

Evaluering af pilotprojekt Engineering i gymnasiet i Region H 2020-2022

Pilotprojektet 'Engineering i gymnasiet' målrettet naturvidenskabsundervisningen i stx (EIG) skal bidrage til de langsigtede mål om, at flere danske unge får:

- Teknologisk og naturvidenskabelig almindelse som en del af uddannelsen til kritiske, oplyste borgere.
- Relevante generiske kompetencer rettet mod det 21. århundredes arbejdsmarked og samfund.
- Større interesse for og viden om naturvidenskab og teknologi, STEM-uddannelser og –professioner og derigennem øget søgning til STEM-uddannelserne.

I ansøgningen til Region H blev der formuleret en række mål for EIG-projektet, nogle ret overordnede og andre mere konkrete og målbare på en kortere horisont (kortsigtede mål), der vedrører engineering i stx på lærerniveau, elevniveau og organisatorisk på de enkelte adresser. Herunder beskrives først de overordnede konklusioner på engineering, efterfølgende vil vi med afsæt i projekts mangesidige empiri i detaljer gøre rede for, hvorledes EIG i Region H er lykkedes med at opfylde målene og de centrale resultatkrav for hver af disse komponenter.

Konkluderende om engineeringmetodens potentiale som undervisningsformat i stx-naturvidenskabsundervisningen og en 'Best Practice' for efteruddannelse:

- En 'best-practice' for efteruddannelse af gymnasielærere som afsæt for at implementere engineering i stx bør stilladse med workshops, konsulentbesøg og eksterne læringsmiljøer; og hertil indledningsvis opstilling af forandringsteorier og afslutningsvis forankringsteorier. *Workshops* er særlig vigtig i opstarten af engineeringforløb, når engineering didaktik og engineering design processen skal introduceres. *Konsulentbesøg* bør være hyppigere i perioder, hvor lærerne udvikler engineeringforløb, end i andre perioder. *Eksterne læringsmiljøer* kan bidrage med inspiration til egen praksis og perspektivere engineering til andre uddannelser og i andre læringsmiljøer. *Forandringsteorier*, når de skrives i samarbejde mellem gymnasiernes lærere, ledelse og konsulenterne fra efteruddannelsen, bidrager til fælles målstyring af efteruddannelse. Når efteruddannelsen er ved sin afslutning, så bør gymnasiernes ledelse i samarbejde med lærerne skrive en *forankringsteori*, der understøtter en fortsat praksis med engineering i de enkelte naturvidenskabelige fag og i professionelle læringsfællesskaber.
- Engineering er en relevant udvidelse og kvalificering af arbejdsformerne i naturvidenskabsfagene, fx tilfører engineering det undersøgende arbejde frihedsgrader i et omfang, som mange års tiltag til fordel for konstruktivistisk undervisning, Inquiry Based Education (IBSE) m.m. ikke for alvor har formået.
- Engineering i undervisningen åbner for lærernes brug af det gruppe- og projektbaserede læringsrum, som traditionel undervisning med deduktive læringsstrategier bl.a. nomotetiske "køgebogsforsøg" ofte ikke benytter, når de i sammenhæng søger at eftervise eksisterende naturlove.
- Engineering i undervisningen er ikke kun for ekspert-lærere, men det er en fordel, at lærerne har/oparbejder fortrolighed med (åbne) problembaserede arbejdsformer og i sammenhæng med engineering design processen.

- Engineering kan fungere som et samlende udviklingsfokus både på faggruppe-, gymnasieniveau og i praksisfællesskaber, der går på tværs af gymnasier.
- Engineeringaktiviteter øger elevernes interesse for undervisningen i de naturvidenskabsfag, hvor det har været forsøgt. Det er ikke afklaret om denne effekt også består, når og hvis engineering bruges så regelmæssigt i undervisningen, at det mister sin nyhedsværdi.
- Engineeringaktiviteter øger elevernes interesse for undervisningen i de naturvidenskabsfag, hvor det har været forsøgt. Det er ikke afklaret om denne effekt også består, når og hvis engineering bruges så regelmæssigt i undervisningen, at det mister sin nyhedsværdi.
- Engineering menes at bidrage til faglig læring i traditionel forstand, og i særdeleshed til brug af de naturvidenskabelige metoder og udvikling af undersøgelseskompetencen.
- Engineering tilgodeser efter både læreres og eleveres opfattelse tillige generiske kompetencer (problemløsningsevne, kreativitet/innovation, samarbejde og persistens) i en grad som traditionel naturvidenskabsundervisning ikke gør. Engineering har således potentiale til at være naturvidenskabsfagenes bidrag til at løfte gymnasielovens paragraf §1.3.
- Engineering har umiddelbart en vis effekt på elevernes situerede STEM-rettede karriereovervejelser – men realistisk vil disse kun kunne fastholdes, hvis eleverne møder engineeringaktiviteter regelmæssigt og over tid.
- COVID-19 har påvirket EIG-projektet i Region H med forsinkelser og flere engineeringforløb er ikke blevet gennemført som de var tiltænkt. Men på trods af COVID-19, så er det muligt at gennemføre engineeringforløb under nedlukning i de tilfælde, hvor feltarbejde (udendørs empiri-arbejde) og online-undervisning kan danne grundlag for elevernes arbejde med engineeringudfordringen.

1. Målet om at udvikle 'Best Practice'-efteruddannelse som afsæt for at implementere engineering i stx.

Efterprøvning af pilotprojektet 'Engineering i gymnasiet' i Region H trækker både i udformning og indhold på de erfaringer et tilsvarende EIG-pilotprojekt har gjort sig i Region Midt. Fælles for udformning og indhold har været et toårigt projektforløb med skolebaserede udviklingsgrupper (professionelle læringsfællesskaber), som trækker på best practice-viden om dels design af efteruddannelse, der virker og dels væsentlige udfordringer for implementering af engineering ind i eksisterende naturvidenskabsfag ("infusion"):

Design af efteruddannelsen

Udformningen er i overensstemmelse med international evidens og danske erfaringer for effektiv læreruddannelse (fx Krogh mfl. 2019, Krogh 2016). I forløbet var der en vekselvirkning mellem fire workshops for alle projektlærere og lokalt arbejde på gymnasierne, hvor uv-forløb blev udviklet med inspiration fra de første tre workshops og udleveret teori om engineering. Det lokale arbejde blev understøttet gennem konsulentbesøg mellem de enkelte workshops og sparring gymnasier imellem til de enkelte workshops, hvor erfaringer fra egen engineeringpraksis blev delt (figur 1).

Indholdsmæssigt og engineeringdidaktisk har et udgangspunkt været de opmærksomhedspunkter, som forskningslitteraturen bruger som indikatorer for 'best engineering teaching practice' (Engineering-Infused

Lesson Rubric af Peterman, 2017). Det handler først og fremmest om måltidelighed, identifikation og tilrettelæggelse af en engineeringudfordring, integration mellem designarbejde og traditionel fagfaglighed, stilladsering af arbejde med frihedsgrader med blik for lærerinterventioner (fx FITS's model af van Breukelens 2016 mfl.), samt evaluering af elevudbytte, herunder også engineeringkompetencer og generiske kompetencer.

Disse opmærksomhedspunkter er næste en-til-en sammenfaldende med kritiske opmærksomhedspunkter og udfordringer, som voksede frem i grundskoleprojektet 'Engineering i skolen' (EIS). På den måde kunne man med ret hævde, at EIS-erfaringerne var et udgangspunkt for EIG. Dog med en forventning om, at de to skoleniveauer kan tage sig markant forskellig ud i praksis. Fx var det en klar forventning, at stx-underviserne ville prioritere fagfaglige aspekter og faglig integration meget højere i undervisningen end langt de fleste grundskoleundervisere. Det har vist sig at holde stik i Region H, ligesom det var tilfældet i Region Midt.

De enkelte workshops blev løbende og formativt evalueret. Sammen med tilbagemeldinger og nye problemstillinger rejst i forbindelse med konsulentbesøg og styregruppemøder, så blev den formative evaluering brugt til at justere struktur og indhold på næste fælles workshop.

