de fungerer bedst muligt set fra en ingeniørs eller en brugers perspektiv. De mere personlige, adfærdssædrende og samfundsændrende sider af brug og vedligeholdelse mener vi kan behandles i forbindelse med delmålene 4 og 6. Dog bemærker vi at i forbindelse med engineeringundervisning i skolen og andre tiltag der indbefatter designprocesser, er det vigtigt også at inddrage punkt 12, blandt andet fordi vedligehold af teknologiske produkter – eller manglen på vedligehold og efterfølgende kassation – er et påtrængende emne i forbindelse med resurseforvaltning, resursspild og teknologi der understøtter cirkulær økonomi.

Det betyder at vi i det følgende indskrænker os til at se på delmålene 1-7. STL-mål og teknologiske mål i naturfagene

Det indgår i naturfagene i grundskolen at fagene ikke kun skal beskæftige sig med naturen og naturvidenskabelig viden. I beskrivelsen af naturfagene står eksplicit at ud over naturen og dens fænomener så er også teknologi et genstandsområde for fagene. De to genstandsområder fremtræder helt ligestillede. Derfor er mange læringsmål i fagene knyttet til det teknologiske område. (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019a, 2019d, 2019c, 2019b).

I nedenstående oversigt har vi sorteret de mest entydigt teknologiske naturfagsmål efter de 7 delmål der er opstillet i STL (tabel 2). Det er ikke hensigten at oversigten skal være udtømmende, bl.a. fordi det ikke altid er entydigt hvilken STL-kategori et givet teknologisk naturfagsmål kan tilskrives.

Delmål fra STL-rapport	Teknologiske delmål fra naturfagene (natur/teknologi (n/t), fysik/kemi (f/k), biologi (bio) og geografi (geo))
1. Karakteristiske træk ved teknologi og afgrænsning af teknologi	<ul style="list-style-type: none"> • n/t: Eleven kan genkende natur og teknologi i sin hverdag. • bio: Eleven kan forklare årsager og virkninger af naturlige og menneskeskabte ændringer i økosystemer.
3. Forholdet mellem forskellige teknologier om mellem teknologi og andre aktiviteter	<ul style="list-style-type: none"> • n/t: Eleven kan relatere natur og teknologi til andre kontekster. • n/t: Eleven kan perspektivere natur/teknologi til omverdenen og aktuelle hændelser.
4. De kulturelle, sociale, økonomiske og politiske effekter af teknologi	<ul style="list-style-type: none"> • f/k: Eleven kan beskrive sammenhænge mellem teknologisk udvikling og samfundsudvikling.
5. Teknologiens effekter på miljøet	<ul style="list-style-type: none"> • n/t: Eleven kan sætte anvendelse af natur og teknologi i et bæredygtigt perspektiv. Eleven har viden om enkle principper for bæredygtighed. • n/t: Eleven kan beskrive interesseudsætninger ved produktionsforhold. Eleven har viden om produktioners afhængighed og påvirkning af naturgrundlaget. • n/t: Eleven kan identificere ressourcebesparende teknologier. Eleven har viden om enkel miljøvurdering af produkter og produktioner. • f/k: Eleven har viden om interesseudsætninger knyttet til bæredygtig udvikling. • f/k: Eleven har viden om samfundets brug og udledning af stoffer. • f/k: Eleven kan vurdere en teknologis bæredygtighed. Eleven har viden om teknologiers påvirkning og effekt på naturgrundlaget. • geo: Eleven kan analysere befolknings- og erhvervsudviklings betydning for bæredygtig udvikling. Eleven har viden om kriterier for bæredygtig befolknings- og erhvervsudvikling.
6. Samfundets rolle i udvikling og anvendelse af teknologi	<ul style="list-style-type: none"> • n/t: Eleven kan beskrive sammenhæng mellem behov for og udvikling af et produkt • geo: Eleven har viden om multinationale selskaber og teknologisk udvikling som drivkraft for globalisering. • bio: Eleven kan forklare mulige fordele og risici ved anvendelse af bioteknologi. Eleven har viden om interesseudsætninger i relation til bioteknologi.
7. Teknologiens indflydelse på historien	<ul style="list-style-type: none"> • n/t: Eleven kan sætte naturfaglig og teknologisk udvikling i historisk perspektiv. Eleven har viden om centrale naturfaglige og teknologiske udviklinger • n/t: Eleven har viden om teknologiudvikling gennem tiden. • f/k: Eleven har viden om centrale teknologiske gennembrud

Table 2. Udvalgte eksempler på generelle teknologiske mål fra de fire naturfag sorteret efter STL's målkategorier.

Oversigten tjener to formål. For det første viser den at der ikke er nogen umiddelbar modsætning mellem de intentioner der ligger i de danske naturfag, og målene fra STL. For det andet viser den at nogle STL-mål er tyndere repræsenteret i de danske naturfaglige læringsmål end andre, og at et enkelt STL-mål om teknologiske kernebegreber (delmål 2) slet ikke optræder i dansk sammenhæng.

Dertil kommer en række danske naturfagsmål der er relateret til teknologiske processer eller specifikke teknologier som energiteknologi, bioteknologi, landbrug eller forsyningsanlæg. Sådanne mål er vigtige, men i ovenstående oversigt har vi udeladt danske mål som er knyttet til specifikke teknologityper, fordi udfordringen med at skelne mellem forskellige specifikke typer af teknologier tages op i forbindelse med en omtale af kurset for de lærerstuderende i en efterfølgende artikel. I kurset viste det sig nemlig ikke at være helt simpelt at opstille en generel typologi for teknologier som er velegnet til undervisning i grundskolen.

Naturfagsmålene i tabel 2 er valgt ud fra vores vurdering af hvilke STL-mål de ekspliterer, ikke ud fra en stram systematik. Det betyder at listen i detaljerne kunne se anderledes ud, men den viser nogle tydelige tendenser, som vi vurderer er reelle og ikke afhængige af vore valg. Oversigten giver grund til at glæde sig over at tydelige mål rettet mod bæredygtighed og effekter på miljøet er stærkt repræsenteret, men hvad er så de øvrige tendenser?

Mest påfaldende er det at mål der er rettet mod mere generelle træk ved teknologi, er underrepræsenterede. Som nævnt kunne vi ikke finde mål hørende til kategorien "2. teknologiske kernebegreber". Og følgende kategorier er ikke stærkt repræsenteret: "1. Karakteristiske træk", "4. De kulturelle, sociale, økonomiske og politiske effekter af teknologi" og "6. Samfundets rolle i udvikling og anvendelse".

Hvis man som lærer skal fremlægge for eller diskutere med en klasse hvad teknologi er for et fænomen, og hvilken rolle den spiller – og i fremtiden vil spille – for menneskers liv og samfundets udvikling i almindelighed, er det nødvendigt at man har både sprog og viden om hvad der er karakteristisk, hvad kernebegreberne er, og hvordan teknologi påvirker os, og hvordan vi påvirker teknologien. Det samme gælder hvis man vil undervise i hvilke forudsætninger og muligheder man som borger og forbruger har for at vælge mellem teknologier og politiske teknologiske programmer og dermed påvirke samfundets teknologiske udvikling.

Derfor er målkategorierne 1, 2, 4 og 6 afgørende for at undervisningen kan fremme elevernes teknologiske dannelse, og der bør indføres mål af denne type i naturfagene.

Hvorfor tage udgangspunkt i STL?

Grunden til at STL stadig fremstår som det mest gennemarbejdede bud på dannende undervisning i teknologi og NOT, er paradoksalt nok at den indflydelsesrige rapport

“A Framework for K-12 Science Education” (National Research Council, 2012), se også (R. Evans & Horst, 2013), der satte engineering på dagsordenen som en del af naturfagsundervisningen i USA – og dermed i en lang række andre lande – med sit eftertryk på E’et i STEM samtidig var med til at trænge T’et i baggrunden, se fx (Jones, Bunting, & De Vries, 2013, s. 196). Med nogle få undtagelser blev teknologifaget negligeret i de faglige og didaktiske diskussioner i forbindelse med den intense interesse der blev udvist for at udvikle og fremme engineering-undervisning.

Men den skævhed er der i løbet af de sidste 5-6 år blevet rettet op på.

I 2016 skrev Nia og de Vries fra det tekniske universitet i Delft en survey-artikel hvor de undersøgte om STL giver et dækkende billede af teknologi i forhold til den løbende teknologifilosofiske debat (Nia & de Vries, 2016). De slog fast at det stadig i 2016 gjaldt at:

... (ITEA, 2007) må betragtes som det mest omfattende og gennemarbejdede dokument, der kan fungere som en vision for ‘hvad elever bør vide og være i stand til at gøre for at være teknologisk dannede’.(s. 9)

De slog også fast at en af udfordringerne for STL – og for forfatterne selv som teknologididaktikere – var at der ikke er udviklet en veldefineret akademisk ækvivalent til teknologiundervisning (sammenlignet med naturfagene) hvorfra man kan udlede et begrebsmæssigt grundlag for undervisningen på ikke-akademiske niveauer.

Selv om de roser STL, kritiserer de også rapporten ud fra en teknologifilosofisk tilgang. De mener blandt andet at STL gør for lidt ud af at teknologi er anderledes end naturfag fordi en teknologi er normativ. En teknologisk løsning kan være god – fx en god vaskemaskine – men det kan en naturfaglig genstand ikke. Men kan ikke tale om en god eller en dårlig elektron. De mener også at der i STL bliver gjort for lidt ud af hvad teknologisk viden er, og at der burde være mere vægt på æstetik og på emner som “teknologi og metafysik” samt “teknologi og fremtiden”. Vi skal ikke forfølge deres kritik nærmere.

Ved at analysere artikler i tidsskrifter der beskæftiger sig med STEM-undervisning, har Asunda & Quintana (2018) for perioden 2011 til 2016 undersøgt i hvor høj grad målene fra STL optræder som en del af STEM-mål. Samtidig har de sammenlignet med forekomsten af engineering-mål.

De indleder med at slå fast at det stadig er rapporter som (National Research Council, 2012) og de efterfølgende forsøg på at udforme egentlige læseplaner baseret på denne rapport (Next Generation Science Standards, se <https://www.nextgenscience.org/>) der tiltrækker sig mest akademisk opmærksomhed. I alt kodede de 361 artikler. Men STL spiller en voksende rolle i de konkrete, beskrevne aktiviteter. De konkluderer:

Undersøgelsen har vist at områderne Design, Nature of Technology og The Designed World fra STL udgør en frugtbar platform ud fra hvilken forskere og didaktikere kan anlægge evidensbaserede strategier, der kan fremme succesfuld STEM-læring (s. 22).

De fremhæver at feltet "engineering and technology education" for tiden (dvs. i 2018) undergår store forandringer, og at STL er med til at sætte de nye dagsordener. Og de noterer at 2014 var det første år hvor et af de undersøgte tidsskrifter bragte flere artikler om NOT end om Design.

Et nyt studium (Pleasants, Clough, Olson, & Miller, 2019) gennemgår systematisk store dele af den eksisterende teknologifilosofiske litteratur med det formål at finde frem til temaer og spørgsmål som bør behandles i forbindelse med NOT-undervisning. De er på forhånd kritiske over for den nuværende udvikling i STEM-undervisning:

Bestræbelser i STEM-undervisning lægger vægt på læring ("literacy") på tværs af disciplinerne naturfag, teknologi, engineering og matematik, men med få undtagelser behandles emner, der hører under teknologi, overfladisk og ukritisk. (s. 561)

De henviser i flere sammenhænge til STL. De roser også STL for beskrivelsen af NOT, som de finder "noteworthy":

STL omfatter mål relateret til "The Nature of Technology" og "Technology and Society" som omhandler emner som æstetik og forholdet mellem naturvidenskab og teknologi Den behandler en række NOT-spørgsmål udmærket, men mangler at give tilstrækkeligt vejledning i hvordan man underviser i NOT ... Mens STL lægger mere vægt på NOT end de fleste STEM-beskrivelser, så mangler den at give en tilstrækkelig beskrivelse og forklaring af NOT-ideer for dem der skal undervise. (s. 563-564)

Vi konkluderer at nok kan der peges på svagheder i STL-formuleringerne, men der ser ud til at være enighed om at rapporten trods alt for tiden er det bedste grundlag for undervisning i NOT vi har.

Teknologiens kernebegreber

I 2013 undersøgte den svenske teknologifilosof og -didaktiker Per Norström hvad en gruppe af svenske teknologilærere lagde i begreberne teknologi og teknologisk viden ("technological knowledge") (Norström, 2014). Ikke overraskende fandt han at der var stor spredning i lærernes opfattelse.

