

Engineering – svaret på naturfagenes udfordringer?



Martin Krabbe Sillasen,
VIA UC



Peer S. Daugbjerg,
VIA UC



Keld Nielsen,
Aarhus Universitet

Abstract: *Analysen ser nærmere på engineeringens potentiale som en pædagogisk praksis i skolen. Med udgangspunkt i primært forskning fra USA starter analysen med at udrede hvordan engineering hænger sammen med integration af STEM-fagene (naturfag, teknologi, engineering og matematik). Engineering har potentialet til at binde STEM-fagene sammen i integreret undervisning. Derfor sættes der i analysens anden del fokus på didaktiske pointer vedrørende engineering-undervisning. Flere studier peger på et stort behov for efteruddannelse af lærere til at anvende engineering i undervisningen. Analysens tredje del fokuserer på eksempler på hvordan man kan udvikle læreres kompetencer til at undervise i engineering-aktiviteter.*

I den naturfagsdidaktiske diskurs i Danmark har ingeniørarbejde – i denne artikel omtalt som “engineering” – gennem de sidste 5 år fået en mere markant placering (Evans & Horst, 2012). Engineeringens legitimitet som en del af naturfagsundervisningen udspringer af argumenter om dels at det kan fremme elevernes motivation for naturvidenskab og teknologi, og dels at det er vigtigt at uddanne unge mennesker til at kunne håndtere ikke blot naturvidenskabelige og teknologiske, men også ingeniørmæssige problemstillinger i den menneskeskabte verden. Hertil kommer også et politisk ønske om at rekruttere flere studerende til og styrke unge menneskers interesse for tekniske og naturvidenskabelige fag. I den uddannelsespolitiske diskurs omtales engineering som del af en integreret indsats for STEM-fagene (Undervisningsministeriet, 2016).

Begrundelserne for at implementere engineering i skolens naturfagsundervisning er indlejret i en større diskussion om hvordan man samlet set kan styrke STEM-fagene

position og samarbejde i skolen. Derfor ser vi her først på hvad man forstår ved STEM-undervisning. Dernæst fokuserer vi på “E’et” i STEM, engineering. Til sidst diskuterer vi hvordan man eventuelt kan uddanne lærere til at arbejde med engineering i undervisningen. Gennem hele denne analyse har vi primært fokus på udviklingen i USA da der her i de sidste ti år har været en omfattende indsats for at udvikle og implementere engineering i grundskolen.

Hvad betyder STEM?

Udtrykket STEM har sine rødder i en diskussion i USA om uddannelsessystemets betydning og ansvar i forbindelse med globalisering og national konkurrenceevne. Det blev introduceret i 1990’erne af USA’s forskningsråd (The National Science Foundation) som en relevant og bekvem forkortelse (Sanders, 2009).

En samling enkeltfag eller faglig integration?

I Sanders (2009) bliver det fremhævet at den megen snak om STEM-fagernes betydning ikke er ny. Den går klart tilbage til 1950’ernes Sputnik-chok hvor amerikanerne indså at de på undervisningsområdet var saktet bagud i forhold til Sovjetunionen der uddannede langt flere ingeniører og videnskabsfolk end USA, herunder en langt større procentdel af kvinder. Faktisk, siger Sanders, går diskussionen om STEM-fagernes betydning helt tilbage til industrialiseringen. Der er dog ingen tegn på at undervisningen er blevet bedre, eller at fagene er blevet mere tiltrækkende for eleverne:

I et århundrede har undervisere i teknologi, engineering og matematik institutionaliseret og urokkeligt forsvaret deres suveræne (fag)områder. Det vil kræve meget mere end et “four-letter word” at bringe dem sammen. (Sanders, 2009, s. 21, vores oversættelse).

Sanders peger på at det er nødvendigt med pædagogiske tiltag hvis undervisning i STEM-fagene skal opnå 1) mere læring i fagene, 2) flere positive følelser fra eleverne og 3) flere der vælger STEM-karrierer. Han fremhæver betydningen af integration af fagene, fx “the integrative STEM education” fra Sanders’ eget Virginia Polytechnic Institute and State University. Denne integration blev indført med det formål at undersøge det undervisningsmæssige og læringsmæssige potentiale i forskellige former for integreret undervisning i STEM-fagene:

Vores idé om integreret STEM-uddannelse omfatter tilgange som udforsker undervisning og læring mellem eller i to eller flere af STEMs fagområder og/eller mellem et STEM-fag og et eller flere andre skolefag. (Sanders, 2009, s. 21, vores oversættelse)

Sanders peger også på at undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning (IBSE el. Inquiry Based Science Education) og integreret STEM-undervisning understøtter hinanden og bygger på et konstruktivistisk læringssyn.

Dermed er STEM blevet flyttet fra at være en politisk målsætning uden didaktisk fundering til en didaktisk nytænkning. Men denne dobbelthed i betydningen af STEM – er det en bekvem forkortelse for fire fagområder eller et udtryk for faglig og didaktisk nytænkning i naturfagene? – forvirrer stadig diskussionen om STEM: Hvad er det, og hvad har det af potentialer?

Enighed om at STEM er vigtigt, men ikke om hvordan man gør

En nyere artikel (White, 2014) peger på at uklarheden om hvad man egentlig skal forstå ved STEM-undervisning, er en hastigt voksende udfordring. Den konkluderer at der “i forskningslitteraturen er enighed om at integreret eller kollaborativ STEM-uddannelse er et realistisk (“viable”) initiativ som kan introducere faglige STEM-begreber fra børnehaveklasse til 12. klasse” (White, 2014, s. 7):

Måske for første gang siden Sputnik er der bred enighed blandt uddannere om værdien af STEM-uddannelse i at sikre Amerikas forspring i den globale økonomi. Alligevel [vores fremhævelse] er lærere, administratorer og politikere forvirrede omkring hvad vellykket implementering af STEM-undervisning og STEM-initiativer indebærer. (White, 2014, s. 7 med reference til Barakos et al. (2012), vores oversættelse)

White (2014) fremhæver E’et og T’et i STEM som særlig problematiske når det gælder om at fremme samarbejde i STEM-området. Det skyldes ikke mindst at der helt fundamentalt er uklarhed om hvad man fagligt i en undervisningsmæssig sammenhæng skal lægge i udtrykkene “Engineering” og “Teknologi”.