Lærere oplever øget metodisk faglighed

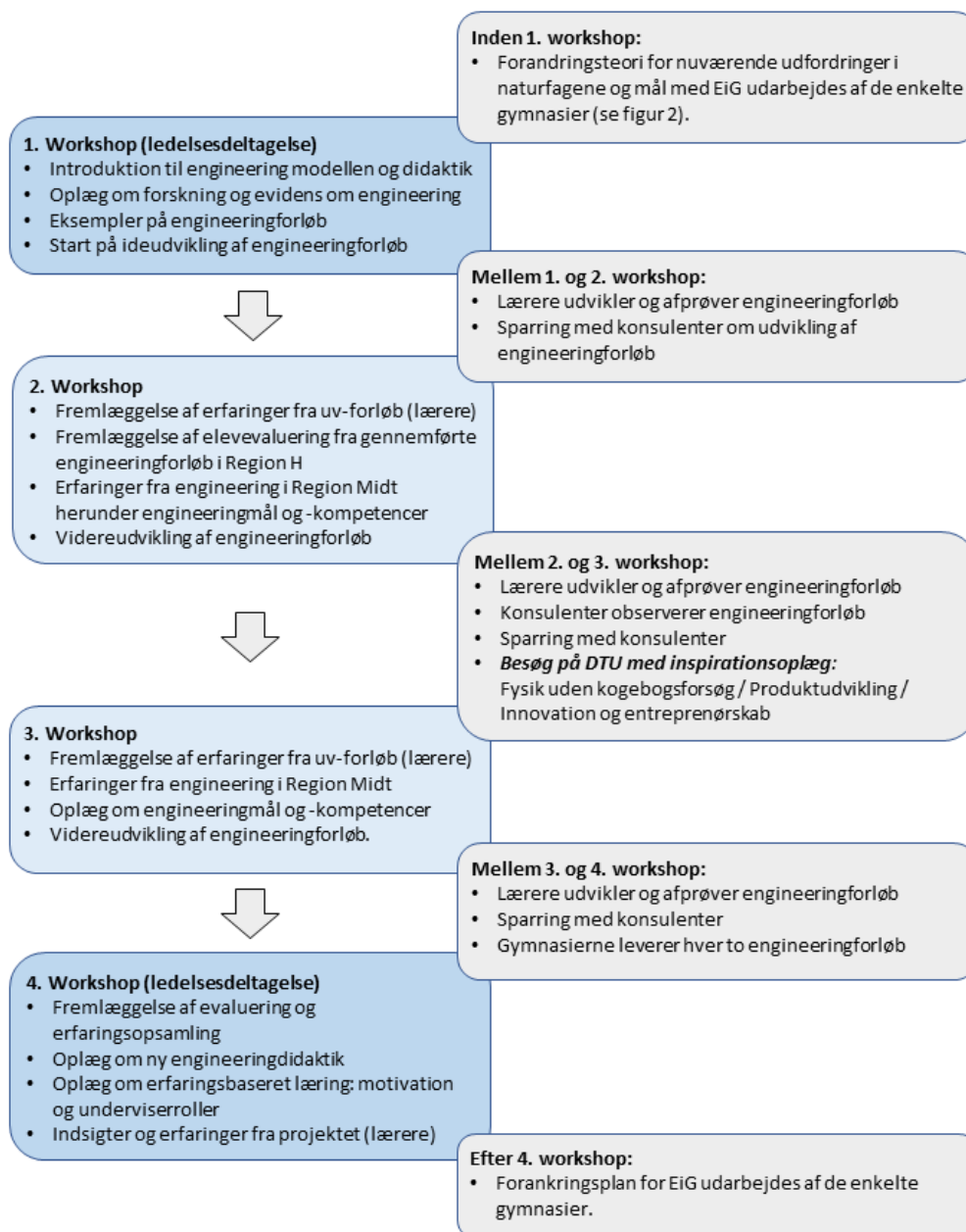
I lærer-slutsurveyen tilslutter alle lærere sig bl.a., at deltagelse i Engineering projektet har gjort, at "jeg vil kunne bidrage til at udvikle engineering i faggruppen på mit gymnasie" (se figur 3 i afsnit 1B). Samtidig peger en række indikatorer i både lærer-slutsurvey og lærer-slutinterviews på, at det udviklede efteruddannelsesforløb overordnet set har fungeret, både hvad angår udvikling af engineeringrelaterede lærerkompetencer og lærerholdninger. Når lærerne skal vurdere, hvilke dele af forløbet, som de har haft størst udbytte af, så angiver alle lærere, at de "har haft stort udbytte af at prøve engineering i eget klasserum og tænke over udfaldet". Alle lærere er tilsvarende enige i at have fået stort udbytte af "planlægning, samarbejde og diskussion med kolleger".

Flere konsulentbesøg, eksterne læringsmiljøer og COVID-19

Derimod oplevede ikke alle lærere, at workshops, konsulentbesøg og udleveret materialer havde givet dem et stort udbytte; bortset fra 1. workshop, der introducerede projektet og Engineeringmetoden og didaktikken. En del af forklaringen kan skyldes, at flere af lærerne undervejs i projektet efterspurgte flere konsulentbesøg med øget mulighed for faglig og didaktisk sparring ifm. udvikling af de enkelte uv-forløb, hvilket også kom til udtryk ifm. lærer-slutinterviews.

En anden årsag kan være, at en del af lærerne forud for projektet havde stor erfaring med andre former for problembaseret undervisning ifm. innovationsprojekter og et par stykker havde også tidligere udarbejdet engineeringbaserede uv-forløb.

Desuden efterspurgte flere lærere en engineeringdidaktik målrettet gymnasiet med konkrete og eksemplariske EIG-uv-forløb og EIG-metoder, der kunne understøtte udvikling af engineeringudfordringer, narrativ og de enkelte trin i engineering-design-processen (EDP-modellen). Således efterspurgte lærerne i princippet en del af det EIG-projektet i Region H havde til formål, nemlig at bidrage til udvikling af en engineeringdidaktik målrettet stx og eksemplariske EIG-uv-forløb. Lærernes behov understreger dermed projektet relevans i kontekst af gymnasiet (stx).



Figur 1. Fælles sessioner med placering af lokalt arbejde og konsulentbesøg.

Hertil følger, at COVID-19 udfordrede den intenderede tidsplan for projektet, og tilsvarende udfordrede det arbejdet med udvikling og realisering af uv-forløb på de enkelte gymnasier. Det betød, at de fire gymnasier ikke "fulgte ad" i processen med udvikling og realisering af uv-forløb (asynkron proces), og de nåede derfor heller ikke i mål med leverancer på samme tidspunkt i projektet. Den asynkrone udfordring understreges af et ønske fra lærerne om at have direkte adgang til evalueringsdata fra egen uv-forløb (præ- og post-elevsurveys). Det kunne have styrket den formative evaluering og fokuseret udvikling af de enkelte uv-forløb, ikke mindst i de tilfælde, hvor lærere af flere omgange gentog og videreudviklede samme uv-forløb i løbet af projektet.

Endelig kan nævnes, at oplevelsen af udbytte i forbindelse med besøg på grundskole og inspirationsoplæg fra HTX blev oplevet som mindre udbytterig, ligesom det var tilfældet i Region Midt. Til forskel oplevede hovedparten af lærerne på et heldagsbesøg på DTU, som grundlag for fornyet inspiration ind i projektet på bagkant af COVID-19, at besøget havde "levet op til mine bedste forventninger", og som udbytte af besøget var de fleste enten blevet "inspireret" eller oplevede, at det havde været "direkte brugbar ind i min undervisning". Der er således grund til at genoverveje tilpasningsevnen for workshops og frekvensen af konsulentbesøg herunder besøg i andre læringsmiljøer i forbindelse med en evt. reprise bl.a. i de situationer, hvor forhold som COVID-19 gør sig gældende.