Men mere relevant her er at han konkluderede at lærerne simpelthen ikke kendte til filosofiske diskussioner relateret til teknologi og viden om teknologi (s. 19), og han

opridser hvad det betyder for kvaliteten af undervisningen. Først påpeger han at det i undervisningen er nødvendigt med tydeligt formulerede mål med undervisning, og, fortsætter han:

I teknologiundervisning omhandler læringsmålene i vid udstrækning forskellige typer af teknologisk viden. Derfor er en eller anden form for forståelse af, hvad der karakteriserer teknologisk viden nødvendig for at læreren kan planlægge sin undervisning og evaluere resultatet. Læreren behøver også et effektivt ordforråd for at kunne diskutere med kolleger, forældre og selvfølgelig eleverne selv, hvad eleverne ved og hvad de gør af fremskridt. (s. 21)

Det er essentielt at man som underviser i NOT har en række begreber til rådighed som sætter en i stand til at tale overordnet om karakteristiske træk ved teknologi og den rolle teknologien spiller. En af udfordringerne ved at udfolde emnet teknologi i forbindelse med undervisning er at der ikke er en gruppe af professionelle i samfundet man kan referere til hvis man som underviser fx vil formulere eller kritisere generelle udsagn om teknologi. Det er en banal, men muligvis overset udfordring.

For de andre STEM-områder findes der netop denne slags professionelle grupper. For science kan man referere til hvad "scientists" gør, for engineering til ingeniører og for matematik til matematikere. Men der eksisterer ikke en tydelig, nogenlunde homogen gruppe af "teknologer" som en underviser kan pege på for at give en karakteristik af hvordan de agerer, og hvad deres betydning, rolle og fag er.

Der er mange forskellige grupper som beskæftiger sig med specifikke teknologier på specifikke måder: Håndværkere, teknikere, montører, entreprenører, landmænd, læger, maskinmestre, designere osv. Så at finde frem til generelle træk ved det de arbejder med, byder på langt større vanskeligheder end for eksempel i forhold til naturvidenskab. Og da vi ved at allerede det at formulere generelle træk for hvad videnskabsfolk gør – deres metoder – og for den viden de skaber, er en kompliceret og vanskelig proces, kunne man være fristet til på forhånd at smide håndklædet i ringen når man kommer til teknologi. Men nej!

Nogle af de vigtigste teknologiske kernebegreber er ord vi i forvejen kender, men som i forbindelse med formulering af en egentlig teknologi-didaktik skal uddybes, forklares og eksemplificeres: Systemer, resurser, krav/specifikationer, kompromisser ("trade-offs"), processer og kontrol/regulering, vedligehold. De indgående teknologi-resurser er bl.a.: værktøj, maskiner, information/viden, materialer, energi, kapital, tid, mennesker, lovgivning.

STL lægger vægt på styrken ved at se på teknologier som systemer eller dele af systemer: "*De fleste mennesker finder det nemmere at forstå hvordan en teknologi fungerer, hvis de kan se den som et system af forbundne dele*" (s. 38). Det gælder om at kunne gå fra at se delene til at se helheden og studere hvordan delene står i forbindelse

med hinanden. Et system kan bestå af dele der selv er (under)systemer, og forskellige systemer kan interagere. I systemopfattelsen kan man tale om input, processer, output (herunder affald/forurening) og feedback.

STL anbefaler at man ikke forsøger sig med at undervise direkte i kernebegreber og kerneegenskaber, men underviser i konkrete kontekstforankrede eksempler – som fx “Motorvejen rundt om Silkeborg” (Hviid, Jensen, & Sillasen, 2020) – og derfra bygger op til generaliseringer. Men som fremført af bl.a. (Pleasant et al., 2019) så er en af svaghederne ved STL at den mangler at give en dækkende beskrivelse og forklaring af NOT-idéer for dem der skal undervise. STL kan ikke gøre det ud for en egentlig teknologi-didaktik. En sådan mangler stadig.

Forholdet mellem teknologi og engineering i STEM

For at styrke mulighederne for en teknologisk dannende undervisning i naturfagene er det vores opfattelse at det vil være hensigtsmæssigt at en sådan undervisning knyttes til STEM-begrebet og til udvikling af STEM-didaktikken i en dansk undervisningskon tekst. Som vi tidligere har påpeget i denne artikel, omfatter teknologisk dannende undervisning ifølge STL-målkategorierne også engineering (se tabel 1).

Der findes i STEM-diskursen forskellige opfattelser af hvordan teknologi og engineering forholder sig til hinanden. I nogle undervisningssammenhænge kan E og T optræde som sideordnede (se fx (Bybee, 2013)). Men det er vores påstand at didaktisk set er det mest meningsfuldt at tænke E’et som en delmængde af T’et.

Engineering er en proces hvor teknologi skabes gennem innovationer og forbedringer. Teknologi derimod beskæftiger sig med resultaterne af engineering i form af processer og produkter og de indvirkninger på samfundet og naturen som anvendelsen af teknologien giver anledning til.

Engineering som et selvstændigt element i naturfagsundervisningen er en vigtig og frugtbar fornyelse. Men i den teknologisk dannende sammenhæng er E’et indlejret i T’et ud fra devisen “*Alle ingeniører beskæftiger sig med teknologi, men ikke alle, der beskæftiger sig med teknologi, er ingeniører*” (Pleasant, 2020). Her er engineering en væsentlig del af hvad der skal til for at have en almen forståelse af teknologi, nemlig den proces hvor ny teknologi skabes. Men at have indsigt i skabelsesprocessen er langt fra nok til at forstå fænomenet. Så engineering-processer er karakteriseret ved et element af innovation/fornyelse, hvorimod T’et netop er karakteriseret ved processer hvor innovation spiller en perifer rolle: produktion, brug, input/output, tilvænnning, vedligeholdelse, forældelse og kassation.

Teknologisk dannende undervisning vil derfor kræve overvejelser om hvordan man kan beskrive og forstå engineering som en helt igennem teknologisk aktivitet.

Forskel på teknologiens "funktion" og teknologiens "betydning"

Flere forfattere der prøver at sætte fingeren på det essentielle i hvad der karakteriserer en fyldestgørende forståelse af teknologi, peger på at elever både skal have viden "in technology" og viden "about technology" (se fx (Norström, 2014) og (Tala, 2013)). Denne skelnen finder vi vanskelig at beskrive i en dansk sammenhæng så den bliver didaktisk anvendelig. Men en lignende skelnen beskrives didaktisk mere operationelt af John Dakers (Dakers, 2011). Han skelner mellem viden om "functionality of technology" og viden om "meaning of technology".

Funktionel viden om teknologi er den viden som fx ingeniører bruger: Hvad er det her for et produkt? Hvad er det lavet af? Hvordan fremstilles det? Hvordan virker det? Løser det de problemer det er designet til? Almindeligvis er det også funktionel viden der kommer ud af at lade elever arbejde med problemløsning, hvad enten det er i forbindelse med engineering eller med design-processer mere generelt.

Undervisning der er rettet mod forståelse af teknologiens funktioner, er vigtig og en nødvendig del af teknologiundervisning. Udfordringen er at den måde hvorpå teknologier griber ind i vore liv på godt og ondt samtidig med at vi selv er aktive i at tildele teknologier roller i vore liv, rækker ud over det funktionelle. For at forstå teknologi som et omfattende og livsdefinerende fænomen skal der mere til.

Vi har valgt at oversætte "meaning of technology" ved "teknologiens betydning" fordi vi opfatter begrebet som særdeles nyttigt og vigtigt.

At have viden om teknologiens betydning vil sige at have viden om meta-aspekter som fx: Hvorfor bruger mennesker teknologi, og hvad får vi ud af det? Hvordan bliver vores opførsel, omgangsformer, verdensforståelse påvirket af de mange teknologier vi bruger? Hvorfor og hvordan bliver vi afhængige af visse teknologier som individer og som samfund? Kan vi forudse hvordan kommende teknologiske produkter og de tilknyttede vaner vil ændre omgangsformer og sociale eller økonomiske strukturer? Hvordan går det til at en specifik teknologi introduceres med en række specifikke intentioner fra designerens eller producentens side, men meget hurtigt ændres teknologiens domæne af brugerne selv. (Tænk fx på the World Wide Web, der oprindeligt var tænkt som et instrument til informationsdeling ved at tilgå dokumenter på mange servere, men endte med at trænge ind i og helt forandre store dele af forretnings-, underholdnings- og pengeverdenen. Og folks hverdag på arbejdspladser og i hjemmet).

Tænk på din mobiltelefon. Du kan mærke den rent fysisk, du ved hvad den kan, og hvordan den virker. Du kender dens funktion. Men det er også vigtigt at have sprog til at diskutere hvorfor der findes mobiltelefoner (hvor kom de fra?), hvad de betyder for din opførsel, for dine tanker, dine vaner, din opfattelse af hvad kommunikation er, og de muligheder du og samfundet har specifikt fordi vi har mobiltelefoner. Samt de muligheder vi har mistet, og de apps vi ikke bryder os om. Og måske bruger selv om vi ved at det er problematisk. Det er at kende mobiltelefoners betydning.

I bogen *“New Frontiers in Technological Literacy. Breaking with the Past”* lader John Dakers Molly Watson en 15-årig skoleelev beskrive sit forhold til teknologi og sin opfattelse af den teknologiuundervisning hun modtager i England (Watson, 2014). Hun føler sig omgivet af (ny) teknologi på alle sider; hun og hendes kammerater føler at mobiltelefoner, streaming-tjenester og apps giver mange fordele. Det hele er “praktisk og effektivt”. Men hun føler også at det der ligger bag teknologien og udviklingen af den, er uigennemskueligt, *“technology is in fact beyond your control”*. Hun finder uigennemskueligheden uforklarlig, for hun ved godt at det er mennesker der frembringer teknologier – teknologi er “man made” – og at teknologi har en lang historie der strækker sig tilbage til opfindelse af økser og hjul.

I skolen har hun to teknologi-relaterede fag: CDT (Craft and Design Technology), der nogenlunde svarer til håndværk og design, og ICT (Information and Communication Technology), hvor hun lærer at bruge computere og software. Begge fag finder hun nyttige, men de er som *“brikker i et puslespil, der ikke passer sammen”*. Tilgangen til og opfattelsen af teknologi i de to fag er helt forskellig, skriver hun. Men fælles for fagene er at eleverne bliver undervist i “how to”. De skal lære hvordan man gør. Det hun virkelig savner i undervisningen er svar på sine mange spørgsmål om “why”. Hvorfor eksisterer denne specifikke teknologi, hvorfor er den nyttig? Vil den være nyttig i fremtiden? Vi ved ikke, skriver hun, hvad det er vi lærer at bruge.

Om at tage den slags filosofiske spørgsmål op i teknologiuundervisning har Dakers skrevet:

Jeg vil mene, at det er dette betydnings-aspekt, som er vanskeligt at håndtere i design- og teknologiuundervisning. Men hvis udviklingen af viden i design- og teknologiuuddannelse begrænses til en behandling, som i sin essens udelukkende er neutral og funktionel, renset for etiske, politiske eller hermeneutiske egenskaber ud over, hvad der på forhånd er tilskrevet genstandene af dem, der skaber teknologierne, ... så vil det fremme udviklingen af passive og følgagtige forbrugere, som på ukritisk vis accepterer den måde, hvorpå teknologien former verden Hvis det er sandt, at viden er magt, så er udviklingen af en evne til kritik, en teknologiske dannelse, visselig vigtigere end udviklingen af forståelsen af de funktionelle aspekter af teknologi. (Dakers, 2011, s. 44)

Opsummering

Vi har givet et første bud på en beskrivelse af teknologisk dannelse som kan indgå i STEM-undervisning. Vi sammenfatter vores analyse for en teknologiuundervisning der fremmer almen dannelse:

- Målsætninger og indhold kan lade sig inspirere af og eventuelt bygge videre på STL-rapporten (ITEA, 2007).
- Undervisningen bør inddrage og pointeres i en række teknologiske kernebegreber som fx systemer, resurser, krav/specifikationer, kompromisser (“trade-offs”), processer og kontrol/regulering, vedligehold. De indgående teknologi-resurser er bl.a.: værktøj, maskiner, information/viden, materialer, energi, kapital, tid, mennesker, lovgivning.
- Undervisningen bør omfatte både teknologiens funktionalitet og teknologiens betydning, jf Dakers (2011).
- De eksisterende fælles mål for naturfagene kan og bør udbygges/justeres så der bliver plads til en mere omfattende læring om teknologisk dannelse.

Vores beskrivelse er selvfølgelig meget langt fra at være en egentlig didaktik. Men vores håb er at beskrivelsen kan udvikles til et grundlag for at eksperimentere med en didaktik og relevante undervisningsforløb med vægt på dannende elementer. Vi håber endvidere at andre finder emnet teknologisk dannelse interessant og relevant nok til at bidrage til diskussionen og pege på styrker og mangler i det vi har fremlagt. Og især foreslå forbedringer.

Som allerede nævnt vil vi snarest præsentere indhold og resultater af et kursus for lærerstuderende, hvor vi forsøgte at konkretisere ovenstående betragtninger. Både det der lykkedes, og de steder vi begik fejl.

