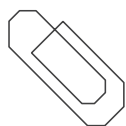


VIA University College



VILLUM FONDEN



Engineering i skolen

Vidensgrundlag

Peer Daugbjerg, Lars Brian Krogh, Keld Nielsen og Martin Krabbe Sillasen

INDHOLD

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Resumé | 3 |
| 2 | Indledning | 5 |
| 3 | Kort introduktion til engineering i skolen | 6 |
| 3.1 | Definition af engineering i skolen – en didaktisk afklaring | 8 |
| 3.2 | Engineering som en del af undervisning i STEM-fagene | 9 |
| 3.3 | Engineering får en tydeligere identitet | 9 |
| 3.4 | En samlet beskrivelse af karakteristika ved engineering i skolen | 10 |
| 3.5 | Hvordan underviser man så? | 11 |
| 4 | Begrundelser for engineering i skolen | 13 |
| 4.1 | Engineering og teknologisk dannelse | 13 |
| 4.2 | Engineering og rekruttering til STEM-uddannelser | 15 |
| 4.3 | Engineering og bedre naturfagsundervisning | 15 |
| 5 | Internationale eksempler på engineeringprogrammer | 17 |
| 5.1 | Engineering is Elementary – Boston, USA | 17 |
| 5.2 | Naturvetenskap och teknik för alla (NTA) – Sverige | 19 |
| 5.3 | Engineering habits of mind – UK | 21 |
| 6 | Engineeringundervisning og elevernes udbytte | 23 |
| 6.1 | Elevernes udbytte af engineering i STEM-undervisning | 24 |
| 6.2 | Engineering undervisning – hvad synes at virke? | 28 |
| 6.3 | Evaluering af engineering i undervisningen | 29 |
| 7 | Kompetenceudvikling af lærere | 31 |
| 7.1 | Lærere, engineering og kompetenceudvikling | 31 |
| 8 | Engineering i det danske skolesystem | 34 |
| 8.1 | Engineering i skolen – et konkret eksempel | 34 |
| 8.2 | Engineering, innovation og entreprenørskab | 37 |
| 8.3 | Potentialer og udfordringer i forhold til matematik | 37 |
| 8.4 | Engineering i ungdomsuddannelsernes naturfag | 38 |
| 9 | Referencer | 40 |
| | Bilag: Udvidet review til kapitel 6 | 44 |

1 Resumé

Formålet med dette notat er at give en fagligt opdateret introduktion til temaet ”engineering i skolen”, dvs. undervisning, der henter inspiration og indhold fra ingeniørers arbejde, men udspiller sig uden for de egentlige ingeniøruddannelser, fra 0. til 12. klasse.

Engineering som undervisning i skolen er karakteriseret ved, at eleverne gennemfører en designproces, der omfatter flere delprocesser: Problemidentifikation, planlægning af en vej frem mod en ud af flere mulige løsninger, tests, forbedringer og evaluering af den færdige løsning. Som en del af processen udfører eleverne undersøgelser i samarbejde med andre og inddrager viden om materialer, naturfag og matematik samt viden om materialer og fremstillingsprocesser. Eleverne trænes i at lære af egne fejl, i at være systematiske, i at være iterative, i at være åbne over for andres idéer og i at være vedholdende. Arbejdet stimulerer elevernes forståelse af historiske og etiske aspekter i relation til udvikling og brug af teknologi.

Der er tre argumenter for at arbejde med engineering i skolen: 1) Det er vigtigt, at eleverne forstår og kan forholde sig til teknologi som fænomen i samfundet og til teknologiens betydning for vores overlevelse. 2) Engineering giver mulighed for at implementere en anderledes og bedre undervisning – ikke mindst i naturfagene – som gennem at være mere anvendelsesorienteret, motiverende og aktiverende i det lange løb vil føre til en mere positiv holdning til fagene og dermed til bedre rekruttering. 3) Engineering bidrager til øget læring, dels af det fagfaglige, dels af en række faguafhængige kompetencer.

Engineering som et tydeligt og velbeskrevet element i fagene i almindelige skolers undervisning er et ungt felt med kun 15-20 år på bagen. Men i en række lande er der sket en markant udvikling, og implementeringen af engineering i det danske uddannelsessystem kan lade sig inspirere af erfaringer fra engineeringindsatser i disse lande. I dette notat ser vi på *Engineering is Elementary* (USA)¹, *Naturvetenskap och teknik för alla* (Sverige)² og *Learning to be an engineer* (UK)³. De to første demonstrerer værdien af en lang, målrettet indsats samt betydningen af at kombinere udviklingen af en anvendelig didaktik med kompetenceudvikling af lærere og udvikling af undervisningsmidler. Den tredje indsats øger undervejs sit fokus på at sikre lærernes fokus på en bred og inkluderende tilgang.

De udenlandske initiativer viser vedholdende aktivitet i forbindelse med at diskutere, rammesætte og implementere engineering i undervisningen. Da engineering samtidig er et element i mange landes bestræbelser på at fremme udvikling af de såkaldte STEM-fag, bliver konklusionen, at engineeringundervisning i fremtiden vil spille en voksende rolle i mange landes udvikling af naturfagsundervisningen. Det gælder, både når engineering ses som et element i at modernisere elevernes almene dannelse ved at fremme teknologisk dannelse (se kap. 4), og når det ses som et værktøj til at øge rekrutteringen til STEM-uddannelserne.

International forskning i engineering i skolen kan give fingerpeg og vise tendenser for de læringsmæssige og holdningsmæssige virkninger af engineeringundervisning. En gennemgang af de vigtigste artikler og rapporter omkring engineering som undervisningsmetode og som forskningsområde leder frem til følgende konklusioner vedrørende eleveres udbytte: 1) Engineering ser ud til at gøre en mindre – men positiv – forskel med hensyn til elevernes læring. Størst er læringseffekten, hvad angår bredere STEM-læringsmål (se kap. 6) og mindre, hvad angår fagfaglig viden i naturfag. 2) I undervisningen har arten og graden af samspil mellem engineeringaktiviteterne og de øvrige STEM-fag stor betydning for elevernes udbytte. 3) Der er ikke muligt entydigt at konkludere, at engineering virker motiverende for alle elevtyper. Nogle studier indikerer, at engineering kan virke motiverende

¹ EiE, The Museum of Science, Boston: <https://www.eie.org/>

² NTA, Kungl. Vetenskapsakademien, Stockholm: <http://www.ntaskolutveckling.se/>

³ Learning to be an engineer, Royal Academy of Engineering, London: <https://www.raeng.org.uk/lbbae>

for visse elevgrupper og udpeger en eller flere elevgrupper som begunstigede, men der er sjældent tale om de samme grupper på tværs af studier. Generelt mangler der bedre funderede undersøgelser på dette felt.

Læringsmæssigt er det en væsentlig pointe, at man kan indføre engineering i den naturfaglige undervisning - uden at det koster i den faglige læring og samtidig med, at eleverne tilegner sig *ekstra* kompetencer i relation til problemløsning og samarbejde. I forbindelse med engineeringaktiviteter holder den faglige læring samme niveau som i traditionel undervisning, eller der ses en mindre forbedring. Samtidig lærer eleverne – når det går godt – en række vigtige kompetencer som samarbejde og problemløsning.

Elevernes læringsmæssige udbytte af engineering afhænger stærkt af den måde, undervisningen gribes an på, ikke mindst hvordan engineeringaktiviteter integreres med naturfagene. Her er stærke fagdidaktiske kompetencer hos læreren en nøglefaktor. Det betyder, at bred, succesfuld implementering af engineering i undervisningen forudsætter, at lærere, der vil arbejde med engineering, hører om engineeringdidaktikken og uddannes i at bruge dem i deres undervisning. Ud over behovet for en kvalificering af allerede uddannede læreres viden og metoder er der også behov for, at engineering indarbejdes i læreruddannelsen, samt at der arbejdes med at udvikle og forfine nye metoder i praksis gennem eksperimenter og forskning.

Alt i alt giver forskningen grund til at være optimistisk på vegne af engineering i undervisningen. Der er allerede gode muligheder for læring og for på længere sigt at opnå bedre læring og øget motivation hos eleverne gennem arbejde med at forbedre undervisningen, herunder at udvikle, teste, forskningsdokumentere og udbrede nye formater.

I det danske skolesystem findes der allerede flere eksempler på, at der arbejdes med engineering både i grundskolen og gymnasiet. Projektet *Engineering i skolen* har bidraget til at udvikle en engineeringdidaktik, undervisningsmaterialer og efteruddannelseskoncept for lærere tilpasset dansk uddannelsestænkning. Erfaringerne fra projektet har vist, at veltilrettelagt efteruddannelse i kombination med materialeudvikling er tilstrækkeligt til, at lærere kommer i gang med engineering, og formår at afvikle engineeringaktiviteter på måder, som de selv og deres elever finder meningsfulde og lærerige. I projekt *Engineering i skolen* giver mange lærere udtryk for, at de godt kan lide denne måde at arbejde på samtidig med, at de er hurtige til at tilpasse sig og tage de nye metoder til sig. Det giver gode muligheder for yderligere kompetenceudvikling.

I dette notat anvendes udtrykkene "engineering", "engineeringundervisning" og "engineering i skolen" i flæng. Vi refererer til det danske projekt, som forestås af Engineer the Future, og blandt andet støttes af Villumfonden, ved at bruge kursiv: *Engineering i skolen*.

2 Indledning

Engineering i skolen som et selvstændigt tema er et ungt didaktisk felt med kun 15-20 år på bagen. Men feltet er vokset hastigt. Som del af det generelle behov for at uddanne flere unge inden for STEM-fagene – og uddanne dem bedre – er der både nationalt og internationalt fokus på at udvikle alle fire fagområder. Ikke mindst E'et, der altså kom lidt sent fra start, men nu spurter fremad.

Notatet giver en indføring i, hvordan engineering i skolen beskrives i international litteratur, hvordan det begrundes som et tema i den generelle undervisning, og hvordan der arbejdes i tre store engineeringprojekter i hhv. USA, Sverige og UK. Vi ser også på engineeringens potentiale for at påvirke undervisningen i naturfagene, hvad engineering betyder for børns læring og motivation, og hvilke krav man bør stille til læreres uddannelse og efteruddannelse. Hvad kan man lære af erfaringerne og af forskningen?

På baggrund af erfaringerne fra internationale engineeringindsatser med overvejelser om potentialer og krav man bør stille til programmer for læreres professionelle udvikling, beskriver vi derefter situationen på engineeringområdet i det danske skolesystem. Hvilke typer af engineeringundervisning er allerede etableret, hvilke fremtidige muligheder der er, og hvad skal man være opmærksom på i forhold til udvikling, udbredelse og forankring?

Notatet er ikke et akademisk review, hvor man afsøger forskningsdatabaser systematisk og derefter refererer al relevant litteratur, man kan lokalisere. I stedet har vi brugt en såkaldt sneboldmetode, hvor vi har taget udgangspunkt i en række centrale nyere artikler og rapporter og derefter har lokaliseret de mest citerede og relevante henvisninger i de tilhørende referencelister.

Dermed mener vi, at vi har været igennem relevant forskningslitteratur, som har høje citationstal og/eller indeholder betydningsfuld kvalitetsforskning. Metoden indebærer, at vi også har læst en række rapporter og policypapirer, som netop ikke er forskningsbaserede, men giver et indblik i den retorik og de argumenter, som fra aktørernes side gives for at fremme STEM og engineering. Vi håber, at det fremgår af sammenhængen, hvornår notatet beskæftiger sig med uddannelsespolitisk programsætning, og hvornår der er tale om at referere fagligt funderet, kritisk forskning.

Alle fire forfattere deltager i projektet *Engineering i skolen*, som p.t. er i gang med det andet ud af tre projektår.⁴ Som en del af projekter har vi været med til at udvikle en dansk engineeringdidaktik for grundskolen (Auner, Daugbjerg, Nielsen, & Sillasen, 2018) og til at udvikle, gennemføre og evaluere den første runde af kompetenceudvikling af lærere i grundskolen.

I notatet har vi på den ene side bestræbt os på at undgå bias, der kunne skyldes vores involvering i et konkret projekt på området, og på den anden side har vi forsøgt at vurdere udsagn og konklusioner på baggrund af den erfaring, vi gennem projektet har opnået med engineering i skolen.

Tak til Villumfonden for støtte til arbejdet med at skrive notatet.
(Alle citater fra engelsksproget litteratur er oversat af forfatterne)

⁴ Se <https://engineerthefuture.dk/engineering-i-skolen>

3 Kort introduktion til engineering i skolen

Baggrunden er 30 års udfordring i naturfagene

Er noget galt med undervisningen i de naturvidenskabelige fag i grundskolen og på ungdomsuddannelserne? Er der problemer? Er der oplagte forslag til, hvad vi bør ændre? De sidste 25-30 år har den type spørgsmål fyldt meget i uddannelsespolitiske diskussioner.

Internationalt siden 1989, hvor rapporten *Science for All Americans* pegede på, at eleverne oplevede naturfagene som teoretiske og abstrakte, uden relation til deres hverdag og verden omkring os. Alt for mange elever blev tabt, og selv de dygtige lærte for lidt (American Association for the Advancement of Science, 1989).

Herhjemme for alvor siden 2003, med en rapport fra Undervisningsministeriet om *Fremtidens naturfaglige uddannelser: Naturfag for alle* (Andersen, 2003). Temaerne var nogenlunde de samme som i USA: For mange elever fandt fagene verdensfjerne og vanskelige. Interessen gik tabt. I en kultur, som i stigende grad er domineret af videnskabelig indsigt, i et samfund, som afhænger af teknologiske udvikling, uddanner vi unge, som hverken kan eller vil se behovet for et solidt kendskab til naturvidenskab og teknologi. En uholdbar situation.

Siden er der fremsat og afprøvet mange forslag til, hvordan introduktion af nye idéer i undervisningen kan gøre naturfagene mere relevante og tilgængelige. Her skal kun nævnes nogle af de mest kendte: Undervisning, der lægger vægt på anvendelse af viden, for eksempel gennem samarbejde med virksomheder uden for skolen, kan demonstrere fagenes relevans. Mere vægt på undersøgende arbejde i naturfagene – kendt som Inquiry Based Science Education (IBSE) – kan fjerne fokus fra videnskabelige facts og vise science som en levende og innovativ proces, der er mere spiselig for eleverne. Arbejde i projektor organiserede, åbne processer, som i Problembaseret Læring (PBL – mere om PBL i afsnit 6.2) kan involvere og motivere eleverne og fremme deres ejerskab til fagene. Fællesfaglig naturfagsundervisning, hvor fagene fysik/kemi, biologi og geografi – og gerne matematik – integreres, kan nedbryde traditionelle faglige siloer, så eleverne oplever mindre abstraktion og mere sammenhæng og relevans i undervisningen.

Alle forslagene er hver for sig fornuftige og er – støttet af Undervisningsministeriet – blevet sat i spil af mange ambitiøse skoler og lærere, men de store effekter er udeblevet. Måske fordi initiativerne har manglet en samlende, overordnet ramme. Spørgsmålet er nu, om idéen med at sætte praktisk, problemløsende, procesorienteret, åbent arbejde tydeligt på dagsordenen gennem engineering kan skabe en sådan ramme for fremtidens naturfagsundervisning. Umiddelbart ser det lovende ud.

Engineering som ramme for undervisning i naturfagene?

I engineeringundervisning tager eleverne udgangspunkt i et problem, som "nogen" har - "a real world problem". Der er altså som udgangspunkt indbygget forbindelser fra skolen til omverdenen. Undervisningen er projektor organiseret og problembaseret og inkluderer dermed de centrale idéer fra PBL, herunder at eleverne arbejder i projektgrupper og undervejs tager mange beslutninger selv. Læreren primære rolle er som rammesætter, konsulent og dialogpartner.

Som et første trin i et engineeringprojekt skal eleverne analysere det problem, som er deres udgangspunkt. Derefter skal de formulere krav til en løsning, og de skal beslutte, hvordan de trinvis og i fællesskab vil arbejde sig frem mod en løsning, der opfylder kravene. Arbejdet er altså procesorienteret og vil ofte omfatte, at eleverne undersøger materialers egenskaber eller kortlægger, hvordan en gives proces forløber – engineering har således mange lighedspunkter med IBSE. Den løsning, eleverne fremlægger, skal være konkret i den forstand, at de kan demonstrere, at den rent faktisk løser problemet og opfylder de opstillede krav. Derfor er arbejdet i høj grad anvendelsespræget.

Det er en del af konceptet engineering i skolen, at undervisningen foregår i tæt relation til naturfagene, gerne som en del af naturfagsundervisningen. Undervejs i processen får eleverne brug for al den relevante viden og de relevante færdigheder, de kan mobilisere. Afhængig af klassetrin og hvad det er for et problem, de arbejder med, vil naturfaglig viden have en fremtrædende plads, ligesom

inddragelse af matematik bør være et naturligt skridt. Ideelt set vil naturfagene og matematik tvinges ud af traditionelle roller og indgå i fagligt integrerede forløb.

Engineering, innovation og entreprenørskab

Engineering har potentiale til at inddrage – eller definere konstruktive rammer for – nogle af de nyere tiltag, der er indført i grundskole og på ungdomsuddannelserne som fx innovation og entreprenørskab. Arbejdet med at designe en løsning har en fremtrædende plads for eleverne, når de arbejder med engineering. Der er både plads til og behov for innovativ tænkning og planlægning. Engineering indeholder således mange af de samme elementer som fagene innovation (i gymnasiet) og innovation og entreprenørskab (i grundskolen). Den største forskel mellem engineering og innovation/entreprenørskab er, at i engineering skal der hele tiden arbejdes konkret. Eleverne skal demonstrere, at deres løsning løser problemet, det er ikke nok at arbejde med idéer. I den didaktik, der er udarbejdet i forbindelse med projekt *Engineering i skolen* (Auner et al., 2018), udtrykkes det således: *"Det er integrationen af praktiske, konstruktive og optimerende elementer, som får engineering til at adskille sig fra anden undersøgelsesbaseret undervisning"*.

Engineering og naturfaglige kompetencer

I de faglige mål for naturfagene i grundskolen lægges der vægt på, at eleverne kan arbejde med modeller. I engineering indgår modeller både i form af prototyper, i analyser af hvordan en løsning virker og eventuelt kan optimeres, samt i tekniske argumenter, når det skal forklares, hvad det er, man har lavet. I naturfagene lægges desuden vægt på, at eleverne kan perspektivere deres naturfaglige viden i forhold til omverdenen – igen et aspekt, der naturligt trænes i forbindelse med engineering, fordi løsningen er rettet mod problemer i "den rigtige verden". Endelig indgår i målene for naturfag, at eleverne skal arbejde med at udvikle deres kommunikative kompetencer. Engineering udspiller sig i grupper, hvor eleverne i fælleskab udvikler idéer og tager beslutninger om, hvilken idé gruppen vil satse på. Ved arbejdets afslutning skal gruppen argumentere for, at den fremstillede løsning har kvalitet og rent faktisk løser problemet. Derfor har træning i kommunikation en fremtrædende plads.

Engineering og generiske kompetencer

Endelig trænes i engineeringundervisning en række andre overordnede kompetencer, som eleverne (forhåbentlig) kan overføre til andre fag. Blandt de vigtigste er evnen til at se potentialet i at fejle, gå tilbage og derved lære af egne fejl. Engineeringprocessen består i høj grad af afprøvning og forbedring af prototyper og indeholder et antal iterationer, noget der ellers ikke har den store plads i grundskolens undervisning. Samtidig trænes elevernes evne til ikke at give op over for et vanskeligt løsbart problem. Går det godt, bliver eleverne mere vedholdende i deres arbejde, og på lang sigt kan de udvikle personlige strategier for, hvordan man angriber komplekse problemer.

Til trods for engineerings potentielle mulighed for at rumme mange af de nyere tiltage inden for naturfagsundervisning er engineering hverken en mirakelkur eller en snuptagsløsning. Som det vil fremgå af de efterfølgende kapitler, er der imidlertid gode tegn på, at potentialet er til stede. Men det skal indløses.

Hvis man vil satse på engineerings muligheder for at løfte (dele af) fremtidens STEM-undervisning, vil det kræve en langsigtet, målrettet indsats. Der forestår et stort forsøgs- og udviklingsarbejde, både nationalt og i samarbejde med internationale institutioner og organisationer, herunder en forskningsindsats for at skabe, indsamle og nyttiggøre viden om undervisning og læring i engineering-sammenhænge. Og ikke mindst forestår en lige så stor opgave med at uddanne underviserne til at se, lære og håndtere mulighederne i forbindelse med deres undervisning.

Først skal vi dog lidt dybere ind i, hvordan man kan karakterisere engineering som en arbejdsmetode i undervisning, og hvordan det adskiller sig fra "rigtig" ingeniørarbejde.