COVID-19 udfordrer EiG-projektet

Projekt Engineering i gymnasiet i Region H skulle oprindeligt have været afviklet over to år i skoleårene 2019/2020 og 2020/2021. Imidlertid påvirkede COVID-19 som nævnt planlægningen og projektet blev tidsmæssigt forlænget og afsluttet i efteråret 2022. Nogle aktiviteter og milepæle blev udskudt og i en lang række tilfælde tilpasset den nye situation. De fælles workshops blev alle udskudt, f.eks. 1. workshop fra april til august 2020. Om end alle lærere vurderede, at en fysisk fælles 1. workshop var at foretrække, så udfordrede forsinkelsen starttidspunktet for udvikling af lærernes uv-forløb og realisering af disse i efterårssemestret 2020. Samtidig udfordrede COVID-19 løbende igangværende uv-forløb (tidsrammen for forløb, kontinuitet og faglig fastholdelse), når fysisk fremmøde på gymnasiet forhindrede fx laboratoriearbejde. Undtagelsesvis gav det mindre problemer i ét uv-forløb i naturgeografi, hvor læreren omlagde dele af et uv-forløb omhandlende klimaforandringer og kystsikring, så feltarbejde, der foregik i det fri uden for skolen, som del af det empiriske arbejde i højere grad blev en del af forløbet. Feltarbejdet oplevede eleverne som meget motiverende midt i en periode med mange og lange nedlukninger præget af online skærmarbejde. Tilsvarende i forløb, hvor laboratoriearbejdet kunne udføres i elevernes hjemmekøkken kunne uv-forløb lettere realiseres. For flere forløb var online undervisning i nogen grad muligt i de faser, hvor EDP-modellens 'Undersøge', 'Få ideer', 'Konkretisere' havde fokus, men generelt ikke, når det i arbejdsprocessen også omfattede 'Konstruere' og taktilt arbejde fx i et laboratorium.

Forandringsteori og forandringsplaner

I forventningsafstemning mellem EiG-projektets mål og dens centrale resultatkrav, blev ledelse og lærere på de enkelte gymnasier inden 1. workshop bedt om at liste deres lokale udfordringer i naturfagsundervisningen og mål for deltagelse i Engineering i Region H. De fire gymnasier pegede alle med få variationer på lignende udfordringer og mål, og det gav grundlag for opstilling af en fælles forandringsteori som samtidig imødekom de langsigtede og kortsigtede mål for 'Engineering i gymnasiet' (figur 2). Forandringsteorien dannede efterfølgende grundlag for en fælles målstyring i form af en fælles ramme for formativ evaluering af lærernes egen praksiserfaring med engineering og den fælles praksis i professionelle læringsfællesskaber (PLF'er) på de enkelte gymnasier.

Fokuser i naturfagernes undervisning	Udfordring og mål stillet af gymnasierne (syntese)	Engineering i gymnasiet i Region H kan blandt andet tilbyde (syntese)
Tid og rum	• Tid til udvikling, supervision, samarbejde og vidensdeling	• Tid og økonomi til udvikling af en problembaseret naturfagsundervisning.
Naturfaglig viden og kompetencer	• STEM & fejl som proces • Engineering skal tydeligt rammesættes: - Engineering fører til udvikling og metoden forankres (ikke temporær event) - Trinvis indkøring (Engineering med stilladsering og progression) - Naturvidenskab i kontekst - Narrativet åbner og fastholder • OBS: (undgå) kagebogsforsøg & lukkede opgaver	• Engineeringmetode og didaktik (EDP, FITS mv): - Klassisk empirisk og videnskabelig tænkning, inkl. fejl som del af processen. - Læringsrum fordrende Beck & Gottliebs (2002) åbne gruppe- og projektopgaver. - Kreative og innovative designs med udfordring, narrativ, prototype/produkt.
Didaktik og pædagogik	• Læringsstil udfordret hos nogle elever • Faglig udfordring • Formativ evaluering (i mindre grad summative og karakterfokus) • Elever drevet af nysgerrighed og egenmotivation - og kan arbejde mere selvstændigt - og bringe STEM kompetencer i spil	• Mestringsoplevelser - og forventning (Deci & Ryan 1985, 2000; Andersen 2018; Illeris 2006/2011). - Motivation (særligt indre). - Motivation til at gøre en ekstra indsats. - Troen på egne evner. - Fejl som proces ("øvelse gør mester").
Perspektiv og dannelse	• Perspektiverings- og handlekompetence hos eleverne	• Nature of Science (NOC), kontekst og etik i naturvidenskab: - Engineering EDP-modelens narrative ramme åbner op for både NOC, kontekst og bæredygtighed i naturfagsundervisningen (Sjöström & Eilks 2018).

Figur 2. Forandringsteori for de fire gymnasier (workshop 1).

Ved projektets afslutning kan ledelse og lærere stadig tilslutte sig forandringsteorien og vurderede til styregruppemøder og i lærernes slutevaluering, at engineering kan bidrage positivt til indfrielse af målene. En udfordring er dog stoftrængsel i de enkelte fag, som i nogen eller udpræget grad begrænser tiden til det åbne problembaserede gruppe- og projektarbejde – og det løser engineering selvsagt ikke alene. Imidlertid oplevede flere lærere, at en øget erfaring med engineering hos både lærere og elever gjorde det lettere, at sikre faglige mål og kerne stof i forbindelse med engineeringbaserede projektarbejder.

Målene i forandringsteorien omfattede bl.a.: undersøgende arbejde i det gruppe- og projektbaserede læringsrum (Beck & Gottlieb 2002) med åbne udfordringer og ikke "kagebogsforsøg"; en udvikling af naturfaglige kompetencer hos eleverne og en tydeliggørelse af STEM med "fejl" som en del af den naturvidenskabelige arbejdsproces; elever drevet af indre motivation med øget fokus på mestringsoplevelser og i mindre grad karakterer (Deci & Ryan 1985, 2000; Andersen 2018; Illeris 2006/2011); og helt generelt elever med en undrende, nysgerrig og undersøgende tilgang til naturfagsundervisningen. Engineering skulle her bidrage til en udvidelse af en klassisk naturvidenskabelig læsning af fagene (viden og metoder i *nature of science*) og gennem en engineeringudfordring og et narrativ at forholde sig til naturvidenskab i kontekst og i nogle tilfælde også til etiske spørgsmål (Sjöström og Eilks 2018).

Naturvidenskab i kontekst gik igen i de fleste uv-forløb fx måling af tykkelse af blyplader med radioaktive kilder, optimering af letbaner, myslibar udviklet til specifikke situationer og energibehov. Flere af disse forløb appellerer også til et etisk niveau med bæredygtighed, men i nogle få uv-forløb blev det særligt tydeligt. Et om udvikling af kystsikring og klimaforandringer, et om bioethanol og madaffald, og i et, hvor eleverne med selvvalgt engineeringudfordring udviklede et produkt med genbrug af glas til cementindustrien. I sammenhæng ønskede flere lærere at blive bedre til at engineeringbaserede uv-forløb med udfordringer og

narrativer, der etisk knyttede an til spørgsmål om bæredygtighed herunder FN's Verdensmål (etisk niveau i Sjöström og Eilks 2018).

Et sidst forhold i forandringsteorien omhandlede forankring af engineering efter projektafslutning. I foråret 2022 udformede alle fire gymnasier en forankringsplan, der bl.a. så på den fremadrettede forankring af engineering efter projektafslutning. To gymnasier har valgt en strukturel forankring og to en frivillig forankring.

På de to gymnasier med strukturel forankring indgår engineering på det ene gymnasium som en del af undervisningen på alle naturvidenskabelige studieretninger, på det andet gymnasium som en del af grundforløbet på STX og i det fællesfaglige forløb, FFF1. På de to gymnasier med en frivillig forankring har det ene gymnasium valgt at lade det være op til de enkelte lærere og fagteams; det andet gymnasium har valgt dels at oprette et internt netværk for engineering faciliteret af engineeringambassadører og en ordning, hvor den enkelte lærer eller gruppe af lærere, der indgår i professionelle læringsfællesskaber, kan søge om tid og penge til et eller flere engineeringprojekter. Hertil følger, at alle fire gymnasier har ønsket at bidrage til et nyt engineeringprojekt for Region H med udvikling eksemplariske forløb, der afvikles i 2022 – 2023, hvilket forventelig vil bidrage til yderligere forankring på de fire gymnasier.