Referencer

- Andersen, N. O., Busch, H., Horst, S., & Troelsen, R. (2003). *Fremtidens naturfaglige uddannelser. Naturfag for alle – vision og oplæg til strategi.*
- Arbejdsgruppen for fysik og kemi. (2002). *Fysik og Kemi. Naturvidenskab-for-alle.* Retrieved from <https://ufm.dk/publikationer/2002/filer-2002/fysik-og-kemi-naturvidenskab-for-alle.pdf>
- Astra. (2018). Hentet 5. oktober 2020, fra <https://astra.dk/engineering>
- Asunda, P. A., & Quintana, J. (2018). Positioning the T and E in STEM: A STL analytical content review of engineering and technology education research. *Journal of Technology Education*, 30(1), 2-29. <https://doi.org/10.21061/jte.v30i1.a.1>
- Bohm, M., Salomonsen, D., Quistgaard, N., Binau, C., Wøhlk, E., Jensen, L. V., & Kronvald, O. (2017). *Sammen om naturvidenskab. Anbefalinger til en national strategi for de naturvidenskabelige fag.*
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2019a). *Biologi – Faghæfte 2019.* Retrieved from <https://emu.dk/sites/default/files/2019-08/GSK-Faghæfte-Biologi.pdf>
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2019b). *Fysik/kemi – Faghæfte 2019.* Retrieved from <https://emu.dk/sites/default/files/2019-08/GSK-Faghæfte-Fysik-kemi.pdf>

- Børne- og Undervisningsministeriet. (2019c). Geografi – Faghæfte 2019. Retrieved from <https://emu.dk/sites/default/files/2019-08/GSK-Faghæfte-Geografi.pdf>
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2019d). Natur/teknologi – faghæfte 2019. Retrieved from <https://emu.dk/sites/default/files/2019-08/GSK – Faghæfte – Natur teknologi.pdf>
- Bybee, R. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. (D. Evans, Ed.), *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. National Science Teachers Association. <https://doi.org/10.2505/9781936959259>
- Cordes, C., & Miller, E. (1999). *Fool's Gold: A critical look at computers in childhood*. College Park, MD: Alliance for Childhood.
- Dakers, J. R. (2011). Blurring the Boundaries between Human and World. In *de Vries, Marc J (ed.), Positioning Technology Educaton in the Curriculum* (pp. 41-52).
- Evans, R., & Horst, S. (2013). Nye mål for naturfagsundervisning i USA – vil vi samme vej i Danmark? *MONA – Matematik- Og Naturfagsdidaktik*, 0(3 SE-Aktuel analyse). Retrieved from <https://tidsskrift.dk/mona/article/view/35966>
- Hviid, J., Jensen, F., & Sillasen, M. K. (2020). *Overgange i naturfag* (1st ed.). København: Gyldendal.
- ITEA. (1996). *Technology for All Americans. A Rationale and Structure for the Study of Technology*. Retrieved from https://scholar.lib.vt.edu/TAA/Taa_tech.pdf
- ITEA. (2007). *Standards for Technological Literacy. Content for the Study of Technology*. Retrieved from www.iteaconnect.org
- Jones, A., Buntting, C., & De Vries, M. J. (2013). The developing field of technology education: A review to look forward. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(2), 191-212. <https://doi.org/10.1007/s10798-011-9174-4>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Nia, M. G., & de Vries, M. J. (2016). “Standards” on the bench: Do standards for technological literacy render an adequate image of technology? *Journal of Technology and Science Education*, 6(1), 5-18. <https://doi.org/10.3926/jotse.207>
- Nielsen, K., & Sillasen, M. (2020). Teknologiforstyrrelse: Hvad mener Børne- og Undervisningsministeriet, når de skriver “teknologi”? *MONA – Matematik- Og Naturfagsdidaktik*, 2020(3), 63-73.
- Norström, P. (2014). How technology teachers understand technological knowledge. *International Journal of Technology and Design Education*, 24(1), 19-38. <https://doi.org/10.1007/s10798-013-9243-y>
- Pleasants, J. (2020). Inquiring into the Nature of STEM Problems: Implications for Pre-college Education. *Science and Education*, 29(4), 831-855. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00135-5>
- Pleasants, J., Clough, M. P., Olson, J. K., & Miller, G. (2019). Fundamental Issues Regarding the Nature of Technology: Implications for STEM Education. *Science and Education*, 28(3-5), 561-597. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00056-y>

- Shume, T. J. (2013). Computer Savvy but Technologically Illiterate: Rethinking Technological Literacy. In *Clough, M.P., Olson, J.K., & Niederhausen, D.S (2013). The nature of technology: implications for learning and teaching* (pp. 85-100).
- Tala, S. (2013). The Nature of Technoscience (NOTS). In *Clough, M.P., Olson, J.K., Niederhauser, D.S. (eds.). (2013). The Nature of Technology: Implications for Learning and Teaching* (pp. 51-84).
- Wagner, M.-L., & Iversen, O. S. (2020). Digital myndiggørelse i den danske grundskole. *KVAN. Tidsskrift for Læreruddannelse Og Skole, 117*, 20-31.
- Watson, M. (2014). Technology and Technology Education: Perspectives from a Young Person. In *Dakers, J.R. (ed.). New Frontiers in Technological Literacy. Breaking with the Past* (pp. 47-58).

Kommentarer

I denne sektion bringes kommentarer til tidligere bragte artikler. Kommentarerne skal være saglige, samt fagligt og analytisk funderede. Kontakt gerne redaktionen forinden indsendelse af kommentar. Indsendte kommentarer vurderes af redaktionen og er ikke genstand for peer-review.

Perspektiver på læring og undervisning i matematik og naturfag



Jeppe Skott, Institutionen för matematik, Linnéuniversitetet, Växjö

Kommentar til Jan Sølberg: To metaforer for læring og kompetenceorienteret undervisning, Mona 2020-2

“Ordet ‘læring’ betegner utvivlsomt *forandring* af en eller anden slags. Det er dog en delikat sag at sige *hvilken slags* forandring der er tale om” (Bateson, 1972, p. 283, kursiv i originalen, min oversættelse, JS).

Læring er af åbenlyse årsager et tilbagevendende diskussionspunkt i uddannelsesforskningen. Som Bateson siger, er det imidlertid ikke indlysende hvad der menes med ordet. Sølberg (2020) baserer sin diskussion af begrebet på en ældre artikel af Sfard om to metaforer for læring: læring som hhv. tilegnelse og deltagelse (Sfard, 1998). Det gør han for i overensstemmelse med Sfard at argumentere at de to metaforer hver for sig er nødvendige og tilsammen tilstrækkelige for at beskrive og forstå centrale aspekter af læring af naturfag i skolen. Desuden argumenterer Sølberg at “vi har brug for at anvende DM [deltagelsesmetaforen] mere bevidst og eksplicit når vi taler om kompetenceorienteret naturfagsundervisning” (s. 20).

Sølberg kommer vidt omkring i sin artikel, som bl.a. handler om selve metaforene, om “autentisk” undervisning i naturfag og om evalueringsformer. Jeg kommenterer ikke på det hele i det følgende, men fortsætter diskussionen om forskellige læringsteoretiske perspektiver på undervisning i matematik og naturfag, dvs. om hvordan man kan forstå de typer af forandring der kan være tale om når elever lærer (jf. Bateson). Jeg fokuserer på to varianter af deltagelsestænkningen. Den ene er Sfards nyere teori om commognition (fx Sfard, 2008, 2015, 2017). Min reference til commognition skal pege på udviklinger i Sfards tænkning over de sidste 25 år, men også på at teorien på nogle punkter udfordrer, snarere end understøtter, dele af de undervisningsmetodiske

forslag som ofte går hånd i hånd med tidens vægt på faglige processer i undervisningen. Det andet perspektiv er social praksisteori, som også spiller en rolle i Sølbergs artikel (fx Lave, 2019; Lave & Wenger, 1991; Wenger, 1998). Min præsentation af den problematiserer den måde Sfard – og Sølberg – anvender et centralt begreb i teorien, begrebet om situerethed.

Et resumé af Sølbergs artikel

Efter en kort introduktion præsenterer Sølberg tilegnelses- og deltagelsesmetaforene som de beskrives i Sfards artikel fra 1998¹. Tilegnelse bruges om et syn på læring der betragter læringsindholdet som personlig ejendom og læringsprocessen som at komme i besiddelse af det. Viden lokaliseres således hos den enkelte. Den tænkning udfordres imidlertid når det viser sig at vi ikke fragter det lærte glat og problemfrit fra én sammenhæng til en anden, dvs. at der opstår det der ofte beskrives som transferproblemer. Det peger på at den sammenhæng hvor viden bringes i spil, og det at deltage i de praksisser der udspilles i den, er vigtige for hvad vi gør og kan.

Det er her deltagelsesmetaforen kommer ind. I følge dén beskrives læring ikke som forandringer i viden lokaliseret i hovedet på den enkelte, men som ændringer i de måder man kan deltage i sociale praksisser på. Sølberg beskriver for eksempel hvordan læreren kan involvere eleverne i naturvidenskabeligt arbejde ved at stille og adressere centrale naturvidenskabelige spørgsmål og behandle dem på måder der afspejler vigtige naturvidenskabelige praksisser.

I sin beskrivelse af deltagelsesmetaforen refererer Sølberg til situeret læring, et begreb der kommer fra Lave & Wenger (1991). Sølbergs præsentation af begrebet bygger på Sfard (1998), og det tolkes som at læring og viden er koblet til den konkrete situation defineret ved tid og sted. Den tolkning kan forklare transferproblemer, men den stiller samtidig spørgsmålstejn ved meningen med skole: hvis det man lærer, er kontekstafhængigt i en sådan forstand, giver undervisning næppe mening idet det bliver svært “at beskrive hvordan det som eleverne lærer [...], kan bidrage til deres videre uddannelse eller øvrige liv, for vi kender ikke disse [nye] kontekster” (Sølberg, 2020, s. 12).

Dernæst diskuterer Sølberg kompetenceorienteret naturfagsundervisning. Han peger på nogle af de problemer den kan medføre, specielt på behovet for enighed om hvad der er centrale kompetencer. Han kobler i den forbindelse kompetencer til at “handle på en måde som defineres af konteksten [hvorfor] der [er] en oplagt kobling mellem DM [deltagelsesmetaforen] og kompetencetænkning” (s. 16). Sølberg opgiver ikke traditionelt indhold, som han kobler til tilegnelsesmetaforen, men argumente-

1 Det var ikke Sfard der introducerede distinktionen mellem tilegnelse og deltagelse som metaforer for læring. Den findes i social praksisteori, fx i Lave & Wenger (1991).

rer at deltagelsesmetaforen skal stå stærkere hvis der skal arbejdes kvalificeret med kompetencer i naturfagsundervisningen.

Sfards artikel fra 1998 i historisk sammenhæng

Som Sølberg skriver, så var der for 20-25 år siden en omsiggribende debat om læringsbegrebet. Det var der gode historiske grunde til. Én del af baggrunden var at den konstruktivistiske revolution (Tobin, 2007) siden begyndelsen af 80erne havde omkalfatret det dominerende blik på læring. Den radikale konstruktivisme var en kognitivt fokuseret reaktion på den tidligere behavioristiske dominans, og den ser læring af fx matematik og naturfag som individuelle tilpasninger af de forforståelser som den lærende bringer med sig ind i læringssituationen. Den er et næsten paradigmatisk eksempel på en tilegnelsestænkning om læring. Som Glasersfeld, den radikale konstruktivismes grand old man, siger:

[den radikale konstruktivisme] begynder med den antagelse, at viden [...] er i hovedet på folk, og at det tænkende individ ikke har noget alternativ til at konstruere den selv baseret på sine egne erfaringer. (Glasersfeld, 1995, p. 1, min oversættelse, JS)

En anden del af baggrunden til diskussionerne om læringsteori i 1990erne var at den radikale konstruktivisme fra slutningen af 80erne blev udfordret af forståelser der ikke blot så social interaktion som katalysator for uafhængige, individuelle læringsprocesser. "Det sociale" og "det kulturelle" blev (i forskellige betydninger i forskellige teoretiske tilgange) i stigende grad set som vigtige ikke bare for læringsprocessen, men for dens resultat. Det gælder især i den kulturhistoriske skole, oftest repræsenteret ved Vygotsky (1978, 1986), og i social praksisteori, oftest repræsenteret ved Lave og Wenger (Lave, 1997; Lave & Wenger, 1991; Wenger, 1998). Vygotsky fokuserer på skolen som repræsentant for kulturelt etablerede, videnskabelige forståelser og måder at arbejde på; Lave og Wenger er optaget af livet som det leves lokalt, men under indflydelse af sociale og kulturelle frembringelser og strukturer, der er under stadig genforhandling lokalt. Hos begge ses læring som aspekt af at deltage i social praksis og som ændret kapacitet til at agere som accepteret deltager i den.