3.1 Definition af engineering i skolen – en didaktisk afklaring

Dette afsnit behandler, hvordan engineering kan karakteriseres som en arbejdsmetode i skolen, fra 0. til 12. klasse. Vi refererer i den sammenhæng ikke til undervisning, der foregår på ingeniøruddannelserne i forbindelse med undervisning af kommende ingeniører.

Derimod ser vi på forholdet mellem "engineering", som aktiviteten udfoldes uden for skolen af rigtige ingeniører, og det, der kan foregå i skolen. Engineering som metode i undervisning af børn og unge skal selvfølgelig afspejle det arbejde, der udføres af professionelle ingeniører, men der er ikke på nogen måde tale om, at det første er en 1:1 kopi af det sidste. For at engineering kan inspirere undervisning i skolen, er der behov for en analyse og fortolkning af, hvad ingeniører arbejder med, hvorfor de gør det, og hvordan de gør det. Fortolkningen omtales som didaktisering og skal give svar på tre spørgsmål: Hvorfor skal der undervises i engineering? Hvad skal der undervises i? Og hvordan skal der undervises? Vi ser på svar på de tre spørgsmål, men ikke i den anførte rækkefølge.

De fleste initiativer, der arbejder på at fremme engineering i skolen, peger på elevernes arbejdsmetoder som det væsentligste element i engineeringundervisningen. Det store amerikanske program Engineering is Elementary (EiE), der har været banebrydende i udvikling af engineeringaktiviteter i aldersgruppen 0.- 5. klasse, skriver helt kort, at engineering i skolen er "*en systematisk tilgang til at løse problemer – alle mulige slags problemer! – der gør menneskers liv nemmere og bedre*".⁵

Når børn og unge arbejder med engineering, er problemløsning og systematik altså centrale. De samme ord karakteriserer det arbejde, som udføres af "rigtige" ingeniører, og man kan overveje, om ikke engineeringundervisning bør være en tro kopi af det arbejde, der udføres på ingeniørkontorer rundt om i verden?

I idealiseret forstand er svaret "jo". Hvis børn og unge skal lære at arbejde og tænke som ingeniører, skal der være lighed mellem inspirationen, der udspiller sig uden for skolen, og det, der foregår indenfor: i skolens beskyttede og iscenesatte verden. Men ligesom skoleelever lærer om trafik uden at blive bilister, eller skriver digte uden at skulle udkomme hos Gyldendal, skal de ikke lære om engineering for nødvendigvis at blive ingeniører, men mere generelt for at lære at arbejde problemløsende, innovativt og systematisk. Samtidig skal undervisningen have harmoniske relationer til skolens øvrige fag, og undervisningen skal tilpasses den udvikling, som eleverne gennemløber fysisk/motorisk, kognitivt og socialt gennem hele skoletiden.

Det er kun gennem en didaktisk reformulering, at engineering kan gøres til genstand for undervisning og dermed opfylde de mange krav, der stilles til meningsfuld undervisning: Kan undervisningen mål-sættes og gennemføres over for elever med forskellige forudsætninger og på forskellige udviklings-trin? Kan den gennemføres på måder, som er tilpasset skolens, klasseværelsets, lærernes og elevernes virkelighed? Har engineering en tydelig profil i skolens hverdag, og hvordan indgår engineering i skolens fag?

Ethvert nyt fænomen, der bringes ind i undervisningen, gennemløber denne proces. For veletable-rede fag er processen mere eller mindre overstået, og alle tager for givet, at faget – fx matematik eller engelsk – udspiller sig på den kendte måde. Kun i forbindelse med større reformer af fagets indhold, eller hvis der indføres nye undervisningsmetoder, lukkes der op for en didaktisk diskussion. Men når nye fænomener som engineering eller – for at tage et aktuelt eksempel – Computational Thinking introduceres i skolen, bliver den didaktiske proces tydelig. Og det bliver tydeligt, hvilken vanskelig proces der er tale om.

⁵ (<https://www.eie.org/EiE-Blog/engineeringmade-easy-0>)

3.2 Engineering som en del af undervisning i STEM-fagene

Spørgsmålet om, hvordan man kan definere engineering i undervisningen, kan derfor besvares ved at studere rapporter og artikler, som har været centrale i en løbende uddannelsespolitisk og fagdidaktisk diskussion af fænomenet, og se på, hvad der er opnået af resultater.

Af pladshensyn kan der i det følgende kun blive tale om nogle få, væsentlige nedslag, der viser, at engineering i skolen internationalt er sat meget tydeligt på dagsordenen, at der på kort tid er opnået store fremskridt i afklaringen af, hvad engineering betyder i forbindelse med undervisning, samt at konceptet er så lovende, nødvendigt og stærkt, at det ikke forsvinder ud af uddannelsesdebatten foreløbig.

Diskussionen om, hvordan man bedst kan karakterisere engineering som et element i uddannelsen af børn og unge, har været tæt knyttet til en parallel debat om, hvordan man kan fremme undervisningen i de tekniske-naturvidenskabelige fag: Naturfag (Science), Teknologi, Engineering og Matematik, også omtalt som STEM-fagene.

Betegnelsen STEM har sine rødder i en diskussion i USA om uddannelsessystemets betydning og ansvar i forbindelse med globalisering og national konkurrenceevne. Udtrykket blev introduceret i 1990'erne af The National Science Foundation som en bekvem og effektiv forkortelse, der kunne bruges i en uddannelsespolitisk agenda om de fire fagområder, som igen og igen blev udpeget til at spille en særlig rolle i forhold til teknisk og videnskabelig udvikling. Altså en debat hvor uddannelsessystemet betragtes som en national resurse, som man politisk kan booste for at fremme landets samlede konkurrenceevne.

Omkring 2008 fik diskussionen et nyt og væsentligt lag. Et stort teknisk universitet Virginia Tech udbød uddannelser, hvor de fire STEM-fag blev integreret i undervisningen. Virginia Tech mente selv, at de dermed var det første universitet, der udbød fagintegrerede STEM-uddannelser. *"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"*.

Som en del af argumentationen for det nye synspunkt blev der peget på, at undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning (IBSE el. Inquiry Based Science Education) og integreret STEM-undervisning understøtter hinanden, og begge bygger på et konstruktivistisk læringssyn. Dermed blev ordet STEM flyttet fra at være et politisk akronym uden didaktisk fundering til at symbolisere didaktisk nytænkning med inddragelse af friske idéer inden for naturfagsundervisning (Sanders, 2008, s. 21).

Den uddannelsespolitiske diskussion om, hvordan man styrker STEM-fagene og deres interne samarbejde, blev yderligere accentueret med udgivelsen i 2012 af rapporten *A Framework for K-12 Science Education* (National Research Council, 2012). Rapporten anbefaler en radikal ændring af den eksisterende scienceundervisning fra 0. til 12. klasse, dels ved at tilføje et kraftigt element af engineering og teknologiforståelse, dels ved at lægge stor vægt på samarbejde mellem engineering og science og dels ved at udnytte i undervisningen, at meget viden og mange metoder er fælles for de forskellige fag, der indgår i science. Dog er det bemærkelsesværdigt, at den nytænkende rapport er tavs, når det gælder inddragelse af matematik i STEM-undervisning.

3.3 Engineering får en tydeligere identitet

I 2009 udsendte The National Research Council (NRC) i USA, i samarbejde med The National Academy of Engineering (NAE), en rapport, der pegede på, at konceptet "engineering" i generel uddannelsessammenhæng hverken var entydigt eller veldefineret (National Academy of Engineering & National Research Council, 2009).

NAE-NRC-rapporten forklarede selv forvirringen ved at pege på, at undervisningsaktiviteter, der med rette kunne betegnes som engineering, i virkeligheden levede en ret usynlig tilværelse som en del

af det mere omfattende emne "teknologi". Men nu – altså i 2009 – i forbindelse med den omfattende debat om at styrke STEM-fagene var der behov for, at engineering blev en tydeligere og bedre defineret undervisningsaktivitet.

Efter en længere analyse og diskussion formuleres i rapporten tre vigtige principper som en basis for fremtidigt arbejde. Fra 0. til 12. klasse bør engineeringundervisning: 1. Lægge vægt på designprocessen, fra identifikation af et problem til en løsning er frembragt. 2. Indarbejde væsentlige emner fra matematik, naturvidenskab (science) samt teknologisk viden og færdigheder. 3. Understøtte elevernes tilegnelse af færdigheder, som vil være essentielle for fremtidens borgere: systemtænkning, kreativitet, optimisme, samarbejdsevne, kommunikationsevne og forståelse for etiske problemstillinger. Disse principper er stadig et holdepunkt i arbejdet med at udvikle engineering i skolen.

Det lykkedes med NAE-NRC-rapporten at finde fælles træk ved aktiviteter, der allerede var i gang, og formulere nogle væsentlige og stadig aktuelle krav, der kan stilles til integrering af engineering i skolen. Dermed gav rapporten engineering i skolen en tydeligere identitet og skabte samtidig fokus for en fortsat diskussion.

3.4 En samlet beskrivelse af karakteristika ved engineering i skolen

NAE-NRC-rapporten gjorde det dog ikke tydeligt, hvad det så er, der mere konkret kan stå i beskrivelser af fagligt indhold, eller hvad læreren kan eller bør gøre i forbindelse med sin engineeringundervisning. Men netop disse to områder er der i mange sammenhænge arbejdet videre med siden 2009.

I 2014 fremlagde en gruppe ledet af Tamare J. Moore en velformuleret og empirisk underbygget kortlægning af de centrale elementer i engineering i skolen – man kan næsten tale om en faglig kerne (Moore, Glancy, Tank, Kersten, & Smith, 2014). Gruppen gennemgik 29 forskningsartikler, surveys og policypapers, hvoraf kun syv var udkommet før 2009, og pegede på NAE-NRC-rapporten som skelsættende, og et grundlag man kunne bygge videre på. Gruppens erklærede mål var at komme fremad ved at flytte diskussionen fra bred, generel reform-retorik og abstrakte idéer over i konkrete læreplansforslag. Gruppen var i stand til at identificere og beskrive en række nøgleelementer (key indicators), der opsummerer, hvad eleverne bør arbejde med – eller lære at arbejde med – i god engineeringundervisning.

Ikke overraskende fastholdt gruppen designprocessen som det væsentligste element i engineeringundervisning (der indgår altid elementer af design i engineeringprocesser, hvorimod man godt kan have design, uden at der er tale om engineering). Processen karakteriseres ved tre delelementer, hvoraf de første to peger ud over traditionel lærerstyret undervisning: Udgangspunktet er et problem. Det forelagte problem og dets baggrund skal analyseres. Hvorfor arbejde med det her problem? Hvordan arbejde med "åbne" problemer, hvor ingen på forhånd ved, i hvilken retning en løsning kan findes? Hvordan arbejde med problemer, der potentielt har mere end én løsning? Hvordan evaluerer man tidligt i processen en løsning i forhold til de krav og begrænsninger, man er underlagt. Dernæst må man planlægge en vej frem mod en løsning og implementeringen af denne vej. Endelig gennemføres test og evaluering af den valgte løsning.

Gruppen holdt også fast i, at inddragelse af naturfaglig viden og matematik er essentielt, men tilføjede "ingeniørviden", der forstås som det, eleverne allerede har lært om engineering og om værktøjer, materialer og fremstillingsteknikker.

Undervisningen skal desuden indeholde elementer, som ikke er almindelige i traditionel naturfags- eller teknologiundervisning. Eleverne skal lære at anvende "engineeringthinking", der er karakteriseret ved selvstændighed, refleksivitet, metakognition og evne til at inddrage tidligere erfaringer og til at lære af fejl. Og eleverne skal øve sig i at bruge specifikke teknikker, som ingeniører bruger for at løse problemer, som at arbejde trinvis frem mod en løsning eller bruge redskaber til visualisering og planlægning.

Undervisningen bør også indeholde historiske og etiske aspekter. Eleverne skal udvikle en forståelse af, hvilke effekter teknologiske løsninger kan have i globale, økonomiske, miljømæssige og sociale sammenhænge, herunder viden om, at ingeniørers arbejde indeholder etiske udfordring og dilemmaer, og om det ansvar, man har, når man designer ny produkter. Det betyder, at eleverne også skal have indsigt i, hvad ingeniører laver, og hvad der karakteriserer deres arbejde.

Endelig pegede gruppen på en række generiske kompetencer, som naturligt opøves i forbindelse med vellykkede engineeringprojekter: evne til at samarbejde, til at arbejde i forskellige typer af grupper, til at tage ansvar i en gruppe og til at kunne indtage forskellige roller i et fællesskab. Samt en række mere specifikke kompetencer, som evne til på den ene side at kunne kommunikere omkring tekniske detaljer og beslutninger, og på den anden side at kunne fremlægge løsninger og diskutere fordele og mangler på et ikke-teknisk niveau.

Moore-gruppens beskrivelse af, hvad det er for elementer, der er karakteristiske for engineering i skolen, er meget klar, men også meget omfattende. Projekter, som på den ene eller den anden måde kommer omkring hele det beskrevne aktivitetskompleks, kræver både lærere, som har opnået stor fortrolighed med at arbejde med engineering, og elever, som gradvist er oplært i at arbejde med denne type af projekter. En gennemførelse af alle aspekter vil nok forudsætte, at elementer som ingeniørviden og ingeniørtænkning ekspliciteres og skrives ind i læreplaner.

Endnu en opsummering – ligeledes fra 2014 – anbefaler utvetydigt, at man skal undgå at lægge engineering ind som et selvstændigt element i undervisningen, hvad enten det er i grundskole eller på ungdomsuddannelser. Der følges altså op på tankerne fra *A Framework for K-12 Science Education*, og det fremhæves endnu en gang, at en af styrkerne ved engineering i skolen er, at undervisningen kan integreres i den eksisterende naturfagsundervisning (Cunningham & Carlsen, 2014).

Opsummerende kan man definere engineering i skolen som elevernes arbejde med en systematisk tilgang til at løse problemer, hvor målet er fremlæggelse af konkrete løsninger. Engineering i skolen er karakteriseret ved følgende elementer:

- Designprocessen: problemidentifikation, problemanalyse, planlægning af vej frem mod en løsning samt test, forbedring og evaluering af den valgte løsning.
- Inddragelse af naturfaglig viden, matematik samt viden om materialer og fremstillingsprocesser.
- Engineeringthinking: lære af fejl, vise selvstændighed, refleksivitet, vedholdenhed og inddragelse af tidligere erfaringer.
- Arbejde trinvis og iterativt frem mod løsning i fællesskab med andre.
- Forståelse af historiske og etiske aspekter: analyse og diskussion af hvilke effekter teknologiske løsninger kan have i økonomiske, miljømæssige og sociale sammenhænge, og hvilket ansvar "teknologer" har i denne sammenhæng.
- Træning af generiske kompetencer: samarbejde, kommunikation, analyse, planlægning og beslutningstagen i fællesskab.

3.5 Hvordan underviser man så?

Indholdsbeskrivelser, som den fra Moore-gruppen, eller anbefalinger om at kombinere engineering og science, er rettet mod at afklare undervisningens indhold og placering i forhold til andre fag. De er helt uundværlige på et policyniveau, hvor der udvikles og koordineres læreplaner eller arbejdes overordnet med indhold i nye undervisningsprojekter eller uddannelser.

Overordnede, men realistiske og internt modsigelsesfrie tanker om, hvad undervisningens rammer og indhold skal være, som desuden er i overensstemmelse med skolen øvrige regelsæt og praktiske forhold, er en forudsætning for, at der kan udvikles effektiv og harmonisk undervisning, der styrker elevernes læring.

Indsatser, som i forskellige lande på eksemplarisk vis har bidraget til konkret implementering af engineering i skolen, præsenteres i kapitel 5, hvor det også begrundes, hvorfor vi fremhæver netop disse tre. Senere i kapitel 8 omtales indsatser som eksemplificerer, hvordan engineering kan implementeres i dansk kontekst.

Men først spørgsmålet om, hvorfor man skal arbejde med engineering i skolen.

4 Begrundelser for engineering i skolen

Den allerede omtalte rapport fra 2012 fra USA's National Research Council *A Framework for K-12 Science Education* argumenterede for, at engineering i fremtiden skal udgøre en væsentlig og lige-stillet del af scienceundervisningen. Den opsummerer – eller gentager – et argument for engineering-undervisning, der er givet i mange andre sammenhænge: Naturvidenskab, engineering og teknologi gennemtrænger næsten alle aspekter af det moderne liv, samtidig med at de tre fænomener udgør nøglerne til løsning af menneskehedens mest påtrængende problemer, nu og i fremtiden. Samt at den teknologiske udvikling selv er en del af årsagen til, at vi har problemer som forurening og klima-ændringer.

Derfor er det bydende nødvendigt, at kommende borgere har tilstrækkeligt kendskab til naturvidenskab og engineering for at kunne deltage i offentlige diskussioner om temaer, der er relateret til de to områder, og til at være kritiske brugere af information med naturvidenskabeligt og teknologisk indhold, som har betydning for deres liv. Det udbytte af undervisningen, som rapporten peger på, er så vigtigt, kan opsummeres i kravet om, at uddannelsessystemet skal bibringe eleverne "technological literacy", et begreb, som svarer til det danske "teknologisk dannelse".

4.1 Engineering og teknologisk dannelse

Det vægtigste argument for at uddannelsessystemet bør lægge mere vægt på, at eleverne forstår og kan forholde sig til teknologi som fænomen i samfundet, tager udgangspunkt i den voksende betydning, som teknologi spiller i vores hverdag og for vores overlevelse.

Men hvor engineering i skolen, som der er argumenteret for i kap. 3, efterhånden har en ret præcis profil og er stærkt på vej til at blive et tydeligt element i undervisningen, så kniber det med at give teknologisk dannelse en klar uddannelsesmæssig profil. Det til trods for, at et gennemtænkt og rimeligt præcist bud på, hvad teknologisk dannelse er, har eksisteret i flere år. Igen er det hentet fra en amerikansk rapport, der blev udarbejdet for at foreslå nyt indhold og nye målsætninger for almen undervisning.

Rapporten blev udgivet i 2007 af The International Technology Educators Association (ITEA).⁶ Begrundelsen for at udarbejde rapporten minder meget om de begrundelser, der gives for at indføre engineering, men er formuleret lidt skarpere. Vi bor i et land, indledes rapporten, som i voksende grad er afhængig af teknologi. Til trods for denne kendsgerning er størstedelen af offentligheden uvidende om fundamentale træk ved den teknologi, som holder samfundet i live: *"Resultatet er en offentlighed, som er afkoblet fra de beslutningsprocesser, som er med til at forme samfundets teknologiske fremtid. I et land funderet på demokratiske principper er det en bekymrende situation."* (ITEA, 2007, s.V)

Den samme argumentation og bekymring kunne man overføre til dansk kontekst.

Definitionen af den dannelse, der skal imødegå den generelle uvidenhed om, hvad teknologi er, og hvor det kommer fra, lyder:

Teknologisk dannelse er evnen til at anvende, forvalte, vurdere og forstå teknologi. Et teknologisk dannet menneske forstår – på måder som udvikles og forfines med tiden – hvad teknologi er, hvordan teknologi skabes, hvordan teknologi påvirker samfundet, og hvordan teknologi omvendt selv påvirkes af samfundet. (ITEA, 2007, s. 9)

Det inkluderende demokratiske mål, der skal sikre, at der ikke opstår et modsætningsforhold mellem demokrati og teknologisk udvikling, er således, at alle borgere har et minimum af forståelse af, hvordan teknologier, mennesker og samfund vekselvirker. En særlig del af dette mål er, at kommende

⁶ Organisationen hedder nu ITEEA: The International Technology and Engineering Educators Association.

borgere forstår, hvordan teknologi kommer til verdenen gennem design, herunder hvordan man gennem analyse, systematik, brug af viden, nytænkning og samarbejde kan medvirke til at løse (nogle af) de mange udfordringer, der på alle niveauer venter menneskeheden forude. Og hvordan man vurderer konsekvenser og bæredygtighed af de løsninger, man foreslår. Altså hvordan man arbejder med engineering.

Dermed har engineering en central rolle i det teknologiske aspekt af moderne dannelse. Elever på alle niveauer bør stifte bekendtskab med processer, hvor teknologi skabes i forbindelse med problemløsning. Men netop fordi elevernes erfaringer indgår i et større dannelseskompleks, bør engineering i undervisningen ikke stå alene. Eleverne skal arbejde med problemer, der er hentet fra en "real world context", så eleverne indser, at teknologiske løsninger altid er rettet mod grupper af brugere. Eleverne skal også forstå, at teknologiske løsninger altid har konsekvenser, fordi de er med til at forandre menneskers liv, og dermed den verden, vi lever i.

Således er spørgsmål om, hvilke teknologier vi gerne vil fremme eller udvikle, tæt forbundet til forestillinger om, hvilken verden vi gerne vil leve i. Engineering er dermed et redskab til at gøre verden bedre (eller værre). Også i forbindelse med udvikling af teknologi tvinges man derfor ind i overvejelser af social, miljømæssig eller etisk art. Alene af den grund bør engineeringundervisning være indlejret i aktiviteter i skolen, der omfatter alle aspekter af teknologi.