Sammenfattet bør en 'best-practice' for efteruddannelse af gymnasielærere som afsæt for at implementere engineering i stx stilladser med workshops, konsulentbesøg og eksterne læringsmiljøer; og hertil indledningsvis opstilling af forandringsteorier og afslutningsvis forankringsteorier. *Workshops* er særlig vigtig i opstarten af engineeringforløb, når engineering didaktik og engineering design processen skal introduceres. *Konsulentbesøg* bør være hyppigere i perioder, hvor lærerne udvikler engineeringforløb, end i andre perioder. *Eksterne læringsmiljøer* kan bidrage med inspiration til egen praksis og perspektivere engineering til andre uddannelser og i andre læringsmiljøer. *Forandringsteorier*, når de skrives i samarbejde mellem gymnasiernes lærere, ledelse og konsulenterne fra efteruddannelsen, bidrager til fælles målstyring af efteruddannelse. Når efteruddannelsen er ved sin afslutning, så bør gymnasiernes ledelse i samarbejde med lærerne skrive en *forankringsteori*, der understøtter en fortsat praksis med engineering i de enkelte naturvidenskabelige fag og i professionelle læringsfællesskaber.

1B. Målet om at løfte lærernes faglige og fagdidaktiske kompetencer.

Lærerne, som deltog i 'Engineering i gymnasiet' i Region H, var – med enkelte undtagelser – alle erfarne undervisere med tydelig faglige og fagdidaktiske kompetencer. Der var imidlertid betydelig spredning i deres erfaringer med design-baseret undervisning, idet flere havde stor erfaring med innovation, mens andre var rene novicer i engineering som beslægtet type af undervisning. Blandt fag, så var alle de naturvidenskabelige fag i stx repræsenteret, om end ikke på alle tre niveauer, og heller ikke Geovidenskab A, da ingen af gymnasierne udbød det som studieretning.

Lærernes oplevede udbytte

Det har ikke været projektets sigte at levere objektiv dokumentation for, at lærerne rent faktisk har fået løftet deres faglige og fagfaglige kompetencer indenfor engineeringdidaktik og praksis. Det vil ressourcemæssigt og metodisk være en udfordring. Til gengæld viser projektets empiri tydeligt, at lærerne *oplever* at have lært noget af projektet. Dette fremgår af den afsluttende lærer-survey, hvor der bl.a. blev spurgt til forskellige udbytteaspekter (figur 3).

Lærernes oplevede udbytte: Min deltagelse i projektet har gjort, at ...	Antal lærere med denne grad af tilslutning (%)			
	Helt uenig	Overvejende uenig	Overvejende enig	Helt enig
1. Jeg kender til engineering og kan indgå i kollegiale samtaler om engineering i undervisningen	-	-	10	90
2. Jeg kan planlægge undervisning, hvor engineering og fagfaglig undervisning spiller sammen	-	-	30	70
3. Jeg er blevet tryk ved at kaste eleverne ud i mere åbne engineeringudfordringer	-	-	40	60
4. Jeg er blevet bedre til at håndtere engineering i en praktisk klasesammenhæng	-	-	50	50
5. Jeg vil kunne bidrage til at udvikle engineering i faggruppen på mit gymnasie	-	-	30	70
6. Det er blevet vigtigt for mig at få mere engineering ind i undervisningen	-	20	70	10

Figur 3. Lærernes oplevede udbytte af engineering på de fire gymnasier (n = 11).

Første spørgsmål handler om udbytte i form af viden om engineering, spørgsmål 2 og 4 vedrører praktiske engineeringkompetence, mens 3 og 5 indfanger aspekter af engineeringrelateret selvtillid. Endelig adresserer spørgsmål 6 et afgørende holdningsspørgsmål – der diskuteres nedenfor.

Generelt er lærernes svarfordeling særdeles tilfredsstillende ud fra et projektperspektiv – indikatorerne peger på, at lærerne oplever at få et mangesidigt udbytte. Det er imidlertid overraskende, om end positivt, at ingen er overvejende uenig eller helt uenig i spørgsmål 1 til 5. Modsat er det i tråd med de enkelte sluttællerinterviews på de enkelte gymnasier, hvor oplevelsen af engineeringprojektet i egen uv-praksis var generelt positiv, og det på trods af stoftrængsel, COVID-19 mv. Her spiller oplevelsen af elevernes glæde i naturfagsundervisningen ifm. engineeringprojektet givet en central rolle for mange af lærerne, som en lærer sagde: "... når man kan se, at eleverne blomstrer og oplever medejerskab, så ved man, at man er på rette spor."

Når lærerne bliver bedt om at specificere deres "største udbytte", så fremhæver de flere aspekter:

- Engineering er en god måde at få mere selvstændigt praksisarbejde ind i undervisningen. Pga. stoftrængslen i lærerplanerne bruges meget tid på "skabelon-undervisning", hvor eleverne lærer at løse opgaver efter skabeloner, der sætter dem i stand til at bestå eksamen. Engineeringarbejde peger væk mod denne tendens og bringer elevernes færdigheder (eller mangel på samme) i spil. Udfordringen er, at stoftrængslen øges med engineeringprojekter, fordi de tager længere tid end "normal" undervisning.

- Det er vigtigt at motivere eleverne bedre [i undervisningen] især i forhold til praktisk arbejde.
- Fokus på stilladsering i forhold til den åbne problemløsende tilgang er ekstremt vigtigt for at sikre faglige mål og kendskab til kernestof.
- Selvom projektarbejdet organiseres og stilladseres en del, så oplever eleverne det meget frit.
- Narrativet er vigtigt for at eleverne går med på engineeringudfordringen og kan se relevansen af denne.
- Optimeringsfasen i EDP-modellen er vigtig idet den viser eleverne at gentagelser og øvelse gør dem bedre.
- ”Jeg har før lavet undervisning, der minder om engineering. Det, at der skal være et konkret produkt, er en rigtig god ting ved engineering, som betyder noget for elevernes følelse af ’at kunne noget’.

I den mundtlige slutevaluering var der tillige almindelig tilslutning til, at man kan lade sig inspirere af andres uv-forløb og at en tematiseret idebank – meget gerne med eksemplariske forløb – til engineering var og ville være et værdifuldt udbytte. Det forstærker som tidligere nævnt relevansen af et engineeringprojekt med udvikling af (flere) eksemplariske forløb.

Kompetenceudvikling afspejlet i engineeringpraksis

Oprindeligt var det tiltænkt at gennemføre i alt 8 semistrukturerede undervisningsobservationer, men pga. COVID-19 blev det besluttet, at det første konsulentbesøg på de enkelte gymnasier skulle målrettes sparring til udvikling af uv-forløb, som i processen var blevet forsinket pga. pandemien. Det resulterede i ialt fire semistrukturerede undervisningsobservationer, der i sagens natur må regnes for øjebliksbilleder (situerede og ikke procesorienteret). Hertil følger, at observationerne vedrører forskellige øjeblikke i engineeringprocessen: et hold var i EDP-modellens sidste fase og præsenterede deres produkt og processen hen mod produktet (’Præsentere’); et andet hold var i gang med at konstruere den første prototype af flere (’Konstruere’); på det tredje hold var grupperne i gang med forskellige faser af EDP-modellen, nogle var i ’Undersøge’ og i gang med at indhente ny viden, andre i gang med at teste deres prototype, nogle var i ’Konstruere’ og udviklede endnu en prototype; på det sidste hold var flere hold i gang med forskellige delelementer af det samme projekt og her mindede undervisningen i mindre grad eller slet ikke om engineeringbaseret undervisning, men det udelukker ikke, at engineering blev mere tydelig senere i processen hos de enkelte grupper i uv-forløbet. Observationerne kan således ikke bruges til at godtgøre, i hvilket omfang, der har fundet professionel udvikling af engineeringkompetencer sted hos lærerne (eller hos eleverne).

Til gengæld giver observationerne i kombination med de efterfølgende samtaler (debriefing interviews) øjebliksbilleder af lærernes situerede engineeringpraksis, som generelt er opløftende og viser, at lærerne formår at bringe engineeringdidaktiske elementer i spil. Når det er bedst med: Et tydeligt narrativ og en præcis engineeringudfordring med rimelige frihedsgrader sætter rammen for elevernes gruppearbejde; EDP-modellen ekspliciteres uden, at den gøres unødigt instrumental; lærerne udvikler stilladserede uv-forløb og realiserer disse med brug af interventioner, der understøtter og gør engineering design processen tydelig ift. elevernes arbejde. I sådanne tilfælde tog eleverne godt imod engineering, og benytter EDP-modellen bevidst og fremhævede bl.a. potentialet i forbedre-fasen.

