

Engineering i stx – et prototypisk proof-of-concept



Lars Brian Krogh,
lektor, VIA
University College



Anne Hansen,
Engineer the Future

Abstract: Pilotprojektet Engineering i gymnasiet (stx) var tænkt at afdække potentialet og vanskelighederne ved at indføre engineeringtilgange i den naturvidenskabelige stx-undervisning, der traditionelt er fokuseret omkring teorier og teorirettede undersøgelser. Naturfaglige lærere fra tre gymnasier deltog i projektets workshops, praksisafprøvnings og materialeudvikling. Der blev indsamlet empiri på lærer- og elevniveau vha. surveys, observation og interviews. Både lærere og elever oplever at engineeringforløb bidrager til faglig læring, især metodisk, til elevmotivation og til generiske kompetencer. Projektet peger dog også på behovet for fortsat udvikling af mindre tidskrævende engineeringformater samt indsatser ift. stilladsering og evaluering af engineering's særlige udbytte mål. Som prototype fungerer det!

Indledning

Idéen om at indføre engineering-elementer til naturvidenskabsundervisningen er først og fremmest opstået i USA hvor en række tiltag fra ITEEA (International Technology and Engineering Educators Association) har været med til at bane vejen. ITEEA argumenterer bl.a. for at engineering ("to do technology") er en del af en opdateret dannelse som alle dagens elever bør tilegne sig (ITEEA, 2007). Derudover pointerer de at engineering har potentiale til at styrke og integrere faglige elementer fra en række fag, herunder de andre STEM-fag. Efterfølgende er engineering slået igennem i læreplanerne i det store amerikanske curriculumtiltag *Next Generation Science K-12*. Her er det et centralt mål at eleverne gennem naturfagsundervisningen lærer otte specifikke *science and engineering practices*. I læreplanerne er engineering-kompetencer således ligestillet med de naturvidenskabelige kompetencer med den begrundelse at engineering og teknologi giver eleverne en kontekst hvori de kan anvende og udvikle deres naturvidenskabelige kompetencer og interesse (National Research Council, 2012, p. 12).

Herhjemme indgår engineering i strategipapiret "Sammen om naturfag" fra 2017 (Bohm et al., 2017), som anbefaler et tættere samspil mellem naturvidenskab, teknologi,

engineering og matematik i undervisningen (STEM, p. 7). Samtænkningen har her det dobbelte sigte at styrke danske elevers almendannelse samt fremme rekrutteringen til naturvidenskabelige og teknologiske uddannelser og erhverv. Senest har Danske Gymnasier i deres naturvidenskabsstrategi fra 2020 anbefalet "at de almengymnasiale uddannelser implementerer en ny engineering- og praksisorienteret undervisningsform, der er inspireret af måden, ingeniører arbejder på, og som skal højne elevernes nysgerrighed, viden og bevidsthed om, hvilke problemer naturvidenskab kan bidrage til at løse" (Danske Gymnasier, 2021, pressemeddelelse 8.1.2021).

Mere konkret har projektet *Engineering i skolen* (EiS) tidligere introduceret engineering i naturfagsundervisningen i grundskolen. EiS-projektet, der indledtes i 2017, var et treårigt samarbejde mellem Engineer the Future, Astra, Naturvidenskabernes Hus og professionshøjskolen VIA. Indsatsens overordnede formål var at kompetenceudvikle grundskolelærere i engineering sideløbende med udvikling og afprøvning af en engineeringdidaktik og engineeringundervisningsmaterialer. Tiltaget blev eksternt evalueret af Naturfagernes evaluerings- og udviklingscenter (NEUC), der betegnede EiS som "et usædvanligt gennemtænkt tilbud til naturfagslærerne (Sølberg et al., 2019). Hvad angår elevernes udbytte fastslog NEUC at

"På tværs af indsatser oplever lærere, at eleverne kan udvikle generiske kompetencer (f.eks. problemløsning, samarbejdsevne og formidlingsevne), faglige kompetencer (inklusive praktiske kompetencer) og personlige egenskaber såsom vedholdenhed og selvtillid gennem engineering" (ibid., p. 7).