ITEA-rapporten fremhæver, at undervisning, der fremmer teknologisk dannelse, skal udstrækkes til alle elever. Alle borgere har brug for at forholde sig til store samfundsproblemer med relation til teknologi, dels problemer, som udfordrer til teknologiske løsninger, dels problemer, som er skabt af u hensigtsmæssig brug af teknologi.

I Danmark er det dog vanskeligt at etablere en diskussion om teknologisk dannelse, og om den rolle, engineering kan spille i forhold til denne dannelse. Den mest iøjnefaldende hindring er, at ordet teknologi på dansk bruges med flere vidt forskellige betydninger i forbindelse med undervisning.

Nogle eksempler:

- I det nye fag teknologiforståelse, hvor det betyder *IT-teknologi*.
- Når teknologi omtales i forbindelse med undervisning, hvor det betyder *undervisningsteknologi: tablets, interaktive tavler, ...*
- Som et fag (teknologi) i HTX, hvor det betyder *engineering*.
- I faget natur/teknologi, hvor det betyder *det menneskeskabte i verdenen*.
- I faget teknologihistorie i HTX, hvor det betyder *viden, organisation og redskaber*.
- I forbindelse med engineeringaktiviteter kan "teknologi" referere til *konkrete materialer eller redskaber: Et bræt, en sav, et termometer, en papkasse*.

Denne forvirring står i vejen for en mere tydelig diskussion om, hvad der i dansk sammenhæng menes med STEM, herunder hvad "T'et" står for, og hvad der kan lægges i begrebet "teknologisk dannelse".

En ny dansk rapport, der kortlægger de sidste 10 års initiativer og projekter rettet mod uddannelsessektoren, som i bred forstand kan rubriceres som engineering, peger på, at denne sproglige forvirring udgør en udfordring for lærerne. I rapportens opsummering udtrykkes det således:

Syntesen peger på, at det i indsatser med fokus på teknologi ofte var uklart for lærerne, hvad teknologi dækker over, og hvordan den skulle bidrage til elevernes læring. Dette kunne pege på, at der er behov for en definition af, hvordan teknologi forstås i relation til EiS [dvs. projektet Engineering i skolen], og hvilken rolle teknologi bør spille i "engineering"-forløb. (Waadegaard, 2018, s. 5)

4.2 Engineering og rekruttering til STEM-uddannelser

Et andet argument for at fremme engineering i skolen er, at undervisningen ses som et middel til at få flere unge til at vælge praktisk-teknisk-videnskabelige uddannelser: Engineering vil føre til en anderledes og bedre undervisning – ikke mindst i naturfagene – som gennem at være mere menings- skabende, motiverende og aktiverende i det lange løb vil føre til højere rekruttering.

Argumentet udspringer af en reel bekymring for, at fremtidens unge gennem deres skoleliv ikke får de kompetencer og interesser, der er nødvendige for at bemande fremtidens arbejdsmarked. En lang række initiativer rettet mod uddannelsessektoren er begrundet i denne bekymring og har derfor som mål at øge rekrutteringen. Fx har regeringens teknologipagt som mål, at 20 % flere danskere i løbet af 10 år skal fuldføre en STEM-uddannelse, samt at den danske arbejdsstyrkens STEM-kompetencer skal være blandt de bedste i Europa.⁷

Rekrutteringsudfordringen er påtrængende. Bekymringen for manglende eller forkert uddannet arbejdskraft har i mange år drevet diskussionen om STEM i de industrialiserede lande. Faktisk er STEM-begrebet – som tidligere nævnt – udviklet i forbindelse med to årtiers diskussioner om, hvordan man kan ændre uddannelsessystemet for at løse dette problem, som altså hverken er nyt eller trivielt at løse.

Det indgår som en del af formålet med uddannelsen i både folkeskolen og gymnasiet, at eleverne – ud over meget andet – skal forberedes til videre uddannelse.⁸ Derfor skulle man tro, at argumentet kan bringes direkte ind i skoledebatten: Lykkes det ikke at rekruttere flere og bedre uddannede elever, vil landets konkurrenceevne sættes under pres. Mange muligheder for at fastholde eller skabe arbejdspladser og dermed fastholde indtjening til velfærdssamfundet, vil ikke kunne udnyttes. Og det er lærerne, der står i forreste række, når der skal findes og implementeres løsninger.

Men rekrutteringsargumentet hører til en politisk-økonomiske sfære, og det er tydeligvis ikke et argument, der motiverer lærerne til forandring. Her er det nødvendigt med andre typer af synspunkter og argumenter. Det er nemlig ikke oplagt, at man som underviser, der hver dag står ansigt til ansigt med eleverne, umiddelbart synes, at manglende arbejdskraft er et problem, der skal løses, ved at man ændrer i sin undervisning. For mange lærere giver det ikke mening at ændre undervisning alene for at tilgodese økonomiske interesser. Det vil som minimum kræve, at man – som underviser – er overbevist om, at sådanne ændringer også tjener lærerens centrale dagsorden: at eventuelle ændringer vil være til den enkelte elevs bedste. Og den form for vished findes ikke.

Derfor er mange lærere traditionelt skeptiske over for et politisk-økonomisk argument, som tilsyneladende sætter samfundets og pengestrømmenes logik over en række professionelle lærer-værdier, hvor underviserens primære opgave er at støtte og udfordre eleverne i deres personlige udvikling.

I forbindelse med at begrunde udvikling af engineeringundervisning er rekrutteringsargumentet relevant og anvendeligt i politiske eller samfundsøkonomiske sammenhænge, men som begrundelse over for lærere, der skal begejstres og kompetenceudvikles og i sidste ende ændre praksis i deres arbejde, har det ingen effekt. Hos nogle lærere måske ligefrem en negativ effekt.

4.3 Engineering og bedre naturfagsundervisning

I uddannelsessammenhænge er det dermed dannelsesargumentet, der har størst potentiale. Men som omtalt ovenfor er diskussioner om teknologisk dannelse i dansk sammenhæng ikke tydelige og er vanskelige at få øje på.

⁷ <http://www.teknologipagten.dk/teknologipagten/om-teknologipagten/teknologipagtens-maal>

⁸ For folkeskolen se <https://uvm.dk/folkeskolen/folkeskolens-maal-love-og-regler/om-folkeskolen-og-folkeskolens-formaal/folkeskolens-formaal>. For gymnasiet (her STX) se <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=152507#Kap1>

Derfor får en tredje type af begrundelser for engineering stor betydning, nemlig argumenter om, at engineering kan føre til bedre læring i naturfagene. Denne begrundelse placerer sig midt imellem argumenterne om dannelse og rekruttering. Så længe det ikke specificeres, hvad der forstås ved "bedre" i forbindelse med undervisning i naturfagene, kan man hævde, at bedre undervisning både vil føre til mere moderne dannelse – fordi eleverne vil lære mere og bedre – og til bedre rekruttering, fordi undervisningen vil blive mere vedkommende, mere anvendelsesorienteret og mere motive-rende.

Over de sidste 10 år har der da også været en bølge af interesse for designbaseret undervisning som et middel til fremme af læring i naturfagsundervisning (Capobianco, 2011). Et gennemgående argument er, at engineering – gennem anvendelse – kan føre til bedre forståelse videnskabelige begreber, og i det hele taget til dybere læring (Cunningham, 2018, 4).

Der opregnes områder, hvor engineeringaktiviteter støtter elevernes tilegnelse af STEM-færdigheder og -kompetencer. Eleverne bliver bedre til at:

- evaluere og forklare strukturer, 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.

(Brophy et al., 2008, s. 376, gengivet efter Sillasen, Daugbjerg, & Nielsen, 2017, s. 68).

Dermed peges på, at engineering i undervisningen kan føre til, at eleverne forbedrer deres kritiske tænkning og evner til problemløsning, deres kreativitet, deres evne til at tænke innovativt samt til at kommunikere og samarbejde. Det vil sige, at engineering ikke blot er "a better way to teach science", undervisningen giver også i høj grad anledning til at sigte efter at lære eleverne nye kompetencer (Cunningham, 2018, s. 2).

Også rekrutteringsudfordringen kan løses. The Royal Academy of Engineers mener, at bedre undervisning i engineering vil forøge rekrutteringen til ingeniøruddannelserne i UK: "*The report identifies those learning methods – problem-based and project-based learning, for example – which, when rigorously introduced, are highly effective at teaching learners to think like engineers.*" (Lucas, Hanson, & Claxton, 2014, s. 1)

Endvidere er der røster, der fremhæver, at engineering kan være en vej til at engagere elever, som ellers fravælger naturfag, herunder piger. Fantz skriver: "*The collaborative, socially beneficial aspects of engineering have also been shown to appeal to students whom the field has traditionally failed to engage, including females and underrepresented minorities.*" (Fantz & Katsioloudis, 2011, s. 19). Disse betragtninger støttes af (Cunningham & Lachapelle, 2016).

I de næste kapitler ser vi konkrete initiativer, der arbejder med at indføre engineering i skolen, og vi ser på, hvad der er af dokumentation for effekter af at fremme engineering i skolen, herunder hvad der – efter mindre end to års arbejde – er indhentet af erfaringer i projektet *Engineering i skolen*.

5 Internationale eksempler på engineeringprogrammer

Som eksempler har vi valgt indsatser fra USA, Sverige og UK, som hver især illustrerer væsentlige træk ved de processer, der skal til for at bringe gode intentioner om forbedret undervisning ind i lærernes hverdag, og dermed ind i klasseværelset til eleverne. Altså det sidste trin i den didaktisering, som blev omtalt i kapitel 3.

De tre indsatser er:

1. Engineering is Elementary - Boston Museum of Science, USA.
2. Naturvetenskap och teknik för alla (NTA) - Kungliga Vetenskabernes Akademi, Sverige.
3. Learning to be an engineer – Royal Academy of Engineering, UK.

De to første indsatser har hhv. 15 og 20 år på bagen. Begge demonstrerer værdien af en lang, målrettet indsats samt betydningen af at koordinere en gennemtænkt didaktik med konkrete indsatser og kompetenceudvikling over for lærerne og udvikling af undervisningsmidler, som understøtter både didaktik og implementering. Den tredje og sidste indsats er nyere og viser blandt andet, hvordan det kan være nødvendigt at justere sin implementeringsstrategi, så man sikrer lærernes fokus på en bred og inkluderende tilgang. Det er interessant at se de elementer justeringen fremhæver.

5.1 Engineering is Elementary – Boston, USA

Engineering is Elementary (EiE) er et stjerneeksempel på et engineeringprogram, som arbejder systematisk med at sammentænke undervisningsmaterialer, didaktik- og kompetenceudvikling af lærere. Programmet er forankret ved Museum of Science i Boston, USA, og havde i mange år fokus på engineering for elever fra 0. til 5. klasse (EiE, 2018).

EiE blev startet af Christine Cunningham i 2003, efter at hun i nogle år havde arbejdet ved Tufts University med uddannelse af "rigtige" ingeniører. Der er altså tale om en ægte pionerindsats, der begyndte inden engineering i skolen omkring 2008/9 blev synlig i uddannelsesdebatten. I programmet er formuleret en række begrundelser for at arbejde med engineering i grundskolen. Engineering, skriver Cunningham,

- hjælper børn med at forstå og forbedre deres verden
- nærer problemløsningsfærdigheder og -lyst
- kan øge motivation, engagement, ansvarlighed og evne til læring
- kan forbedre læring i matematik og naturfag
- kan øge adgangen til STEM-karrierer
- fremmer uddannelsesmæssig lighed
- har potentialet til at ændre undervisningsformer
- er inkluderet nationale og delstaters undervisningsstandarder.

(Cunningham, 2018a, s. 14-19)

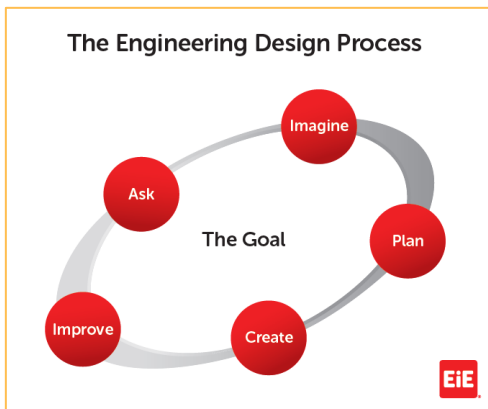
EiE baserer sig på gennemprøvede og detaljerede undervisningsmaterialer. I skrivende stund er der udviklet 20 materialer (EiE, 2018). Projektmedarbejdere og deltagende lærere bruger cirka 3000 arbejdstimer på at udvikle og teste et undervisningsmateriale, inden det bliver markedsført på EiE's hjemmeside⁹.

Lærere kommer på tredages workshops for at lære at bruge materialerne, herefter skal de selv forstå implementering og videreudvikle brugen af materialet. EiE's kompetenceudvikling er ikke tilrettelagt som en vekselvirkningsuddannelse, hvor lærerne som en del af kompetencekurset sendes

⁹ www.eie.org

hjem for at afprøve materialerne i egne klasser og så vender tilbage for at følge op på deres erfaringer. Derfor indeholder undervisningsmaterialerne en omfattende og detaljeret lærerguide med arbejdsark, der minutløst kan understøtte alle arbejdsprocesser. Konceptet kan bedst karakteriseres som undervisning efter en opskrift, hvor alt er beskrevet for læreren.

Et givet undervisningsmateriale (en "teaching unit") dækker 6-8 lektioners undervisning og følger en stram struktur opbygget af fire undersøgelsesaktiviteter ("lessons"), hvor den fjerde aktivitet er den egentlige engineeringopgave.



Materialerne tager udgangspunkt i en introducerende historie (et narrativ), som refererer til konkrete personer i en autentisk sammenhæng. Historien skal åbne udfordringen i materialet for eleverne og sætte den ind i en "real life"-sammenhæng. Herefter arbejder eleverne med velbeskrevne og instruerende undersøgelser, inden de går i gang med selv at udvikle en løsning på det beskrevne problem. Det indledende arbejde skal give eleverne kendskab til de materialer, de senere skal arbejde med. I den selvstændige engineeringaktivitet arbejder eleverne med fem delfaser, som i oversættelse er: Spørg, Forestil, Planlæg, Skab og Forbedr (se figuren).

EiE vægter, at deres materialer kan inkludere så mange forskellige elever som muligt, hvorfor der er udviklet et sæt kriterier for udviklingen af undervisningsmaterialer i EiE, der også er tænkt som inspiration for lærere, når de tilpasser materialerne til deres egne elever (Cunningham & Lachapelle, 2016). Cunningham og Lachapelle opstiller 14 designprincipper for materialer og undervisning, som støtter differentiering i engineeringaktiviteter. Principperne er samlet i fire kategorier i tabellen (se næste side).

| Kategori | Designprincipper |
|---|--|
| Placér læring i autentisk kontekst. | <ul style="list-style-type: none"> - Demonstrér, hvordan ingeniører hjælper mennesker, dyr, miljøet og samfundet. - Brug narrativer til at udvikle og motivere elevens forståelse af engineerings placering i verden. - Brug rollemodeller med en stor demografisk spredning. |
| Præsenteér designudfordringer, som er autentiske i forhold til ingeniørers praksis. | <ul style="list-style-type: none"> - Værdisæt fejl som en læringsmulighed. - Sikre at designudfordringen er åben. - Lav designudfordringer, som kan evalueres både kvalitativt og kvantitativt. - Fremelsk samarbejde og teamarbejde. - Engager elever i aktive, hands-on og undersøgelsesbaserede engineeringudfordringer. |
| Stilladsér elevernes arbejde. | <ul style="list-style-type: none"> - Antag ingen forhåndskendskab til materialer, opgave og sprogbrug. - Modellér og eksplicitér engineering-arbejdsprocesser. - Lav aktiviteter som er fleksible ift. forskellige elevs behov og kompetencer. |
| Demonstrér, at alle kan arbejde som en ingeniør. | <ul style="list-style-type: none"> - Udvikl udfordringer, som kræver billige og let tilgængelige materialer. - Skab et læringsmiljø, som anerkender ALLE elevs idéer, og bidrag til designprocessen. - Fremelsk elevernes aktive engagement i designprocessen. |

I en dansk kontekst kan man lade sig inspirere af den systematik, som EiE arbejder med i deres udvikling og kvalitetssikring af både undervisningsmaterialer, didaktik og kompetenceudvikling. Men materialerne er udviklet til en amerikansk undervisningstradition, hvor især lærerrollen er anderledes end i en gennemsnitlig dansk skole. Derfor har undervisningsmaterialerne og didaktikken i lærer guiderne en beskaffenhed, som for en gennemsnitlig dansk lærer sikkert vil virke alt for styrende, og materialerne kan derfor ikke overføres til en dansk sammenhæng gennem en simpel oversættelse. Men der er opsamlet mange erfaringer i projektet, og fx vil udviklingskriterierne i tabellen ovenfor have relevans for udviklere af engineeringundervisningsmaterialer i Danmark.

5.2 Naturvetenskap och teknik för alla (NTA) – Sverige

Selv om NTA-programmet primært er udviklet for at understøtte undervisning i naturfag, er det medtaget her som inspiration, fordi programmet har løst to væsentlige udfordringer, som også vil være udfordringer, hvis engineering skal implementeres systematisk i skoler i Danmark. For det første har NTA udviklet en forretningsmodel for, hvordan implementering af deres undervisningsmaterialer kan kobles med kompetenceudvikling af lærere. For det andet har de løst udfordringen med at finde materialer til undersøgende aktiviteter. Ligesom med engineering i skolen er de undersøgende aktiviteter i NTA meget materialekrævende. Disse pointer uddybes nedenfor.

Kernen i NTA er tematiske kasser med praktiske materialer, arbejdsark til eleverne og lærervejledning til at arbejde eksperimenterende og praktisk med naturfag og teknik. Disse kasser bliver distribueret fra regionale NTA-centre placeret rundt i Sverige. Skolerne skal melde sig ind i NTA-foreningen og betale en årlig afgift for at få stillet kasserne til rådighed. Endvidere skal lærere på kursus i den pågældende kasses emne, før de får lov til at modtage og undervise ud fra den aktuelle kasse.

NTA fejrede 20-års jubilæum i 2017. NTA er nu – i 2017 – udbredt til 138 ud af 212 kommuner i Sverige, og cirka 210.000 elever fra 0. til 9. klasse arbejdede med NTA-temakasser sammen med i alt cirka 11.000 lærere og pædagoger. NTA har et repertoire med i alt 26 forskellige temakasser med temaer som fx "afprøv teknik", "bevægelse og konstruktion" og "materialers egenskaber" (Naturvetenskap och teknik för alle, 2018).

NTA's organisering af undervisningsmaterialer i form af temakasser har løst en udfordring, som danske lærere påpeger i projektet *Engineering i skolen*, nemlig at skaffe byggematerialer til at gennemføre engineeringforløb med. NTA har dermed gjort det muligt for lærere at få deres elever til at arbejde systematisk og alsidigt med undersøgelser i naturfagsundervisning. Endvidere har NTA succesfuldt adresseret udfordringen med at træne lærerne i brug af materialerne ved – som omtalt – at kræve, at lærerne ikke kan få adgang til at bruge en temakasse, medmindre de først kommer på kursus. Dermed skabes et stærkt incitament for kompetenceudvikling, og samtidig sikres implementering af didaktikken knyttet til de enkelte undervisningsforløb og temakasser.

Eksempel på materialekasse

Et af materialerne fra NTA handler om energiforsyning og bæredygtig udvikling. Dette materiale er beregnet for 7.-9. klasse, svarende aldersmæssigt til den danske overbygning i grundskolen.

Materialet behandler energiforsyning i 6 trin med forskellige opgaver som fx:

- trin 1: Eleverne arbejder med energiforsyningens konsekvenser for klimaforandring gennem stillingtagen til dilemmaer.
- ...
- trin 3: Eleverne arbejder systematisk og naturvidenskabeligt med at undersøge, hvordan man kan spare på energi i sin hverdag.
- ...
- trin 6: Eleverne bruger deres viden om klima, energi og bæredygtighed til at forsøge at påvirke den førte energipolitik eller til at udvikle lokale energibesparende tiltag på skolen.

<http://www.ntaskolutveckling.se/globalassets/dokument-till-teman/energi-och-hallbar-utveckling/energi-och-hallbar-utveckling.pdf>

Umiddelbart er NTA-aktiviteterne ikke italesat som engineering, men den pædagogiske tilgang har samme vægt på elevernes praktiske og selvstændige eksperimenter med naturfaglige fænomener (Schoultz, 2018). Undervisningsmaterialerne skaber rum for elevers gensidige kommunikation og teoriudvikling begrundet i, at sproget er vigtigt for udviklingen af elevernes naturfaglige forståelse.