Den type problemer gør sig ikke – mener White – i samme grad gældende på områderne science og matematik. White omtaler at det – i hvert fald i USA – er en hindring for udvikling af naturfagsområdet som helhed at alt for mange lærere føler sig (for) trygge ved at blive på deres eget fagområde og ikke vil ud af deres traditionelle “fagsilo”.

Men tilbage til E’et og T’et. White peger på at selvom engineering er et ord som alle lærere kender og kan forholde sig til, er det for de fleste uklart hvad ingeniører egentlig laver, og det er endnu mere usikkert hvad engineering indebærer når det skal introduceres i undervisning. Desuden er det ikke klart hvilket indhold der hører til at undervise i teknologi. Denne uklarhed udspiller sig sandsynligvis også i forbindelse med naturfagsundervisning i danske skoler. I hvert fald konkluderer et helt nyt dansk review af forskning på STEM-området om fagene i dansk sammenhæng:

Det er en udfordring, at teknologi, engineering og design stadig er relativt uklare områder, og at lærere derfor ofte relativt frit oversætter begreberne til eksisterende aspekter i deres praksis. (Nielsen, 2017, s. 9)

Et forsøg på sproglig afklaring

I mange sammenhænge er STEM som nævnt bare en bekvem forkortelse for fire områder som man kan undervise i. Men i andre sammenhænge er der politiske/didaktiske visioner om integration knyttet til STEM-begrebet. Ofte kommer visionerne fra didaktikere der ser E'tet som en åbning for fagligt samarbejde:

STEM er et læreplansbegreb ("a curriculum") baseret på idéen om at undervise eleverne i fire specifikke områder – science, teknologi, engineering og matematik – med en interdisciplinær og anvendt tilgang. I stedet for at undervise i de fire discipliner som separate og selvstændige områder bliver de i STEM integreret i et sammenhængende læringsparadigme der baseres på konkrete anvendelser ("real-world applications"). (Hom, 2014, vores oversættelse)

Hvad med de indgående fire områder? Hvordan tager de sig ud fra en STEM-synsvinkel?

Science: Vi har i Danmark kun et science-fag fra 1. til 6. klasse, nemlig natur/teknologi. I folkeskolens overbygning og i gymnasiet findes der ikke et fælles science-fag. Hvis vi fremover vil tale om STEM som en didaktisk strategi, kommer vi ikke uden om at forholde os til om – og i givet fald hvordan – vi vil have et S-fag fra 7. til 12. klasse. En arbejdsgruppe under det daværende NTS-center (nu ASTRA) var allerede fremme med denne idé i 2013 (Øster et al., 2013).

Matematik: Faget er veletableret og har et stort timetal. Et kig i Forenklede Fælles Mål for matematik i folkeskolen viser at ordet "anvendelse" forekommer i mange mål, men der er så godt som udelukkende tale om anvendelse af teknikker eller begreber inden for matematikken selv. Der er også en hel del mål hvor man kan læse "omverden" ind som et genstandsområde for matematik. Et fællesfagligt samarbejde med naturfagene, teknologi og engineering vil altså være muligt. Cunningham & Carlsen (2014) peger på at matematik kan bidrage med "computational thinking" som en strategi til at styrke elevers modellerings- og problemløsningskompetence i engineering-processer.

Men der er udfordringer ved at lave integreret undervisning i matematik og naturfag som der lægges op til med STEM-visionen. I den internationale litteratur er der ikke noget der tyder på at matematiklærere står på spring for at blive inddraget i andre fags undervisning, og en eventuel mangel på lyst til at deltage i fællesfaglige projekter vil være en udfordring for mere og bedre samarbejde mellem STEM-fagene. Men det er ikke faget eller fagområdet i sig selv der forhindrer mere samarbejde. Andersson

& Ravn (2012) peger på hvordan der primært undervises i matematik som et fag der præsenteres med en klar struktur og et abstrakt indhold som kan (bør) holdes inden for rammerne af lærebogen. De omtaler denne opfattelse af faget som “the school mathematics tradition”, og de fortsætter:

[E]n stærk kraft der hæmmer radikale reformer af matematikundervisningen, er den forenkede opfattelse af matematik som trives blandt almindelige mennesker og hos politikere og andre debattører. Matematik ses almindeligvis som bestående af beregninger og formler der giver præcise og ufejlbarlige svar, uden relevans i almindeligt hverdagsliv og kun tilgængelige for eksperter og uden for rækkevidde af almindelig kritisk sans. I mange henseender opfattes matematik som antitesen til menneskelig aktivitet – mekanisk, afsondret, følelsesfri, værdifri og moralsk neutral. (Andersson & Ravn, 2014, s. 312 med reference til Mukhopadhyay & Greer (2001), vores oversættelse)

Men, skriver Andersson & Ravn (2014) efter en overbevisende videnskabsfilosofisk diskussion af matematikkens historie og karakteristika, der er ikke noget i matematikken selv der tvinger læreren til at præsentere matematik abstrakt og uden relation til samfundet. Derimod udelukker denne tilgang muligheden for at vise matematikkens vigtige rolle i samfund, kultur og naturvidenskab, og eleverne får ikke udviklet den stærkt efterlyste evne til at anvende matematik i komplekse situationer.

I Danmark er der dog spæde forsøg på at integrere matematik og naturfag i folkeskolen. Undervisningsministeriet har – i forsøget på at styrke samarbejdet – lavet en forsøgsordning med en fællesfaglig matematik- og naturfagsprojekt opgave i 9. klasse (Undervisningsministeriet, 2015).

Engineering: Brophy et al. (2008) har undersøgt hvordan engineering-aktiviteter i skolen kan støtte elevers tilegnelse af en lang række STEM-baserede færdigheder og kompetencer som knytter sig til at løse reelle, praktiske problemstillinger gennem problemanalyse og design. Baseret på en række studier af hvordan elever kan lære matematik og naturfag gennem integrerede engineering-aktiviteter, formulerer Brophy et al. en række kompetencer som elever udvikler. Eleverne bliver bedre til at:

- Evaluere og forklare stukturer, opførsel og funktion af komplekse naturlige eller menneskeskabte systemer
- Udvikle kognitive mentale modeller for hvordan “systemer” virker
- Designe og udføre eksperimenter til at informere om beslutninger
- Kommunikere og forhandle idéer med andre
- Anvende geometriske og rumligt funderede ræsonnementer
- Repræsentere og håndtere kompleksiteten af systemer ved hjælp af figurer
- Formulere idéer og resultater med matematikkens sprog

- Syntetisere idéer mod produktive løsninger der opfylder bestemte krav
- Udføre eksperimenter til at evaluere om et design opfylder kriterierne for at løse et praktisk problem.