Som en konsekvens af succesen med EiS blev projektet i 2020 udvidet til et tiårigt program, der foreløbig har forestået efteruddannelse af naturfaglige grundskolelærere i 20 kommuner over hele landet. Projektet har også foranlediget at engineeringmetoden er skrevet ind i de nye faghæfter for naturfagene i grundskolen. Engineering har således vist sig at være et frugtbart tilskud til den naturfaglige undervisningspraksis i grundskolen. Samtidig er der udbredt enighed om at engineering er en særdeles velfungerende signaturpædagogik for *det tekniske* gymnasium (htx) hvor fagene teknologi og teknik er som skabt til denne tilgang. Umiddelbart lader erfaringerne herfra sig dog ikke overføre til de naturvidenskabelige fag i stx hvor hovedfokus i læreplanerne traditionelt er på begrebslige forklaringer og teoridrevne undersøgelser. Dertil kommer at den typiske htx-underviser også har en anden undervisningsbaggrund og indkulturering end den typiske stx-underviser, samt at de specialiserede produktionsværksteder på htx giver muligheder for engineering som laboratorier og makerspaces på typiske almene gymnasier ikke kan leve op til. Derfor har det kritiske spørgsmål været om engineeringtilgangen overhovedet fungerer i det almene gymnasium.

Projektet Engineering i gymnasiet i Region Midt

I kølvandet på EiS viste flere regioner og gymnasier interesse for at undersøge engineeringens potentiale i det almene gymnasium. Som en måde at gøre den naturvidenskabelige undervisning mere virkelighedsnær, anvendelsesorienteret og motiverende for den brede elevgruppe på. Og som en måde at bringe de problemorienterede kompetencer i spil, som eleverne har kæmpet for at tilegne sig gennem deres grundskoleforløb. Samt ikke mindst som et bud på hvorledes man i stx kan arbejde fagnært med at udvikle elevernes innovative og karriereorienterede kompetencer – tværgående kompetencer, der er blevet centrale udfordringer med den seneste gymnasireform.

Derfor indledtes i 2019 et toårigt pilotprojekt med det overordnede formål at undersøge potentialet for engineeringmetoden i det almene gymnasiums naturvidenskabelige undervisning. Projektet *Engineering i gymnasiet* (EiG-stx) fik støtte af Region Midt og blev til i et samarbejde mellem Engineer the Future, VIA University College og tre almene gymnasier fra regionen (se boks 1).

ENGINEERING I GYMNASIET (EiG-stx)

Projektperiode: 2019-2020

Partnere: Odder, Egaa og Silkeborg Gymnasium samt Engineer the Future og professionshøjskolen VIA. Sidstnævnte varetog efteruddannelsen i engineering samt evaluering af projektet.

Deltagere: 13 lærere + 590 elever med vægten på fagene fysik og bioteknologi, i mindre grad kemi og biologi.

Formål: At undersøge potentialet for engineeringmetoden i gymnasiets naturvidenskabelige undervisning, udvikle 'best practice' for implementering samt kompetenceløfte lærerne i engineeringmetoden.

Målene for pilotprojektet:

- 1) Efteruddannelse af naturvidenskabslærerne i engineering
- 2) Et første bud på en stx-rettet engineeringdidaktik
- 3) Udvikling af undervisningsforløb baseret på engineering
- 4) Evaluering af engineeringmetodens værdi i naturvidenskabelig undervisning i stx.

Indhold og struktur: 4 fælles workshops fordelt over 1 ½ skoleår. Afprøvning af engineering i praksis i perioderne mellem workshops, understøttet af konsulentbesøg.

Boks 1. Central information om projektet *Engineering i gymnasiet – stx*.

I det følgende vil vi fremlægge evalueringsdata som belyser engineeringens potentiale i stx, samtidig med at de også indkredser visse udfordringer ift. en mere udstrakt anvendelse af engineering i det almene gymnasium.

Projektets evalueringssetup

Projektet var systematisk evalueret, både formativt for at tilgodese den interne projektudvikling og summativt mhp. den afsluttende projektevaluering. Der blev således indsamlet følgende empiri:

- *Præ- og postelevsurveys.* I denne artikel vil vi først og fremmest inddrage resultater fra postsurveys som eleverne udfyldte umiddelbart efter at de havde gennemløbet et specifikt engineeringforløb. Fokus var her primært på at indfange deres oplevelse af det konkrete forløb samt deres oplevede læringsudbytte af forskellig art. Med enkelte undtagelser var der tale om lukkede likertskalaspørgsmål som muliggør en kvantitativ analyse af rimelig kvalitet idet der indgår 374 elevbesvarelser i denne del af empirien.
- *Præ- og postlærersurveys.* Her var præsurveyen primært tænkt at indkredse lærernes forståelse af engineering og erfaringer med engineeringlignende undervisning samt deres holdninger til denne type undervisning ved projektets start. Slutsurveyen følger op på enkelte af startsurveyens spørgsmål, men indfanger derudover læreroplevelsen af elevernes udbytte af engineering og deres eget udbytte af pilotprojektet. Begge surveys indeholder et miks af lukkede og åbne spørgsmål idet samplestørrelsen (N=12) her begrænser nytteværdien og udsigelseskraften af rent kvantitative mål.
- *Semistrukturerede undervisningsobservationer af engineering implementering med efterfølgende kontekstnære debriefinginterviews* som blev audiooptaget. Hver debriefingsamtale varede ca. 60 min. I alt blev der gennemført otte observationer med tilhørende debriefing på de tre gymnasier.
- *Semistrukturerede slutinterviews* med udviklingsgrupperne på hvert af de tre gymnasier. Her var der bl.a. fokus på lærernes oplevelse af elevernes udbytte af engineering og deres eget udbytte af forskellige aspekter af engineering-workshopforløbet. Vigtig var også deres overvejelser om hvorvidt/hvorledes projektet havde bidraget til at tackle en række specifikke udfordringer som var identificeret tidligt i forløbet.
- *Postinterviews med fem undervisere fra Region Nord* som havde sagt ja til at afprøve et af Region Midt-forløbene i deres undervisning. Dette var tænkt som en slags kvalitets- og robusthedstest på de udviklede materialer idet lærerne kun havde en enkelt eftermiddagsworkshop som introduktion til engineering inden de kastede sig ud i deres afprøvning.
- *6+ udarbejdede, afprøvede og reflekterede engineeringforløb.* Der er faktisk udviklet og beskrevet mere end seks engineeringforløb i projektet (derfor 6+), men de seks forløb som endte med at indgå i “afregningen” til opdragsgiver, blev i særlig grad elaboreret. I beskrivelsen indgår også lærernes postrefleksioner. Disse blev løbende fastholdt i procestemplates for hvert forløb.

Det er på dette empiriske grundlag at vi i næste afsnit vil forsøge at besvare i hvilken udstrækning engineering giver mening og fungerer også i en gymnasial stx-sammenhæng.

Engineering i stx – den praktiske udmøntning, udfordringerne og det oplevede elevudbytte

Artiklen bidrager i særdeleshed til at afklare engineeringens potentiale som undervisningstilgang i det almene gymnasiums naturvidenskabelige undervisning ved at belyse spørgsmålet ud fra de to sammenvævede perspektiver:

- *Undervisningsperspektivet: Hvordan implementeres engineering i den naturvidenskabelige undervisning hos et diversit udvalg af lærere? Hvordan tager pilotlæreres tidlige engineeringpraksis sig ud? Og hvilke udfordringer tegner der sig i denne praksis?* Empirisk indgår lærerinterviews, observationer, elevpostsurveyen, de udviklede forløb og tilhørende aktionslæringstemplates alle i udfoldelsen af dette perspektiv.
- *Læringsperspektivet: Hvad er elevernes læringsudbytte af engineering – efter elevernes hhv. lærernes opfattelse.* Her skal udbytte forstås meget bredt som omfattende både fagfaglig læring, situeret interesse og mere blivende karriereinteresse ift. både naturvidenskab og ingeniørvidenskab samt kreativitet og andre 21st century skills/generiske kompetencer. Empirisk trækker dette perspektiv især på elevpostsurveyen samt interviews og postsurveysvar fra lærerne.

I det følgende vil disse perspektiver blive udfoldet hver for sig.

Undervisningsperspektivet: Tidlig engineeringpraksis, udfordringer og undervisernes oplevelse af engineeringefteruddannelsen

Implementerede forløb og tidlig engineeringpraksis: Lærerne er gået ind i projektet med stor entusiasme, og hver lærer har været involveret i udvikling af mindst to forskellige engineeringforløb med en vis tidsforskydning. Det er blevet til en række ganske forskellige forløb, nogle i enkeltfag (fysik, biotek, kemi, naturvidenskabeligt grundforløb) og andre i fagligt samspil. Forskellene er så store at det er svært at tale om én tidlig engineeringpraksis blandt pilotlærerne. Men for at give et samlende fagdidaktisk blik på lærernes tidlige praksis er de seks indsamlede forløb karakteriseret på centrale engineeringdimensioner, se figur 1. De anførte forkortelser (EDP, FITS) er nærmere beskrevet nedenfor.