En aktuell spørgeskemaundersøgelse med deltagelse fra 863 lærere, som bruger NTA-materialerne, peger på, at lærere generelt føler sig bedre i stand til at undervise i såvel naturvidenskab som teknik med NTA-materialerne ("Verktygslådan" NTA:s stöd för lokal utvärdering och systematiskt kvalitetsarbete-några resultat från år 2018, n.d.). Lærerne angiver også, at elevernes læring og interesse øges med brug af NTA-materialerne. Et andet nyligt studie har sammenlignet svenske elevers prøveresultater afhængigt af, om de har deltaget i NTA eller ej. Studiet sammenlignede to årganges resultater i de afsluttende prøver i 9. klasse. Undersøgelsen viser, at elever, som havde deltaget i NTA, klarede sig signifikant bedre i fysikprøverne, end elever, som ikke havde deltaget i NTA-baseret undervisning (Mellander & Svårdh, 2015).

Undersøgelsen kunne derimod ikke påvise nogen statistisk forskel for fagene biologi og geografi. En lidt ældre undersøgelse af mellemtrinselevers udbytte af deltagelse i NTA viste, at 5.-klasses elever, som havde deltaget i undervisning baseret på materialer fra NTA, klarede sig bedre i interviewbaserede dialoger om naturvidenskab og teknik, end elever, som ikke havde deltaget i NTA-baseret undervisning (Anderhag & Wickman, 2007).

De to studier kan dog ikke bruges til at sige noget generelt om, hvordan NTA påvirker elevers læring i naturfag, da forhold vedrørende forældrebaggrund og læreres forskellige brug af NTA-materialerne i forskellige naturfag gør sammenstilling og generalisering vanskelig. Samlet tyder disse undersøgelser dog på, at NTA har en positiv effekt på elevers læring, når det bruges, men uden at der kan identificeres detaljer i, hvilken del af NTA-indsatsen der har den fundne effekt.

5.3 Learning to be an engineer – UK

En potentiel udfordring for implementering af engineeringprogrammer i undervisningen ligger i – uden blik for helheden – at gå direkte efter, at ændret undervisning skal resultere i større rekruttering til bestemte uddannelser, fx ingeniøruddannelser, uden at tage de nødvendige hensyn til den virkelighed, som grundskolelærere og skoler står i. De tidlige initiativer fra det engelske Royal Academy of Engineering (RAoE) havde et fokuseret mål om, at alle niveauer i det britiske uddannelsessystem skulle inkludere en præmis om at udvikle elever og studerende, der tænker som ingeniører (Lucas et al., 2014).

Siden har RAoE ændret syn på, hvad der kræves af en indsats i skolen, som kan fremme deres målsætning, og har nu indarbejdet elementer af tidssvarende pædagogik i deres program i form af tværfaglighed, problembaseret undervisning, lærerkontakt og elevsamarbejde, som alle også er væsentlige pædagogiske elementer i dansk grundskole. Endnu vigtigere har RAoE udviklet en forandringsteori, som fremhæver nødvendigheden af at støtte lærernes udvikling gennem professionelle læringsfællesskaber, da dette vil sikre en bedre forståelse af, hvad lærere og skoleledere skal forandre i deres daglige praksis for at inkludere engineeringundervisning.

Det reviderede initiativ – 'Learning to be an engineer' (se fx The Royal Academy of Engineering, 2018) – beskriver ingeniørers arbejds- og tænkemåder som bestående af systematisk tænkning, tilpasning, problemidentifikation, samarbejde, idérigdom, etisk hensyntagen og nysgerrighed. Hensigten er stadig at få flere unge til at overveje en karriere som ingeniør gennem at fokusere mere på ingeniørers arbejds- og tænkemåder i den daglige undervisning. Der skal udvikles undervisnings- og læringsmetoder, som understøtter en sådan udvikling, samtidig med at lærere skal uddannes til at inkludere ingeniørers arbejds- og tænkemåder i deres daglige undervisning. Denne udvikling skal gennem professionelle læringsfællesskaber implementere en række tidssvarende pædagogiske og didaktiske idéer, bl.a. skal undervisning undgå tidligt at karakterisere børn og unge som enten humanistiske eller naturvidenskabelige, børn og unge skal have mulighed for fysisk at fremstille ting i deres skolegang, og skolehverdagen skal have tid og plads for kreativ tænkning.

Denne integrerede indsats har været centreret omkring efteruddannelse af lærere, som har fulgt fire principper, der alle er rettet mod at implementere "engineering habits of mind" (Oversat: ingeniørers systematiske tænkemåde):

- Lærere og elever skal fuldt forstå ingeniørers arbejds- og tænkemåder og kunne genkende dem, når de bliver anvendt succesfuldt.
- Lærere skal skabe et klima, hvor arbejds- og tænkemåderne styrkes og bliver anerkendt.
- Lærere skal vælge undervisningsmetoder, der fremmer praksis med og udveksling af arbejds- og tænkemåderne.
- Lærere skal udvikle elevs engagement i arbejds- og tænkemåderne.

(Lucas, Hanson, Bianchi, & Chippindall, 2017)

En gruppe ved Centre for Real-World Learning ved Winchester Universitet har gennemført en evaluering af de første års indsats med 'Learning to be an engineer' (Lucas et al., 2017). Evalueringen baserer sig på casestudier af 12 skoler svarende til den danske grundskole. Den viser bl.a., at det er muligt at fremme ingeniørers arbejds- og tænkemåder i grundskolen gennem tre pædagogiske tiltag: 1. En genkendelig engineeringdesignproces, 2. En lystbetonet afprøvning af forskellige løsninger ['tinkering'] og 3. Autentiske møder med ingeniører.

Eksempel fra engelsk skole

Lærere fra en primary school (dvs. elever fra 4-11 år) fra Haslemere i West Sussex har arbejdet med at lære eleverne, at der ikke er forkerte svar. Lærerne arbejdede med at støtte eleverne i deres problemformulering og problemløsning gennem brug af mindmap for at fremme elevernes visualisering af mulige løsninger, generelt arbejdede de med at fremme elevernes forbedring, og tilpasning er deres løsninger. En lærer fra anden klasse (aldersmæssigt svarende til dansk børnehaveklasse) udtaler:

"Children were better able to approach a task without having to ask for help, and the ideas that they were coming up with were more exciting, complex and individual. Many children in the class who would have previously remained silent during carpet time were independently offering answers and opinions to questions asked, in addition to this the answers given were at an overall higher level. Children were able to explain their ideas using suitable words and logic to the rest of the class with confidence."

Generelt finder lærerne fra anden klasse på denne skole, at eleverne er mere udholdende og robuste, og de har mere selvtillid og vilje til at øge deres indsats for at lære.

https://www.raeng.org.uk/publications/other/i_camelsdale-case

6 Engineeringundervisning og elevernes udbytte

Dette kapitel redegør for de læringsmæssige og holdningsmæssige virkninger af engineeringundervisning baseret på nyere artikler, som vurderes at leve op til en række metodemæssige kvalitetskriterier, hvoraf det vigtigste er, at de er publiceret i velrenommerede og peer-reviewed tidsskrifter inden for uddannelsesforskning.

Resultater af forskningen kan give fingerpeg og vise tendenser, men erfaringerne med engineering som undervisningsmetode – og som forskningsområde – har kun omkring 20-års erfaring at trække på.

Hovedkonklusionerne vedrørende elevernes udbytte er:

1. Engineering ser ud til at gøre en mindre forskel med hensyn til elevernes læring. Størst er læringseffekten, hvad angår bredere STEM-læringsmål (hvad det er, vender vi tilbage til), og mindre virkningsfuld, hvad angår fagfaglig viden i naturfag.
2. I undervisningen har arten og graden af samspil mellem engineeringaktiviteterne og de øvrige STEM-fag stor betydning for elevernes udbytte.
3. Der er ikke muligt entydigt at konkludere, at engineering virker motiverende for alle elevtyper. Resultater fra enkelte studier indikerer, at engineering kan virke motiverende for visse elevgrupper. Et antal studier udpeger en eller flere elevgrupper som begunstigede, men der er sjældent tale om de samme grupper på tværs af studier. Generelt mangler der bedre funderede undersøgelser på dette felt.

En gennemgang af nyere, veldokumenteret forskning giver belæg for at være optimistisk på vegne af engineering i undervisningen. Der er gode muligheder for læring og for at arbejde med at forbedre og ekspandere elevernes udbytte. Pkt. 2 indikerer, at den måde, undervisningen gribes an på, er kritisk, men også, at der er gode grunde til at gennemføre omfattende udviklingsarbejder støttet af følgeforskning, hvis engineeringundervisningens potentiale for alvor skal indfries og dokumenteres. Et eksempel, som kan give inspiration til tilrettelæggelse af et forsknings- og udviklingsarbejde i dansk kontekst, er FITS-modellen (Focus – Investigation – Technological design – Synergy), der omtales nedenfor. FITS ser lovende ud og peger på, hvordan man kan forbedre resultaterne på dette område (van Breukelen, Schure, Michels, & de Vries, 2016).

Det er en væsentlig pointe, at eksperimenter med engineeringundervisning gør en forskel i forhold til den naturfaglige læring, der finder sted i mere traditionel undervisning. Elevernes naturfaglige læring holder niveau, samtidig med at de – når det går godt – lærer en række nye kompetencer såsom samarbejde og problemløsning.

Forskningen giver – mod forventning – ikke belæg for, at engineering er i stand til at nå elevgrupper, som generelt rapporterer, at de har problemer med naturfagsundervisning: Piger, etniske grupper og elever, der er fagligt udfordrede. Tendensen er, at de elever, som i forvejen kan arbejde med åbne projektlignende undervisningsaktiviteter, også vil klare sig godt fagligt med engineering. Men konklusionen er ikke endelig, og vi foreslår at forske mere i, hvorledes engineering bliver en åbning for disse elevgrupper ift. naturfagsundervisning og STEM-karrierer.

I det følgende uddybes ovenstående pointer om, hvilke læringsudbytter eleverne får af engineering i STEM-undervisning (afsnit 6.1), samt evidens for hvorledes undervisningen skal tilrettelægges for at optimere elevernes læring (afsnit 6.2). Afslutningsvist diskuteres, hvordan man kan evaluere udbyttet af engineering (afsnit 6.3), idet der er forskningsmæssig belæg for, at visse former for evaluering bedre understøtter lærernes evaluering af engineeringundervisning. Det er bl.a. relevant, fordi evaluering af elevernes udbytte har vist sig at være en udfordring for undervisere i det danske projekt *Engineering i skolen*.

6.1 Elevernes udbytte af engineering i STEM-undervisning

Resultaterne i dette afsnit kommer fra mere end 20 studier af elevers naturfaglige læring. Studier af elevudbytte betjener sig typisk af før- og eftermålinger af elevernes formåen, interesse m.m. I seriøse studier vil en evt. fremgang blive sammenlignet med en sammenlignelig kontrolgruppe, som ikke har været udsat for den særlige undervisning (RCT-studie), her altså engineering. Ud fra en sådan sammenligning kan man beregne størrelsen af effekten af undervisningen. I litteraturen taler man typisk om effektstørrelser på under 0,3 som ubetydelige, i intervallet 0,4-0,6 anses de at være "moderate", mens effekter større end 0,7 anses for "store".

I forskningen undersøges seks specifikke former for læringsudbytte: 1) elevernes udbytte af tværfaglig STEM-undervisning, 2) elevernes naturfaglige læringsudbytte via arbejde med engineering-aktiviteter, 3) elevernes læring af specifikke læringsmål, 4) elevudbytte af generiske kompetencer, 5) forøget motivation og interesse for de involverede fag og 6) forskellige elevgruppers udbytte afhængig af køn, etnicitet og socioøkonomisk baggrund. Nedenfor opsummeres, hvad forskningen siger om disse seks former for potentielt elevudbytte af engineering, herunder om engineering synes at tilgodese bestemte elevgrupper.

1) Elevernes overordnede naturfaglige udbytte af tværfaglig STEM-undervisning

Gennem metastudier forsøger man at få et overblik over eksisterende evidens ved at opgøre effektstørrelser for alle tilgængelige studier inden for et givet felt. Der findes aktuelt kun et enkelt metastudium, hvor udbyttet af engineering bliver belyst sammen med andre STEM-fag (Becker & Park, 2011). Forfatterne betegner det selv for "foreløbigt", idet kun 28 enkeltstudier er inkluderet. De er ret forskellige mht. deres vægtning af STEM-fagene. Selv om det er svært at kigge på tværs af denne forskellighed, giver oversigten alligevel en første pejling af elevernes typiske udbytte. Fire studier fastlægger det naturfaglige udbytte i et spænd fra ingen til stor effekt. Tre studier, hvor udbyttet er gjort op som overgribende STE-dannelse ("literacy"), viser store effekter (>0.65).

Dermed støtter metastudiet to af de tre hovedkonklusioner i dette kapitel: at engineering har lovende læringspotentiale, og at arten og graden af samspil med de øvrige STEM-fag har stor betydning for elevernes udbytte.

2) Det naturfaglige læringsudbytte

Der er stor variation i de dokumenterede elevudbytter, fx konstaterer markante forskere i feltet i en nylig artikel, at resultaterne, hvad angår engineerings evne til at understøtte naturfaglig læring, er "blandede" på alle niveauer af skolesystemet (Guzey, Harwell, Moreno, Peralta, & Moore, 2017, s. 208).

Variationen kan illustreres med en kort omtale af tre specifikke studier:

Blandt de mest opmuntrende er en afprøvning af forskellige varianter af naturfaglig læring via arbejde med engineeringprocesser i undervisning af 12-14-årige hollandske fysikelever. Elevernes læringsudbytte blev opgjort med validerede multiple choice-spørgsmål. I den mest positive variant opnåede man, at eleverne i gennemsnit opsamlede 62 % af det mulige læringsudbytte. Dette anses for at være et højt naturfagligt læringsudbytte. Træk ved den bagvedliggende undervisning omtales nedenfor (van Breukelen et al., 2016).

I et storskalastudium rettet mod 4.-8. klasse i USA, hvor engineering indgik i et designprojektforløb med naturfag og matematik, finder forfatterne, at der er en minimal gevinst i det naturfaglige udbytte (fysik) for elever i mellemskolegruppen. Der er ingen synlig gevinst i matematik – eller i naturfag for de ældre elever i samplet (Selcen Guzey, Harwell, Moreno, Peralta, & Moore, 2017).

En mellemstatus indtager arbejder af J. Kolodner m.fl., som har været centrale for konceptualiseringen af naturfaglig læring gennem arbejde med engineering ("Learning by design"). I deres klassiske studier (fx Kolodner, 2002) er udbyttet i form af naturfaglig viden og færdigheder gjort op vha. standardiserede multiple choice-spørgsmål og videoanalyse af elevernes opførsel i forbindelse med praktiske tests. Konklusionen er, at eleverne, som har gennemført engineeringaktiviteter, klarer sig

lige så godt eller bedre end kontrolelever, hvad angår naturfaglig viden. Samtidig opnår de næsten altid bedre naturfaglige færdigheder.

Med hensyn til elevernes naturfaglige læringsudbytte må man altså være en anelse forbeholden, men kan pege på dokumenterede muligheder for at udvikle bedre undervisning:

- Det naturfaglige udbytte anses i almindelighed for at være "moderat". På baggrund af de eksisterende studier kan man ikke hævde som en generel iagttagelse, at engineering er stærkt fremmende for elevernes naturfaglige læring.
- Der er imidlertid stor variation i elevernes naturfaglige udbytte. Der findes studier/tilgange, som viser, at eleverne under de rette omstændigheder opnår forøget naturfagligt læringsudbytte af engineering.
- Der er ikke fundet belæg for, at engineering formindsker elevernes fagfaglige udbytte. I sig selv er det en relativ succes, at man kan tilføje engineeringaktiviteter og -indsigter, uden at det går ud over den traditionelle læring.

3) Elevernes engineeringudbytte

Der er et antal studier, som formulerer og forfølger selvstændige engineeringmål for elevernes deltagelse i engineering i undervisningen. Dvs. studier, som opgør udbyttet med afsæt i elevernes designprodukter, med hensyn til elevernes evne til at anvende ingeniørers systematiske tænkemåde – engineering habits of mind¹⁰ – eller med afsæt i observation af elevernes adfærd i deres omgang med engineeringudfordringer.

Studier med fokus på elevernes designprodukter baserer sig typisk på, i hvilken udstrækning elevernes design lever op til prædefinerede kvalitetskriterier for den aktuelle problemløsning. Ofte støttes vurderingen af en liste af evalueringskriterier opstillet i en skabelon. Ikke overraskende peger disse studier på, at elever, som har arbejdet med design, viser tydeligt udbytte på designresultater. Riskowski et al. finder således, at designaktiviteter næsten fordobler scoren på konkrete design-overvejelser (Riskowski, Todd, Wee, Dark, & Harbor, 2009), mens Van Breukelen bedømmer elevernes udbytte særdeles højt på næsten alle ekspliciterede kvalitetsparametre (Van Breukelen, Van Meel, & De Vries, 2017).

Studier med fokus på elevernes evne til at tænke i engineering findes i sammenligneligt omfang, men fremstår metodisk svagere end de foregående. Først og fremmest fordi de centrale begreber om fx ingeniørers systematiske tænkemåder ikke er ordentlig ekspliciteret. Mest overbevisende ud fra en metodisk vinkel er et nyt studium, som operationaliserer dele af de engineeringkarakteristika, som Tamare Moore og hendes gruppe har udviklet i NRC-NAE-rapporten, som er omtalt i kapitel 3.3 (Moore et al., 2014). Her måles læringsudbyttet vha. multiple choice-spørgsmål om engineering, bl.a. engineeringprocesser, engineeringthinking og engineeringtools. Opgjort på denne måde finder forfatterne, at eleverne kun forbedrer sig med 5 % af det mulige, når de arbejder med engineering i skolen.

Mere opbyggeligt finder Gero et al. (2017), at talentfulde elevers evne til engineeringssystemtænkning kan forbedres med stor effekt. I grænselandet mellem at afsøge engineeringtænkning og engineeringkompetencer har Lippard et al observeret 3-5-åriges adfærd i dagtilbud mhp. at identificere tegn på, at børnene udvikler deres evne til at arbejde med ingeniørers systematiske arbejdsmetoder. Her ser de børnene udvise systematiske arbejdsmetoder, men ikke hyppigt og ofte løsrevet fra pædagogisk interaktion (Christine N. Lippard, Lamm, & Riley, 2017).

Opsummerende giver litteraturen grund til at mene, at engineeringundervisning vil gavne elevernes evne til at lave engineeringdesignaktiviteter, arbejde med systematisk engineeringtænkning og formentlig også udvise engineeringkompetencer. Der er imidlertid behov for flere og metodisk stærkere

¹⁰ Engineering habits of mind udspringer af projektet "Thinking like an engineer" (Lucas et al., 2014). Se kapitel 5.

studier, før belæg for udbytte i form af engineerings systematiske tænkning og engineeringkompetencer er rigtigt på plads.

4) Elevudbytte i form af generiske kompetencer

Med generiske kompetencer menes her samarbejdsevne, kreativitet, vedholdenhed m.m. Disse former for kompetencer er underbelyst i litteraturen. Der er således kun fundet et par relevante studier, som ikke kan gøre det ud for dækkende evidens på området.

I det ene studium blev eleverne optaget, mens de arbejdede med engineeringudfordringer (Kolodner, 2002). Videoerne blev bagefter analyseret med henblik på at kortlægge elevernes samarbejdsevne og evne til metakognitivt at styre udviklingsprocesser. I forhold til kontrolelever viste engineering-eleverne sig konsekvent bedre, både hvad angår samarbejde og selvregulering.

I det andet studium rapporteres resultater fra engelske caseforsøg med fokus på ingeniørers systematiske tænkemåde, og her konkluderer forfatterne, at eleverne bl.a. udviste *"forbedret gruppesamarbejde, vedholdenhed, kreativitet, tilpasningsevne og tro på egen formået. De [eleverne] viste også forøget evne til at anvende naturfaglig viden i forbindelse med 'real life experiences'"* (Lucas et al., 2017). Det empiriske grundlag er dog noget utydeligt.

Der er således lovende, men endnu ikke tilfredsstillende belæg for denne type læringsudbytte af engineering.

5) Elevernes motivation og interesse for naturfag

Der er ikke noget klart mønster i motivationsstudier, som viser, om engineering i skolen styrker elevers motivation og interesse for naturfag. Mange studier lider under ikke at have et velkonsolideret begreb om motivation/interesse, endsige hvordan disse måles på pålidelig og gyldig vis. Der er dog fundet i hvert fald tre seriøse bud på at anvende, kendte motivationsinstrumenter til studiet af elevmotivation i forbindelse med engineering.