Hovedfokus i vores analyse her er at redegøre for engineeringens potentiale som pædagogisk praksis i skolen. Derfor uddybes det i et senere afsnit hvad man kan forstå ved engineering i undervisningssammenhæng, og hvordan det kan integreres i en naturfagsundervisning. Så her nøjes vi med en kort definition:

Engineering som en praksis i undervisningen handler om hvordan man skaber praktiske løsninger på praktiske problemer. Hvordan man indkredser et problem. Hvordan man kommer frem til et godt design. Hvordan man vurderer om en løsning er "god".

Teknologi: Den nye skelnen mellem engineering og teknologi efterlader fagområdet teknologi i en lidt underlig situation. Som "teknologi" traditionelt har været tænkt i faget natur/teknologi, og som det praktiseres fx i faget "teknologi" på HTX, er store dele af det i virkeligheden skabende og problemløsende processer – altså det der ovenfor defineres som engineering. Det er der ikke noget forkert i, men hvis man vil holde fast i STEM-retorikken og vil styrke engineering-aktiviteter, vil det kun føre til forvirring hvis der ikke i læreplaner, læringsmål og aktiviteter i klassen skelnes klart mellem engineering og faget teknologi. Som et emne i skolens undervisning vil teknologi herefter omhandle:

Teknologi som et emne i undervisningen handler om samspil mellem samfundet og teknologien: Hvad er teknologi for et fænomen? Hvad har de store opfindelser betydet? Hvorfor optræder teknologier ofte som store systemer? Hvilken rolle spiller råvarer, transport, præcision, produktion, spildprodukter? Hvad er forudsætningerne for teknologisk udvikling? Hvad har udviklingen haft af konsekvenser for mennesker, samfundet og naturen? Hvad har vi af muligheder og valg i fremtiden?

I mange henseender er teknologi således et humanistisk fag, som i lige så høj grad ser på samspillet mellem mennesker og teknologi som på teknologien selv.

Next Generation Science Standards

I USA har man nationalt anbefalet at engineering skal have en mere fremtrædende plads i skolen, og 28 delstater arbejder på at operationalisere anbefalingen gennem "Next Generation Science Standards" (NGSS). Det er en diskussion som Evans & Horst har introduceret i Danmark i 2012 med analysen "Nye mål for naturfagsundervisningen i USA – vil vi samme vej i Danmark?" (Evans & Horst, 2012).

Evans & Horst fremhæver at med det nye amerikanske grundlag (framework) for en sammenhængende naturfagsundervisning fra 0. klasse til 12. klasse (NRC, 2012) er engineering blevet sideordnet med de øvrige naturfag:

Dette områdes plads ved siden af den mere traditionelle naturvidenskab har man argumenteret for ud fra vigtigheden af at kende til og være i stand til at operere i "... den menneskeskabte verden ..." og en interesse for at fremme integration af naturvidenskab, teknik og teknologi inden for naturfag. Ingeniørarbejde og teknologi er vigtige prioriteringer da de peger på anvendelse af videnskab så eleverne ser en værdi i indholdet af videnskab, også i forhold til deres dagligdag. (Evans & Horst, 2012, s. 57)

At engineering er blevet sideordnet med naturfag, er måske en lidt misvisende formulering for som Cunningham & Carlsen (2014) netop gør meget ud af at diskutere i deres artikel, er engineering "noget andet" end naturvidenskab. Den pointe udfoldes nedenfor.

Som Evans & Horst videre diskuterer, så anvendes undersøgelsesbaserede arbejdsformer (IBSE) ikke som et begreb i NRC-rapporten. Begrundelsen er at der findes (for) mange forskellige tolkninger af begrebet. NRC-frameworket vælger i stedet at definere otte praksisser som omfavner de forskellige forståelser af undersøgelsesbaseret naturfags- og engineering-undervisning (Se Tabel 1).

1. Stille spørgsmål (i naturfag) og definere problemstillinger (i engineering)
2. Udvikle og anvende modeller
3. Planlægge og gennemføre undersøgelser
4. Analysere og fortolke data
5. Bruge matematik og beregningsmæssig tænkning
6. Konstruere forklaringer (i naturfag) og udtænke løsninger (i engineering)
7. Deltage i evidensbaseret argumentation
8. Indsamle, evaluere og formidle information

Tabel 1. Otte forskellige praksisser foreslået som grundlæggende elementer i naturfags- og engineering-undervisning (NRC, 2012, s. 3). Her gengivet efter oversættelsen i Evans & Horst, 2012.

Forskel på science og engineering

Ifølge Cunningham & Carlsen (2014) er naturvidenskab og engineering relaterede discipliner som har visse overlappende træk. Forskelligheden kan karakteriseres ved hvordan et "problem" løses:

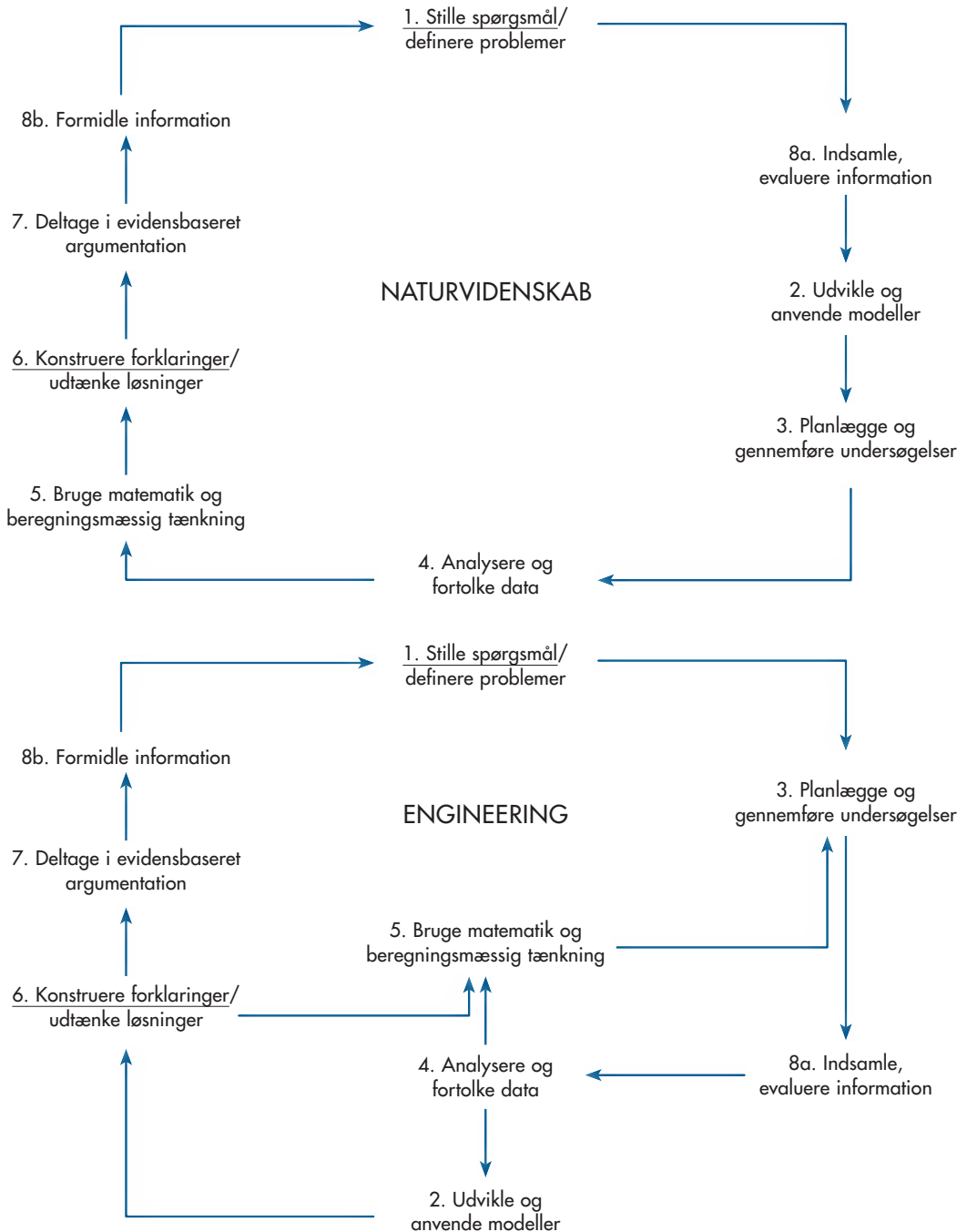
- Et naturvidenskabeligt problem kan løses ved at formulere ny teori som understøttes af evidens i form af et eksperiment eller observationer samt analyse og fortolkning af data. Gyldigheden (“sandheden”) af den nye teori vurderes af fagfæller, ofte inden for et højt specialiseret naturvidenskabeligt område.
- Et engineering-problem løses fx gennem design af en specifik løsning til et praktisk problem. Den specifikke løsning af den praktiske problemstilling indeholder måske ikke nogen generaliserbare pointer. Evalueringen af løsningens kvalitet inkluderer måske eksperter med vidt forskellige kompetencer inden for fx økonomi, sikkerhed, æstetik og politik. Ofte involveres “almindelige mennesker” også i vurdering af en løsning, måske som medlemmer af brugergrupper, måske som købere.

Cunningham & Carlsen præsenterer to cykliske modeller (Figur 1 nedenfor) der illustrerer arbejdsprocessen i henholdsvis naturvidenskabs- og engineering-praksis konstitueret af de otte praksisser som NRC opfatter som grundlæggende elementer i naturfags- og engineering-undervisning (Tabel 1). Figuren illustrerer følgende forskelle mellem naturvidenskab og engineering:

1. Naturvidenskab og engineering har forskellige mål. Målet med naturvidenskab er at stille spørgsmål (Praksis 1) som man konstruerer forklaringer til (Praksis 6). Målet i engineering er at definere problemstillinger (Praksis 1) som man udtænker praktiske løsninger til (Praksis 6) gennem en designproces.
2. Engineering-praksis indeholder iterative processer, så der er interne cyklusser flere steder i den store engineering-cyklus. Fx en intern cyklus der består af Praksis 3-8a-4-5 som Cunningham og Carlsen kalder for en “analysecyklus”. Desuden er der en større intern cyklus (“designcyklus”) som består af “analysecyklus” + Praksis 2-6.

Ifølge Cunningham & Carlsen kan de cykliske modeller angive trin for elevers arbejde i en undervisningsmæssig sammenhæng. De er især brugbare til undervisningsplanlægning og mere generelt til at illustrere spiralprincippet i undervisnings- og læringsaktiviteter. Men i et faktisk forløb i en klasse vil elevernes reelle vej gennem de forskellige trin sandsynligvis bestå i talrige store såvel som små skift mellem de forskellige praksisser. Faren ved diagrammer som Figur 1 er netop at læreren kan føle sig forpligtet til at føre en klasse successivt fra trin til trin, også i situationer hvor det oplagt vil være mere frugtbart at bryde med den foreskrevne rækkefølge.

Vi har i dette afsnit forsøgt at karakterisere hvad man forstår ved STEM, og at det kan opfattes både som politisk målsætning og didaktisk nytænkning for integreret STEM-undervisning. Men der findes også kritiske stemmer som peger på at det er svært at operationalisere visionen om integreret STEM i skolen fordi mange lærere har en tendens til silotænkning om deres egen faglighed, og fordi det er uklart hvornår



Figur 1. Cyklus af naturfaglige praksisser i naturvidenskab og engineering (gengivet fra Cunningham & Carlsen (2014)). Nummereringen af de forskellige praksisser henviser til tabel 1. I naturvidenskab stiller man spørgsmål (Praksis 1 fremhævet) som man konstruerer forklaringer til (Praksis 6 fremhævet). I engineering definerer man problemstillinger (Praksis 1 fremhævet) som man udtænker praktiske løsninger til (Praksis 6 fremhævet)

noget er engineering- eller teknologiundervisning, i modsætning til matematik og naturfagene som er veldefinerede fagområder.

Hvad karakteriserer undervisning i engineering?

Analysen i dette afsnit bygger på et eksplorativt review af den internationale litteratur. Udgangspunktet er den artikel af Cunningham & Carlsen (2014) som vi allerede har nævnt ovenfor, og som vi indtil videre anser for at være den mest indsigtsfulde oversigt over hvad engineering i skolen har udviklet sig til, og hvilke potentialer det har. Med udgangspunkt i deres referenceliste igangsatte vi en proces med at finde artikler. Bruttolisten kan findes på [<http://kortlink.dk/q2tp>]. Vi indsamlede artikler og lavede resuméer som vi brugte som udgangspunkt for en diskussion af studiets resultater i en dansk uddannelseskontekst. Undervejs sammenfattede vi hovedpointer i arbejdsrapporter som danner grundlaget for denne analyse. Ud fra dette arbejde udvalgte vi en række artikler som vi opsummerer hovedpointer fra.