I workshopforløbet har mange af figurens kolonneoverskrifter været adresseret. Der har således været planlagte workshopaktiviteter mhp. at afklare hvordan den gode

engineeringaktivitet ser ud, og hvor bredt et engineeringprodukt kan forstås. Blandt anbefalingerne for en god engineeringudfordring er at den skal være autentisk og relevant for elevernes livsverdener. En anden anbefaling er at udfordringen er så åben og lavtstruktureret (“ill-structured”) at der i situationen er flere måder at løse udfordringen på. Samtidig skal den åbne for problemløsning på flere forskellige niveauer og give plads til både fejl og optimering. Hvad angår forståelsen af et engineeringprodukt blev der rammesæt drøftelser af om et produkt af engineering kunne være andet og mere end “en dims”, fx et stykke problemløsende software, en optimeret proces eller en problemtacklende konsulentrapport. Som det fremgår af engineeringudfordringskolonnen i skemaet, udtrykker forløbene en rummelig fortolkning af hvad man kan forstå ved et engineeringprodukt. Gennem workshopforløbet blev vigtigheden af at etablere “upfrontrelevans” og skabe elevengagement ift. engineeringaktiviteten hos eleverne betonet adskillige gange. Med henvisning til grundskoleprojektet EiS blev det bl.a. omtalt at man kan bruge narrativer i forløbsopstarten til at formidle at nogle i den virkelige verden har et problem som det vil være relevant at løse. Narrativet personliggør udfordringen samtidig med at det sparer undervisningstid idet eleverne ikke selv skal ud at identificere behovet for en løsning. Lærerne er samtidig blevet opfordret til at afprøve andre – og evt. mere stx-rettede – formater for en god forløbsopstart. De afleverede forløb afspejler i ligeligt omfang at relevansen etableres gennem narrativer og besøg i/fra virkeligheden som behovsskabelse. I samme omfang ser man (tidlige) forløb hvor etableringen af upfront-relevans totalt mangler.

Som en del af workshop-forløbet har adskillige bud på EDP-modeller været vist, bl.a. modellen fra EiS (Auener et al, 2018, p. 10) og den såkaldte FITS-model (van Breukelen et al., 2016). FITS-modellen udmærker sig ved at være optimeret mht. læringseffektivitet, hvad angår fagfaglig læring. I modsætning til EiS-modellen angiver FITS-modellen ikke bare de centrale engineering-processer, men inkorporerer bud på hvornår fagfaglige inputs er velanbragte. Den arbejder tillige bevidst med transfer af viden mellem et generelt naturvidenskabeligt undersøgelsesdomæne og et praktisk design-domæne, hvor tommelfingerregler gør god fyldest. Endelig har den indbygget en række stilladserende deltrin, bl.a. sessioner hvor eleverne deler ideer og viden. Skolerne endte med at afprøve tre forskellige modeller, som de hver især var pænt tilfredse med. Lærergruppen, som afprøvede FITS-modellen, fandt den således meget brugbar, især til egen planlægning. Til elevbrug endte de med at udvikle en forenklet repræsentation af FITS-modellen. Uafhængigt af den valgte EDP-model blev denne typisk blot præsenteret som en synliggørelse af “hvordan ingeniører arbejder – hvilket I skal prøve nu!”. Den efterfølgende anvendelse af EDP-modellen var meget forskellig, nogle steder blev den blot fremvist i optakten for ikke at spille nogen rolle efterfølgende. Andre steder blev eleverne løbende (fx i en logbog) holdt fast på at reflektere, hvor de var i deres EDP-proces.