Diskussionen af relationerne mellem disse perspektiver på læring blev altså et centralt tema i uddannelsesforskningen, herunder i matematikkens og naturfagernes didaktik. I nogle tolkninger pointeredes en indbygget konflikt mellem dem. Lerman (1996) argumenterede således for et sociokulturelt (deltagelses)perspektiv med reference til Vygotsky. Det konstruktivistiske (tilegnelses)perspektiv, sagde han, var konsistent, men relativt uinteressant, mens han så forsøg på at udvikle en socialkonstruktivisme ved at kombinere den radikale konstruktivisme med socio-kulturel teori som både uinteressant og inkonsistent.

Andre så det anderledes. Som Sølberg skriver, refererede de til Bohrs begreb om komplementaritet og argumenterede at selv om de to perspektiver ikke kan forenes teoretisk, er de begge nødvendige for at forstå læring, fx i skolemæssige sammenhænge (Cobb & Yackel, 1996; Sfard, 1998, 2003). Der var altså ikke tale om at integrere perspektiverne, men om at koordinere brugen af dem til empiriske formål.

Med sin commognitionsteori finder Sfard ikke længere det nødvendigt at koordinere perspektiverne. Før jeg kommer til det, vil jeg stille spørgsmål ved den måde Sølberg – med reference til Sfard (1998) – tolker situerethed.

Deltagelsesmetaforen og læring og viden som situeret i social praksisteori

Som det fremgår ovenfor, kan deltagelsesmetaforen bruges om forskellige syn på læring. Sølberg refererer ikke i sin artikel til Vygotsky, men kobler læring som deltagelse til Lave & Wenger som eksponenter for social praksisteori. I den sammenhæng bliver idéen om læring og viden som situerede central. I social praksisteori kommer det begreb bl.a. fra antropologiske studier af hvordan man lærer at agere i en konkret praksis, det være sig som novice blandt skræddere i Liberia, som ny i Anonyme Alkoholikere i USA eller som kasted medlem i Nepal.

Som allerede nævnt tolker Sølberg, med reference til Sfard (1998), situerethed sådan at læring og viden skulle være bestemt af tid og sted i en ganske umiddelbar forstand. For at adressere det åbenlyse problem at den tolkning ikke giver mulighed for at læring i én sammenhæng kan spille en rolle i en anden, henviser han til Dreier (1999), som beskriver læring som modifikation af “forudsætninger for at deltage i forskellige sociale praksisser” (s.13).

Dreier refererer til Lave (og hun refererer ofte til ham), og de går teoretisk fint i spænd. Dreiers perspektiv på læring er vigtigt, men ikke som noget der er i delvis modstrid med idéen om situerethed. Tværtimod. Situerethed er ikke, i social praksisteori, et spørgsmål om at viden og kunnen defineres af tid og sted alene. Det er et spørgsmål om en dynamisk relation mellem tidligere erfaringer og den aktuelle situation der fører til en kontinuert genforhandling af meningen med begge. Som Lave siger senere, fokuserede hendes og Wengers bog om situeret læring på “bevægelse, skiftende lokationer og måder at deltage på og pegede på hvordan *knowledgeability* forandres med skiftende omstændigheder” (Lave, 2019, p. 137, min oversættelse, JS, kursiv tilføjet)².

² Lave bruger *knowledgeability* i stedet for *knowledge* for at undgå medbetydninger om at viden er uafhængig af social og kulturel sammenhæng. Der findes vist ikke en dansk oversættelse af *knowledgeability*, og jeg har valgt at beholde ordet.

Deltagelsesmetaforen og rutiner og ritualer i commognition

Sfard udviklede teorien om *commognition* blandt andet som reaktion på tilegnelsesmetaforen. Den metafor, siger hun, "får os til at tænke på viden som en slags materiale, på den menneskelige hjerne som en container og på den lærende som én der bliver ejer af materialet der opbevares i containeren" (Sfard, 2008, p. 49, min oversættelse, JS). Det er en følge af en sådan tilegnelsestænkning at både læringsindholdet og læreprocessen bedst forstås i individuelle termer. Det er den tænkning *commognition* forsøger at gøre op med.

Ordet *commognition* er en sammentrækning af *communication* og *cognition*, og pointen er at de to er forskellige manifestationer af en og samme sag: Tænkning er individualiseret kommunikation, og at lære fx matematik (Sfards fag) er det samme som at blive bedre til at begå sig i en kommunikativ praksis. Man skal bl.a. lære at bruge ord og symboler, tabeller, grafer, osv. på specielle måder. Men man må også kunne engagere sig i fagets *rutiner*. Rutiner er ikke bare standardprocedurer, men også kreative måder at udvikle og begrunde nye resultater. Rutiner omfatter både (og blandt andet) *ritualer* som man engagerer sig i for at være sammen med andre i en social sammenhæng (tænk fx på små børn, der lærer tælleremsen længe før de kan anvende tal til fx at bestemme antal), og *explorations* som har til formål at finde og underbygge nye matematiske resultater³.

Et fag som matematik er en diskurs, en speciel og specielt veldefineret kommunikationsform, og at lære matematik er at blive bedre til at begå sig i den. Det kan man kun ved at engagere sig i diskursen sammen med andre der er mere velbevandrede i den. Man kan så gradvist overtage de måder at bruge ord og symboler på og de måder at ræsonnere på som kendetegner netop den diskurs.

Der er i *commognition* et stærkt fagligt fokus som i høj grad er præget af ritualer som indledende lærings- og undervisningsstrategi. Sfard beskriver for eksempel hvordan elever i en israelsk 7. klasse arbejder med at multiplicere negative tal og kommer tæt på at overbevise sig selv og hinanden om forkerte procedurer (Sfard, 2007). Det gør de fordi de hidtil har kunnet basere sig på hverdagsargumenter for at forklare deres resultater. Fx kan man begrunde resultatet af $3 \cdot 5$ med reference til konkrete materialer. Det kan man ikke med $(-3) \cdot (-5)$. Her må eleverne basere sig på et egentligt matematisk argument, men de lærer ikke at der nu er behov for en ny type argument, og slet ikke hvordan at sådant argument kan se ud. Det kan de kun lære, siger Sfard, ved først at engagere sig ritualistisk i sådanne ræsonnementer et antal gange, dvs. ved at imitere dem for at blive en del af den faglige, sociale sammenhæng som repræsenteret af læreren. Det må de også selv om de fra starten ikke forstår hvad idéen

3 Se fx s. 92-108 i Skott, Skott, Hansen & Jess (2018) for en introduktion til *commognition*.

er. Det er en nødvendig forudsætning for at de på sigt kan engagere sig eksplorativt i og med disse mærkelige, nye objekter, negative tal.

Situerethed og rutiner i relation til Sølbergs artikel

Sølberg citerer i indledningen til sin artikel en lærer der siger at fokus på kompetencer har ændret både hans undervisning og elevernes reaktion på den til det bedre. Læreren tolker kompetencebegrebet sådan at indholdet spiller en mindre rolle. Med Sølbergs formulering hedder det at læreren stort set

var ligeglad med hvad de arbejdede med i naturfagsundervisningen. Han var tilfreds så længe han kunne se at eleverne udviklede sig og blev bedre til at håndtere mere og mere komplekse udfordringer – både i skolen og i andre sammenhænge. (Sølberg, 2020, s. 7).

Senere i artiklen refererer Sølberg en "ekspert" i naturfagslæreres behov for kompetenceudvikling for en lignende kommentar.

Det bliver ikke helt klart hvad Sølberg tænker om relationen mellem indhold og kompetencer i undervisningen. Han synes ikke – som læreren og "eksperter" – villig til helt at give køb på det traditionelle indhold og konkluderer at vi må operere med begge de beskrevne metaforer for læring hvis vi skal forstå og styrke en kompetenceorienteret undervisning i matematik og naturfag. Det skyldes tilsyneladende at de to metaforer komplementerer hinanden: de har hver især svagheder som den andens styrker kompenserer for. Tilegnelsesperspektivet kan bruges i relation til det traditionelle indhold, men fanger ikke væsentlige dele af kompetencebeskrivelsen af fagene; deltagelsesperspektivet spiller fint sammen med kompetencetænkningen, men mister fokus på dele af det traditionelle indhold. Derfor må de to perspektiver koordineres.

Jeg har oven for tolket aspekter af to forskellige deltagelsesperspektiver på læring som har relevans for Sølbergs artikel. Det er situerethed som del af Lave & Wengers version af social praksisteori og rutiner i Sfards teori om commognition. Idéen med at referere til situerethed er at vise at den tolkning som Sølberg (med henvisning til Sfard) anvender, kan diskuteres. Situerethed drejer sig ikke om at tid og sted i en umiddelbar forstand bestemmer hvad vi kan og gør. Det er snarere et spørgsmål om at erfaringer fra deltagelse i tidligere praksisser genforhandles i lyset af nye sociale og kulturelle kontekster hvis mening udvikles på vejen. I den nye situation engagerer man sig med andre; man forpligter sig på – eller relaterer i hvert fald til – meningen med det man er sammen med dem om; og man konfererer om og bidrager til justeringer af rutiner og sprog- og begrebsbrug. Der er således i situerethed en dobbeltdynamik involveret der omfatter at meningen med tidligere erfaringer kan justeres i lyset af nye, og at den nye situation tolkes lokalt og aktuelt, men under indflydelse af tidligere erfaringer.

For at blive lidt konkret så kan det være at man som lærer genfortolker meningen med og betydningen af faglige processer (hvis de overhovedet spiller en rolle) når man i mødet med eleverne får meget andet at tænke på end tidens reformforslag som de blev diskuteret på læreruddannelsen. Samtidig forhandles meningen med den aktuelle situation med eleverne på baggrund af deres tidligere erfaringer og af lærerens snak med kollegerne på lærerværelset, udfordringerne til hendes undervisning som formuleret på forældremødet i sidste uge, de kommende nationale tests – og muligvis diskussionerne om faglige processer i læreruddannelsen.

Der er tre sammenhængende idéer med referencen *commognition*. For det første vil jeg pege på en udvikling i Sfards tænkning over de sidste 20 år. Hun argumenterer ikke længere for at koordinere tilegnelses- og deltagelsesmetaforer for læring. Tværtimod gør *commognition*teorien det muligt for hende at operere med et rent deltagelsesperspektiv i beskrivelsen faglig læring. For det andet skal referencen til Sfarde vise at selv om deltagelsestænkningen på sin vis inviterer til et processyn på fag, sådan som Sølberg fremhæver, så er den ikke fremmed for indhold i mere traditionel forstand (fx hvordan man opererer på negative tal). For det tredje er det afgørende at eleverne introduceres rituelt til faglige aktiviteter. Fag er diskursive og kulturelle, og deres hensigtsmæssige brug åbenbares efter at man har brugt dem en tid. Desuden er rituel introduktion ikke en forhindring for, men ofte en forudsætning for fleksibelt og kreativt at kunne agere eksplorativt i og med et fag.

En opfordring til fortsat diskussion

Jeg introducerede min kommentar til Sølbergs artikel med et citat fra Bateson, som inviterer til at fundere over hvad det er for typer af forandring vi kalder læring. Det er der stadig ikke enighed om. Det kan selvfølgelig hænge sammen med at man kan lære sig mange ting, og det er åbenlyst ikke er den samme type forandring der er tale om hvis man skal lære at slå en kolbøtte, at tale sit førstesprog eller at undervise. Det er kun hvis man ser situationerne fra meget stor flyvehøjde at de kan siges at være sammenlignelige; så stor højde at man faktisk bare kan se at der er tale om en forandring af en slags.

Hvis vi snakker om læring af matematik og naturfag i institutionelle sammenhænge, er der også uenighed om hvad ændringerne går ud på. Nogle ser læring som tilegnelse og tolker den som ændringer i individuelle kognitive skemaer; andre ser læringsprocessen som et aspekt af at deltage i sociale praksisser og resultatet som lokalt betingede ændringer i måderne at deltage på.

Jeg værdsætter Sølbergs idé om at sætte læringsteoretiske tilgange i spil for at diskutere undervisningsmæssige tiltag. Det gør jeg selv om der ikke kan drages umiddelbare implikationer fra de første til de sidste (Cobb, 2007; Lave & Wenger, 1991). Mit forsøg i denne kommentar på at fortsætte diskussionen har tre formål. For det første har jeg

peget på aspekter af deltagelsestænkningen der kan gøre tidligere forsøg på at koordinere tilegnelses- og deltagelsesperspektiver på læring overflødige. Det gælder specielt situerethed i social praksisteori og rutiner i commognitionsteorien. For det andet har jeg udfordret den idé at et processyn på fag, fx formuleret i kompetencetermer, skulle overflødiggøre fagenes traditionelle indhold. Tværtimod synes produktive processer i fagene at nødvendiggøre en samtidig interesse for faglige produkter. Og for det tredje har jeg argumenteret at det undervisningsmetodisk er problematisk hvis eleverne ikke introduceres til faglige måder at arbejde på, men overlades meget til sig selv i en procesorienteret undervisning. De kan ikke selv opdage den specifikke karakter af fx matematiske ræsonnementer og hvorfor de empiriske måder at argumentere på som de anvender til daglig, ikke accepteres i matematik.