I andre tilfælde formåede lærerne i nogen grad eller slet ikke at få engineering og EDP-modellen sat i spil i deres undervisningsforløb: I et forløb hængte modellen på tavlen i klasselokalet, men eleverne kunne ikke

anvende faserne i EDP-modellen bevidst. På trods af dette var eleverne motiverede over produkt-aspektet i engineering og der var tydelige tegn på (nogen grad af) faglig læring (kognitiv læringsudbytte), men også tegn på affektivt og socialt læringsudbytte var tydelige. I et andet tilfælde kendte ingen af eleverne EDP-modellen, her virkede de demotiverede af undersøgelsen, som var styret af læren. Dette forløb adskilte sig fra alle andre forløb i Region H-projektet.

Billedet af, at engineeringundervisningen på mange måder har været velfungerende (i de fleste forløb) afspejles i den forløbskarakterisering, som eleverne har givet i postsurveys umiddelbart efter afslutning af hvert engineeringforløb (n = 398). Her svarer 72%, at de anser engineeringopgaverne for at være "tilpas svære", 87% angiver, at de "fik mulighed for at udvikle på egne ideer og løsningsforslag", 86%, at de var "nødt til at lave undersøgelser for at komme frem til en god løsning". Hertil følger, at 81% oplevede, at "Engineering-begreber og engineeringprocessen blev italesat af lærerne", 78%, at der "var afsat tid til, at vi kunne re-designe og optimere vores løsning". Endelig ligger tilslutningen til, at "vi fik løbende feedback af vores lærer på vores produkt og engineering proces" på 75%, og "Vores produkt blev bedømt efter de udmeldte kriterier" på 73%.

Elevernes gennemgående tilfredshed på disse parametre triangulerer således lærernes oplevelse af at have fået et engineeringdidaktisk løft. Det positive billede går igen i elevernes oplevelse af engineering som sjovt, spændende og med god variation (figur 4) og elevernes oplevelse af generiske kompetencer / 21st century skills (figur 6), men i elevernes relative tilfredshedsniveauer aner man også visse udfordringer, som træder tydeligere frem i andre dele af det empiriske materiale, særligt projektets betydning for elevernes langsigtede interesser (figur 5) herunder elevernes egen oplevelse af meta-læring rettet mod generiske kompetencer og interessen for mere praktisk-undersøgende arbejde.

Observerede lærerudfordringer

I projektansøgningen var det formuleret som et selvstændigt vidensmål at få "indblik i lærernes udfordringer ved implementering af engineering i undervisningen" i naturvidenskabsfagene. Disse fremgår både som observationer, workshops-diskussioner, lokale interviews og debriefinger, samt de afleverede forløbsbeskrivelser (to per gymnasium). Selvom engineering positivt bidrager til (en situeret) målopfyldelse af forandrings-teori for de fire gymnasier (figur 2), så er det ikke overraskende for et efteruddannelsesforløb af moderat længde, at dataene her indikerer, at ikke alle udfordringer er elimineret ved afslutning.

Med henblik på udrulning og opskalering af engineering i stx er der en række centrale udfordringer som er vigtige at adressere, ligesom det var tilfældet i Region Midt. Det er samtidig vigtigt at finde løsninger på disse udfordringer, både ift. tiltag i efteruddannelse eller i lokale arbejder, men også i rammesætning for undervisning i stx gennem et blik på fagenes læreplaner og vejledninger herunder eksamensformer i fagene, der kunne sigte mod et øget undersøgende og praktisk fokus. Af hensyn til sådanne tiltag og fremtidige arbejder følger her en række centrale udfordringer:

- *At mange stx-undervisere har et fagligt indholdsfokus i deres tilgange til naturvidenskabsfagenes lærerplaner – på bekostning af naturvidenskabelige metoder og de fire naturvidenskabelige kompetenceområder (generiske kompetencer):* Konkret betyder det, at læringsrummet 'Gruppe- og projektarbejde' (Beck & Gottlieb 2002), der fordrer træning af samarbejdsevne, selvstændighed og ansvarlighed anlagt til fordel for dybdelæring og udvikling af kompetencer ofte ikke prioriteres højt. Læringsrummet har

ofte et problembaseret fokus, ligesom det er tilfældet med engineering, og det kræver tid. Ikke mindst, hvis man ikke er trænet i at arbejde problembaseret, og, hvis man ikke har erfaringer med, hvordan også det fagfaglige kan blive til noget mere og større gennem dybdelæring.

Typisk er det derfor, at andre læringsrum, der byder på andre aktiviteter vælges til. Det forklarer lærerne med stoftrængsel og de nuværende eksamensformer, der ikke hædrer elevernes udviklede (eller ikke udviklede) kompetencer. Fokus i undervisningen bliver i stedet at nå prøverettede (faglige) mål på bekostning af naturvidenskabelige og generiske kompetencer. Her er studieretningsprojektet (SRP) og de nyere fællesfaglige forløb (FFF) en mulig undtagelse – men også de kan givet vis understøttes yderligere (stilladseres), hvis en del af den ordinære naturvidenskabelige undervisning blev udlevet i det problembaserede læringsrum.

- *At udnytte engineering som vej til faglig læring:* Engineering og den tilhørende engineering design proces (EDP-modellen) er i projektet blevet introduceret som en særlig didaktisk tilgang til det problembaserede arbejde – som middel til faglig viden. Visse lærere i projektet viste sig at have god gavn af de didaktiske modeller og her havde mange også læst og eksplicit anvendt de udleverede materialer, men i adskillige tilfælde, så vi lærere implementere engineering som en *anvendelse* af allerede tillært faglig viden. Det kan føre til, at arbejdet med engineering bliver unødigt tidskrævende; at EDP-modellen i undervisningen ikke bliver et redskab til læring af faglig viden hos eleverne; at det problembaserede læringsrum med engineering ikke åbner sig tilstrækkeligt op til at dybdelæring bliver en reel mulighed.
- *At erkende og udnytte de særlige træk ved engineeringprocessen:* Et særligt kendetegn ved engineering er udvikling af et produkt ('Konstruere' i EDP-modellen) gennem iterativ, systematisk og fagligt funderet optimering ('Forbedre' i EDP-modellen). Engineering adskiller sig således fra mange innovationsdidaktiker og fra det meste af det undersøgende arbejde, der finder sted i naturvidenskabsundervisningen i stx. Flere af lærernes uv-forløb bar imidlertid præg af, at EDP-modellens forbedrings-fase i nogen grad eller helt udeblev, og dermed udeblev det særlige ved engineering i undervisningen. I et enkelt uv-forløb havde produktet heller ikke et egentlig fokus.
- *At håndtere de åbne læreprocesser, som engineering introducerer, herunder de gruppeprocesser som engineering aktualiserer:* Erfaringen med åbne problembaserede læringsformer er ofte begrænset hos selv de mest rutinerede undervisere i stx, og tilsvarende hos de fleste elever. På den ene side udfordrer det lærernes håndtering af designbaserede eksplorative arbejdsprocesser, hvor lærerne ofte ikke selv kender rummet af mulige løsninger, og ej heller fagfagligt oplever at kunne vejlede eleverne. Lærerne kan derfor opleve at komme ud af deres komfortzone. På den anden side kan eleverne opleve at lange engineeringprojekter udfordrer deres samarbejdsevne. Det taler ind i elevernes manglende mestringsoplevelser i sådanne læringsrum, og det kan forstærkes yderligere, hvis lærerne *ikke* er trænet i håndtering af stilladsering og fagfaglige og procesorienterede interventioner (fx FITS's model af van Breukelen 2016).
- *At evaluere elevernes udbytte af engineering:* Om end summativ evaluering er en integreret del af stx, så udebliver ofte en systematisk formativ evaluering af elevernes læring i egen praksis, ligesom det er tilfældet i flere andre europæiske lande (fx Dolin & Evans 2018). Her kan udfordringen dels være en udbredt gymnasial træning i at foretage systematisk lærings-evaluering, dels en betydelig uklarhed på, hvorledes procesaspekter og generiske kompetencer faktisk vil kunne evalueres. Enkelte lærere efterspurgte adgang til de elevsurveys projektet udarbejdede, og det kan læses som udtryk for ønsket om en

evaluering af såvel proces- og kompetencer. Modsat blev de engineering-evalueringsværktøjer, som blev introduceret – med undtagelse af en enkelt gruppe – ikke taget i brug.