Forløb	Timeforbrug (ca.)	Engineeringudfordring	Indledende rammesætning & relevansskabelse	Engineering-processmodel (EDP)	
1	825 min. (11 lektioner a 75 min.)	Byg et strengeinstrument som kan spille en simpel melodi.	Direkte til udfordring	FITS-model fra workshop EksPLICIT for elever	
2	525 min. (syv lektioner a 75 min.)	En testet prototype for hvordan folk kan færdes sikkert på isen på en sø.	Afsæt i et avis-narrativ	FITS-model fra workshop EksPLICIT for elever	
3	560 min. (otte lektioner a 70 min.)	Design et vaske-middel som kan fjerne en bestemt type snavs.	Direkte til udfordring	EDP fra Engineering i skolen. Eksplíciteret	
4	1750 min. (25 a 70 min. fordelt på flere fag)	Lav et escape-room til brug m. 8.-klasseselever på besøg.	Besøg i escape-room. Escaperoom bruges ifm. folkeskolebesøg på science-dag.	Ingen EDP. (implicit innovations-model)	
5	140 min. (50 + 90 min.)	Udvikl metode til at bestemme lysintensitet på Mars.	NASA-narrativ om livsmuligheder for cyano-bakterier på Mars	Engineering i naturvidenskab (EiN, lokal model) Eksplíciteret	
6	990 min. (11 lektioner a 90 min.)	Lav, og afprøv en model af en (tre-d) PET-scanner.	Hospitalsbesøg m. besigtigelse af scanner	Engineering i naturvidenskab (EiN, lokal model) Eksplíciteret	

Figur 1. Karakterisering af elaborerede forløb på centrale engineeringdimensioner.

	Mål	Stilladseringer	Underviserpostrefleksioner
	En række fagfaglige Elevmotivation Samarbejds- og “engineering-kompetencer” (uspecificeret)	Fagfagligt ressourcerum (omfattende)	Få reelle frihedsgrader og mådelig elevrelevans – men alligevel stort engagement. Masser af praktiske optimeringer. FITS er velfungerende.
	Fagfaglige (begreber, metoder, anvendelse) Specifikke EDP-processer 21st cent. skills	Ressourcerum (moderat) Elevlogbog Skridt m. delafregning	Mådelig elevrelevans, men “høj motivation for at finde på en løsning selv”. Der er behov for at øge elevernes fokus på at processen er det vigtigste.
	Kun fagfaglige mål angivet	Ressourcerum m. bl.a. vejledninger Uddelte grupperoller	Alle efterlyser mere tid – eleverne når kun undersøgelsesdelen. Udfordringen revideres så den er mindre (udvikl. “undersøgelsesprotokol”)
	Handlekompetence, samarbejde, problemløsning og andre 21st century skills At udvikle faglig opgave	Flere “generalprøver” – med respons og optimering	Elever med “stort ejerskab, ansvar og stolthed” Men: relativt lavt fagfagligt niveau
	En række fagfaglige mål Optimering af undersøgelsesmetode	Skriveramme – med tænkeprompts undervejs i processen	Beregningsdel for krævende Det tager væsentlig længere tid end vanligt. Der bør laves engineering-specifikke skriveprompts.
	Kun fagfaglige mål specificeret Omfattende traditionelle rapportkrav	Ressourcerum (fagfagligt)	Eleverne “nød projektarbejdets selvstændige karakter”. Uklart om eleverne har lært mere eller mindre end vanligt.

Som det fremgår af de listede mål for forløbene, har disse – med escaperoomforløbet som den klare undtagelse – været dominerede af fagfaglige mål, først og fremmest begrebslige læringsmål, men i enkelttilfælde også mål knyttet til undersøgelse. Praktisk taget al synlig forløbsplanlægning er startet i et ønske om at tilgodese bestemte fagfaglige mål. I flere af forløbene er der (vagere) formuleringer af mål som samarbejdsevne, problemløsningsevne, innovationsformåen. I workshopforløbet efterlyste vi eksplicit medtænkning af engineeringrelaterede læringsmål som et forsøg på at høste mulige ekstra sidegevinster af den fagnære engineering. Men kun én lærergruppe angav og forfulgte efterfølgende specifikke engineeringmål. Dette er konsistent med at pilotprojektets lærere allerede i deres præsurvey tilkendegav at være interesserede i engineering som en motiverende tilgang til at lære naturvidenskab. Ingen satte engineering i forbindelse med rekruttering til ingeniørstudier og karrierer hvilket af flere i interviews blev begrundet med at de opfattede at deres stx-naturvidenskabelige undervisning havde – og burde have – et anderledes bredt sigte.