Der er ikke nogen enkel og entydig sammenhæng mellem læringsteoretiske positioner og undervisning. Men diskussionen om relationer mellem dem er vigtig. Jeg håber den fortsætter.

Referencer

- Bateson, G. (1972). *Steps to an ecology of mind*. Chicago: University of Chicago Press.
- Cobb, P. (2007). Putting philosophy to work: coping with multiple theoretical perspectives. In F. K. Lester (Ed.), *Second handbook on research on mathematics teaching and learning* (Vol. 1, pp. 3-38). Charlotte, NC: NCTM & IAP.
- Cobb, P., & Yackel, E. (1996). Constructivist, emergent, and sociocultural perspectives in the context of developmental research. *Educational Psychologist*, 31(3/4), 175-190.
- Dreier, O. (1999). Uddannelse og læring i praksis. I *På sporet af praksis*. København: Uddannelsesstyrelsen.
- Glaserfeld, E. v. (1995). *Radical constructivism. A way of knowing and learning*. London & Washington: Falmer Press.
- Lave, J. (1997). The culture of acquisition and the practice of learning. In D. Kirshner & J. A. Whitson (Eds.), *Situated cognition. Social, semiotic, and psychological perspectives* (pp. 17-35). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Lave, J. (2019). *Learning and everyday life. Access, participation and changing practice*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning. Legitimate peripheral participation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lerman, S. (1996). Intersubjectivity in mathematics learning: a challenge to the radical constructivist paradigm. *Journal for Research in Mathematics Education*, 27(2), 133-150.
- Sfard, A. (1998). On two metaphors for learning and the dangers of choosing just one. *Educational Researcher*, 27(2), 4-13.

- Sfard, A. (2003). Balancing the unbalanceable: the NCTM standards in the light of theories of learning. In J. Kilpatrick, W. G. Martin, & D. Schifter (Eds.), *A research companion to the Principles and Standards for School Mathematics*. Reston, VA: NCTM.
- Sfard, A. (2007). When the rules of discourse change, but nobody tells you: making sense of mathematics learning from a commognitive perspective. *Journal of the Learning Sciences*, 16(4), 565-613.
- Sfard, A. (2008). *Thinking as communicating. Human development, the growth of discourses, and mathematizing*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Sfard, A. (2015). Learning, commognition and mathematics. In D. Scott & E. Hargreaves (Eds.), *The Sage handbook on learning* (pp. 129-138). London: Sage.
- Sfard, A. (2017). Ritual for ritual, exploration for exploration or what learners are offered are what they present back to you. In J. Adler & A. Sfard (Eds.), *Research for educational change: transforming researchers' insights into improvement in mathematics teaching and learning* (pp. 41-63). London: Routledge.
- Skott, J., Skott, C. K., Hansen, H. C., & Jess, K. (2018). *Delta 2.0. Fagdidaktik. 1.-10. klasse* (2 ed.). København: Samfundslitteratur.
- Sølberg, J. (2020): To metaforer for læring og kompetenceorienteret undervisning. *MONA 2020*(2), 7-22.
- Tobin, K. (2007). Postscript. The revolution that was constructivism. In M. Larochelle (Ed.), *Key works in radical constructivism* (pp. 291-297). Rotterdam: Sense.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society. The development higher psychological processes*. Cambridge, MA & London, UK: Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S. (1986). *Thought and language*. Cambridge, MA & London, UK: The MIT Press.
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice. Learning, meaning, and identity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Modelleringskompetence i naturfag – hvad er det?



Line Have Musaeus, Center for Computational Thinking & Design (CCTD), Aarhus Universitet

Kommentar til Jørgen Løye Christiansen: Modeller og modellering i grundskolens naturfag, MONA 2020-3.

Indledning

Allerførst tak til forfatteren for en artikel om et felt der er så vigtigt og aktuelt. Jeg tror det er et felt hvor vi virkelig kan fremme elevers læring af og om naturvidenskabelige fænomener, men det kræver en målrettet og grundig uddannelse af de naturfaglige undervisere. Modellering og modeller er meget centralt i naturfagene, hvilket de af os der har undervist i disse fag er ganske klar over. Modellering og modeller rækker langt ud over de naturvidenskabelige fag og er aktuel for mange undervisere i andre fag. I forbindelse med efteruddannelse af gymnasielærere, i computational thinking og modellering, har vi på Center for Computational Thinking & Design således oplevet at omkring 100 lærere i fag så forskellige som dansk, fysik, musik, matematik og samfundsfag har fundet computationel modellering meget aktuel og relevant i deres undervisning (Musaeus & Musaeus, 2019), og at computationelle modeller er befordrende for elevers læring i de aktuelle fag (se fx projektbeskrivelserne CTiMNAT og MCTIG). Dette er også min personlige erfaring som gymnasielærer gennem mange år.

Artiklen beskriver meget interessante aspekter ved modeller og modellering, bl.a. hvordan eleverne igennem modellering har mulighed for at være kreative og originale. Også det meget vigtige begreb metamodellering, der er tæt forbundet til modelleringskompetencen, introduceres og diskuteres i artiklen. Desuden præsenteres et forsøg på at konkretisere modellering i forbindelse med undervisning i naturfag i grundskolen.

Modeller

I artiklen slås det hurtigt fast at modeller repræsenterer fænomener. Men modeller er bevidste forsimplinger af et fænomen, og ikke mindst er modeller repræsentationer som nogen har valgt, fravalgt og udvalgt. Modeller i undervisningen kan desuden være vigtige redskaber til at illustrere for eleverne hvordan der arbejdes med at opnå ny erkendelse i de naturvidenskabelige områder på en autentisk måde.

Modeller er et vigtigt element i grundskolens undervisning af naturfag. Det er nok ud fra dette at forfatterens behov for at visualisere eller producere "en model over modeller" stammer. Desværre anvender forfatteren ikke selv denne model til en beskrivelse af modellers og modellerings brug og rolle i undervisningen. Man skal være varsom med at fokusere for meget på modellers repræsentationsformer og anvende grupper som 1D, 2D og 3D som inddelingsparametre for en simpel inddeling af modeller. Mange modeller vil kunne falde i flere af de tre grupper, hvilket jeg tror bliver illustreret allerede ved artiklens første eksempel på en 1D model, omhandlende lydmodeller, idet mange elever nok vil opleve lyd som både retningsbestemt og rumlig, altså både som et 1D og 3D fænomen. Især yngre børn, der ikke endnu kender til lyds naturvidenskabelige beskrivelse, vil have svært ved at forstå at lydmodeller udelukkende er 1D.

Elever skal ikke nødvendigvis lære en inddeling af modeller efter repræsentationsformer, men snarere blive bevidste om rækkevidden af forskellige modeltyper og kunne sammenholde denne rækkevidde med det naturvidenskabelige fænomen de vil undersøge vha. en model. Eleverne skal kunne argumentere for og reflektere over valget af modeltype og dennes muligheder og begrænsninger, gerne sammenholdt med andre modeltyper. De skal altså opnå og anvende modelleringskompetencen og derigennem forstå modeller. I det følgende vil jeg forsøge at klargøre hvad der bør indeholdes i modelleringskompetencen.

Modellering

Modelleringskompetencen er af flere beskrevet i litteraturen som bestående af specifikke elementer der omhandler: rækkevidde, forklaringskraft, kausalitet, opførsel, relation til "virkeligheden", formulering og testning af hypoteser og forventet output i og af modellen eller elementer fra modellen (Lattery, 2016; Nowack & Caspersen, 2014; Sun et al., 2006; Swartz & White, 2005).

Det træner elevernes modelleringskompetence at få dem til at forholde sig til modellernes rækkevidde, muligheder og begrænsninger. Ligeledes trænes elevernes modelleringskompetence ved at de overvejer hvilke fravalg og tilvalg af elementer i modellen der er gjort i forhold til det repræsenterede fænomen. At arbejde med hvilke output og input der er aktuelle i modellen, er en del af den iterative modelleringsproces. Og

derfor er det ganske rigtigt vigtigt at identificere modelleringskompetencen som noget selvstændigt og erkende at modelleringsprocessen ikke er en envejsproces fra data til resultat, fra input til output. Modelleringskompetencen er snarere en iterativ proces hvor modellens output løbende giver anledning til en tilpasning af modellen og dens input og dermed de data der indsamles og anvendes og omvendt. Måske er det hvad figur 4 skal illustrere.

Jeg tror at en mere præcis og konkret tilgang til modelleringsprocessen i undervisningen er helt nødvendig for at kunne klæde undervisere, studerende og elever godt på til at anvende og drage fordel af modellering i naturfag og andre fag. Artiklen kunne derfor med fordel have gjort endnu mere ud af hvad begreberne 'model' og 'modellering' konkret kan være for henholdsvis lærere og elever i en undervisnings-sammenhæng.

Som udvidelse på det rigtig gode eksempel om carbonkredsløbet i perspektiverings-afsnittet er det således en meget vigtig øvelse for eleverne i 9.klasse at diskutere og udvælge de vigtigste elementer til modellen til 3.klasse og overveje hvilke output der kan forventes af en sådan simpel model. Her kan pointen med den simple repræsentation fra før igen fremføres. Ved at eleverne vurderer modellens output baseret på input, kan eleverne diskutere om de faglige mål for undervisningen i en 3.klasse bliver opfyldt, og om modellen er brugbar til dette. At forenkles et fænomen så det kan repræsenteres af en simpel model, er ikke trivielt. Jeg har mødt mange undervisere (inklusive mig selv) og elever der har svært ved at lave den øvelse. Men de samme undervisere og elever har også oplevet at en simpel model er et langt stærkere læringsredskab end en meget kompliceret. Som en elev engang skrev i sin evaluering af arbejdet med at konstruere modeller: "At lave modeller kræver viden!".

Endelig vil jeg, i forlængelse af forfatterens beskrivelse af hvordan en undervisningssituation kræver at både lærere og elever er bevidste om hvorvidt den aktuelle model er mål eller middel, komme med en anbefaling. Det er vores erfaringer fra CCTD, AU at en meget brugbar tilgang til undervisning i og udforskning af modeller i naturfag og andre fag er Gouvea & Passmores arbejde med at beskrive modeller ud fra spørgsmålene "what are models for?" og "what are models of?" (Gouvea & Passmore, 2017). Disse ganske enkle spørgsmål sætter en faglig diskussion i gang hos eleverne, som herved kan vurdere forskellige modellers formål og konstruktion. Fx har jeg i biologiundervisningen anvendt en computermodel om transport af stoffer over en cellemembran. På spørgsmålet om hvilke elementer modellen bestod af ("what are models of?"), diskuterede eleverne i grupper både hvilke elementer der var og ikke var med i modellen (fx vandmolekyler og natriumioner), samt hvordan deres transport skulle illustreres (fx hvorvidt flere transportformer skulle repræsenteres i modellen og til hvilket formål?). Eleverne krævede gode argumenter af hinanden for hvorfor netop 'deres' elementer skulle inkluderes i modellen og med hvilket formål. Derved

bevægede de sig selv over mod spørgsmålet om hvilket formål modellen havde, og hvad den kunne svare på (“what are models for?”). Som en sidegevinst blev det meget tydeligt både for eleverne og for underviseren hvilken mental model eleverne havde af fænomenet “cellemembrantransport”, og at disse mentale modeller måske burde justeres.

Sluttelig endnu engang tak til forfatteren for en artikel med gode eksempler, en nyttig diskussion af hvornår brug af modeller indgår i modelleringskompetencen, og hvornår den indgår i undersøgelseskompetencen. Også tak til tidsskriftet for at belyse dette vigtige og aktuelle felt. Personligt glæder jeg mig til mange flere perspektiver og anbefalinger på undervisning i modeller og modellering og på at disse kædes sammen i dette tidsskrift.

Referencer

CTiMNAT – Computational Thinking in Math and Science:

<https://cctd.au.dk/projects/ctimnat-computational-thinking-in-math-and-science/>.

Gouvea, J., & Passmore, C. (2017). Models of versus ‘Models for. *Science & Education*, 26(1-2), 49-63.

Lattery, M. J. (2016). *Deep Learning in Introductory Physics: Exploratory Studies of Model? Based Reasoning*. IAP.

MCTIG – Computational Thinking in Humanities, Arts and Social Sciences:

<https://cctd.au.dk/projects/mctig-computational-thinking-in-humanities-arts-and-social-sciences/>.

Musæus, L. H., & Musæus, P. (2019, February). Computational Thinking in the Danish High School: Learning Coding, Modeling, and Content Knowledge with NetLogo. In *Proceedings of the 50th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 913-919).