Det større kompetence-udviklingsperspektiv mht. engineering

De observerede udfordringer udtrykker, at der er grænser for, hvor langt man kan nå med kompetenceudvikling i et projekt af dette omfang. Fra den internationale forskning om professionel udvikling mht. engineering ved man godt, at én ting er at have viden *om* engineering ("knowing about"), en anden er at omsætte denne viden til praksis ("knowing to", SUN 2014). Det er således relevant at betragte det afviklede efteruddannelsesforløb i engineering som et væsentligt og vellykket *første skridt*, som med fordel kan udbygges. Det gælder for hovedparten af lærerne, mens et par af dem tydeligvis er nået endnu længere og har opnået tilstrækkelig erfaring til at omsætte denne viden til praksis.

I alle fald er det afgørende, at lærerne tilkendegiver (80% er overvejende enig eller helt enig), at det gennem projektet "er blevet vigtigt for mig at få mere engineering ind i undervisningen" (figur 3). Der forekommer at være skabt et grundlag for en videre udvikling af egen engineeringpraksis hos hovedparten af lærerne, hvilket også kommer til udtryk i ønsket om fortsættelse af engineeringarbejdet i det nye Region H projekt med udvikling af eksemplariske forløb, hvor alle fire gymnasier deltager.

For at konsolidere arbejdet på de enkelte gymnasier blev disse (som nævnt ovenfor) bedt om at lave en lokal forankringsplan. Her finder man først og fremmest mere kortsigtede planer for udbredelsen af erfaringerne med engineering til en lokal skalering i en inklusionsproces rettet mod de øvrige naturvidenskabelige kolleger. To gymnasier har valgt en strukturel forankring og to en frivillig forankring:

- Det ene gymnasie valgte en strukturel model, der omfatter engineering som en del af undervisningen på alle naturvidenskabelige studieretninger.
- Det andet gymnasie en strukturel model med engineering som en del af grundforløbet på STX og i det fællesfaglige forløb, FFF1.
- Det tredje gymnasie valgte en model med frivillig forankring, her lader de kontinuitet og spredning af engineering være op til de enkelte projektlærere og de fagteams som de indgår i.
- Det fjerde gymnasie valgte ligeledes en frivillig forankring finde sted, men organiseret ved, at de internt gymnasiet dels har oprette et internt netværk for engineering, der faciliteres af de nuværende projektlærere, benævnt "engineeringambassadører", og dels, som en del af en eksisterende tids-og-økonomiordning, så kan den enkelte lærer eller gruppe af lærere, der indgår i professionelle læringsfællesskaber (PLF'er), søge om tid og penge til et eller flere engineeringprojekter.
- Endeligt har alle fire gymnasier ønsket at bidrage til et nyt engineeringprojekt for Region H med udvikling eksemplariske forløb, der afvikles i 2022 – 2023, hvilket forventelig vil bidrage til yderligere forankring på de fire gymnasier – uhindret nuværende valg af forankringsmodel.

Strukturel og værdimæssig forankring af engineering er afgørende for den videre udvikling af såvel engineering som lærernes engineeringkompetencer. Her læses det nye engineeringprojekt i Region H med fokus på udvikling af eksemplarisk uv-forløb som positivt ift. yderligere kompetenceudvikling.

1C. Målet om at udvikle naturvidenskabsundervisning, så den fremmer elevernes interesse for naturvidenskabelige fag (og evt. for STEM-karrierer), øger deres innovative og problemløsende kompetencer samt styrker deres vedholdenhed i undervisningen.

EIG-projektet og elevernes interesse for naturvidenskabsfag og STEM-karrierer

Kortlægning af tidligere danske "engineeringlignende" projekter i grundskolen (EIS-projekter) (Sølberg & Waadegaard 2019) peger på, at engineering har potentiale til at fremme elevernes interesse for naturfag. Forskellen fra naturfag i grundskolen til de naturvidenskabelige fag i gymnasiets stx er bl.a. en teoretisk orientering. Men på trods af denne faglige forskel, så viste EIG-projektet i Region Midt ligesom tilfældet i EIS-projekterne, at arbejdet med engineering kunne virke interesseskabende hos eleverne.

I EIG-projektet i Region H er dette blevet undersøgt (på samme måde som i Region Midt) vha. elevsurveys ved afslutningen af de enkelte engineeringforløb i projektet – mens oplevelsen stadig stod i frisk erindring hos eleverne. Postsurveyen indeholdt bl.a. spørgsmål til en række forskellige udbyttémål, herunder forskellige aspekter af elevinteresse og motivation. Figur 4 opsummerer elevernes oplevelse af vigtige affektive spørgsmål. Som det fremgår, syntes omtrent 3 ud af 4 elever, at engineering gør noget godt for deres oplevelse af den naturvidenskabelige undervisning som situeret opleves som sjov, spændende og som god variation. Region H projektet leverer således belæg for, at engineering fremmer interessen for størstedelen af elevgruppen, i hvert fald på den korte bane. Sammenlignet med Region Midt, hvor 4 ud af 5 elever havde den samme oplevelse, så kan noget af forskellen skyldes foromtalte COVID-19, hvor en del lærere i Region H oplevede deres egen og elevernes reaktion på engineering som en ufuldendt oplevelse. Det fremgår også af elevpostsurveyen, hvor et udsnit af typiske COVID-19-kommentarer ser sådan ud: "Manglende produkt var resultatet af corona", "Vi kunne naturligvis ikke nå at blive færdige pga. corona" og "ved ikke, hvad der blev bedømt pga. corona".

Elevernes oplevelse af engineering som sjovt, spændende og med god variation:

- 82% finder, at "engineering var med til at skabe en god variation i undervisningen"
- 73% synes, at "engineering var sjovt"
- 78% synes, at "det var spændende at lære at arbejde på den måde som ingeniører gør"
- 61% "ville gerne have mere engineering i undervisningen"

Datagrundlag: n = 398 elever svarer efter hvert afsluttet engineeringforløb (ikke nødvendigvis unikke elever). Fire grader af tilslutning (Helt uenig, Overvejende uenig, Overvejende enig, Helt enig). Procenttal ovenfor er summen af Overvejende enig og Helt enig.

Figur 4. Elevernes oplevelse af engineering og det oplevede læringsudbytte af engineering.

For at indfange de faktorer, som medvirker til, at engineering motiverer størstedelen af stx-eleverne, blev de også bedt om at beskrive, hvad det "bedste" ved forløbet var. Et typisk udsnit af svar ser således ud:

- Selvstændigt arbejde.
- De frie rammer og man fik lov til at tænke med.
- At skulle være kreativ og udtænke alting selv.

- Optimalt at kunne forbedre sin undersøgelse.
- Vi skulle lave en masse undersøgelser, for at vise at vores ide var en god løsning.
- For at forstå, hvordan noget virker, så bliver man nødt til at have viden om processen.
- Interessant emne, som man kunne dykke ned i.
- Vi fik en masse ny viden i projektet.
- Det var en god oplevelse med en masse teamwork og hjernevidende forsøg.

Det er meget tydeligt, at eleverne motiveres af de større frihedsgrader i engineering og den autonomi, som de dermed oplever i processen. Det at være kreativ, selv at få ideer og både undersøge og realisere dem tilføjer det traditionelle undersøgende arbejde i naturvidenskab et anderledes, motiverende element. Nationale og internationale studier viser, at meget traditionel undersøgende arbejde i gymnasiet har en deduktiv læringsstrategi (fx Dolin & Evans 2018), der fx nomotetisk skal eftervise eksisterende lovmæssigheder.