I de simple studier forsøger man blot at fastslå, om engineering har en positiv effekt på elevernes motivation. De få studier tegner ikke et entydigt billede: Nogle studier finder en positiv vækst i elevernes motivation, men lige så hyppigt er motivationsudbyttet forsvindende eller fraværende (Gero & Danino, 2016; Mamlok, R.;Dershimer, C.;Fortus, D.;Krajcik, J.;Marx, 2001; Wendell & Rogers, 2013). I det danske projekt *Engineering i skolen* svarer størstedelen af eleverne dog afslutningsvist positivt, når de stilles over for udsagn som: *"Engineering er med til at skabe en god variation i undervisning, at det er spændende at lære at arbejde på den måde, som ingeniører gør og at engineeringopgaverne er den sjoveste del af undervisningen."* Alt i alt synes det konkrete indhold og den specifikke udformning af engineeringundervisningen at gøre en forskel på elevernes motivation.

Enkelte mere interessante studier støtter dette ved at lokalisere udvalgte aspekter af engineeringundervisningen, som motiverer eleverne. Her peger nogle (Berland et al.) på den eksplorative del af engineeringprocessen som motiverende (L. Berland, Steingut, & Ko, 2014). Fra det danske projekt *Engineering i skolen* viser målinger, at størstedelen af eleverne oplever, at engineering er med til at skabe god variation i undervisningen, og at det er en spændende og sjov måde at lære på.

Andre studier peger imidlertid på, at træk ved den konkrete opgave kan undergrave dette, fx er der indikationer af, at opgaver, som kan mestres vha. systematisk problemløsning, er mere motiverende end opgaver, som kan løses med en tilfældig prøv-dig-frem-tilgang. Igen er tilrettelægnings af undervisningen en kritisk faktor.

I forskningslitteraturen er der en klar præference for at tænke engineeringundervisning inden for en den undervisningstilgang, der betegnes som problembaseret læring (PBL). PBL som undervisningskoncept udfoldes mere i afsnit 6.2. PBL-metoden har været undersøgt i længere tid end engineering, og vi har afsøgt PBL-litteraturen for mere solid evidens for, om PBL virker motiverende for elever. Reviewstudier omkring PBL viser samme divergerende konklusioner om, hvorvidt PBL virker motivationsfremmende for elevers læring (Condliffe, 2017; Galand, Bourgeois, & Frenay, 2005; Hmelo-Silver, 2004; Savin-Baden, 2016).

En mulig forklaring – som også diskuteres i PBL-litteraturen – er, at elever, som i forvejen er gode til åbne arbejdsformer i skolen, også er begejstrede for projektarbejdsformen, og tilsvarende, at elever som har brug for mere struktur og lærerstyring, var mindre begejstrede. Man kunne formode, at den samme årsagsforklaring ligger til grund for det noget divergerende mønster, som tegner sig for, om engineering virker motivationsskabende.

Mens der således ikke er solid forskningsmæssig evidens for de motiverende effekter af engineering-undervisning – eller for PBL. Så findes der, som skrevet ovenfor, enkelte studier, som viser, at enkelte elevgrupper får udbytte, mens det ikke virker motivationsfremmende for andre. Der findes også masser af enkeltstående udsagn fra lærere og andre, der peger på, at elever taler positivt om at arbejde åbent, projektorienteret og problembaseret. Det fremgår for eksempel af den rapport om engineeringlignende tiltag i Danmark, der omtales i kap. 4.2, hvor der opsamlende står: *”Desuden fandt lærerne gennemgående tegn på, at elevernes interesse for naturfag øges ved at arbejde med ’engineering’”* (Waadegaard, 2018, 5). Det samme gør sig gældende i forbindelse med den foreløbige evaluering, der er foretaget i forbindelse med projekt *Engineering i skolen*, som omtalt tidligere i dette afsnit.

Opsummerende må man fastslå, at der er en række uafklarede spørgsmål knyttet til denne type af udbytte. Der er behov for mere forskning for at tilvejebringe overbevisende dokumentation for, at engineering understøtter elevmotivation, hvilke elevgrupper som i særlig grad motiveres, og hvilke faktorer i engineeringundervisningen der kan være med til at optimere elevernes motivationsudbytte.

6) Hvilke elevgrupper tilgodeser engineering i undervisningen?

I forskningslitteraturen studerer man hyppigt, hvordan elevernes udbytte hænger sammen med bestemte baggrundsvariable, såsom alder/klassetrin, køn og fagligt niveau/faglig selvopfattelse. Størst har opmærksomheden været på, om engineering i undervisningen kan minimere læringsgab foranlediget af kulturel eller socioøkonomisk baggrund. I det amerikanske projekt Engineering is Elementary (EiE) er inklusionsmålet centralt og inkorporeret i centrale designprincipper for projektet. I det følgende opsummeres hovedresultaterne af den relativt svage evidens:

Alder: Aldersmæssigt kan man ikke i de eksisterende studier se, at nogle aldersgrupper skulle have større fordel end andre af engineering. For de små børn viser studiet Lippards studium (Lippard, 2018), at børnehavebørn i 3-5 årsalderen udviser engineeringadfærd, om end mere spontant end som konsekvens af velovervejede pædagogiske aktiviteter.

Køn: Kønsmæssigt indikerer studierne, at engineering ikke minimerer gabet mellem drenge og pigers præstation i faget. Tendensen synes snarere at være til drengenes fordel, idet der findes et antal studier, hvor dette ses at være tilfældet, mens der ikke er fundet nogen modsat kønsligt bias. Det hører dog med til denne analyse, at engineeringudfordringerne i mange studier er relateret til visse fysikfaglige indholdsområder (fx ellære), som pigerne vanligvis ikke sætter højt. Måske ville pigernes udbytte blive større, hvis engineeringarbejdet tog afsæt i mere kønsneutrale problemstillinger eller kunne vinkles efter pigeinteresser?

Stærke-svage elever & etnicitet: I den internationale litteratur overlejres analyser for stærke og svage elever ofte af faktorer som etnicitet og socioøkonomisk status. Næsten alle studier tilgodeser visse elevtyper, men det er ikke muligt at identificere generelle træk på tværs af studierne. Ifm. det danske projekt *Engineering i skolen* ser man dog, at elever med størst faglig selvtilid har den mest positive oplevelse af engineering i undervisningen – både hvad angår deres oplevede læringsudbytte og deres affektive oplevelse, fx ønsket om at få mere engineering i undervisningen. Man ser noget tilsvarende i undersøgelser af ”almindeligt” problembaseret arbejde i naturfag (Waadegaard, 2018). Man kan dog forestille sig, at dette resultat ændres, når eleverne har arbejdet med engineering over så lang tid, at også de fagligt svagere elever har nået at vænne sig til de anderledes arbejdsformer.

Opsummerende indikerer studierne på området:

- Aldersvinduet for engineering er stort. Børn og unge i alle aldre op til 18 år får gavn af engineering. Men udbyttet optimeres ved at fastlægge aldersvarende læringsmål og udfordringer.
- Der bør være opmærksomhed på at finde engineeringudfordringer og arbejdsformer, som sikrer, at pigernes særlige interesser tilgodeses i samme grad som drengenes.
- Der er ikke påvist noget konsistent mønster, hvad angår engineering og specifikke elevtypers udbytte mht. elevernes faglige niveau, etnicitet og socioøkonomiske baggrund.

6.2 Engineering undervisning – hvad synes at virke?

I forskningslitteraturen er der en klar præference for at tænke engineeringundervisning inden for den undervisningstilgang, der betegnes som problembaseret læring (PBL), dvs. en elevaktiverende metode, hvor eleverne lærer gennem egne erfaringer ved – generelt gennem arbejde i grupper – at løse et problem, som er åbent i den forstand, at løsningen ikke er fastlagt på forhånd, men dukker op som resultat af elevernes arbejde. (Den tilgang, der anbefales i projekt *Engineering i skolen* er helt i overensstemmelse med PBL-tilgangen).

Modsætningen til PBL er en model, hvor engineeringaktiviteter lægges ind til sidst i et undervisningsforløb, som anvendelse af naturfaglig viden (Ryan, Gane, & Usselman, 2011). Heri ligger en lærerudfordring, idet noviceengineering-lærere synes at foretrække denne tilgang, så inddragelse af engineering ikke kræver en omstrukturering af den ordinære undervisning, men kan gennemføres som et add-on. Da der allerede foreligger en omfattende forskning i PBL-undervisning, er indtrykket, at engineeringforskningen fornuftigt nok trækker på denne forskning, men måske derfor har undladt at føje nye indsigter til. Ofte gengives etablerede PBL-anbefalinger om stilladsering, feedback, spørgeteknik osv. (Mergendoller, Markham, Ravitz, & Larmer, 2006).

En række engineering-specifikke studier rækker dog ud over PBL:

Flere studier peger på, at graden af integration mellem det naturfaglige og engineeringarbejdet er ultimativt vigtig for elevernes naturfaglige udbytte. Kolodner et al. (2002) har elaboreret dette i en særlig Learning-by-design-model, som kobler engineeringprocessen til en tilsvarende naturfaglig undersøgelsesproces på ritualiseret vis. I denne model interagerer engineeringprocessen med en naturfaglig undersøgelsesproces samtidig – i modsætning til den engineeringprocesmodel, som bruges i projekter som *Engineering is Elementary* (se kap. 5) og *Engineering i skolen* (se kap. 8).

I et ambitiøst studium (Van Breukelen et al., 2016) sammenlignes elevudbyttet for forskellige beslægtede Learning-by-design-modeller. Forfatterne finder, at elevernes naturfaglige udbytte bliver særlig højt, når en specifik model (FITS¹¹) anvendes. FITS-modellen har en overskuelig struktur, indeholder et antal eksplicite koblingspunkter mellem engineering og naturfaglig undersøgelsesmetode og foreskriver en bevidst vekselvirkning mellem kontekstualisering og dekontekstualisering af viden, når den flyttes frem og tilbage mellem de to domæner. Resultaterne med FITS-modellen må anses for særdeles lovende og værd at arbejde videre med.

Et enkelt studium (Crotty et al., 2017) godtgør, at engineeringudbyttet klart bliver størst, såfremt engineeringudfordringen introduceres allerede i optakten til et forløb. Dertil kommer, at det er vigtigt for udbyttet, at engineeringaspekterne samles op til sidst og ekspliciteres over for eleverne.

¹¹ (Focus - Investigation - Technological design - Synergy)

Opsummering:

- PBL er det foretrukne paradigme for engineering i undervisningen. Mange anbefalinger kan hentes i litteraturen for denne type læring og undervisning.
- Engineering bør ikke bare indgå som anvendelse af naturfaglig viden ved afslutningen af et forløb. Engineeringudfordringen bør introduceres som fokuserende omstændighed allerede i op-takten til et forløb.
- FITS-modellen forekommer at være det aktuelt bedst underbyggede bud på en specifik engineeringundervisningsmodel, der tilgodeser det naturfaglige udbytte.

6.3 Evaluering af engineering i undervisningen

Formulering og evaluering af specifikke engineeringmål har vist sig at være en udfordring for danske lærere i projektet *Engineering i skolen*. Den internationale forskningslitteratur indeholder imidlertid evalueringstilgange, som potentielt vil kunne inspirere såvel undervisere som forskere i engineering. Nedenfor ekstraheres væsentlige træk og resultater for evaluering med fokus på designprodukter, på tilegnet viden om engineering samt nogle forsøg på at evaluere elevers arbejde i engineering design processen.

Evaluering af designprodukter: Denne type af evaluering forekommer hyppigt og da typisk med afsæt i eksplicite kvalitetskriterier, som er specificeret for de aktuelle produktformer forud for gennemførelsen af engineeringforløbet. Til gavn for både elever, lærere og forskere indarbejdes disse kvalitetskriterier ofte i rubrics. De kriterier, som er mest generelt anvendelige, er ifølge Chien et al. (Chien & Chu, 2018) nyhedsværdi (form, materialer, struktur), funktionalitet (holdbarhed, brugbarhed) og sofistikation (konsistens, attraktivitet). Alt tyder på, at denne type evaluering kan gennemføres på ganske pålidelig vis.

Evaluering vha. spørgeskemaer med fokus på viden om engineering: Mange studier af denne type anvender spørgeskemaer "opfundet til lejligheden", hvilket gør det uklart, om de indfanger det væsentlige på pålidelig vis. Hvad det kunne være væsentligt at spørge til, fremgår fx af den rammesætning som (Moore et al., 2014) har lavet. Den mest givende evalueringsform giver eleverne mulighed for at svare åbent på spørgsmålene, men der er kun fundet studier, hvor eleverne svarer i et lukket multiple choice-format. I et af de mere perspektivrige og generaliserbare studier af denne type har forfatterne udarbejdet Elementary Engineering Test (Crotty et al., 2017), som fokuserer på viden om engineering (og teknologi). Interessant for engineeringundervisningen er også et generelt elevselvevalueringsskema for den systematiske arbejdsmetode, som findes hos Lucas et al. (Lucas et al., 2017).

Evaluering af engineeringkompetencer: Principielt bør engineeringkompetencer observeres, enten mens eleverne arbejder med engineering i undervisningen eller afdækkes via videoklip fra arbejdsprocessen. Det forudsætter, at man kan basere sig på en konsensusforståelse af, hvad engineeringkompetence er. Dette foreligger der p.t. kun tilløb til, fx den tidligere omtalte forståelsesramme af Moore et al. (2014).

I litteraturen er der kun få forsøg på at observere engineeringkompetence: Lippard et al (2018) observerer 3-5-åriges systematiske arbejdsmetoder vha. et semistruktureret observationsredskab. Riskowski et al. (2009) kombinerer engineeringproduktevaluering med observation af elevernes fremlæggelser og produktpræsentationer. Denne sidste komponent giver et vist indblik i fx elevernes designovervejelser og relaterede engineeringkompetencer. Kolodner et al. (2002) formulerer sig ganske vist ikke i kompetencetermer, men studiet er måske alligevel det mest lovende ud fra et kompetenceperspektiv. Forfatterne analyserer nemlig videooptagelser af elevernes arbejde vha. en rubric – som dog først og fremmest tillader dem at vurdere generiske kompetencer, bl.a. elevernes evne til samarbejde og selvregulering.

En anden tilgang består i at knytte engineeringdelkompetencer til de forskellige trin i engineering-designprocessen. Ved at indsamle passende elevartefakter fra de forskellige trin i designprocesser får man således et indtryk af, hvorledes eleverne mestrer dette trin i processen. Chien & Chu (2018) indsamler således fx designovervejelser og designskitser samt optegnelser omkring forbedringer i designet.

Opsummering:

- Evaluering af elevernes designprodukter er udbredt og foregår hyppigt på pålidelig vis – med afsæt i ekspliciterede kvalitetskriterier og anvendelse af rubrics.
- Der foreligger bud på, hvad elever bør vide om engineering – og i hvert fald én konkret survey, som forfølger dette udbytte. Med fordel vil man kunne udvide denne, så eleverne får mulighed for at svare åbent og kvalitativt.
- Evaluering af engineeringkompetencer forudsætter en fælles forståelse af disse. Det findes der desværre ikke på nuværende tidspunkt. Metodisk ser man eksempler på både semistruktureret observation i klasserummet og vurdering ud fra videoklip af elevernes arbejde.

7 Kompetenceudvikling af lærere

Som det fremgår af kap. 6.2, afhænger det læringsmæssige udbytte af engineeringundervisning stærkt af den måde, undervisningen gribes an på, ikke mindst hvordan engineeringaktiviteter integreres med brug af naturfaglig viden. Kapitlet peger på karakteristika ved typer af undervisning, som kan fremme, at der samtidig sker læring på tre niveauer: 1. Med hensyn til selve designaktiviteterne, 2. Med hensyn til generiske kompetencer som samarbejdsevne, processtyring og selvregulering/vedholdenhed, og 3. Med hensyn til læring af naturfaglige processer, begreber og viden.

Ifølge en række nordamerikanske studier er STEM-lærere generelt interesserede i at udnytte det potentiale, som engineeringundervisning har for at fremme læring i STEM-fagene. Lærere, der har deltaget i engineeringundervisning, har blandt andet demonstreret kompetencer til at planlægge og gennemføre tværfaglig engineeringundervisning i overensstemmelse med nationale standarder. Lærerne var derimod ikke umiddelbart gode til at inspirere deres elever til at anvende naturfaglig viden til at undersøge og forklare prototypers virkemåde (L. K. Berland, 2013; Capobianco & Rupp, 2014; Shernoff, Sinha, Bressler, & Ginsburg, 2017). Lysten var altså til stede hos lærerne, og lærerne var i stand til at mobilisere generelle pædagogiske kompetencer, men det naturfaglige læringspotentiale i arbejdet med engineeringaktiviteterne blev ikke udnyttet fuldt ud.

Samtidig er der konsensus om, at udvikling af lærerkompetencer er en nøgleparameter for succesfulde forandringer af naturfagsundervisningen, som fx implementering af engineering i skolen (van Driel, Meirink, van Veen, & Zwart, 2012).

Det betyder, at bred, succesfuld implementering af engineering i undervisningen forudsætter, at lærere, der vil arbejde med engineering, hører om disse metoder og uddannes i at bruge dem i deres undervisning. Ud over behovet for en kvalificering af allerede uddannede læreres viden og metoder er der også behov for, at engineering indarbejdes i læreruddannelsen, samt at der arbejdes med at udvikle og forfine de nye metoder i praksis gennem eksperimenter og forskning.

I dette kapitel adresseres, hvordan lærere kan kompetenceudvikles til at arbejde med de lovende nye metoder og dermed anvende engineering i deres egen undervisningspraksis. Undervejs ser vi på de udfordringer, lærerne oplever ved at arbejde med engineering.

7.1 Lærere, engineering og kompetenceudvikling

En række internationale studier identificerer nogle af de udfordringer, som lærere oplever ved at implementere engineering og designprocesser i deres undervisning. En af de alvorlige og hyppigt forekommende er mangel på tid og ledelsesmæssig opbakning (Kelley & Wicklein, 2009). Denne udfordring er imidlertid ikke specifik for engineering, men er en helt generel – næsten systemisk – udfordring, som desværre plager alt for mange initiativer rettet mod at indføre nye emner eller nye metoder i undervisningen over hele verdenen.

Mere specifikt for engineering peger studier på, at mange lærere, der ikke er kompetenceudviklet, mangler selvtillid til at undervise i engineering og designprocesser (Brophy et al, 2008), samt at de kan have negative opfattelser af, hvad engineering kan bidrage med til deres faglige undervisning (Hynes & dos Santos, 2007; Wang, Moore, Roehrig, & Park, 2011).

Disse udfordringer for lærerne omtales også i en nyere kortlægning over aktiviteter inden for engineering i bred forstand, der har fundet sted inden for de sidste 10 år i Danmark. Kortlægningen viser, at mange lærere, der på forskellig vis har prøvet at arbejde med engineering, blev udfordret på deres opfattelse af, hvad god undervisning er, herunder hvilken rolle de har som lærere. I mange tilfælde havde lærerne problemer med at indtage en vejledende rolle og lade eleverne om at tage beslutninger eller lave fejl, eller lærerne havde problemer med at formulere undervisningens mål, eller med manglende erfaring i at skelne mellem produkt og proces i undervisningen.

Samtidig rapporterer kortlægningen meget opløftende, at selv om mange læreres første selvbestaltede forsøg med engineering var frustrerende for både lærer og elever, så viste vedholdenhed gennem gentagelser, at det er muligt for både lærere og elever at komme frem til en klarere og bedre forståelse af, hvordan man kan undervise – og lære – i engineeringforløb. En lærer forklarer fx, hvordan han i starten havde stort fokus på det produkt, eleverne kom frem til. Først senere gik det op for ham, at det er processen, der er det essentielle for læreren at overskue, træne og supportere.

De lærere, der gennem gentagelser fik mere styr på undervisningen, rapporterer i kortlægningen om elevlæring, som dækkede mange forskellige generiske kompetencer, samt om mere traditionelt fagligt læringsudbytte. Desuden fandt lærerne gennemgående tegn på, at elevernes interesse for naturfag øges ved at arbejde med “engineering”. I starten var lærerne ofte bekymrede for, om eleverne også opnåede tilstrækkeligt fagligt udbytte, hvilket synes at hænge sammen med lærernes traditionelle forståelse af faglighed og faglige kompetencer, som ikke tilgodeser, at eleverne gerne skal kunne anvende faget i praksis. Det er således vigtigt, at lærerne bliver klar over, at engineering er en måde at realisere ambitionerne i grundskolens Forenklede Fælles Mål, som rækker ud over de konkrete aktiviteter i undervisningen og peger frem mod, hvad eleverne skal kunne med naturfagene – også uden for skolen (Waadegaard, 2018).

Læreres engineering vidensbase

I den internationale litteratur findes der forslag til, hvilken vidensbase lærere bør besidde for at kunne undervise i engineering. Ikke overraskende foreslås i grove træk, at lærerne skal have kendskab til de områder, der er beskrevet i slutningen af kapitel 2. Lærernes faglige og didaktiske vidensbase bør ideelt omfatte kendskab til: 1. Engineeringdesignprocessen, 2. Basale teknologier fra forskellige discipliner (mekanik, elektriske kredsløb, produktion, kommunikation, miljø, energi etc.), 3. Materialekendskab (fordele og ulemper ved forskellige materialer i forhold til forskellige udfordringer), 4. Ingeniørprofessionen, 5. Nødvendig matematik og naturvidenskab, 6. Elevernes fejlopfattelser, udfordringer og interesser, 7. Autentiske engineeringeksempler, som kan engagere eleverne på relevant naturfagligt niveau, 8. Strategier til at fremme elevernes naturfaglige læring, mens de arbejder med engineering (Hynes, 2007; Leonard, Hall, & Derry, 2011).