Nowack, P., & Caspersen, M. E. (2014, November). Model-based thinking and practice: A top-down approach to computational thinking. In *Proceedings of the 14th Koli Calling International Conference on Computing Education Research* (pp. 147-151).

Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students’ understanding of scientific modeling. *Cognition and instruction*, 23(2), 165-205.

Sun, Y., Newstetter, W., & Nersessian, N. J. (2006). Promoting model-based reasoning in problem-based learning. *Trabajo presentado en la reunión anual de la Cognitive Science Society, Vancouver, Canadá*.

Kan modellering adskilles fra undersøgelse i grundskolens naturfagsundervisning?



Claus Auning,
LSUL, SDU, UC
SYD



Sanne Schnell
Nielsen, Københavns
Professionshøjskole,
Institut for
Læreruddannelse

Kommentar til Jørgen Løye Christiansen: "Modeller og modellering i grundskolens naturfag". MONA, 2020-3.

I artiklen "Modeller og modellering i grundskolens naturfag" kommer JLC med et forslag til en forenkling af modelleringskompetence begrebet. I artiklen argumenteres ligeledes for en klar adskillelse mellem modelleringskompetencen og grundskolens tre øvrige kompetenceområder: kommunikation, undersøgelse og perspektivering. Med udgangspunkt i erfaringer fra vores eget udviklings- og forskningsarbejde vil vi kommentere på JLC's forslag til en forenkling og adskillelse af modelleringskompetencemålet. Vi vil først komme med en række overordnede betragtninger relateret til relevansen og konsekvensen af JLC's forslag. Herefter følger et konkret eksempel på hvordan elever har arbejdet integreret med modellerings- og undersøgelseskompetencen.

I artiklen advokeres for en enklere definition af modellering således at de fire kompetencer lettere lader sig adskille fra hinanden. JLC's primære argument er at modelleringskompetence-begrebet kun kan omsættes til en undervisnings- og evalueringspraksis hvis lærerne ved hvad modellering er, og hvis de kan adskille de fire kompetencer fra hinanden. Vi er enige i at en indgående forståelse af modellering som naturvidenskabelig proces er en forudsætning for at omsætte modelleringskompetencebegrebet til praksis. Dette understøttes af undersøgelser som peger på at lærernes erfaringer med og forståelse for modellering som en naturvidenskabelig proces har betydning for deres undervisnings- og evalueringspraksis (Nielsen og Nielsen, 2019). Vi vil derimod stille spørgsmålstegn ved rationalet for *hvorfor* og specielt *hvordan* JLC adskiller modellering fra de andre kompetencer. Vi vil først kort argumentere for hvorfor vi, i modsætning til JLC, ikke finder det problematisk

at der er overlap mellem de fire forskellige kompetencer i grundskolens undervisning. I lighed med JCL vil vi primært adressere forholdet mellem modellerings- og undersøgelseskompetencen.

Forståelse og identifikation af modellering kontra skarp afgrænsning

Ifølge JCL er det problematisk hvis modellering- og undersøgelseskompetencen ikke klart kan adskilles fra hinanden i såvel læseplaner som i undervisningen. Vi vil dog påstå at hvis lærerne har en basal forståelse for begge begreber, vil de også være i stand til at identificere hvornår og hvordan de to kompetencer er i spil. Såfremt denne præmis er på plads, ser vi derfor intet problematisk i at der i såvel undervisning som i evaluering arbejdes med et aspekt som kan relateres til begge kompetencer. For eksempel kan eleverne til den fælles faglige prøve demonstrere hvordan man med fordel kan anvende en model af et naturfagligt fænomen (sammenhæng mellem næringsstofbelastning og sigtdybde i en sø) til at formulere og opstille forudsigelser som efterfølgende kan testes empirisk (forsøgsrække med søvand og forskellige næringskoncentrationer). Til prøven demonstreres delelementer af elevernes empiriske undersøgelser, og forsøgsresultaterne præsenteres som modeller. Vha. en sø-økosystem-model diskuteres afslutningsvis forskellige handlemuligheder ift. genoprettelse af søers næringsstofbalance.

Her vil samtalen rumme mulighed for at evaluere aspekter primært relateret til modellerings-kompetence (tolke og anvende modeller som kilder til naturfaglig viden, forståelse for modellers anvendelighed til forudsigelse af forskellige scenarier og som redskaber til vidensgenerering), aspekter primært relateret til undersøgelseskompetence (observationer, variabelkontrol, opstille forsøg, fejlkilder, praktiske og sikkerhedsmæssige forhold). Samtalen vil imidlertid også rumme muligheder for at evaluere aspekter som kan relateres til både modellerings- og undersøgelseskompetencen (opstille fagligt funderede hypoteser; forudsige samt udlede forklaringer og sammenhænge; pege på forbehold og begrænsninger i naturvidenskabelige arbejdsformer; systematisere, analysere, fortolke og præsentere data; evidensbaseret argumentation). Som illustreret i ovenstående eksempel mener vi at lærernes udfordringer primært ligger i at identificere hvornår og hvordan de to kompetencer er i spil, og ikke grunder i at der er overlap mellem kompetencerne. Tværtimod vil vi vove at påstå at en klar adskillelse af modellerings- og undersøgelseskompetencen vil være meget svær at omsætte til en meningsfuld praksis. Derudover mener vi at en adskillelse vil give eleverne et mekanisk og misvisende billede af hvordan der arbejdes i naturvidenskab (Passmore, Stewart & Cartier, 2009; Nielsen, 2015;2020).

Modellering uden elevernes egne undersøgelsesdata?

Modellering kan opfattes som en naturvidenskabelig proces som involverer (1) udvikling af modeller der indeholder centrale aspekter af teori og/eller data, (2) evaluering af modeller, (3) revidering af modeller der tager hensyn til nye teoretiske idéer eller empiriske resultater, og (4) anvendelse af modeller til at forudsige og forklare naturfaglige fænomener (Schwarz & White, 2005). Ifølge JLC vil det kræve en forenkling af modelleringkompetencebegrebet hvis lærer og elever skal kunne skelne mellem modellering og undersøgelse. I den sammenhæng foreslås at ekskludere dataindsamling fra modellering. I vores tolkning vil det betyde at relationen mellem det fænomen (genstandsfeltet) som modellen repræsenterer i "den virkelige verden", og modellen ikke bliver en del af elevernes modelleringsproces. Hermed begrænses elevernes mulighed for at være aktivt deltagende i centrale dele af den naturvidenskabelige modelleringsproces som kan bidrage til deres forståelse for det samspil der er mellem genstandsfelt, data og modeller (Ibid). Derved risikerer vi at forstærke en allerede fremherskende tendens: en modellering som primært bliver udfoldet som en remediering af tekst eller kendte modeller fremfor en iterativ proces koblet til elevernes egne undersøgelser (Nielsen, 2019). En tendens hvor fokus er på kommunikation og forståelse af faglige begreber og sammenhænge frem for erfaring med og om modellering som naturvidenskabelig proces (Andersen *et al.*, 2019; Christiansen *et al.*, 2019; Krog & Daugbjerg, 2018; Nielsen, 2019, 2020).

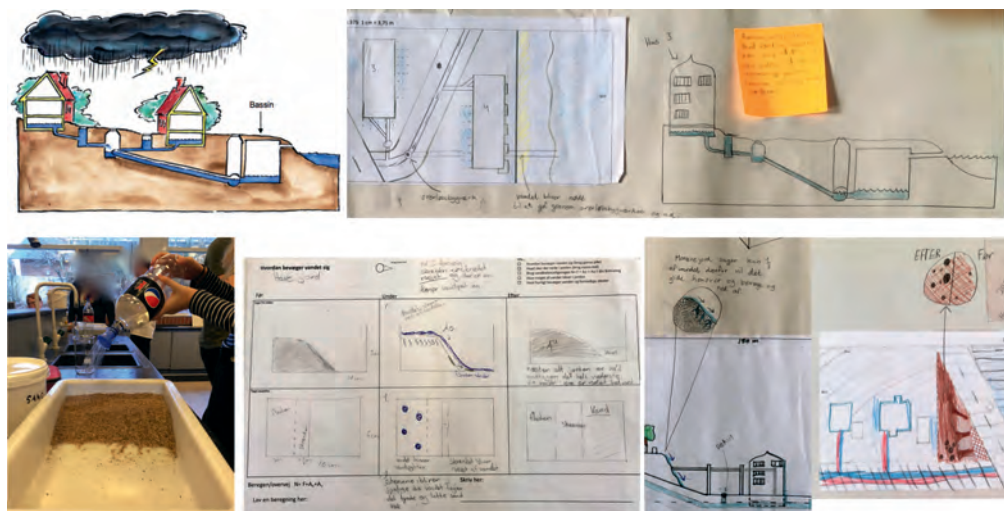
Baseret på ovenstående vil vi mene at modellering uden undersøgelse af "genstandsfeltet" vil få karakter af en mangelfuld implementering af modellering som proces. Eleverne vil fx kun få begrænset mulighed for at arbejde med hvordan modeller kan anvendes til at systematisere, fortolke, finde sammenhæng i og forstå samt formidle deres egne undersøgelsesdata. Ligeledes vil erfaringer med hvordan egne data kan danne grundlag for udvikling, efterprøvning og eventuelt revidering af modeller, være svære at implementere uden elevundersøgelser. Erfaringer som ellers kunne være et værdifuldt bidrag til elevernes forståelse for modellering som en vidensgenererende naturvidenskabelig metode (Baek & Schwarz, 2015).

Eleverne evner at arbejde integreret med modellering, undersøgelse og egen data

Vi ser fra egen og international forskning (Baumfalk *et al.*, 2018; Fowler *et al.* 2020; Auning, 2020) at undersøgelse- og modelleringskompetencen er en iterativ proces hvor de to kompetencer anvendes på samme tid. Vi vil med udgangspunkt i en konkret case fra vores nyeste forskningsprojekt argumentere for at en stærk opdeling af kompetencerne, som foreslået at JLC, er unødvendig og i værste fald hæmmende for elevernes læring. I førnævnte forskning anvender eleverne hvad Lijnse (2008)

kalder for ekspressiv modellering hvor de konstruerer deres egne modeller og derigennem udtrykker deres egen opfattelse af verden omkring dem. Derudover anvender eleverne eksplorativ modellering hvor de undersøger og anvender eksisterende modeller, såsom undervisningsmodeller eller konsensusmodeller lavet i fællesskab i klassen. I vores nyeste forskningsprojekt arbejdede eleverne således med at forklare et komplekst fænomen vha. egne modeller. Dette gjorde de ved at bruge forskellige modelementer i deres modelbaserede forklaring, såsom zoom-in-bokse, for at vise hvordan vand bevæger sig igennem forskellige jordbundstyper, eller tværsnit hvor de viser hvordan kloakrør ligger i jorden. Eleverne anvendte ligeledes matematiske repræsentationer som vandbalanceligningen for at forklare hvordan afstrømningen af vand varierer indenfor et område. De brugte små tegneserier, signaturforklaringer, faktabokse og terrænmodeller som elementer i deres model af det komplekse fænomen (Figur 1). De elevproducerede modeller var unikke, og de forklarende elementer varierede fra model til model. De forklarende elementer kom dog ikke ud af det blå. En væsentlig del af forklaringerne udsprang netop af elevernes egne undersøgelser af fænomenet. Disse undersøgelser modellerede eleverne og brugte dem som forklaringer på deres model. Andre forklaringselementer udspringer fra eksplorativmodellering. Når eleverne bruger elementer fra andres modeller, metareflekterer de over formål, værdier og anvendelse af den valgte model til deres egen modelbaserede forklaring. Ovenstående eksempel illustrerer at det kan være yderst vanskeligt at lave en hård opdeling af undersøgelse- og moduleringskompetencen, som er foreslået af JLC, og vi vil påstå at denne opdeling i en undervisningskontekst heller ikke har nogen synderlig værdi hvis man som lærer tydeligt kan identificere at begge kompetencer har været i spil i elevernes arbejde.

Endvidere vil vi argumentere for at modellering i ovenstående case var en vigtig del af undersøgelsesfasen. Når eleverne undersøger, så fremstiller de simultant modeller af det de observerer, modeller som vi efterfølgende ser som elementer i elevernes modelbaserede forklaringer, men som ovenstående eksempel også viser, så er mange af deres undersøgelser også udført ved brug af andres modeller, som de tilpasser og anvender. Eksplorativmodellering er i sig selv en undersøgelsesmetode hvor meta-modellering spiller en central rolle. Vi ser det derfor svært at adskille de to kompetencer fra hinanden så kategorisk som JLC foreslår, og vi vil ligeledes stille spørgsmålstegn ved om det er nødvendigt og meningsfuldt i en undervisningspraksis.