I spørgeskemaet er eleverne også blevet bedt om at foreslå forbedringer til de forløb, som de har oplevet. Her er det langt det hyppigste synspunkt, at de gerne ville have haft mere tid til re-design af prototyper ('Forbedre' i EDP-modellen). Det står i kontrast til lærernes bekymring om stoftrængsel / eksamensformer og tidsforbruget ved at gennemføre en fuld engineeringproces. Desuden efterspørger eleverne mere tid til hjælp fra læreren (interventioner differentieret på gruppeniveau som hos van Breukelen mfl.) og mere sammenhængende tid (frem for korte moduler). Det kan pege på, at engineeringprocessen på nogle hold endnu ikke er en indøvet arbejdsform og dermed bliver mere tidskrævende og fagligt udfordrende for lærerrollen og elevernes træning i selv at opsøge ny viden ('Undersøge' i EDP-modellen).

I henhold til teorierne for elevinteresse, så burde tilstrækkeligt mange øjeblikkes situeret interesse kunne hobe sig op til en mere langsigtet *personlig interesse* (Hidi, 2006). Af den slags som kommer til udtryk i overvejelser omkring fremtidige karrierer og jobvalg. På forhånd kan man godt være lidt skeptisk omkring at tro på sådanne udbytte mål af EIG-projektet, al den stund, at langt de fleste elever kun har mødt engineeringtilgangen i et enkelt tilfælde. Umiddelbart ser elevernes survey-svar jo også mere mådeholdende ud her (figur 5). Alligevel er det både *positivt og en kende overraskende*, at en eller ganske få engineeringaktiviteter i den enkelte elevs undervisning rent faktisk får mellem 2/5 og 3/5 af eleverne til at mene, at det har påvirket deres umiddelbare karriere- og jobovervejelser – også i retning af mere interesse for naturvidenskab, praktisk-teknisk/problemløsende og ingeniørfaget. Det peger på, at åbne problembaserede læringsrum som engineering situeret set kan fremme interessen for videreuddannelse indenfor STEM-fag. Interesfeforskningen viser imidlertid også at fastholde og vækste en situeret interesse kan være svært. I særdeleshed hos unge, som typisk holder deres søgeprocesser åbne meget længe.

Elevernes karriererettede udbytte-oplevelse skal ses i lyset af, at lærere i EIG-projektet i højere grad har set sig selv som formidlere af en faglig og almindende undervisning, end som fortalere for bestemte karrierevalg eller som rekrutteringsagenter. Lærerne har introduceret "engineering" som en faglig arbejds metode, men ikke søgt at italesætte, hvilke typer af ingeniører, der findes og hvad disse typisk laver. Ingen af lærerne giver ej heller udtryk for at have benyttet EtF-tilbuddet 'Book en ekspert'.

Projektets betydning for elevernes langsigtede interesser mht. karriere og job:

- 54% synes, at "jeg lærte noget som er relevant, og kan bruges i livet udenfor skolen"
- 42% synes, at "jeg lærte virkelig noget, som de kan bruge i et fremtidigt job"
- 55% synes, at "jeg blev mere interesseret i et arbejde inden for naturvidenskab"
- 60% synes, at "jeg blev mere interesseret i et arbejde praktisk-teknisk og problemløsende"
- 43% synes, at "jeg blev mere interesseret i at arbejde som ingeniør"

Datagrundlag: n = 398 elever svarer efter hvert afsluttet engineeringforløb (ikke nødvendigvis unikke elever). Fire grader af tilslutning (Helt uenig, Overvejende uenig, Overvejende enig, Helt enig). Procenttal ovenfor er summen af Overvejende enig og Helt enig.

Figur 5. Projektets betydning for elevernes langsigtede interesser mht. karriere og job.

EIG-projektet og generiske & fremtidsrettede kompetencer

Der findes forskellige bud på, hvilke generiske kompetencer unge vil få brug for i et fremtidsrettet perspektiv. De fleste peger på, at det vil være godt at kunne forholde sig fleksibelt og kreativt til problemløsning, ikke lade sig slå ud af modgang (vedholdenhed, resiliens) og at kunne indgå i samarbejder. Disse aspekter er også forfulgt i elevpostsurveyen (figur 6).

Elevernes oplevelse af udbytte i form af generiske og fremtidsrettede kompetencer / 21st century skills:

- 79% synes, at "jeg blev bedre til at arbejde innovativt og problemløsende"
- 77% synes, at "jeg lærte, at man ikke skal lade sig slå ud af, at tingene ikke lykkes i første omgang"
- 81% synes, at "man skulle være kreativ for at løse de stillede opgaver"
- 87% finder, at "vi var nødt til at arbejde sammen for at løse opgaven/problemet ordentligt"

Datagrundlag: n = 398 elever svarer efter hvert afsluttet engineeringforløb (ikke nødvendigvis unikke elever). Fire grader af tilslutning (Helt uenig, Overvejende uenig, Overvejende enig, Helt enig). Procenttal ovenfor er summen af Overvejende enig og Helt enig.

Figur 6. Elevernes oplevelse af generiske og fremtidsrettede kompetencer / 21st century skills.

I figur 6 er de to første spørgsmål elevernes oplevede udbytte, mens de sidste to snarere angiver, at engineeringforløbet har stimuleret til et sådant udbytte. Det peger på at mindst 4 af 5 elever har haft en engineeringoplevelse – der på trods af COVID-19 mv. – har været positiv, når det gælder innovation/kreativitet, problemløsning og vedholdenhed. Dette bekræftes i nogen grad af lærernes afsluttende survey, hvor 90% af lærerne tilkendegiver, at eleverne er blevet bedre til "produktrettet, iterativ problemløsning", og 70% af lærerne tilkendegiver, at "eleverne fik et andet blik for, at naturfaglig viden kan anvendes på real-world problemstillinger", og tilsvarende 70%, at "eleverne lærte, at fejl kan være lærerige, blot man bliver ved og lærer af dem." Lærernes oplevelse er således i dur med elevernes svarprocenter om end lidt mere forbeholden.

Alligevel er det positivt at så mange lærere oplevede, at deres elever udviste tegn på generiske og fremtidsrettede kompetencer, og det kan tilskrives, at de realiserede engineeringforløb formåede at vise sider af eleverne som fx kagebogsforsøg normalvis ikke motiverer. Samtidig kan en udeblivelse af sådanne tegn skyldes, at flere lærere, særligt de med lille erfaring med engineering, kom til at stilladsere deres uv-forløb i

en sådan grad, at det intenderede åbne gruppe- og problemløsende læringsrum blev lukket af. I disse tilfælde kan det have betydning for, hvordan lærerne oplevede elevernes udbytte af generiske og fremtidsrettede kompetencer.

1D. Målet om at undersøge undervisningsmetoden engineering's potentiale i undervisningen i naturvidenskabelige fag på stx.

I formålsparagraffen til Lov om de gymnasiale uddannelser (2022), som gælder *alle* gymnasiale uddannelser anføres det, at eleverne her skal "tilegne sig almindelig viden og kompetencer". I §1.3 uddybes dannelseperspektivet bl.a. med følgende sætning "Uddannelserne skal tillige udvikle elevernes kreative og innovative evner og kritiske sans". Længere nede specificeres det almene gymnasiums egenart gennem følgende paragraf § 5. *I uddannelsen til almen studentereksamen er fagligheden nært forbundet med videnskabsfagene inden for humaniora, samfundsvidenskab og naturvidenskab. Uddannelsens formål, jf. § 1, realiseres således inden for en bred, almen fag række. Uddannelsen skal udvikle elevernes evne til faglig fordybelse og deres forståelse af videnskabernes anvendelse. Der lægges i undervisningen vægt på såvel det teoretiske som på fagernes anvendelse til analyse af almene og videnskabsrelaterede problemstillinger.*

Formelt er stx således primært karakteriseret ved en betoning af faglig fordybelse og teori i nær tilknytning til videnskabsfagene. Faglige anvendelser omtales også, men da med analyse og forståelse som sigte. Både fagernes læreplaner, og de traditionelle fagforståelser som former lærernes tænkning og praksis, baserer sig en sådan forståelse. *Det er således afgørende for engineering's potentiale i stx, at man kan dokumentere, at denne undervisningstilgang fremmer det traditionelle faglighedsprojekt. Eller subsidiært, at det uden at skade den traditionelle faglighed formår at fremme elevernes STEM-interesse og åbner for nye fremtidsrettede generiske kompetencer.*

Bekymring 1: Faglig læring gennem engineering?