Erfaringer om kompetenceudvikling af lærere til at anvende engineering i egen undervisningspraksis udspringer ikke kun af forskningslitteraturen vedrørende engineering. Mange centrale pointer kan hentes fra den brede litteratur om naturfagslæreres kompetenceudvikling. De oftest nævnte komponenter, som gør læreres kompetenceudvikling effektiv, er udvikling af lærernes faglige og pædagogiske viden, tilstrækkelig tid og ressourcer, introduktion til evalueringsstrategier samt muligheder for kollegial samarbejde og erfaringsudveksling i længerevarende skolebaserede kontekster (Guskey, 2003; Guzey et al., 2017).

Litteraturen om læreres engineeringkompetenceudvikling betoner særligt vekseluddannelse som en produktiv måde for lærere til at udvikle deres egen undervisningspraksis (Guzey, Tank, Wang, Roehrig, & Moore, 2014; Sun & Strobel, 2014). I vekseluddannelse afprøver lærerne først engineeringdidaktikken og undervisningsmaterialer egenhændigt på workshops. Dernæst planlægger, gennemfører og observerer lærerne en engineeringaktivitet i egen undervisning, og afslutningsvis reflekterer grupper af lærere kollektivt over deres oparbejdede erfaringer på en efterfølgende workshop. Denne vekslen mellem fælles workshops og praksisafprøvning hjemme på skolen anvendes med stor succes i det igangværende projekt *Engineering i skolen*, som p.t. afvikles i Lyngby-Taarbæk Kommune, Holstebro Kommune, Horsens Kommune og Vejle Kommune¹². I dette projekt har vekseluddannelsen været tilrettelagt som aktionslæringsforløb, hvor de deltagende lærere selv valgte deres fokus i afprøvningen af engineeringundervisning på egen skole.

Evalueringen af projekt *Engineering i skolen* viser, at kompetenceudviklingen tilrettelagt som vekseluddannelse med inspiration efter QUEST-projektet¹³ bidrager til at løse nogle af de nævnte udfordringer. For det første har vi i projektet tilrettelagt et lederspor, som prompter lederne til at skabe rum til udvikling og videndeling på skolen. For det andet har deltagelse i projektet styrket lærernes

¹² www.engineeringiskolen.dk

¹³ <http://projekter.au.dk/q-model/>

selvtillid samt nedbrudt en skepsis med hensyn til at inddrage engineering i deres undervisningspraksis. Endelig har aktionslæring givet lærerne mulighed for at eksperimentere med deres lærerrolle, så eleverne kom til at arbejde med større frihedsgrader og fx lære af deres fejl.

8 Engineering i det danske skolesystem

Dette kapitel handler om engineering i det danske skolesystem både i grundskolen og på ungdomsuddannelserne. Indledningsvis skal det pointeres, at engineering har fællestræk med mange eksisterende arbejdsformer i skolen¹⁴. Det er således nødvendigt at overveje, hvordan der skabes et konstruktivt samspil mellem disse arbejdsformer, så implementering af engineering i skolen opleves som et positivt bidrag til undervisningen.

Kapitlet tager derfor afsæt i, hvordan man konkret arbejder med engineering i skolen i dag, hvad de foreløbige erfaringer er, herunder vil vi pointere, hvad der fungerer godt og mindre godt set i lyset af nogle af ovennævnte eksisterende krav, traditioner og initiativer. Afslutningsvis vil vi fokusere på potentialer i forhold til andre fag end naturfag og i ungdomsuddannelserne.

Vi har valgt her at eksemplificere, hvorledes der aktuelt arbejdes med engineering i skolen, gennem omtale af projektet Engineering i skolen, som retter sig bredt mod naturfagsundervisningen i grundskolen. Valget er delvist begrundet af, at samtlige af forfatterne på forskellig vis er involveret i projektet.

8.1 Engineering i skolen – et konkret eksempel

Projektet *Engineering i skolen* er i udgangspunktet berammet til perioden 2017-20. Projektet omfatter både efteruddannelse af lærere i engineering, udvikling af materialer til engineeringundervisningen, herunder udvikling af en dansk engineeringdidaktik, samt følgeforskning mhp. løbende at optimere de forskellige komponenter og dokumentere lærere og elevers oplevede udbytte.

Udviklede materialer – et afsæt for den praktiske engineeringundervisning

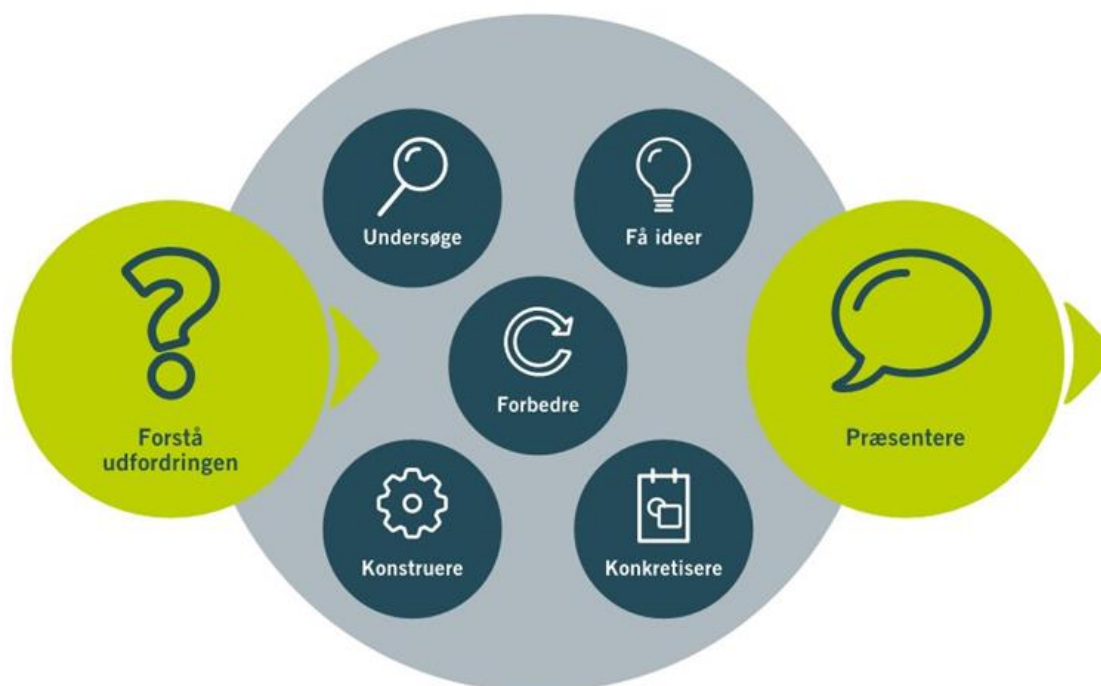
I projektet udvikles undervisningsmaterialer, som er tilgængelig for lærerne på Astra.dk. Tre ud af fire lærere bruger netop disse undervisningsmaterialer som en del af deres deltagelse i kompetenceudviklingskurser i projektet. De resterende lærere redesigner eksisterende undervisningsforløb, som de kender fra deres almindelige naturfagsundervisning.

Materialeudviklingen i projektet er en igangværende proces, der baserer sig på nogle designprincipper, som henter inspiration fra international forskning (Auner et al., 2018). Aktuelt er der otte undervisningsmaterialer om så forskellige problemstillinger som fx 'Dyrk planter på Mars', 'Varm kakao' og 'Faunapassager'. Endvidere er der udviklet støttende materialer i form af generelle metodekort, som kan bruges til arbejde med flere problemstillinger.

Et konkret eksempel kan give en idé om engineeringprocessen i undervisningsmaterialerne. Forløbet 'Varm kakao' retter sig mod 4.-5. klasse, og udfordringen er her, at eleverne skal designe en termokop, som kan holde kakao varm. I dette arbejde skal eleverne skaffe sig viden om og erfaring med varmetransport gennem forskellige materialer – pap, plast, aluminiumfolio gennem egne undersøgelser. På basis heraf skal de vælge materialer og designe en prototype. Løsningsforslagets brugbarhed afgøres ved, at eleverne måler kakaoens afkølingskurve. En god løsning på problemet er således umiddelbart nem at vurdere, men andre kriterier kunne ligeså vel indgå i vurderingen, fx om koppen er rar at holde ved og drikke af, eller materialeforbrug og -genanvendelighed.

Som en del af didaktikudviklingen er en særlig Engineering-Design-Proces-model ("EDP"-modellen) konstrueret og optimeret. EDP-modellen bruges til at strukturere elevernes arbejdsproces, når de laver engineering (Se figur næste side).

¹⁴ Fx projektarbejde, problembaseret arbejde, undersøgende arbejde, elevmedbestemmelse i undervisning, løbende evaluering af elevers læreproces, innovation, entreprenørskab, designbaseret læring og tværfaglighed.



Figur: Engineering-design-proces model fra projekt *Engineering i skolen* (Auner et al., 2018).

Lærernes og elevernes oplevede udbytte

De naturfaglige lærere, som har deltaget i projektet, er positive over for engineering i skolen: De mener, at det har kvalificeret deres naturfagsundervisning, ligesom de har en positiv oplevelse af, at eleverne får noget ud af det. Mere specifikt angiver de, at *"engineering understøtter læringen af naturfaglige kompetencer"* og at *"eleverne får stimuleret deres kreativitet og innovationsevne"*. Eleverne er også positive. De mener fx, at *"engineering er med til at skabe en god variation i undervisningen"*, og *"det er spændende at lære at arbejde på den måde, som ingeniører gør"*. Endnu mere positivt er det, at både lærere og elever fremadrettet gerne vil have mere engineering ind i undervisningen, samtidigt med at eleverne finder det motiverende at arbejde med engineering.

En bred vifte af indsamlet empiri giver indblik i, hvilke udfordringer lærerne har haft med implementeringen. Centralt blandt disse udfordringer er:

1. Opstilling af engineeringlæringsmål
2. Integrering af engineering i naturfagene
3. Engineeringaktiviteters åbne læringsprocesser
4. Evaluering af engineeringaktiviteter

Nedenfor udfoldes disse udfordringer yderligere.

1) Udfordringer og muligheder knyttet til engineeringlæringsmål:

Ifølge NEUC's kortlægning af igangværende engineeringindsatser er det vanskeligt for lærere at målsætte elevernes engineeringlæring på en operationel måde. Belært af de seneste 15 års danske erfaringer med læreplansudvikling mangler der et begrebsapparat til at beskrive engineeringkompetencer. I projekt *Engineering i skolen* udvikles et sådan begrebsapparat.

NEUC's kortlægning indikerer også, at lærerne efter gentagne afprøvninger indser, at engineering-arbejdsprocessen kan kombineres med såvel faglige mål som mere generiske kompetencemål såsom formidling og samarbejdsevne (Waadegaard, 2018). I forlængelse heraf er det relevant, at lærerne formår at beskrive, hvorledes engineering hjælper eleverne til at arbejde problemrettet, hvilket både er en forudsætning og et mål for elevernes arbejde med de såkaldte Fællesfaglige fokusområder i overbygningens naturfag. Disse fylder en anseelig del af undervisningstiden i fagene fra 7.-9.

klasse. Undervisning tilrettelagt efter engineeringdidaktiske principper åbner muligheden for at arbejde med autentiske problemstillinger knyttet til et fokusområde og gennem integreret, anvendelsesorienteret naturfagsundervisning at belyse dette. Det kan her være nyttigt at udvikle – eller formidle – flere eksempler på fællesfaglig naturfagsundervisning.

Selv om engineering som arbejdsform primært er tværfagligt orienteret, vil der for lærere være et behov for at kunne begrunde valg af engineering i forhold til kompetencemålene i de enkelte naturfag. En nærmere analyse af kompetencemålene i de fire naturfag i grundskolen¹⁵ viser, at lærerne med reference til kompetencemålene kan legitimere anvendelsen af engineering som arbejdsform i naturfagsundervisningen. Cirka 30 % af samtlige kompetencemål i de fire naturfag kan tolkes som engineeringorienterede, hvoraf der findes flest i natur/teknologi og fysik/kemi, færre i biologi og mindst i geografi.

2) Udfordringer og muligheder for at integrere engineering i naturfagene:

Nogle lærere er bekymrede for, om eleverne nu også lærer naturfaglig viden, når de arbejder med engineering. For at optimere det naturfaglige udbytte er der behov for at give fyldestgørende svar på spørgsmål såsom: Hvordan arbejder eleverne med naturfaglig viden i engineering? Hvor meget naturfaglig viden skal der til, for at en engineeringaktivitet bliver meningsfuld? Hvordan fastholder man en fagfaglig indholdsdimension bedst muligt undervejs? Disse spørgsmål har været til åben afsøgning i EiS-projektet, men som omtalt i kapitel 5, så er der grund til at tro, at den såkaldte FITS-model (Van Breukelen et al., 2016) fremadrettet vil være et godt bud på, hvorledes man imødegår denne udfordring.

3) Udfordringer og muligheder for at håndtere de mere åbne læringsprocesser i engineering forløb:

Engineering udfordrer lærerne på samme måde, som fx undersøgelsesbaseret eller problembaseret undervisning. Lærerne skal her finde ud af at stilladsere eleverne i en relativt åben proces, hvor processen er vigtigere end produktet, og læreren ikke altid selv kender svaret. Stilladseringen af engineeringaktiviteter er en hårfin balance mellem, at læreren guider designprocessen tilpas meget, til at eleverne oplever fremdrift, men uden at instruere og styre. Hvor stilladseringen er en didaktisk udfordring, så vil instruktion og styring anbringe lærerne på kanten af deres komfortzoner og udfordre deres undervisningsmæssige selvtillid. Her er den opbyggelige erfaring fra *projekt Engineering i skolen* imidlertid, at lærerne afslutningsvist har højere engineeringselevselvtillid, end da de startede. I takt med at lærerne får erfaring via deres afprøvninger og mulighed for at dele erfaringer med kolleger i efteruddannelse, så ender de med ganske høj selvtillid ift. engineering i naturfagsundervisningen. NEUC's mere generelle kortlægning siger noget tilsvarende.

4) Udfordringer og muligheder ifm. at evaluere elevernes engineeringudbytte:

I *Engineering i skolen*-projektet har det vist sig vanskeligt for lærerne at forfølge eksplicite engineeringmål med en målrettet evaluering. Problemstillingen er imidlertid ikke unik for projekt *Engineering i skolen*. Ifølge NEUC's kortlægning af nylige/igangværende engineeringindsatser er evaluering en gennemgående udfordring ved de analyserede projekter. Som en del af *Engineering i skolen*-projektets didaktikudvikling er der konstrueret et enkelt evalueringsværktøj ("Rubric"), men det har lærerne ikke i nævneværdig grad taget til sig. Med hensyn til evaluering fremmer engineering i mange tilfælde komplekse og overfaglige (generiske) kompetencer såsom samarbejdsevne, selvstændighed eller problemløsning. Erfaringerne fra *Engineering i skolen*-projektet viser, at efterhånden som lærere bliver mere rutinerede i arbejdet med engineering i egen praksis, flytter fokus sig fra at evaluere slutproduktet til at evaluere processen og give formativ feedback til eleverne.

Dette notats litteraturstudium har imidlertid vist, at der internationalt arbejdes med evalueringssvinklen, og at der foreligger forskellige bud på, hvorledes man kan styrke lærernes arbejde med evaluering (se afsnit 6.3).

Opsummerende kan man sige, at projekt *Engineering i skolen* har vist, at et veltilrettelagt efteruddannelseskoncept i kombination med materialeudvikling er tilstrækkeligt til, at lærere kommer i gang

¹⁵ De fire naturfag er biologi, fysik/kemi, geografi og natur/teknologi.

med engineering og formår at afvikle engineeringaktiviteter på måder, som de selv og deres elever finder meningsfulde og lærerige. Hvis man ønsker at konsolidere og evt. udbygge engineering i naturfagene, så det finder udfoldelse og bliver en integreret og sammenhængende del af undervisningen, må man finde overbevisende (herunder forskningsbaserede) svar på en række presserende lærerudfordringer og sikre sig, at lærerne får adgang til disse indsigter gennem en udbygget efteruddannelse.

8.2 Engineering, innovation og entreprenørskab

I grundskolen indgår innovation og entreprenørskab som et tværgående emne i alle fag. Emnet bliver inddraget i fagene gennem praksisorienterede undervisningsformer, og det udmøntes gennem procesorienterede undervisningsforløb.

Målene med innovation og entreprenørskab i skolen er handling, kreativitet, omverdensforståelse og personlig indstilling og minder meget om de generiske kompetencer kreativitet, handling og samarbejde, som elever udvikler med engineering i skolen.

I verdenen uden for skolen skelner man mellem de to begreber innovation og entreprenørskab. Det gør man ofte ikke i grundskolen, hvor de optræder i samme overskrift. Det centrale for eleverne er, at de arbejder med idéer, som gennem en udviklingsproces omsættes til handling. Stærkt forenklet og for at klargøre forskellene til engineering kan man sige, at hvis den idé, eleverne arbejder med, er ny og original, så giver det eleverne et stærkt element af innovation og originalitet. Hvis der på den anden side er tale om, at eleverne tager en idé, som er realiseret i andre situationer, men de bringer den ind og realiserer den i deres egen nye sammenhæng, så vil der være et stærkt element af entreprenørskab. Her er der stor vægt på foretagsomhed, udvikling af organisation og handlinger med fokus på at implementere idéen. Med både innovation og entreprenørskab er der fokus på at skabe værdi og på nytænkning.

Erfaringer fra både grundskole og gymnasiet viser, at fagligt funderet innovationsfremmende undervisning – som fx engineering – med tiden kan gøre den faglige undervisning mere relevant, anvendelsesorienteret og autentisk og dermed stå i kontrast til 'traditionel' tavleundervisning. Endvidere kan innovationsfremmende undervisning naturligt inddrage eksterne samarbejdspartnere, fx fra erhvervslivet (Jan A. Nielsen, Waadegaard, Dolin, & Bruun, 2017).

8.3 Potentialer og udfordringer i forhold til matematik

Matematikfaget er veletableret i skolen 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 "omverdenen" ind som et genstandsområde for matematik. Et fællesfagligt samarbejde med naturfagene, teknologi og engineering vil altså være muligt. Matematik kan ifølge Cunningham & Carlsen, 2014a bidrage med "computational thinking" som en strategi til at styrke elevers modellerings- og problemløsningskompetence i engineeringprocesser. Men der er udfordringer ved at lave integreret undervisning i matematik og naturfag, 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 og 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, 2012, s. 312)

Men, skriver Andersson & Ravn (2012), 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 autentiske engineeringudfordringer. I Danmark er der dog spæde forsøg på at integrere matematik og naturfag i skolen. Undervisningsministeriet har – i forsøget på at styrke samarbejdet – lavet en forsøgsordning med en fællesfaglig matematik- og naturfagsprojekt opgave i 9. klasse (Undervisningsministeriet, 2015). Et andet eksempel er ASTE-uddannelsen, som integrerer matematik og naturfagene på læreruddannelsen (Rasmussen, 2016).

Opsummerende kan man sige, at der er et potentiale for at integrere matematik i engineeringaktiviteter, men at disse stadig mangler at blive indfriet gennem konkrete eksempler og udviklingsarbejder.

8.4 Engineering i ungdomsuddannelsernes naturfag

I dette afsnit har vi valgt kortfattet at fokusere på engineering og teknologiundervisning i de to gymnasiale ungdomsuddannelser STX og HTX. STX som den klart største ungdomsuddannelse, der traditionelt har været anset for vejen til ingeniøruddannelserne i Danmark. HTX som den gymnasiale uddannelse, hvor fagligheden er ”nært forbundet med teknologiske, naturvidenskabelige og erhvervsrettede dannelsesperspektiver”¹⁶.

Litteratursøgning godtgør, at der ikke har været arbejdet eksplicit med engineering i naturfag i STX, men at der har været iværksat et antal udviklingsarbejder med fokus på innovation og entreprenørskab, hvoraf dele er foregået i naturfagene, og hvor der i nogle tilfælde har været et engineeringliggende indhold.

Omvendt spiller engineering en central rolle på HTX, først og fremmest fordi engineeringprocesser udgør kernen af profilfagene Teknologi og Teknik.

Der foreligger et mindre antal evalueringsrapporter fra relevante danske projekter, især på STX-området, men reelt er den forskningsmæssige viden på området forsvindende for ikke at sige fraværende. Disse rapporter har vi suppleret med personlig kommunikation med Pernille Kaltoft, fagkonsulent, ved undervisningsministeriet for Teknologi/Teknik/Produktudvikling i HTX & Teknologi C på STX.