Nogle elever lærer naturfaglige koncepter bedre med designbaserede undervisningsaktiviteter

Nogle studier i engineering-undervisning viser at elevgrupper som har svært ved at lære naturfaglige begreber, får en læringsgevinst med engineering-aktiviteter.

Mehalik et al. (2008) undersøgte 8.-klasseelevers læring af naturfaglige begreber i et designbaseret undervisningsforløb sammenlignet med et lærerstyret "konventionelt" undervisningsforløb. Resultaterne viste at eleverne som arbejdede designbaseret, opnåede væsentlig større læring end eleverne der deltog i det læringsstyrede forløb. Læringseffekten var størst for ellers lavt præsterende afroamerikanere samt for moderat præsterende drenge.

Fordelen ved designaktiviteter er at eleverne arbejder ud fra en praksis funderet i "prøv-dig-frem" hvor de undervejs har mulighed for at evaluere om deres forbedrede prototype løser den praktiske udfordring. Resultaterne fra Mehalik et al.s studie støttes af andre studier som også viser at elever lærer naturfaglige begreber bedst i designbaserede aktiviteter (Barnett, 2005).

Designbaserede undervisningsaktiviteter virker motiverende og fremmer kritisk tænkning

Ud over at designbaserede aktiviteter kan øge specielt lavt præsterende elevers læring af naturfaglige begreber, er der ifølge Barnetts studie (2005) også to andre gode grunde til at anvende engineering i undervisningen. For det første at engineering-designprocesser virkede motiverende på lavt præsterende elever. Selvom eleverne i Barnetts studie i perioder havde et vist fravær i klassen, var det muligt at tilrette-

lægge designprocesser i mindre delforløb så eleverne oplevede en kontinuitet i deres lærings- og designproces. Det var med til at fastholde deres engagement og ejerskab gennem et helt skoleår.

For det andet at designprocesser gav eleverne rige muligheder for at skabe diskussioner og træne elevernes problemløsningskompetencer når noget gik galt i designprocessen. Eleverne lærte at blive fortrolige med fejltagelser og acceptere at fejl i konstruktionen er et naturligt skridt på vejen mod et optimalt produkt. Den slags erfaringer kan være særdeles værdifulde for træning af elevers undersøgelseskompetence. Det har stor betydning for deres selvværd hvis de tror på at de lærer noget selvom de begår fejl.

Kreativitet spiller en central rolle i designprocesser

I flere studier nævnes kreativitet som en central faktor i designprocesser. Kreative processer diskuteres som en essentiel praksis i problemløsende processer hvor eleverne trænes til selvstændigt at konstruere løsninger på problemstillinger. Diskussionerne om hvilken rolle kreativitet skal spille i STEM-undervisning, henter ofte inspiration fra undervisning i kunstneriske og designorienterede undervisningsfag.

Rutland & Barlex (2008) er et af de studier som går i dybden med at undersøge kreativitets betydning i design- og teknologiundervisning. De identificerede fire forskellige former for kreativitet som der arbejdes med i design- og teknologiundervisning i England: idéudvikling, æstetisk kreativitet, teknisk kreativitet og konstruktionskreativitet. Andre vigtige resultater er:

- Et design-"brief" (en historie der udgør en kontekstuel rammesætning) viste sig givende for elevernes kreative processer. Et andet studie af Fleer (2000) viste at elever selvstændigt kan formulere rammesætninger for deres designopgave og bruge det til at guide deres videre arbejde.
- Kreativiteten i designprocesser bliver større hvis der er balance mellem de tekniske, de æstetiske og de konstruktionsmæssige udfordringer.
- Den største udfordring for naturfags- og teknologilærere er at flytte fokus fra at lære færdigheder til at arbejde med kreativ løsning af autentiske problemstillinger.
- Brug af formative evalueringstrategier, gruppearbejde og et anerkendende klasserumsmiljø hvor eleverne tør afprøve deres egne idéer, blev af de deltagende lærere anset som nøglefaktorer til at fremme elevernes kreativitet.

Undervisning der involverer kreative processer, lægger op til at nytænke hvordan man måler elevernes læringsudbytte sammenlignet med klassisk naturfagsundervisning. At skabe et anerkendende læringsmiljø hvor eleverne tør afprøve deres egne idéer, og hvor fejl eller fiaskoer anerkendes som en vej til læring, fordrer at man anvender

evalueringsstrategier som både måler kvaliteten af elevernes læring og motiverer eleverne til fortsat at afprøve egne idéer i designprocessen.

Biologiemner kan også være engineering-aktiviteter

Mange af de undersøgte studier tager primært udgangspunkt i teknologiske eller fysiske problemstillinger. Men vi fandt et par eksempler på biologiorienterede engineering-aktiviteter.

Et eksempel på en biomekanisk engineering-udfordring er design af en menneskelig albue fra Penner et al. (1998). I dette studie lærte elever i 3. klasse om biomekanik ved at bygge en model af albuen og undersøge belastninger ved hjælp af vægtstangsprincippet. Herigennem lærte eleverne om hvordan albueleddets muskler og sener virker, og de fik en god erfaring med hvordan opbygningen af en albue med tilhørende muskler (forstået som en vægtstang) kan beskrives ved hjælp af tal.

Et andet biologisk undervisningseksempel er nogle 6.-7.-klasseselever som arbejdede designbaseret med at ændre deres frokostvaner med udgangspunkt i spørgsmålet "Hvordan skal vores frokost redesignes så det vi spiser, passer til kroppens energibehov?" (Kanter, 2009). Eleverne lavede først undersøgelser af eget energiforbrug, derefter undersøgte de energifordelingen i forskellige slags madvarer som de spiser, for til sidst at redesigne deres kostindtag. Eksemplet kunne lige så godt være en klassisk undervisningsaktivitet knyttet til traditionel kemi- eller biologiundervisning i Danmark.

Elementer i engineering-undervisning – en oversigt

I ovenstående afsnit har vi præsenteret og diskuteret hovedpointer som vi anser som væsentlige for udvikling af en engineering-didaktik. Men det kan være lidt svært på baggrund af analysen at få et overblik fordi der indgår elementer som berører mange aspekter af undervisningspraksis.