Figur 1. Praktiske eksempler på eksplorativ (øverst) og ekspresiv modellering (nederst). Øverst har eleven undersøgt en illustrationsmodel. Denne er efterfølgende blevet bearbejdet og anvendt på elevens egen model som en argumentation for hvorfor kælderens i bygningen kan blive oversvømmet. Nederst har eleven undersøgt hvordan nedbør afstrømmer på forskellige jordbundstyper. Eleven har under forsøget tegnet (modelleret) sine observationer. Disse observationer (modellen i midten) er efterfølgende blevet redigeret og anvendt på elevens egen model. Elevens egen model viser vha. bokse (cirkler) hvordan vand afstrømmer og derved forandrer landskabet, dette har eleven både tegnet horisontalt og vertikalt. På den gule post-it står: Rørene er fyldt op med vand, og vandet kan ikke nå at blive ført videre. Så vandet kommer op gennem rørene igen og ender i kælderen.

Modellering som proces inkluderer og kvalificerer undersøgelseskompetencen

Som illustreret i ovenstående mener vi at modellering både kan inkludere og kvalificere elevernes undersøgelses- såvel som perspektiverings- og kommunikationskompetence. Vi vil påstå at en adskillelse af kompetencerne ikke alene vil forringe mulighederne for at udnytte den synergieffekt der kan opstå når kompetencerne integreres funktionelt, men også kan bidrage til at give eleverne et misvisende billede af hvordan der arbejdes i naturvidenskab (Lehrer & Schauble, 2015). Derudover mener vi at JLC's eksklusion af elevernes egne undersøgelsesdata vil være en amputation af centrale aspekter af modelleringsprocessen. I lighed med internationale tendenser (Passmore, Stewart & Cartier, 2009; Windschitl, Thompson & Braaten, 2008) vil vi derfor advokere for en undervisnings- og evalueringspraksis hvor eleverne aktivt

arbejder med modellering i samspil med deres egne undersøgelser og dataindsamling samt inddrager de fire naturfaglige kompetencer når de enten inkluderer eller kvalificerer hinanden.

Referencer

- Andersen, P. U., Brandt, H., Krogh, L. B., Sillasen, M., & Daugbjerg, P. (2020). Udvikling af model-lerskompetence i læreruddannelsen. *MONA*, 2, 65-83.
- Auning, C. (2020). Modellering som proces i naturfagsundervisningen. *MONA*, 2020, 1, 6-25.
- Baumfalk, B., Bhattacharya, D., Vo, T., Forbes, C., Zangori, L., Schwarz, C. (2019). Impact of model-based science curriculum and instruction on elementary students' explanations for the hydrosphere. *Journal of Research in Science Teaching*. 56, 570–597. <https://doi.org/10.1002/tea.21514>
- Baek, H. & Schwarz, C. V. (2015). The Influence of Curriculum, Instruction, Technology, and Social Interactions on Two Fifth-Grade Students' Epistemologies in Modeling Throughout a Model-Based Curriculum Unit. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 216-233.
- Christiansen, J. L., Andersson, J., Hansen, D., Jensen, M. A. S., Kinnerup, L. B., & Lilius, K. M. (2019). Brug af modeller og modellering i udskolings naturfagsundervisning. *MONA*, 20, 4, 8-27.
- Fowler, K., Windschitl, M. & Auning C. (2020). A Layered Approach to Scientific Models- Creating scaffolds that allow all students to show more of what they know. *The Science Teacher—September/October 2020 (Volume 88, Issue 1) NSTA*.
- Gilbert, J.K. & Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education*, Springer.
- Gouvea, J. & Passmore, C. (2017). 'Models of' versus 'Models for': Toward an Agent-Based Conception of Modeling in the Science Classroom. *Science and Education*, 26, 1-2, 49-63.
- Krogh, L. B. & Daugbjerg, P. (2018). Fællesfagligheden til prøve. *MONA*, 4, 28-54.
- Lehrer, R. & Schauble, L. (2015). The development of scientific thinking. R.M. Lerner (Ed.), *Handbook of child psychology and developmental science*, 2, (7), Cognitive Processes. New Jersey, USA: Wiley, 671-714.
- Lijnse, P. (2008). Models of/for Teaching Modeling. E. van den Berg, A.L. Ellermeijer & O. Slooten (Ed.), *Modelling in Physics and Physics Education*. AMSTEL Institute, University of Amsterdam, 20-33.
- Nielsen, S.S. (2015). Fælles Mål og modelleringskompetence i biologiundervisningen – forenkling nødvendig for fortolkning. *MONA*, 4, 25-43.
- Nielsen, S. S. (2019). *Teaching for Modelling Competence Expanding the scientific basis for bridging the gap between teachers' practices and political intentions in the realization of a modelling-oriented science curriculum in Danish lower secondary school*. Københavns Universitet.
- Nielsen, S. S. (2020). Et bud på en mere procesorienteret tilgang til modeller og modellering i skolens naturfagsundervisning. *MONA*, 1, 91-96.

- Nielsen, S.S. & Nielsen, J.A. (2019). A Competence-Oriented Approach to Models and Modelling in Lower Secondary Science Education: Practices and Rationales Among Danish Teachers. *Research in Science Education*, 1-29.
- Passmore, C., Stewart, J. & Cartier, J. (2009). Model-based inquiry and school science: Creating connections. *School Science and Mathematics*, 109, 7, 394-402.
- Schwarz, C.V. & White, B. Y. (2005) Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling, *Cognition and Instruction*, 23, 2, 165-205.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92, 5, 941-967.

Teknologiforståelse – forståelse af begrebet teknologi



Niels Anders Illemann Petersen,
UCN

Kommentar til Keld Nielsen og Martin K. Sillasen: Teknologiforstyrrelse: Hvad mener Børne- og Undervisningsministeriet, når de skriver "teknologi"? MONA 2020-3.

Endelig kom den! Artiklen "Teknologiforstyrrelse: Hvad mener Børne- og Undervisningsministeriet, når de skriver "teknologi"? af Keld Nielsen og Martin K. Sillasen tager et vigtigt opgør med anvendelsen af teknologibegrebet. Nielsen og Sillasen problematiserer det forhold at Børne- og Undervisningsministeriet er meget upræcise i deres brug af begrebet teknologi i det nye fag teknologiforståelse.

Teknologibegrebet

I artiklen undersøger de blandt andet hvordan teknologibegrebet forstås i faghæfterne for naturfagene i grundskolen samt i faghæftet for teknologiforståelse. Jeg skriver med vilje *forstås* da Nielsen og Sillasen ikke finder en klar definition i faghæfterne. De kommer frem til at det mere eller mindre tydeligt fremgår af faghæfterne for naturfagene at teknologi skal forstås som "the designed world". Samme definition gør sig ifølge Nielsen og Sillasen gældende i STEM-begrebet samt på ingeniøruddannelserne. Til gengæld er der forvirring i faget teknologiforståelse.

Behovet for en klar definition ser ud fra Niensens og Sillasens analyse ud til at være opstået i forbindelse med beskrivelse og afprøvning af det nye fag teknologiforståelse. Nielsen og Sillasen er meget venlige i deres neutrale ønske om en klar definition. Alle de eksempler der nævnes i artiklen, hvor der er konsensus om en bred forståelse af teknologibegrebet, stammer fra naturfaglige og tekniske fag og uddannelser. Begrebsforvirringen opstår først når vi kommer uden for disse fag, men dette forhold gør Nielsen og Sillasen ikke direkte opmærksom på. En forklaring på forvirringen er dog nærliggende: Den manglende konsensus omkring definitionen af begrebet teknologi i det nye fag teknologiforståelse kommer af at fagets titel er formuleret af nogen, der

ikke har kendskab til teknologibegrebet, da den samme forvirring er fraværende alle andre steder. Dette nye fag er jo bredere i sit mål og taler ind i flere fag. Der er andre end naturfag som vil være med her.

Men hvorfor er det sket, og hvorfor er det ikke rettet straks? Det er min påstand at når man siger ordet teknologi, vil de fleste snarere tænke på smartphones og robotter end de vil tænke på stenøkser og cykler. Hos mange er der udviklet en forståelse af at *al* teknologi er digitalt. Prøv for eksempel at søge på begrebet “teknologi” på nettet. Størstedelen af de billeder der dukker op, vil være billeder af digital teknologi (filterbobler medfører forskellige søgeresultater, men prøv alligevel). Folk der ikke beskæftiger sig med teknologi, forstår teknologi som værende digitalt. Så her er det gået galt. Titlen på forsøgsfaget Teknologiforståelse er defineret uden indsigt i begrebet. Fejlen er blevet påpeget mange gange til udviklingsværksteder i forbindelse med arbejdet i forsøgsfaget. Her deltager bl.a. repræsentanter fra de tilmeldte grundskoler, naturfagslærere som har påpeget misforståelsen, dog uden held. Måske er den forvirring i beskrivelser og vejledninger for faget teknologiforståelse som Nielsen og Sillasen påpeger, hvor man bruger begrebet “teknologi” og “digital teknologi” i flæng, et forsøg på at rette op på fejlen uden at nogen, som måske burde vide bedre, taber ansigt? Nielsen og Sillasen omtaler det som sløseri, jeg tænker det grænser til en bevidst sløring af uvidenhed.

Det undrer mig i øvrigt at Nielsen og Sillasen i deres udmærkede artikel ikke kaster sig ud i selv at komme med et bud på en definition af teknologi så Børne- og Undervisningsministeriet får lidt hjælp. Jeg tænker at det ligger lige for at de foreslår en definition på baggrund af deres analyse af faghæfterne og det engelske udtryk som bruges i artiklen: “The designed world”. Vi kan jo starte med at oversætte det engelske udtryk, og jeg vil derfor foreslå definitionen: “Den konstruerede verden”.

Almendannelse

Børne- og Undervisningsministeriet lægger vægt på det almindelige aspekt ved det nye fag teknologiforståelse. Når man går ind på forsøgsfagets hjemmeside, møder man først overskriften “Teknologiforståelse – en alment dannende, kreativ og skabende faglighed” (teknologiforståelse, u.å.). Når Børne- og Undervisningsministeriet samtidig indsnævrer begrebet teknologi til kun at indeholde digital teknologi, så siger de samtidig at bioteknologi, genteknologi, ja alt den teknologi der ikke er digitalt, ikke er relevant i forhold til elevernes almindelige dannelse. På den måde tager vi fokus væk fra al anden teknologi som også er relevant i forhold til almindelig dannelse, som Sillasen og Nielsen eksemplificerer rigtig godt med deres omtale af den antropocæne periode. Her har Nielsen og Sillasen godt fat i et væsentligt argument for at få styr på teknologibegrebet i en almindelig skole.

Men væsentligt vil det så også være at kigge på begrebet *forståelse* i fagets titel Teknologiforståelse. Er forståelse nok ud fra et almendannende perspektiv? Nielsen og Sillasen har sikkert selv overvejet det når de i deres artikel vælger at bruge begrebet *teknologisk dannelse*. I en undervisningssammenhæng vil man ofte tænke på forståelse som det niveau hvor man kan forklare et fagligt stof med egne ord og eksempler hvis man definerer forståelse ud fra Biggs solotaksonomi eller Blooms taksonomi. Ifølge disse taksonomier, som er almindeligt brugte når man skal evaluere elevernes viden, så er forståelse ikke nok hvis eleverne skal kunne generalisere og perspektivere deres viden, hvilket må være væsentligt når der er fokus på almendannelse. I introduktionen til bogen "En designtilgang til teknologiforståelse" af Iversen, Dindler & Smith (2019) problematiseres det også at forståelse indgår i teknologiforståelsesfagets titel, men det konkluderes at det i denne sammenhæng må dække over:

"...evne til kritisk og nysgerrigt at forstå digitale artefakter, deres opbygning, konstruktionsprocesser og brug for derigennem at kunne foretage en konsekvensvurdering" (Iversen, Dindler & Smith, 2019, s. 7.).

Iversen m.fl. kan i øvrigt også se det problematiske i at bruge begrebet teknologi i det nye fag, men vælger så at definere teknologi som:

"...de digitale artefakter og materialer, som rummer et interaktivt element, der helt eller delvist er skabt gennem algoritmer" (Iversen, Dindler & Smith, 2019, s. 7.).

Som Nielsen og Sillasen påpeger der er behov for en entydig definition.

Afrunding

Jeg håber at artiklen af Nielsen og Sillasen i MONA 2020-3 kan være med til at åbne øjnene for at teknologi, den konstruerede verden, er vigtig at forholde sig til i en almendannende skole. Jeg hilser samtidig det nye fag Teknologiforståelse velkommen. Det er stadig et forsøgsfag, så man kan jo når og hvis det bliver indført i folkeskolen, nemt ændre fagets titel. Jeg håber Børne- og Undervisningsministeriet læser MONA.

Referencer

Teknologiforståelse (u.å.). *Teknologiforståelse i folkeskolen*. Lokaliseret d. 28. september 2020 på: <https://tekforsøget.dk/>.

Iversen, O. S., Dindler, C. & Smith, R. C. (2019). *En designtilgang til teknologiforståelse*. (1. udg.). Frederikshavn: Dafolo.