Hverken engineering eller designbaseret læring er skrevet ind i læreplanerne for STX-naturfagene fysik, kemi, biologi eller (natur)geografi. Til gengæld er valgfaget teknologi C helt i tråd med engineeringforståelsen i projekt *Engineering i skolen*. I beskrivelsen af fagets identitet hedder det således: ”Faget beskæftiger sig med teknologisk innovation, det vil sige udvikling af produkter med udgangspunkt i analyser af samfundsmæssige problemstillinger. I samspillet mellem teknik, viden, organisation og produkt kombineres faglig viden og kundskaber med praktisk arbejde i værksteder og laboratorier.” Det er gennemgående for udviklingsprojekterne på STX, at de abonnerer på innovation, som det centrale begreb. Dette gør, at de ikke direkte kan relateres til engineeringundervisning, som det er karakteriseret i nærværende notat. Elementer af øget relevans af faglig viden og motivation kan findes i projekterne. Motivationsmæssigt oplever kontrolelever i nogle af udviklingspro-

¹⁶ <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=186027>

jekterne en nedgang i projektperioden på samtlige motivationsparametre, mens udviklingen i innovationsgruppen var mere positiv. I det omfang innovationsaktiviteter ikke blot har været afprøvet som add-ons, så er det en fornemmelse, at lærerne først og fremmest har set det som en mulighed for at styrke arbejdet med frihedsgrader i det undersøgende arbejde. En markant forskel til engineeringundervisning er, at produktrettethed og produktoptimering fylder mindre.

HTX er karakteriseret ved sine profolfag teknologi (A- og B-niveau) og teknik (A-niveau), som alle har eksisteret i flere årtier. Teknologifaget er bredere end teknikfaget, men begge overlapper meget betydeligt med den engineeringforståelse, som har drevet projekt *Engineering i skolen*. Der foreligger således omfattende erfaringer med engineering i undervisningen på HTX – men ulykkeligvis ingen forskningsmæssig opsamling af idéer, praksisser og erfaringer. Her har produktudvikling med afsæt i faglig viden en meget dominerende rolle. Der er dog også en række delmål af mere teknologisk karakter, først og fremmest i form af teknologianalyse og -vurdering. Teknologiaspekterne nedtones i teknikfaget til fordel for en tydeligere kobling til de underliggende naturfag.

Der er al mulig grund til at formulere forskningsprojekter, som systematisk og kritisk kan stille disse ting til rådighed for andre uddannelsers arbejde med engineering i undervisningen.

Opsummerende kan man sige, at

- der er initiativer og aktiviteter i STX, som overlapper med engineering, mange af dem foregår under andre overskrifter (innovation, iværksætteri, computational thinking ...). At der er behov for at fokusere og styrke disse initiativer, hvis man ønsker en sammenhængende indsats for Engineering på langs i uddannelsessystemet.
- der i HTX-fagene teknologi og teknik foreligger en mangeårig praktisk erfaringsbase omkring engineering i undervisningen. Det vil være meget relevant og nyttigt at få et forskningsmæssigt blik på og en didaktisering af disse erfaringer.

9 Referencer

- American Association for the Advancement of Science. (1989). *Science for All Americans - Project 2061*. New York: Oxford university press. Retrieved from <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>
- Anderhag, P., & Wickman, P.-O. (2007). *Rapporter i didaktik Nummer 4*.
- Andersen, N. O. (2003). *Fremtidens naturfaglige uddannelser: naturfag for alle - vision og oplæg til strategi*. Copenhagen: Undervisningsministeriet (Department of Education).
- Andersson, A., & Ravn, O. (2012). A Philosophical Perspective on Contextualisations in Mathematics Education. In *Opening the Cage* (pp. 309–324). Rotterdam: SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-808-7_16
- Auner, S., Daugbjerg, P., Nielsen, K., & Sillasen, M. (2018). *Engineering i skolen Hvad, hvordan, hvorfor* (1st ed.). (M. Sillasen, Ed.). Aarhus. Retrieved from https://astra.dk/sites/default/files/eis_rapport_v4_1.pdf
- Becker, K., & Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among science , technology , engineering , and mathematics (STEM) subjects on students ' learning : A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education*, 12(5), 23–38. <https://doi.org/10.1037/a0019454>
- Berland, L. K. (2013). Designing for STEM integration. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1078>
- Berland, L., Steingut, R., & Ko, P. (2014). High School Student Perceptions of the Utility of the Engineering Design Process : Creating Opportunities to Engage in Engineering Practices and Apply Math and Science Content, 705–720. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9498-4>
- Cantrell, P., Pekcan, G., Itani, A., & Velasquez-Bryant, N. (2006). The Effects of Engineering Modules on Student Learning in Middle School Science Classrooms. *Journal of Engineering Education*, 95(4), 301–309. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00905.x>
- Capobianco, B. M. (2011). Exploring a Science Teacher's Uncertainty with Integrating Engineering Design: An Action Research Study. *Journal of Science Teacher Education*, 22(7), 645–660. <https://doi.org/10.1007/s10972-010-9203-2>
- Capobianco, B. M., & Rupp, M. (2014). STEM Teachers' Planned and Enacted Attempts at Implementing Engineering Design-Based Instruction. *School Science and Mathematics*, 114(6), 258–270. <https://doi.org/10.1111/ssm.12078>
- Carberry, A. R., & Hee-Sun, L. (2010). Measuring Engineering Design. *Journal of Engineering Education*, 71–80.
- Chien, Y.-H., & Chu, P.-Y. (2018). The Different Learning Outcomes of High School and College Students on a 3D-Printing STEAM Engineering Design Curriculum. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16, 1047–1064. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9832-4>
- Condliffe, B. (2017). *Project-Based Learning: A Literature Review. Working Paper. MDRC*. MDRC. 16 East 34th Street 19th Floor, New York, NY 10016-4326. Tel: 212-532-3200; Fax: 212-684-0832; e-mail: publications@mdrc.org; Web site: <http://www.mdrc.org>. Retrieved from <http://www.mdrc.org>
- Crotty, E. A., Guzey, S. S., Roehrig, G. H., Glancy, A. W., Ring-Whalen, E. A., & Moore, T. J. (2017). Approaches to Integrating Engineering in STEM Units and Student Achievement Gains. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 7(2). <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1148>
- Cunningham, C. M. (2018). *Engineering in Elementary STEM education. Curriculum Design, Instruction, Learning, and Assessment*. Boston: Museum of Science.
- Cunningham, C. M., & Carlsen, W. S. (2014). Precollege Engineering Education. In G. Lederman, Norman & S. K. Abel (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 761–772). New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203097267-47>
- Cunningham, C. M., & Lachapelle, C. P. (2016). *Designing Engineering Experiences to Engage All Students*. Retrieved from <http://www.educationdesigner.org/ed/volume3/issue9/article31>
- EiE. (2018). Engineering is Elementary. Retrieved October 11, 2018, from <https://www.eie.org/>
- Fantz, T. D., & Katsioloudis, P. J. (2011). Analysis of Engineering Content within Technology Education Programs. *Journal of Technology Education*, 23(1), 19–31. <https://doi.org/10.21061/jte.v23i1.a.3>
- Galand, B., Bourgeois, E., & Frenay, M. (2005). *The impact of a PBL curriculum on students'*

motivation and self-regulation. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00603489/>

- Gero, A., & Danino, O. (2016). High-School Course on Engineering Design: Enhancement of Students' Motivation and Development of Systems Thinking Skills. *International Journal of Engineering Education*, 32(1, A), 100–110.
- Guskey, T. R. (2003). What makes professional development effective? *Phi Delta Kappan*, 84(10), 748–750.
- Guzey, S. S., Harwell, M., Moreno, M., Peralta, Y., & Moore, T. J. (2017). The Impact of Design-Based STEM Integration Curricula on Student Achievement in Engineering, Science, and Mathematics. *Journal of Science Education and Technology*, 26(2), 207–222. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9673-x>
- Guzey, S. S., Tank, K., Wang, H.-H., Roehrig, G., & Moore, T. (2014). A High-Quality Professional Development for Teachers of Grades 3-6 for Implementing Engineering into Classrooms. *School Science and Mathematics*, 114(3), 139–149. <https://doi.org/10.1111/ssm.12061>
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- Hynes, M. M. (2007). Developing middle school engineering teachers: Toward expertise in engineering subject matter and pedagogical content knowledge, 1–67.
- Hynes, M. M., & dos Santos, A. (2007). Effective Teacher Professional Development : Middle-School Engineering Content Effective Teacher Professional Development : Middle School Engineering Content Morgan M . Hynes and Angel dos Santos Appeared in International Journal of Engineering Education. *International Journal of Engineering Education*, (February).
- ITEA. (2007). *Standards for Technological Literacy*. Retrieved from www.iteaconnect.org
- Kelley, T. R., & Wicklein, R. C. (2009). Teacher Challenges to Implement Engineering Design in Secondary Technology Education. *Journal of Industrial Teacher Education*, 46(3), 34–50. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=cookie,ip,uid&db=eric&AN=EJ887445&site=ehost-live>
- Kolodner, J. L. (2002). Facilitating the learning of design practices: Lessons learned from an inquiry into science education. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39(3), 9–40.
- Lachapelle, C. P., Cunningham, C. M., Jocz, J., Kay, A. E., Phadnis, P., Wertheimer, J., & Arteaga, R. (2011). *Engineering is Elementary: An evaluation of years 4 through 6 field testing*. Boston.
- Lawanto, O.;Stewardson, G. (2009). *Engineering Design Activity : Understanding How Different Design Activities Influence Students ' Motivation in Grades 9-12*.
- Leonard, M. J., Hall, R., & Derry, S. J. (2011). WCER Working Paper No . 2011-5 “ What ’ s the Science Behind It ?” The Interaction of Engineering and Science Goals , Knowledge , and Practices in a Design-Based Science Activity. *Science Education*.
- Lippard, C. N., Lamm, M. H., & Riley, K. L. (2017). Engineering Thinking in Prekindergarten Children: A Systematic Literature Review. *Journal of Engineering Education*, 106(3), 454–474. <https://doi.org/10.1002/jee.20174>
- Lippard, C. N., Lamm, M. H., Tank, K. M., & Choi, J. Y. (2018). Pre-engineering Thinking and the Engineering Habits of Mind in Preschool Classroom. *Early Childhood Education Journal*, 0(0), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10643-018-0898-6>
- Lucas, B., Hanson, J., Bianchi, L., & Chippindall, J. (2017). *Learning to Be an Engineer - Implications for the Education System*.
- Lucas, B., Hanson, J., & Claxton, G. (2014). Thinking like an engineer. London: Royal Academy of Engineering. Retrieved from <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/thinking-like-an-engineer-implications-full-report>
- Mamlok, R.;Dershimer, C.;Fortus, D.;Krajcik, J.;Marx, R. (2001). Learning Science by Designing Artifacts (LSDA) - A Case Study of the Development of a Design-Based Science Curriculum . Rachel Mamlok - Weizmann Institute of Science , Rehovot , Israel Charles Dershimer , David Fortus , Joe Krajcik , Ron Marx - Universi. In *National Association for Research in Science Teaching* (pp. 1–21). St. Louis.
- Mehalik, M. M., Doppelt, Y., & Schuun, C. D. (2008). Middle-School Science Through Design-Based Learning versus Scripted Inquiry : Better Overall Science Concept Learning. *Journal of Engineering Education*, 97(January), 71–85. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00955.x>

- Mellander, E., & Svårdh, J. (2015). *Inquiry-based learning put to test: long-term effects of the Swedish science and technology for children program*. Retrieved from www.ifau.se
- Mergendoller, J. R., Markham, T., Ravitz, J., & Larmer, J. (2006). *Scaffolding Project Based Learning: Tools, Tactics and Technology to Facilitate Instruction and Management*. Novato, California: Buck Institute for Education.
- Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., & Smith, K. A. (2014). A framework for quality K-12 engineering education: Research and development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 4(1), 1–13. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1069>
- National Academy of Engineering, & National Research Council. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. *Engineering Education*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Naturvetenskap och teknik för alle. (2018). Naturvetenskap och teknik för alle. Retrieved October 11, 2018, from <http://www.ntaskolutveckling.se/>
- Nielsen, J. A., Waadegaard, N., Dolin, J., & Bruun, J. (2017). Undervisning og læring i STEM. In J. A. Nielsen (Ed.), *Litteraturstudium til arbejdet ed en national naturvidenskabsstrategi* (pp. 19–49). København: Institut for Naturfagenes Didaktik. Retrieved from <https://www.gymnasieforskning.dk/wp-content/uploads/2017/12/UndervisninglæringiSTEM.pdf>
- Rasmussen, K. (2016). The direction and autonomy of interdisciplinary study and research paths in teacher education. *REDIMAT*, 5(2), 158–179. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5572069>
- Riskowski, J. L., Todd, C. D., Wee, B., Dark, M., & Harbor, J. (2009). Exploring the effectiveness of an interdisciplinary water resources engineering module in an eighth grade science course. *International Journal of Engineering Education*, 25(1), 181–195.
- Ryan, M., Gane, B. D., & Usselman, M. (2011). Comparison of two curriculum models for mapping engineering core concepts to existing science and mathematics standards. In *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80051903185&partnerID=40&md5=b1ee89373c538cb367b5d12f7c85977e>
- Sanders, M. E. (2008). STEM, STEM Education, STEMmania. Retrieved from <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/51616>
- Savin-Baden, M. (2016). The impact of transdisciplinary threshold concepts on student engagement in problem-based learning: a conceptual synthesis. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 10(2). Retrieved from <https://docs.lib.purdue.edu/ijpbl/vol10/iss2/3/>
- Schoultz, J. (2018). *NTA – ett redskap för skolutveckling*. Stockholm.
- Selcen Guzey, S., Harwell, M., Moreno, M., Peralta, Y., & Moore, T. J. (2017). The Impact of Design-Based STEM Integration Curricula on Student Achievement in Engineering, Science, and Mathematics. *Journal of Science Education and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9673-x>
- Shernoff, D. J., Sinha, S., Bressler, D. M., & Ginsburg, L. (2017). Assessing teacher education and professional development needs for the implementation of integrated approaches to STEM education. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0068-1>
- Sillasen, M., Daugbjerg, P. S., & Nielsen, K. (2017). Engineering – svaret på naturfagenes udfordringer? *MONA-Matematik- Og Naturfagsdidaktik*, 1, 64–82.
- Sun, Y., & Strobel, J. (2014). From Knowing-About To Knowing-To :, 5(1), 41–60.
- The Royal Academy of Engineering. (2018). Learning to be an Engineer.
- Undervisningsministeriet. (2015). *Vejledning til forsøg med matematisk naturfaglig projektopgave i 9. klasse*. København. Retrieved from <https://www.uvm.dk/-/media/UVM/Files/Udd/Folke/0APDF16/Jan/160126-Vejledning-til-forsog-med-matematisk-naturfaglig-projektopgavei-0A9,-d,-klasse.ashx>
- van Breukelen, D., Schure, F., Michels, K., & de Vries, M. (2016). The FITS model: an improved Learning by Design approach. *Australasian Journal of Technology Education*, 3(1). <https://doi.org/10.15663/ajte.v3i1.37>
- Van Breukelen, D., Van Meel, A., & De Vries, M. (2017). Teaching strategies to promote concept learning by design challenges. *Research in Science & Technological Education*, 35(3), 368–

390. <https://doi.org/10.1080/02635143.2017.1336707>
- van Driel, J. H., Meirink, J. A., van Veen, K., & Zwart, R. C. (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.
- Venville, G., Wallace, J., Rennie, L., & Malone, J. (2000). Bridging the Boundaries of Compartmentalised Knowledge: Student learning in an integrated environment. *Research in Science & Technological Education*, 18(1), 23–35. <https://doi.org/10.1080/713694958>
- “Verktogsådan” NTA:s stöd för lokal utvärdering och systematiskt kvalitetsarbete-några resultat från år 2018. (n.d.).
- Waadegaard, N. (2018). *Engineering i skolen - syntese af en praksiskortlægning*. København.
- Wang, H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM Integration : Teacher Perceptions and Practice STEM Integration : Teacher Perceptions and Practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(2), 1–13. <https://doi.org/10.5703/1288284314636>
- Wendell, K., & Rogers, C. (2013). Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 513–540. <https://doi.org/10.1002/jee.20026>

Bilag: Udvidet review til kapitel 6

Elevernes udbytte af engineering i undervisningen:

Dette afsnit handler primært om den engineeringrelaterede undervisning og elevernes udbytte af denne. Det er et generelt træk i forskningsstudierne af engineering i skolen, at E-undervisningen sker i samspil med en/flere andre typer af faglighed. Centralt i den internationale forskningslitteratur står E-undervisning, hvor engineeringaktiviteter indgår som et tilskud til scienceundervisning ("infusion"). Grundholdningen i disse studier kan primært sammenfattes via termen "Learning by design" – altså naturfaglig læring via arbejde med engineeringdesign. I bredere STE/STEM-samspil forfølges oftest en bredere vifte af læringsmål, herunder ofte også specifikke engineeringmål. I omtalen af elevernes udbytte af engineering i undervisningen vil det derfor oftest være nødvendigt at specificere, i hvilken forstand et sådant udbytte forstås.

Elevernes udbytte af STEM-undervisningen – på tværs af udbytttemål:

Der findes et enkelt tentativt ("preliminary") metastudium af elevernes udbytte af STEM-undervisning (Becker & Park, 2011) – som kigger på tværs af forskellige udbytttemål (naturfagligt udbytte inden for det designrelevante domæne, evne til at designe produkter (eksempel på engineeringudbytte), viden om teknologi (T-udbytte) eller mere integrerede udbytter). Studiet, der kun inkluderer 28 undersøgelser, omfatter en række tilsvarende forskellige STEM-samspil og -vægtninger. Kombinationen af få studier, de forskellige STEM-foci samt meget variable klassetrin bevirker, at udsigelseskraften af metastudiet forbliver begrænset. Fx udviser 8 studier store effekter (>0.80), 7 udviser direkte negative effekter, mens kun 14 (ud af 33) effektstørrelser er større end den kritiske værdi 0.40, som Hattie har fastslået udtrykker reel effekt. Kigger man specifikt på studierne, hvor engineering indgår: så viser 3 studier, hvor udbyttet er gjort op som overgribende EST-literacy, store effekter (>0.65), mens 4 studier fastlægger det naturfaglige udbytte i et spænd fra ingen til stor effekt. I alle studier er udbyttet gjort pålideligt op, mens man vil kunne diskutere, om måden at indfange fx fagligt udbytte er dækkende.

Metaanalysen efterlader to foreløbige pointer:

- Engineering har læringsmæssigt potentiale – størst hvad angår bredere STEM-læringsmål og i mere moderat grad, hvad angår fagfaglig viden i naturfag
- Graden af integration og måden, hvorpå faglighederne integreres, er altafgørende for elevernes udbytte.

Nedenfor zoomes ind på mere specifikke læringsudbytter – og med inddragelse af nyere forskningsstudier.

Elevernes naturfaglige udbytte af engineeringaktiviteter i undervisningen:

I en nylig artikel konstaterer markante forskere i feltet (Guzey et al., 2017), at "*Resultaterne, hvad angår Engineerings evne til at understøtte naturfaglig læring, er blandede*" på alle niveauer af skolesystemet (p. 208, hvor der gives belæg i form af referencer). Den omtalte artikel beskriver et stor-skalastudium for 4-8. klasse i USA, hvor engineering indgik i designprojektforløb med naturfag og matematik. Det faglige læringsudbytte i science og matematik blev opgjort med 45 multiple choice-spørgsmål fra validerede spørgsmålsbanker (fx TIMMS, NAEP). I forhold til kontrolklasser er der en minimal gevinst i det naturfaglige (fysik) udbytte for elever i mellemskolegruppen. Der er ingen synlig gevinst i matematik – eller i naturfag for de ældre elever i samplet.

En forskergruppe omkring J. Kolodner har etableret både et teoretisk og et empirisk grundlag for konceptet Learning by Design, som fortsat præger feltet. I deres klassiske studier (fx Kolodner, 2002)) er udbyttet i form af naturfaglig viden og færdigheder gjort op vha. standardiserede MC-tests og videoanalyse af deres gørem ifm. praktiske tests. Konklusionen er, at eleverne, som har gennemført engineeringaktiviteter, klarer sig ligeså godt eller bedre end kontrolelever, hvad angår fagfaglig

viden. Samtidig opnår de næsten altid bedre sciencefærdigheder. Mest konsekvent finder forfatterne, at engineeringgruppen klarer sig bedst, når det kommer til samarbejde og metakognitiv selvregulering. *Studiet antyder altså, at det største udbytte ikke er af snæver faglig art.* ”

Engineering is Elementary (EiE) er et andet stort anlagt engineeringprojekt i USA. Lidt overraskende er effekten af dette tiltag kun belyst af Lachapelle et al. (Lachapelle et al., 2011). Her undersøges det faglige læringsudbytte af 9 forskellige engineeringminiforløb inden for forskellige stofområder. Også her indfanges det fagfaglige udbytte blot med standardiserede MC-tests. Konklusionen er, at EiE-elever klarer sig bedre end elever i kontrolgruppen – med effektstørrelser, som fra stofområde til -område varierer *fra ingen til stor effekt*. Men: forfatterne gør selv opmærksom på, at deres E-lærere var særligt ressourcestærke, mens kontrolgruppens lærere var tilfældigt udvalgte. Derfor er sammenligningsgrundlaget næppe fair, og det hedder sig, at de fremmanede effekter bør ansues med en vis skepsis.