Andre naturfagsdidaktikere har også forsøgt at lave synteser af hvilke elementer der bør indgå i en engineering-didaktik. Fx har Moore et al. (2014) lavet en omhyggelig opsummering som vi synes kan give god inspiration til at udvikle engineering-didaktik i Danmark. Nedenstående tabel er vores oversigt over de elementer som de finder essentielle (Se Tabel 2).

Ifølge Moore et al. er designprocessen central i engineering-undervisning. Her er Moore et al. på linje med de andre studier vi refererede i foregående afsnit. Her kom det frem at engineering virker motiverende, fremmer kritisk tænkning og giver bedre læring af naturfaglige begreber. Endvidere peger Moore et al.s opsummering på at engineering kan bidrage til den faglige integration af flere forskellige fag i undervisningen for når ingeniører løser praktiske problemer, så anvender de faglig viden fra

forskellige fagområder. Engineering kan også bidrage til at fremme elevers hand-
 lekompentence fordi ingeniørers arbejdsmetode fordrer at de kan tænke og handle
 selvstændigt samt opsøge viden til at løse problemer med. Moore et al. tilføjer at
 designaktiviteter også indeholder etiske, samarbejds-mæssige og kommunikative
 elementer som kan styrke elevernes kompetencer.

Nøgleelement		Beskrivelse
Designproces		Designprocesser er centrale i engineering-praksis. Løsning af engineering-problemer er en iterativ proces. På folkeskole- og gymnasieniveau bør elever lære centrale elementer af designprocesser og have mulighed for at anvende dem i realistiske situationer.
Delelementer i en designproces	Problem og baggrund	Almene problemløsningsfærdigheder er en forudsætning for at løse engineering-problemer. Elever skal være i stand til at identificere behovet for en engineering-løsning.
	Planlægning og implementering	Elever skal kunne udvikle en plan for at designe en løsning, herunder vurdere konkurrerende løsningsforslag. Dette kan med fordel gøres ved udvikling af en prototype.
	Afprøvning og Evaluering	Den udviklede prototype skal afprøves. Denne afprøvning kan kvalificeres hvis elever formulerer undersøgelsesspørgsmål som kan besvares gennem praktisk afprøvning. Afprøvningen skal vise prototypens styrker og svagheder.
Anvendelse af naturvidenskab, matematik og ingeniørviden		Engineering forudsætter anvendelse af viden fra mange discipliner, og derfor skal undervisning om og i engineering afspejle en tværfaglighed og faglig integration i problemløsningen. Dette omfatter både naturvidenskabelige og matematiske færdigheder og viden samt specifikke engineering-værktøjer, færdigheder, teknikker og processer.
Engineering-tænkning		Ingeniører skal handle og tænke selvstændigt og være i stand til at opsøge ny viden når problemer opstår. Engineering på folkeskoleniveau kan derfor lære elever at træffe informerede beslutninger som kan understøtte deres informerede medborgerskab. Engineering forudsætter at eleverne er selvstændige og reflekterede, og at de forstår at læring af fejl vil føre til bedre løsninger.
Etik		Engineering på folkeskole- og gymnasieniveau skal præsentere elever for de etiske problemstillinger der findes i engineering-praksis. Det handler om ressourceforbrug i fremstilling af løsninger, slutbrugeres sikkerhed under anvendelse af løsninger etc. Eleverne skal opnå forståelse for deres løsnings lokale og globale, økonomiske og sociale virkninger.

Nøgleelement	Beskrivelse
Samarbejde	Engineering på folkeskole- og gymnasieniveau skal udvikle elevers evne til at deltage i teamsamarbejde. Dette vil involvere øvelser i varetagelse af forskellige roller i teamet, aktiv lytning, varetagelse af forskellige synspunkter etc.
Kommunikation	Engineering på folkeskole- og gymnasieniveau skal give elever mulighed for at kommunikere som ingeniører gør i deres professionelle virke. Dette indbefatter både kommunikation til fagfæller og til lægfolk. Kommunikationen vil typisk indbefatte brug af flere typer af medier.

Tabel 2. Oversigt over elementer i engineering-undervisning (baseret på Moore et al., 2014).

Udvikling af lærerkompetence

I den naturfagsdidaktiske forskning er der konsensus om at udvikling af lærerkompetencer er en nøgleparameter for succesfuld implementering af uddannelsesmæssige reformer og forandringsprocesser i skolen (van Driel et al., 2012).

Relevante lærerkompetencer for engineering-undervisning i grundskolen afhænger meget af hvordan man ønsker engineering-undervisning tilrettelagt, gennemført og evalueret. De mange studier som vi har refereret ovenfor, kommer med flere forskellige bud.

Et af de mest perspektivrige studier om udvikling af lærerkompetencer er Guzey et al. (2014) som har arbejdet systematisk med at kvalificere lærere i grundskolen til at undervise i engineering. I USA har man i staten Minnesota gennemført et uddannelsesprogram med 198 lærere fra 43 skoler. Lærerne underviste i 3. til 6. klasse. Disse læreres kompetenceudvikling bestod af fem 6-timers workshops kombineret med skolebaserede aktiviteter i professionelle læringsfællesskaber (PLF) i de mellemliggende perioder.

Hensigten i Guzeys et al.s studie var at støtte lærerne i deres arbejde med at integrere engineering i planlægning, gennemførelse og evaluering af naturfaglig undervisning. Da engineering er et nyt element i statens naturfagsundervisning, var der fokus på engineering og engineering-design i efteruddannelsesindsatsen (Se Tabel 3).

Workshop 1	Hvad er engineering? Engineering-praksis eksemplificeret med varmeoverførsel.
PLF A	Lærerne skulle undersøge elevernes forståelse af engineering ved at vurdere deres viden om engineering før og efter en engineering-ktion. Lærerne brugte elevvurderingsmateriale fra <i>What is Engineering</i> and <i>What is Technology</i> fra Engineering is Elementary-materialeerne.
Workshop 2	Engineering-designs cyklus. Ingeniørpraksis blev eksemplificeret med arbejde med at designe biologisk funktionelle membraner og en vindmølle.
PLF B	I denne periode skulle lærerne gennemføre en designcyklus i deres undervisning.
Workshop 3	Arbejde med "Nature of Science" gennem aktiviteter som fokuserede på forskelle og ligheder mellem naturvidenskab og engineering. Her arbejdede de deltagende lærere med <ul style="list-style-type: none"> • love, teorier og hypoteser • observation og data i forhold til logiske slutninger, kreativitet og foreløbige konklusioner • videnskab i subjektiv, social og kulturel sammenhæng. Dagen sluttede med at lærerne skulle undersøge hvordan et hulkamera fungerer.
PLF C	Nature of Science i lærernes daglige undervisning.
Workshop 4	Undersøgelse og engineering gennem at arbejde med kraft, bevægelse og datalogging.
PLF D	Lærernes refleksioner over indførelse af både Nature of Science og engineering i deres arbejde sammen med elever.
Workshop 5	Engineering og modeludvikling. Endvidere præsenterede de deltagende lærere den undervisning som de havde gennemført med deres elever.