Det er menneskeligt at fejle



Steen Markvorsen, DTU Compute

Kommentar til Kasper Bjerling Søby Jensen: "STX-studenternes algebraiske færdigheder", MONA 2020-3.

Tak til Kasper for en klar og afbalanceret rapport fra stx eksamensfronterne! Den har motiveret overskriften på nærværende indlæg, som er et forkortet og modificeret citat af Cicero:

"Cujusvis hominis est errare, nullius nisi insipientis in errore perseverare 'ethvert menneske kan tage fejl, men kun en tåbe bliver ved med det'. (Den Store Danske: Cicero's 12. "Filippiske tale", afsnit 5, fra år 43 f. Kr. mod Antonius)

Det er ikke kun eleverne, der begår fejl – det gør vi alle. Og det er godt at begå fejl, hvis vi vel at mærke straks tager ved lære af dem, jf. fx Elon Musk's koncept: "The art of successfully failing". Kun hvis vi opdager fejlene i tide kan de blive rettet og korrigeret *før* nedtællingerne til raket-opsendelserne og *før* deltagelse i de afsluttende eksamener i matematik. Og *før* yderligere besparelser på uddannelsesområdet.

De skriftlige eksamener

Lad os først se på de afsluttende skriftlige eksamener i Matematik B og A, som Kasper skriver om. Eleverne begår fejl, som tydeligvis ikke er fejlrettet i løbet af træningen op til de eksamener. For 'det trænede øje', som Kasper selv benytter et par gange i sin analyse, er fejlene ganske elementære. Enhver aftager på de videregående uddannelser vil forvente, at de ikke dukker op igen der. Men det gør de, for selve den skriftlige eksamen har i sagens natur ikke nogen korrigerende effekt. Det er blot én af mange begrundelser for at udfase de *skriftlige slut-eksamener* til fordel for en portefølje-evaluering af de enkelte elever igennem gymnasieuddannelsen. Altså en lærer/censor evaluering af den enkelte elevs portefølje, som så skal indeholde signifikante elementer af elevens

progression, inklusive løsninger af mangfoldige 'grønne' træningsopgaver⁴, fejlfindinger og -rettelser, samt andre motiverede skriftlige og dokumenterbare aktiviteter igennem hele uddannelsen. Med SRP-forsvaret til sidst som rosinen i pølseenden – og med én eller flere delkarakterer for det hele. De 'grønne' opgaver undervejs kan nu om dage både serveres og evalueres automatisk (centralt eller decentralt), og de kan udarbejdes af lærerne *i samarbejde med* opgavekommissionen.

Det er nu engang fagligt meget mere givende og interessant at *konstruere* opgaver end det er at *rette* elevernes besvarelser af dem.

At gøre prøve

De helt konkrete fejl i *besvarelserne* af opgaverne 3, 7 og 8 fra A-niveau-sættet 25. maj 2020, som Kasper omtaler i detaljer, giver også anledning til et par kommentarer: Kasper giver i sin artikel på side 57 (Boks 1) 11 eksempler på forkerte besvarelser af opgave 3, som handler om reduktion af en brøk hvori der optræder en variabel a . Fejlene er hvad de er, men en mere overordnet systemisk progressions- eller trænings-fejl springer også i øjnene, nemlig at der tilsyneladende ikke 'gøres prøve'. De fundne fejlagtige reduktioner kan (delvist) afprøves ved fx at sætte $a = 1$, hvilket straks vil/burde afsløre, at der er noget galt – i det mindste i 10 af de 11 forkerte besvarelser. (Måske er det præcis hvad eleven bag besvarelse nr. 9 på listen har forsøgt? Det burde i så fald give ekstra point.) Det samme principielle gøre-prøve greb mangler tilsyneladende også i de to andre opgaver for så vidt bestemmelsen af $x = 6$ og $c = 3$, henholdsvis. Det er klart en god investering i den generelle ræsonnementskompetence at invitere Djævelens advokat med på råd *før* man sætter flueben eller to streger under. Som sagt ovenfor er de manglende elementære (in casu algebraiske reduktions-) kompetencer en uomtvistelig hæmsko for læring og undervisning på de videregående uddannelser. Men disse manglende kompetencer må selvsagt også være en hæmsko allerede i gymnasieuddannelsen selv, ikke kun i matematik, men også i fysik, kemi, biologi, samfundsfag etc. Fx allerede når fysiske størrelser skal transformeres til, fra, og imellem SI enheder. Løsningen ligger igen dels i træning (med gøren prøve) men også i modul-koordinering mellem fagene (især matematik og fysik), så der samtidig dyrkes grundlæggende (træning), vertikale (opad i matematikken) og horisontale (ud i anvendelserne) aspekter af alle hjælpemodulerne, repræsenteret eksempelvis ved de algebraiske brøkreduktioner.

⁴ De såkaldte mindstekravsopgaver markeres med grønt i eksamenssættene som illustreret i figur 1 og figur 4 i Kasper's artikel, heraf navnet 'grønne' opgaver.

Hvor er gangetegnet?

En helt anden type fejl, som Kasper fremhæver – oven i købet som værende “ganske udbredt” i elevbesvarelserne af opgave 8 i ovennævnte sæt – er mere overraskende og finurlige. I opgaven forventes det at man bruger formel (179) fra Matematisk formelsamling, stx A-niveau, hvori der optræder en koefficient aM på den variable x i løsningen til en given differentiaalligning. Konstanten a er tidligere i opgaven fundet til at være 2 og konstanten M er fundet til at være 8. Så det sluttet af en del elever, at aM derfor må være 2 gange 8, men uden at udregne produktet. Jeg er stor tilhænger af gangetegn og pædagogiske parenteser – i læringsprocessen. (Til trods for, at det bedrevidende og veltrænede øje naturligvis vil opfatte den slags som unødvendig redundans, som måske endda så skal ‘aflæres’ senere i den videre uddannelse.) Det er derfor glædeligt at se hvordan formlerne i de matematiske formelsamlinger for stx A-niveau og stx B-niveau omhyggeligt alle er sat med præcise indlejrede gangetegn – på nær i ca. 20 ud af i alt ca. 550 formler. Formel (179) er uheldigvis én af de 20, og – det kunne være (en skrøbelig) hypotese – det tolkes derfor anderledes usikkert af eleverne, når der i den formel står aM og ikke eksplicit $a \cdot M$, altså *med aktivt gangetegn* som i de fleste andre formler i formelsamlingerne?

Hvor er grænsen?

Diskussionerne om karakter-*grænserne* ved de skriftlige eksamener er, som Kasper diplomatisk antyder, tilsvarende både unødvendige og utilstrækkelige. De beror oftest på den fejlagtige antagelse, at opgavekommissionen skulle være næsten apoteotisk ufejlbarlig i sin konstruktion af opgaverne – altså at sværhedsgraderne af de enkelte opgaver skulle være determineret af – og afprøvet igennem – en absolut og nagelfast algoritme, som på mystisk vis skulle være overleveret fra den dybe fortid og opbevaret et hemmeligt sted i ministeriet. Sådant en algoritme findes naturligvis ikke.

Hvad siger karaktererne?

Apropos *slut*-karaktererne fra de afsluttende eksamener i gymnasiet:

“Karakterer kan ikke sige noget om, hvilken faglighed eleverne har tilegnet sig, eller i forhold til hvilke aspekter af fagligheden eleverne har et højt niveau, og hvor elevernes faglige niveau er lavere.” (Danmarks Evalueringsinstitut, EVA. (2018). *Den faglige udvikling i gymnasiet*. Side 140.)

I modsætning hertil bygger De Økonomiske Råds analyse af gymnasiernes produktion af læring meget mere direkte på det klassiske karaktergennemsnit (samt data

for gennemførelse af uddannelsen og data for tilbøjeligheden til at læse videre). De konkluderer blandt andet:

“Tilskud pr. elev har ingen statistisk signifikant effekt på karaktergennemsnit, når der tages højde for elevernes sociale og faglige udgangspunkt.” [Samlet set indikerer analysen] “... at højere tilskud kan forringe gymnasiernes produktivitet målt ved læringsudbyttet pr. udgiftskrone.” (De Økonomiske Råd, Formandskabet, DØR. (2019). *Produktivitet 2019*, Kapitel III p. 101 og 114 ff.)

Undervejs i analysen hen imod den konklusion benytter DØR et interessant, men ligeledes karakterdeterministisk, greb:

“Produktivitetskommissionen (2013) dokumenterer en positiv sammenhæng mellem grundskoleelevers karakterer og deres læreres karakterer [fra gymnasiet], hvilket understøtter idéen om at anvende gymnasiesnittet [for gymnasielærerne] som et mål for [gymnasielærernes] undervisningskvalifikationer” (Op.cit. p. 108.)

Den ekstrapolation er både kæk og fejlbehæftet. Man kunne jo spørge gymnasielærerne selv hvad de synes om udlægningen – eller blot gøre prøve: Hvis vi bruger ekstrapolationen et par gange mere får vi straks også understøttet idéen om: “at anvende universitetsprofessorers afgangskarakterer fra folkeskolen som et mål for deres undervisningskvalifikationer”. En idé, som de fleste af os nok ikke ville bryde os om at få implementeret i nogen som helst statistiske undersøgelser.

Det korte af det lange

DØR's klassiske karakter-determinerede analyser kan altså i den beskrivelses natur tilsyneladende kun inducere *flere nedskæringer* på uddannelsesområdet. Og det vil være den største af alle fejl. Det kræver tid, ro og ikke mindst råd og incitamentet til fx efteruddannelse af lærerne, så de og vi bliver optimalt i stand til at uddanne kritiske unge mennesker der stiller spørgsmål på alle hylder (inklusive hylderne med brøkgregning, digitalisering, AI, politik etc.) og som er trænede i at se og korrigere egne og andres fejl, hvor menneskelige eller umenneskelige de end måtte være.



Nyheder

I denne sektion bringes nyheder og annonceringer af arrangementer, konferencer mv. af ikke-kommerciel karakter. Redaktionen vurderer indsendte forslag, bl.a. ud fra deres relevans for MONA's læsere.

Nyheder

Big Bang-konferencen går online i 2021

Arrangørerne af Big Bang har besluttet at gøre Big Bang 2021 til en online konference. Konferencen finder stadig sted d. 24.-25. marts, men der kan også ske andre, nye ting. Arrangørerne knokler for at skabe et nyt online koncept hvor man som deltager stadig får faglig forælelse og nogle festlige og lærerige dage online.

Følg med på www.bigbangkonferencen.dk hvor man også kan tilmelde sig. Følg også konferencen på de sociale medier (#bbdk21).

INDsigt er gået online

INDsigt er to-timers naturfagsdidaktiske seminarer, hvor vi hører om og diskuterer indsigter fra forskning og udvikling i undervisning og læring i naturfagene og matematik. Det er gratis at deltage, men kræver tilmelding, se mere her www.ind.ku.dk/formidling/INDsigt/.

I efteråret har vi afholdt flere seminarer online, og det fungerer godt, så det fortsætter vi med. I skrivende stund er planlagt et kommende INDsigt-seminar med titlen Naturvidenskabelig dannelse igennem videnskabshistoriske kilder som afholdes online 8. december 2020 kl. 14:15 af Kristian Danielsen (IND, KU), Laura Søvsø Thomasen (Det Kgl. Bibliotek) og Henrik Kragh Sørensen (IND, KU).

Master i scienceundervisning – optag 2021

Fra sommeren 2021 kan du igen starte på masteruddannelsen målrettet undervisere i naturvidenskab. Uddannelsen er blevet udbudt i et samarbejde mellem Københavns Universitet og Aarhus Universitet siden 2015. I kurserne får du lejlighed til at koble praksis med den nyeste naturfagsdidaktiske forskning. Kurserne kan læses enkeltvis eller indgå i et samlet masterforløb. Se mere her: www.ind.ku.dk/misu/.

Bliv kandidat i STEM-undervisning

Vil du ruste børn og unge til fremtidens udfordringer? På uddannelsen i STEM-undervisning får du kompetencer til at udvikle den naturvidenskabelige undervisning i grundskolen. Du arbejder med at udvikle vedkommende undervisning i naturfagene og/eller matematik med udgangspunkt i samfundsrelevante problemstillinger – fx overvågning, gentterapi og bæredygtighed. Du kan også designe og evaluere indsatser som fx kompetenceudvikling i lærerteams.

Du kan tage uddannelsen som en toårig kandidatuddannelse, hvor du læser på fuld tid, eller som en fireårig erhvervskandidatuddannelse på deltid hvor du studerer, samtidig med at du er i job. Som færdiguddannet kan du arbejde på grundskoler, i kommunale forvaltninger, professionshøjskoler, formidlingsvirksomheder osv. Ansøgningsfrist 1. marts 2021. Læs mere på <https://studier.ku.dk/kandidat/stem-undervisning/>