Der findes en række studier af effekten af enkeltstående engineeringinterventioner: Mehalik et al. (Mehalik, Doppelt, & Schuun, 2008) finder, at 8.-klasseelever i en engineeringgruppe har større naturfagligt udbytte (basal ellære) af at deltage i et designforløb, end elever i et forløb med kogebogsagtige øvelser omkring samme indhold. Om end designet fungerer som middel til læring, så er det faglige læringsudbytte alligevel moderat, idet eleverne kun lukker 16 % af deres faglige vidensgap gennem forløbet. Riskowski et al. (Riskowski et al., 2009) studerer 8.klasseelever i STEM-samarbejde omkring vandressourcer og vandkvalitet. Eleverne i studiets interventionsgruppe designer setupper til at forbedre vandkvalitet, og forfatterne analyserer og sammenligner bl.a. elevernes åbne svar på en række faglige spørgsmål om vandkvalitet. Engineering- designgruppen forbedrer sin score 20-25 % gennem forløbet, hvilket er ca. 3 gange så meget som kontrolgruppen. Wendell et al. (Wendell & Rogers, 2013) har undersøgt en engineeringintervention, hvor elever på grundtrinnet arbejder med LEGO-designopgaver inden for 4 forskellige faglige områder. Samme lærere indgår i både intervention og kontrolgruppen, idet de har arbejdet traditionelt fagligt det ene år og med engineeringdesign på samme årgang året efter. Afhængigt af det faglige område formåede E-forløbet at lukke det faglige læringsgab fra 12-34 % (”gain”), hvilket i 3 af de 4 områder var signifikant bedre end kontrolgruppen. Venville et al. (Venville, Wallace, Rennie, & Malone, 2000) er det eneste rent kvalitative studium, som via klasserumsobservation og analyse af videoer af 9.-klasseelevers produktfremlæggelser mener at kunne konkludere, at elever i et STMdesignsamarbejde omkring Solar Boats oplever et større fagligt læringsudbytte. *”The whole was greater than the sum of the parts”* (p. 32). Van Breukelen et al. (van Breukelen et al., 2016) har afprøvet forskellige varianter af Learning by design ift. 12-14-årige hollandske elever, også med designudfordringer relateret til fysik. Med den fysikfaglige viden målt på validerede MC-spørgsmål opnås gains på mellem moderate 35 % hhv. høje 62 %, alt afhængigt af den konkrete udformning af undervisningen. Endelig har samme Van Breukelen (Van Breukelen et al., 2017) lavet et nærstudium af, hvilke undervisningsstrategier der fremmer lærestuderendes faglige udbytte af at arbejde med et 1. års-LU-projekt med design af et solcelledrevet (model)hus. Også i denne kontekst er det faglige udbytte (viden og færdigheder) moderat, idet det samlede udbytte er på 42 % af det mulige (dvs. ”gain”). Forfatterne ser dette som en konsekvens af, at designudfordringen er så kompleks og omfangsrig, at det står i vejen for de ellers så rige muligheder for begrebslæring (p. 385).

Elevernes engineeringudbytte (”E-udbytte”)

Der er færre studier, som formulerer og forfølger selvstændige engineeringmål for elevernes deltagelse i engineering i undervisningen. Nogle studier tager afsæt i elevernes produkter, og hvorledes disse lever op til kontekstualiserede kriterier (fx Riskowski, 2009; Van Breukelen, 2016), mens andre prøver at operationalisere mere eller mindre velfunderede forståelser af ”Engineering Habits of Mind”/Engineering Thinking/Systems Thinking (fx Crotty et al., 2017; Gero & Danino, 2016; Lippard, Lamm, Tank, & Choi, 2018; Lucas, Hanson, Bianchi, & Chippindall, 2017). De produkt-rettede studier peger lidet overraskende på, at elever, som har arbejdet med design, faktisk henter et pænt designudbytte af dette. Riskowski et al. finder således, at designaktiviteter næsten fordobler scoren på konkrete designovervejelser, mens Van Breukelen bedømmer designede Solar Power-anlæg/Dance Pads til 80 % eller mere på næsten alle ekspliciterede kvalitetsparametre, undtagen holdbarhed og æstetik.

Kvaliteten af studierne som prøver at godtgøre, at engineeringundervisning tilgodeser engineering habits of mind afhænger kritisk af, om der er en klar konceptualisering af EHoM og en dækkende operationalisering af dette. Mest overbevisende i denne sammenhæng er nok studiet af Crotty et al. (2017), som operationaliserer (dele af) den rammesætning for K-12 Engineering Education, som (Moore et al., 2014) har leveret. Deres *Elementary Engineering Test* er indsat i fuldt omfang i appendix til artiklen. Der er tale om reflekssive MC-spørgsmål om engineering, bl.a. engineeringprocesser, Engineering thinking, Engineering Tools. Forfatterne afprøver og sammenligner forskellige varianter af E-undervisning, heraf nogle med vekslende grader af eksplicitering af engineeringaspekter. Det er bemærkelsesværdigt, at den mest positive variant kun har et gain på 5%! Og at dette udbytte faktisk *ikke* gælder for den eksplicite E-variant. Gero et al. (2017) opererer med en 4-punkts-operationalisering af ingeniørers systemtænkning og finder, at et særligt tilrettelagt forløb kan forbedre (talentfulde) elevers systemtænkning med stor effektstørrelse. Lucas et al. (2017) har en fin konceptualisering af, hvad man kan forstå ved Engineering Habits of Mind (EHoM), men der er ringe transparens omkring det empiriske grundlag for, at de (i en af deres cases) konkluderer, at EHoM-udbyttet omfatter *improved team-working, resilience, perseverance, creativity, adapting and self-confidence. They also demonstrated increased ability to apply scientific knowledge to real life experiences*. Lippard et al. (2018) har observeret 3-5-åriges adfærd i prekndergarten mhp. at identificere tegn på EHoM. Desværre ekspliciteres hverken deres forståelse af EHoM eller deres Engineering Observation Tool. Børnegrupper på 9 lokaliteter observeres timelangt hver tre gange – og det mest tankevækkende er nok, at der observeres så få EHoM-momenter, og at disse i meget begrænset omfang er knyttet til interaktion med pædagogisk personale.

Elevernes affektive udbytte – motivationsmæssige gevinster

Mange studier anfører, at eleverne er mere engagerede/motiverede/interesserede, når de deltager i engineering i undervisningen. Indtrykket fra nærværende litteraturstudium er imidlertid, at der ikke findes voldsomt mange forskningsmæssige studier af dette – og at belæggene ikke er voldsomt overbevisende. Mange studier er således begrebsmæssigt uklare, idet de ikke er forankret i et veldefineret motivationsteoretisk ståsted, som kan tilbyde validerede spørgsmål/skalaer til fx surveybrug. De mere velfunderede trækker typisk på *forskellige* motivationsteorier, hvilket gør det svært at sammenligne og etablere evidens på området. Carberry et al. (Carberry & Hee-Sun, 2010) har således etableret et "instrument", som forbinder Bandura's kernebegreber om Self-efficacy og Outcome Expectancies med en specifik EDP-model. Andre velfunderede studier tager afsæt i fx Self-Determination Theory (fx Gero et al., 2016) eller et bredere subset af teorier (fx (Lawanto, O.;Stewardson, 2009, som tilpasser instrumentet MLSQ)).

I de simple studier forsøger man blot at fastslå, at engineeringdesign har en positiv effekt på elevernes motivation. Her er resultaterne ikke entydige, fx ser Gero et al. (2016) en positiv (og vistnok signifikant) vækst i indre motivation hos en gruppe talentfulde naturfagselever i gymnasiet, mens Wendel et al. (2013) konstaterer, at der er minimal forskel på engineeringdesignelever og kontrolgruppeelevers motivationelle udbytte på folkeskolens grundtrin. Mamlok et al. (Mamlok, R.;Dershimer, C.;Fortus, D.;Krajcik, J.;Marx, 2001) må nøjes med at konstatere, at det er lykkedes at optimere et engineeringforløb, således at det faglige udbytte forbedres – uden at det går ud over elevernes motivation.

Berland et al. (L. Berland et al., 2014) finder, at gymnasieelever er mest motiverede for explorative/kvalitative aspekter af EDP-forløbet, men i langt mindre grad for de systematiske, naturfagligt-matematiske dele af et sådant forløb. I modstrid hermed undersøger Lawanto et al. (2009) 9.-12.-klasseelevers motivation i tilknytning til to forskellige typer af udfordring, én som kan løses via kreativitet og try-and-error, mens den anden var mere udfordrende og krævede viden og systematisk eksperimenteren af eleverne. På en række motivationsparametre var der ikke signifikant forskel, men elevernes indre målorientering var størst i det sidste tilfælde.

Fra det danske EiS-projekt foreligger der postmålinger af elevernes oplevelse af engineeringindslagene, og heraf fremgår det, at størstedelen er positive ift. udsagn om, at *Engineering er med til at skabe en god variation i undervisning, at det er spændende at lære at arbejde på den måde, som ingeniører gør og at Engineeringopgaverne er den sjoveste del af undervisningen.* (middelttilslutning 2.78-2.92 på en skala fra 1-4).

Der er et klart behov for mere forskning, som kan frembringe mere overbevisende dokumentation for, at engineering understøtter elevmotivation, for hvilke elevgrupper som i særlig grad motiveres, og for faktorer i E-undervisningen, som kan være med til at optimere det motivationelle udbytte.

Forskellige elevtypers udbytte af engineering i undervisningen

Det har fra forskellig side været argumenteret, at engineering har potentiale til at gøre naturfagsundervisningen mere inkluderende over for mere skolefremmede grupper (fx Cunningham, 2018 – som direkte formulerer "designprincipper for inklusivitet", p. 89 ff.). I forskningslitteraturen har der først og fremmest været opmærksomhed på at afdække, i hvilken grad engineering i undervisningen kan være med til at minimere læringsgap foranlediget af kulturel eller socioøkonomisk baggrund.

Alder: Der er ikke fundet studier, som advokerer, at engineering skulle være særligt egnet for bestemte klassetrin. Det synes blot at være et spørgsmål om at afstemme udfordringen og stilladseringen efter elevernes formået. Mere partikulært har ingen studier eksplicit søgt at afklare, om der er en nedre aldersgrænse for, hvornår engineering giver mening ifm. læring. Projektet Engineering is Elementary demonstrerer, at det giver rigtig god mening på indskolingstrinnet. Review og empirisk undersøgelse af Lippard et al. (C. N. Lippard et al., 2018; Christine N. Lippard et al., 2017) viser, at selv 3-5-årige børn udviser Engineering Habits of Mind. De er dog ikke så hyppige, og de forekommer oftest uden voksen indblanding. Formentlig vil der også være et vindue for afstemte undervisningsmæssige E-indsatser ift. denne aldersgruppe.

Køn: Cantrell et al. (Cantrell, Pekcan, Itani, & Velasquez-Bryant, 2006) indfanger både en fagfaglig testscore og designscore og finder, at engineeringaktiviteter introducerer et gap til drengenes fordel. Hverken Mehalik et al (2008) eller Guzey et al (2017) finder, at engineeringaktiviteter minimerer gapet mellem drenge og pigers performance.

Empiriske studier af andre bias ved engineering – fagligt stærke/svage elever hhv. bias mht. kulturel eller socioøkonomisk baggrund.

Cantrell et al. (2006) undersøger, hvorvidt gapet mellem forskellige grupper af 7.-/8.-klasseelevers præstation mindskes eller øges som følge af engineering. De opsummerer "*We believe that performance gaps among some student groups were diminished by the engineering design experience*" - men det kan i høj grad anfægtes, idet E-designet producerer et gap mellem piger og drenge, mens hvide og indianske elever også oplever et større gap end i den indledende fagfaglige testning. Mehalik et al. (2008) finder det tilsvarende komplekst, at engineering skaber forskydninger til fordel for fagligt dårlige sorte og en stor faglig midtergruppe af ikkesorte ("non-africans") hhv. en faglig midtergruppe af drenge. Guzey et al. (2017) konkluderer i et storskalastudie med 4450 elever, at der ikke er overbevisende belæg for at hævde, at integrerede engineeringaktiviteter minimerer læringsgap i naturfagsundervisningen. I vores hjemlige EiS-studium (2018) har vi ikke objektive mål for elevernes formåen, men blot bedt dem selv angive, hvor stor naturfaglig selvtillid de har. Her er det signifikant og helt konsekvent de mest selvtillidsfulde/stærke elever, som er mest positive i alle spørgsmål om udbyttet af Engineering, inklusive læringsudbyttet.

Man må konstatere, at resultaterne peger i alle retninger – som en indikation af, at en række underliggende variable formentlig spiller en afgørende rolle. Specifikke træk ved de konkrete tiltag må antages at begunstige diverse grupper differentielt.

Viden om naturfagsundervisning med engineering som delkomponent

Ryan et al. (Ryan et al., 2011) skelner i deres diskussion mellem to forskellige tilgange ("Curriculum models") til at indføre engineering i naturfagsundervisningen: en problembaseret (PBL) og en mere traditionel. I den problembaserede kommer erfaringerne forud for forklaringer i udviklingen af en løsning, mens den traditionelle tilgang bygger aktive engineering designopgaver oven på teori og forklaringer, som eleverne har fået forlods. Engineering bliver her mere et eksempel på anvendelse/konsolidering af faglig viden, mens den problembaserede tilgang er tænkt som en vej til at etablere faglig viden. De fleste forskere argumenterer for PBL-modellen – mens forskningen peger

på, at lærere, der starter med engineering i undervisningen, langt overvejende henholder sig til den traditionelle model.

Der er imidlertid belæg for, at engineeringudfordringen bør være ekspliciteret fra start – til gavn for engineeringudbyttet, såvel som den faglige læring. Crotty et al. (2017) undersøger således elevernes engineeringudbytte ved tre forskellige instruktionstilgange: 1) Engineering som anvendelse til sidst i forløbet, 2) E-udfordringen ekspliciteres i optakten, mens engineeringprocesser i øvrigt forbliver implicite i forløbet, 3) Engineering eksplicit og løbende italesat. Med E-udbyttet målt via MC-spørgsmål finder forfatterne, at udbyttet er størst (om end ikke prangende) for tilgangene, hvor engineeringudfordringen (og dermed problemorienteringen) er omdrejningspunktet.

En række studier peger tilsvarende på, at *graden af integration* mellem naturfag og engineering har betydning for elevernes udbytte (se fx Guzey et al. (2017) og referencer her). Guzey et al. finder således, at modellen, hvor Engineering blot er et løstkoblet add-on til den traditionelle undervisning, giver dårligere resultater, både fagfagligt og mht. E-udbytte. Van Breukelen et al. (2016) studerer forskellige integrationsmodeller, idet elevernes fysikfaglige udbytte af tre forskellige Learning By Design (LBD)-varianter sammenlignes. Forfatterne påviser her, at en særligt revideret FITS-model optimerer elevens fysikfaglige gain fra 35 % til 62 %. FITS-modellen er karakteriseret ved sin sekvens (Focus-investigation-Technological design-Synergy), sin bevidste samtænkning af naturfag og design, herunder et antal ekspliciterede koblingspunkter mellem naturfaglig viden og design, samt et bevidst arbejde med kontekstualisering/dekontekstualisering ved overgangene mellem de to domæner. *FITS-modellen forekommer at være det aktuelt bedst underbyggede bud på en engineeringundervisningsmodel [naturfag og EDP-samtænkt].*

Den øvrige undervisningsrettede litteratur itererer jævnt hen indsigter, som er velkendte fra forskningen omkring PBL. Fx at undervisning med større frihedsgrader kræver afstemt stilladsering af forskellig art. Her fremhæver Mehalik et al. (2008) fx, at det kan stilladserer elevernes designproces, at de får udleveret klare evalueringskriterier ved starten, ligesom det kan være en støtte at have adgang til egne procesartefakter i en designportfolio. Wendell et al. (2013) bruger en eksplicit EDP-model, som stilladserende skelet. Lippard et al. (2017) peger på spørgeteknik som en nøglestrategi for at fremme EHoM hos de yngste elever. På et lidt spinkelt grundlag konkluderer disse forfattere også, at EHoM stilladseres bedre af strukturerede artefakter (puslespil, snap-kredsløb m.m.) frem for semistrukturerede artefakter (tegning, maleri m.m.). Van Breukelen et al. (2017) peger på betydningen af lærerfeedback, i særdeleshed feedback som bidrager ved at henlede opmærksomheden på relevant naturfaglig viden/ekspliciterer denne.

Evaluering af engineering i undervisningen

Fokus er her på evaluering af engineeringrelateret læringsudbytte – det fagfaglige udbytte af engineeringforløb evalueres på sædvanlig vis. I forskningen finder man eksempler på evaluering af hhv. produkt, tilegnet viden *om* Engineering og processuel engineeringproces/-kompetence.

Kriteriebundet evaluering af designprodukter

For at lave denne type evaluering må man ekspliciterer specifikke kvalitetskriterier for det aktuelle produkt (fx Cantrell et al. (2006), Riskowski et al. (2009), Van Breukelen et al. (2016), Chien et al. (2017). Til gavn for både elever og lærere ser man ofte disse indlejret i rubrics (fx Cantrell et al. (2006), Riskowski et al. (2009)). Mest generisk (og mest generelt anvendelig) er nok Chien et al.'s (2017) brug af "*Revised Creative Product Semantic Scale*", hvor produktet vurderes på dimensionerne *Nyhedsværdi* (form, materialer, struktur), *Funktionalitet* (holdbarhed, brugbarhed), *Sofistikation* (konsistens, attraktivitet). I dette forskningsstudium kombineredes den produktrettede evaluering med evaluering af procesartefakter, fx dataindsamling, designovervejelser og designskitser, samt optegnelser omkring forbedringer i designet. På denne måde inddrages delprodukter fra designprocessen på eksemplarisk vis i en mere holistisk produktevaluering.

Evaluering vha. spørgeskemaer med fokus på viden *om* engineering

Spørgeskemaerne er oftest tilpasset den aktuelle designudfordring og lokalt udformede. Uanset om de bygger på lukkede eller åbne elevsvar, så må de anses at være mere valide end pålidelige. Blandt

de mere perspektivrige og generaliserbare er Elementary Engineering Test (Crotty et al., 2017, appendix), som via en multiple choice-test prøver at indfange E-udbytte på teoretiske dimensioner i rammesætningen omkring Engineering Education af Moore et al. (Moore et al., 2014). Mange af spørgsmålene tapper ind i viden om engineering (og teknologi) og om ingeniører – snarere end i Engineering Proces. Interessant er også et generelt elevselvevalueringsskema for Engineering Habits of Mind, som findes hos Lucas et al. (2017, appendix 3).

Evaluering af engineeringproces/-kompetence

Groft sagt evalueres engineeringkompetence enten via in-situ-observation i klasserummet eller via analyse af videooptagelser fra elevernes proces.

Observation af elevernes engineeringformåen understøttes undertiden af en semistruktureret observationsprotokol, fx studerer Lippard et al. (2018) 3-5-åriges EHoM vha. et såkaldt Engineering Observation Tool (som dog desværre ikke fremgår af artiklen). Venville et al. (2000) laver modsat en åben klasserumsobservation, som i den efterfølgende analyse ikke målrettes E-kompetencer. Riskowski et al. (2009) kombinerer sin E-produkt-evaluering med en analyse af elevernes fremlæggelser og produktpræsentationer.

Kolodner et al. (2002) formulerer sig ikke i kompetencetermer, men studiet er måske alligevel det mest lovende ud fra et kompetenceperspektiv. Forfatterne analyserer her videooptagelser af elevernes arbejde vha. en rubric, som bl.a. gør det muligt for dem at bedømme mere generiske kompetencer, herunder elevernes evne til samarbejde og selvregulering. Med videooptagelse af kritiske procesøjeblikke og en rubric, hvor centrale E-delkompetencer er ekspliciterede, ville man kunne gøre en sådan evaluering både valid og pålidelig. Ud fra et lærerperspektiv er det største problem nok at sikre sig optagelser af kritiske øjeblikke. Ud fra et systematisk evalueringsspektiv er problemet, at man ikke finder en autoritativ operationalisering af, hvordan engineeringkompetence skal forstås og underopdeles.