Tabel 3. Guzey et al.s (2014) kompetenceudviklingsmodel. Modellen består af 5 workshops og 4 mellemliggende PLF-aktiviteter (PLF=Professionelt LæringsFællesskab).

Guzey et al. (2014) kan bidrage til den danske skolekontekst med inspiration til udvikling af læreres kompetencer til at undervise med engineering. Konceptet skaber gennem fokus på udvalgte elementer i engineering og kollegialt samarbejde gode muligheder for at opbygge lærernes fornemmelse af tryghed i forbindelse med undervisning i engineering. Denne vekslen mellem fælles workshops og arbejde hjemme på skolerne med lokale professionelle læringsfællesskaber minder meget om QUEST-rytmen som blev anvendt med stor succes til professionel udvikling af naturfagslærere i fem kommuner i Region Midtjylland i Danmark i 2012-15 (Mogensen et al., 2015).

Kvalitetskriterier for efteruddannelse

De studier som vi refererer til, udpeger nogle centrale udfordringer for efteruddannelse af lærere. Men der er også bud på nogle kvalitetskriterier som efteruddannelse skal opfylde:

- Lærere skal blive trygge ved at undervise i engineering. Dette kan opnås ved meget konkrete forløb hvor lærerne selv arbejder med især designprocesser og undersøgelser.
- Lærere er bekymrede for at engineering er endnu et element i deres pressede undervisningsfag. Her skal efteruddannelsen konkret pege på hvordan engineering kan skabe synergi med andre elementer af deres undervisningsfag.
- Engineering har en overvægt inden for specielt fysiske emner. Her er det vigtigt at efteruddannelsen konkret peger på emner i andre undervisningsfag.
- Mange lærere udelader redesign-fasen i engineering-forløb og fratager derved eleverne værdifulde læringsmuligheder. Efteruddannelse skal konkret anvise hvordan redesign-fasen bidrager til at imødekomme målsætninger i undervisningsfag.

Et forhold som vi ikke har fundet belyst i de studier vi har læst, er hvilke kompetencer efteruddannere skal besidde for at kunne gennemføre efteruddannelse der indfrier ovenstående kriterier. Spørgsmålet er derfor hvordan vi i Danmark sikrer at efteruddannere og læreruddannere har specifikke kompetencer og erfaringer med at uddanne og efteruddanne lærere i engineering. Traditionen for engineering i folkeskole og læreruddannelse i Danmark fremstår uundersøgt, herunder eksempelvis samarbejds traditioner mellem læreruddannelser og engineering-firmaer og andre eksterne ressourcer.

Situationen i Danmark

Guzey et al.s studie (2014) er aktuelt for Danmark idet en del af såvel folkeskolens som læreruddannelsens naturfagsundervisning skal arbejde med undersøgelseskompetence som en af fire naturfaglige kompetencer i folkeskolen. Hvorimod designarbejde, som ikke er en del af naturfagene i Danmark, i folkeskolen skal findes i de praktisk-musiske fag, fx billedkunst samt håndværk og design.

En eventuel indsats for at udvikle engineering-undervisning i indskoling og på mellemtrin i Danmark bør forholde sig til de deltagende læreres meget forskellige forudsætninger for at engagere sig i aktiviteterne i kompetenceudviklingsforløbet. Potentielle engineering-lærere fra indskoling og mellemtrin kan have forskellige undervisningsfag som deres udgangspunkt for at arbejde med engineering. Der skal således ydes en betydelig indsats for at skabe et fælles grundlag for en engineering-indsats for lærere på disse klassetrin.

I udkolingen (7.-9. klasse) kan de fleste potentielle engineering-lærere være naturfagslærere og/eller matematiklærere hvorfor man her kan forvente en vis forståelse for undersøgelseskompetence (Evans & Horst, 2012). Man kan derfor fokusere på designarbejde i en eventuel kompetenceudvikling vedrørende engineering-undervisning.

Hvad kan denne analyse bruges til?

Selvom mange af pointerne i denne analyse primært baserer sig på studier fra USA, og der er betydelige kulturelle forskelle på Danmark og USA, håber vi at den kan inspirere det videre arbejde med at diskutere og udvikle en didaktik for engineering-undervisning. Vi mener at hovedpointerne er følgende:

- Idéen om integreret STEM-undervisning i uddannelsessystemet er – både som en politisk og som en didaktisk dagsorden – ved at tage fart i Danmark. I løbet af 2017 bliver udkastet til en ny national strategi for undervisning i naturfagene formuleret. Initiativet er præsenteret som en STEM-strategi (se astra.dk/stemstrategi), og det må forventes at strategien vil adressere behovet for et bedre samarbejde mellem STEM-fagene på alle trin i uddannelsessystemet. I forbindelse med denne didaktiske dagsorden kan engineering italesættes som en problemorienteret og omverdensrettet arbejdsmetode der kan indlejres i naturfagene, integrere teknologi bedre og invitere til samarbejde med matematik.
- Der findes velafprøvede modeller for læreres kompetenceudvikling som det er relativt nemt at implementere i dansk skolekontekst. Men der vil være behov for særlig opmærksomhed på læreres reelle forudsætninger for at arbejde med engineering og deres motivation for at deltage i engineering-efteruddannelsesprogrammer. En kommende indsats skal sikre at alle lærere er trygge ved såvel designarbejde som undersøgelsesarbejde i fællesfaglig, problembaseret og elevaktiverende undervisning.
- Der findes mange forskellige elementer som kan indgå i grundlaget for en engineering-didaktik. Vi har berørt nogle af disse elementer i denne analyse. Som inspiration til at lave en samlet engineering-didaktik i Danmark kan opsummeringen fra Moore et al. (2014) af elementerne i engineering-undervisning (Tabel 2) og oversigten fra Guzey et al. (2014) over erfaringer med efteruddannelse (Tabel 3) være gode udgangspunkter. De skal dog suppleres med flere didaktiske kategorier som fx læringsmål, tegn på læring, lærer- og elevroller og – ikke mindst – evaluering.