I projektet har vi indsamlet både lærernes og elevernes opfattelse af den faglige læring. Lærernes belyst vha. surveys og interviews. Eleverne udelukkende vha. surveys.

Lærerne er meget positive (100%) ift. elevernes faglige udbytte af engineering, når det omhandler, at "Eleverne blev bedre til selv at undersøge og håndtere naturvidenskabelige metoder", dvs. fagligt udbytte relateret til færdigheder (figur 7). Men moderat positive, når det kommer til det faglige indhold (vidensmål). Her er der stillet to spørgsmål som krydstjek, der dels peger på, at 60% af lærerne oplever, at engineering bidrager til elevernes læring af "nyt fagligt indhold", men det betyder dog ikke, at engineering direkte forhindrer eleverne i at opnå faglig læring, idet 90% af lærerne er u enige i, at "Engineeringaktiviteterne understøtter ikke elevernes læring af centralt fagligt indhold". Om de enkelte forløb bidrager til fx kernestof i faget afhænger af det udviklede uv-forløbet, udfordringen og narrativet i kombination med elevsammensætning og -grupper. Således kan lærernes erfaring i design af engineeringbaserede undervisningsforløb have haft betydning for, om eleverne også "når" det som lærerne vil karakterisere som "nyt fagligt indhold".

Lærernes oplevelse af fagligt udbytte hos eleverne	Antal lærere med denne grad af tilslutning (%)			
	Helt uenig	Overvejende uenig	Overvejende enig	Helt enig
1. Eleverne blev bedre til selv at undersøge og håndtere naturvidenskabelige metoder	-	-	90	10
2. Eleverne lærte et nyt fagfagligt indhold gennem engineeringaktiviteterne	10	30	60	-
3. Engineeringaktiviteterne understøtter <i>ikke</i> elevernes læring af centralt fagligt indhold [NB: krydstjek, spørgsmålet vendt]	10	80	20	-

Figur 7. Lærernes oplevelse af fagligt udbytte hos eleverne på de fire gymnasier (n = 11).

"Engineering processen klæder eleverne godt på til at arbejde selvstændigt, men kræver i særdeleshed stilladsering, da eleverne ellers let får følelsen af at famle sig for meget frem. Elevernes faglige udbytte sikres ved, at underviser har fokus på stilladsering i forhold til både faglige mål og kerne stof."

"I fremtiden på nye hold, vil jeg køre to små Engineering-projekter bare sådan for at give eleverne den der "WAUUV"-oplevelse ... Så eleverne kan få lov til at føle, at de blomstre lidt selv, at de har medejerskab i undervisningen, at de faktisk godt kan bidrage selvom de bare har faget på C-niveau."

"Eleverne blev meget motiverede, og syntes det var sjovt. De fik en bedre forståelse for forsøget."
 "De får tænkt mere over, hvordan man skal udføre eksperimenter."
 "Eleverne fik et rigtig godt udbytte metodisk og innovativt. Deres motivation for faget og naturvidenskab vil jeg vurdere som uændret efter forløbet, de er i forvejen meget motiverede."
 "Jeg synes en del elever fik en stærkere oplevelse af værdien af deres egen indsats. Fordi det eksperimentelle arbejde ikke var tilrettelagt i ligeså høj grad som normalt, så oplevede de tydeligt, at hvis de ikke foretog sig noget, kom de heller ikke videre. En del var også overraskede over hvor lang tid det tog at få fornuftige resultater, når analysemetoden ikke er kørt ind på forhånd. En del oplevede også flere frustrationer og modstand end den "normale" undervisning byder på. Nogle havde en oplevelse af, at processen var unødigt besværlig, når de selv skulle sætte sig ind i det faglige. Andre oplevede et øget ejerskab og engagement til projektet."

Figur 8. Udvalgte (repræsentative) citater fra lærerpostsurvey og slut lærerinterviews.

En lærer oplever det faglige udbytte hos eleverne således, når blot stilladsering understøtter gruppearbejdet, faglige mål og kerne stof: "Eleverne har lært at stå på egne ben igennem deres forløb med engineering. [...] Engineering processen klæder dem godt på til at arbejde selvstændigt, men kræver i særdeleshed

stilladsering, da eleverne ellers let får følelsen af at famle sig for meget frem. Elevernes faglige udbytte sikres ved, at underviser har fokus på stilladsering i forhold til både faglige mål og kernestof.”

Generelt kan det sammenfattes, at *lærernes begejstring for elevernes oplevelse af engineering som ramme for det åbne gruppe- og projektarbejde står tydeligt frem* i lærersurveys og afsluttende lærerinterviews. Der er en generel positive opfattelse af et meningsfuldt læringsrum fyldt med undersøgende naturvidenskabeligt og problembaseret arbejde, hvilket bl.a. kommer til udtryk i følgende lærercitater (figur 8).

Blandt eleverne er der en generel oplevelse af, at de har opnået et fagfagligt udbytte gennem de enkelte engineeringforløb (figur 9). Den fagfaglige oplevelse er i tråd med lærernes oplevelse, og det kan som beskrevet ovenfor have at gøre med flere forhold: COVID-19 der forhindrede, at alle uv-forløb blev afsluttet med et produkt, og oplevelsen af relevans ift. forestående eksamener. Det er dog alligevel ganske positivt, at såvel lærere som elever i 3 ud af 4 tilfælde har oplevet, at de har opnået ny faglige læring. Ikke mindst i lyset af, at læringsrummet med gruppe- og projektarbejde sjældent bliver besøgt og engineering introducere en ny tilgang til det undersøgende arbejde, der også udfordrede erfaringer med gruppesamarbejde.

Elevernes oplevede læringsudbytte af engineering:

- 76% synes, at ”jeg lærte en masse fagligt i forløbet”
- 74% oplever, at ”engineeringopgaverne hjalp én til at forstå andre dele af faget”
- 66% synes, at ”jeg lærte en masse om ingeniørers arbejds- og tænkemåder i forløbet”.

Datagrundlag: n = 398 elever svarer efter hvert afsluttet engineeringforløb (ikke nødvendigvis unikke elever). Fire grader af tilslutning (Helt uenig, Overvejende uenig, Overvejende enig, Helt enig). Procenttal ovenfor er summen af Overvejende enig og Helt enig.

Figur 9. Elevernes oplevelse af faglig læring og læring om ingeniørers arbejds- og tænkemåder.

Bekymring 2: Fagligheds-value-pr-time brugt

På trods af den almindelige tilslutning til, at eleverne kan lære faglige pointer gennem engineering, så er en del lærere bekymrede for, at det tager længere tid end det ville gøre i en traditionel begrebsrettet undervisning. Denne bekymring førte til, at en lille gruppe af projektdeltagere med et vist held søgte at udvikle korte og/eller snævert fokuserede ”micro-engineering”-forløb. Det lykkedes i de tilfælde, hvor eleverne i forvejen var bekendt med engineering design processen (EDP-modellen).

Tidsbekymringen er hos nogle undervisere også forbundet med, om engineering nu spænder ben for, at man kan nå at forberede eleverne til fagets prøver. Halvdelen (50%) af lærerne har svært ved at se, at engineeringaktiviteter kan indgå i en prøvesammenhæng, hvilket selvsagt øger tidsbekymringen. Her er der ingen tendens ift., hvor erfaren lærerne er.

Alt i alt udviser engineering potentiale for faglig læring (vidensmål og færdighedsmål) i stx, ikke mindst, hvis engineering metoden trænes af lærere og elever i mere end et forløb. Samtidig er der grund til at overveje summative evalueringsformer (eksamen) og hvordan elevernes færdigheder og kompetencer i øget grad kan indgå som grundlag for evaluering. Desuden er der grundlag for at undersøge, hvordan stoftrængsel kan omgås eller imødegås gennem casearbejde og åbne problembaserede læringsforløb som engineering er et eksempel på.