Vi ser frem til at følge hvordan engineering-didaktik udvikles og implementeres i det danske skolesystem, og vi håber at denne analyse kan være inspiration til det videre arbejde.

Referencer

- Andersson, A. & Ravn, O. (2012). A Philosophical Perspective on Contextualisations in Mathematics Education. I: Skovsmose, O. & Greer, B. (red.), *Opening the Cage. Critique and Politics of Mathematics Education*. Sense Publishers, Vol. 23. 309-324.
- Engineering is elementary: An engineering and technology curriculum for children* (PDF Download Available). (u.å.). Lokaliseret 15.03.2017 på https://www.researchgate.net/publication/242476335_Engineering_is_elementary_An_engineering_and_technology_curriculum_for_children.
- Barakos, L., Lujan, V. & Strang, C. (2012). *Science, technology, engineering, mathematics (STEM): Catalyzing change amid the confusion*. Portsmouth, NH: RMC Research Corporation, Center on Instruction. Lokaliseret 17.04.2017 på <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED534119.pdf>.
- Barnett, M. (2005). Engaging Inner City Students in Learning through Designing Remote Operated Vehicles. *Journal of Science Education and Technology*, 14(1), 87- 100. Lokaliseret 17.04.2017 på <http://www.jstor.org/stable/40188702>.
- Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M. & Rogers, C. (2008). Advancing Engineering Education in P-12 Classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369-387.
- Cunningham, C.M. & Carlsen, W.S. (2014). Precollege Engineering Education. I: Ledermann, N. & Abell, S.K. (red.), *Handbook of Research on Science Education*, 747-758. Routledge, New York.
- Evans, R. & Horst, S. (2012). Nye mål for naturfagsundervisningen I USA – vil vi samme vej i Danmark? *MONA*, 2012-3.
- Fleer, M. (2000). Interactive technology: Can children construct their own technological design briefs? *Research in Science Education*, 30(2), 241-253.
- Guzey, S.S., Tank, K., Hui-Hui W., Roehrig, G. & Moore, T. (2014). A High-Quality Professional Development for Teachers of Grades 3-6 for Implementing Engineering into Classrooms. *School Science & Mathematics*, 114(3), 139-149.
- Hom, E.J. (2014). *What is science education?* Lokaliseret 11.04.2017 på <http://www.livescience.com/43296-what-is-stem-education.html>.
- Kanter, D.E. (2009). Doing the project and learning the content: Designing project-based science curricula for meaningful understanding. *Science Education*. <https://doi.org/10.1002/sce.20381>.
- Mehalik, M.M., Doppelt, Y. & Schuun, C.D. (2008). Middle-School Science Through Design-Based Learning versus Scripted Inquiry: Better Overall Science Concept Learning and Equity Gap Reduction. *Journal of Engineering Education*, 97(1), 71-85. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00955.x>.
- Mogensen, A., Nielsen, B.L. & Sillasen, M.K. (2015). Processer der forandrer – Fagteamudvikling efter QUEST-modellen. *MONA*, 2015-1.
- Moore, Tamara J., Glancy, Aran W., Tank, Kristina M., Kersten, Jennifer A., Smith, Karl A. & Stohmann, Micah S. (2014). A Framework for Quality K-12 Engineering Education: Research and Development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 4(1), 1-13.

- Mukhopadhyay, S. & Greer, B. (2001). Modelling with purpose. Mathematics as a critical tool. I: B. Atweh, H. Forgasz & B. Nebres (red.), *Sociocultural research in mathematics education. An international perspective*, 295-311. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Nielsen, J.A. (red.). (2017). *Litteraturstudium til arbejdet med en national naturvidenskabsstrategi*. København: Institut for Naturfagernes Didaktik. Lokaliseret 13.04.2017 på https://curis.ku.dk/ws/files/173935776/Naturvidenskabsstrategi_Litteraturstudium_Rapport.pdf.
- National Research Council (NRC). (2012). A Framework for K-12 Science Education: Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Science and Education. Washington, DC: The National Academies Press. Lokaliseret 19.03.2017 på http://sites.nationalacademies.org/DBASSE/BOSE/Framework_K12_Science/index.htm.
- Penner, D.E., Lehrer, R. & Schauble, L. (1998). From Physical Models to Biomechanics: A Design-Based Modeling Approach. *Journal of the Learning Sciences*, 7: 3-4, 429-449. Lokaliseret 13.04.2017 på <http://dx.doi.org/10.1080/10508406.1998.9672060>.
- Rutland, M. & Barlex, D. (2008). Perspectives on pupil creativity in design and technology in the lower secondary curriculum in England. *International Journal of Technology and Design Education*, 18(2), 139-165. doi:10.1007/s10798-007-9024-6.
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26.
- Undervisningsministeriet (2015). *Vejledning til forsøg med matematisk naturfaglig projektopgave i 9. klasse*. Lokaliseret 14.03.17 på <https://www.uvm.dk/-/media/UVM/Filer/Udd/Folke/PDF16/Jan/160126-Vejledning-til-forsog-med-matematisk-naturfaglig-projektopgave-i-9,-d,-,klasse.ashx>.
- Undervisningsministeriet (2016). *Kommissorium for en national naturvidenskabsstrategi*. Lokaliseret 13.04.2017 på <http://astra.dk/kommissorium>.
- van Driel, J.H., Meirink, J., van Veen, K. & Zwart, R. (2012). Current trends and missing links in studies on teacher professional development in science education: A review of design features and quality of research. *Studies in Science Education*, 48(2), 129-160.
- White, D.H. (2014). What Is STEM Education and Why Is It Important? *Florida Association of Teacher Educators Journal*, 1(14), 1-9.
- Øster, K., Nørregaard, H. & Norrild, P. (red.). (2013). *Naturfag i Tiden* (rapport). Lokaliseret 14.03.2017 på [http://ntsnet.dk/sites/default/files/104581%20E-Rapport%20-%20Naturfag%20i%20tiden%20\(1\).pdf](http://ntsnet.dk/sites/default/files/104581%20E-Rapport%20-%20Naturfag%20i%20tiden%20(1).pdf).