Som en konsekvens af det fagnære fokus er det ikke overraskende at *fagfaglig* stilladsering i form af fagtekster og øvelsesvejledninger i et ressourcerum i udgangspunktet havde størst bevågenhed fra lærerside. Efterhånden som projektet skred frem, og flere fik praksiserfaringer for at der kunne være behov for andre typer af stilladseringer også, så blev der udviklet et rigere spektrum af såkaldt “hård stilladsering”. Hård stilladsering er støtteforanstaltninger som kan indtænkes i læringsmiljøet og undervisningsplanlægningen på forhånd når først man har et kendskab til typiske elevvanskeligheder ved en aktivitet (Saye, J.; Brush, 2002). Logbøger, skriveprompts, grupperoller og en opdeling af læringsvejen i skridt med tilhørende delprodukter osv. er alle eksempler på hårde stilladseringsformater som er velkendte fra den vanlige undervisning. Flere lærergrupper oplevede her at de generelle stilladseringer må tilpasses engineeringaktiviteten. Fx kan man ikke bare “genbruge” skriveprompts fra naturvidenskabelige undersøgelser til engineeringaktiviteter.

Identificerede udfordringer: Så vidt den første karakterisering af den engineering-praksis som blev udviklet i gruppen af pilotlærere hvoraf de fleste var rutinerede naturfagsundervisere, men engineeringnovicer. Med redskabet *Engineering Infused Lesson Rubric* (EILR) fra (Peterman et al., 2017) får man et skærpet analytisk blik på såvel den udviklede praksis som de udfordringer der synes at være for en mere vidtgående anvendelse af engineering i den naturvidenskabelige undervisning i stx. Redskabet EILR er iterativt udviklet af amerikanske forskere i vekselvirkning med undervisere som et bud på en syntese af kendetegn ved best practice ifm. engineering-forløb. Det har bl.a. været brugt til at karakterisere kvaliteten af engineeringforløb i stil med de i projektet udviklede. De fleste af kvalitetsdimensionerne knytter an til aspekter som allerede har været omtalt i det foregående, fx:

- Mål der både forfølger det faglige *og* det engineeringrettede.
- Udfordringer som er autentiske, har frihedsgrader og ikke kan løses overbevisende uden anvendelse af faglig viden.
- Undervisning hvor fag og engineeringdesign er stærkt koblet, hvor der er tid til udfoldelse af hele EDP-processen (inklusive optimering), og hvor der er bevidste stilladseringer (inklusive procesaspekter).
- Systematisk evaluering af læringsudbyttet – både fagfagligt og designrettet.

Med EILR som en slags analytisk *og* normativ rettesnor har det været muligt at reflektere over kvaliteten af de udviklede forløb, men nok så vigtigt har det skærpet blikket for hvor engineering først og fremmest har været udfordrende for vores brede lærergruppe i forløbet og for den etablerede naturvidenskabelige undervisningstradition, som de repræsenterer. Det er således med afsæt i store dele af projektets empiri at vi har identificeret den række af markante udfordringer for etableringen af engineering i naturvidenskabelig stx-undervisning som vi nu kort vil omtale. Når de nævnes her, er det ikke fordi de er uomgængelige eller uoverkommelige, men fordi de fortjener opmærksomhed og opfølgning i evt. kommende engineering i stx-projekter.

- Udfordringen *multidimensional læring*. Som allerede omtalt har traditionelle fagfaglige aspekter i betydelig grad overskygget dedikerede forsøg på at forfølge blødere og mere diffuse mål såsom elevmotivation, samarbejde, vedholdenhed osv. Planlægningen udspringer typisk af fagfaglige betragtninger, udfordringer og produktformer tvistes i retning af traditionelle faglige formater, opsamling sker med vægt på fagfaglige aspekter osv. I særdeleshed udelades engineeringrettede mål. Udfordringen skyldes formentlig lige dele uvidenhed om hvorledes disse anderledes mål forfølges, og manglende stx-naturvidenskabelig lærerpræference mht. at ville prioritere dem. Vidensafdækninger af den internationale litteratur på området (Daugbjerg, P.S. et al., 2021) antyder ellers at man bør kunne fastholde et sædvanligt fagligt niveau samtidig med også at realisere visse af de øvrige udbytter. Det kræver imidlertid målrettet multi purpose-planlægning hvis man vil høste sådanne læringsudbytter.
- Udfordringen *faglig integration*. I lyset af det foregående er der ingen risiko for at det fagfaglige indhold bliver væk i stx-udmøntningen af engineering. Fra EILR ved vi at det er kritisk at engineeringdesignet og det fagfaglige integreres på en måde så det faglige bringes ind når det er relevant, og i det omfang det er relevant for problemløsningen. Andre studier (fx Crotty et al., 2017) har vist at læringsudbyttet (i hvert fald det engineeringrelaterede) bliver størst såfremt engineering-udfordringen præsenteres først og både motiverer og fokuserer den efterfølgende læring. Tendensen

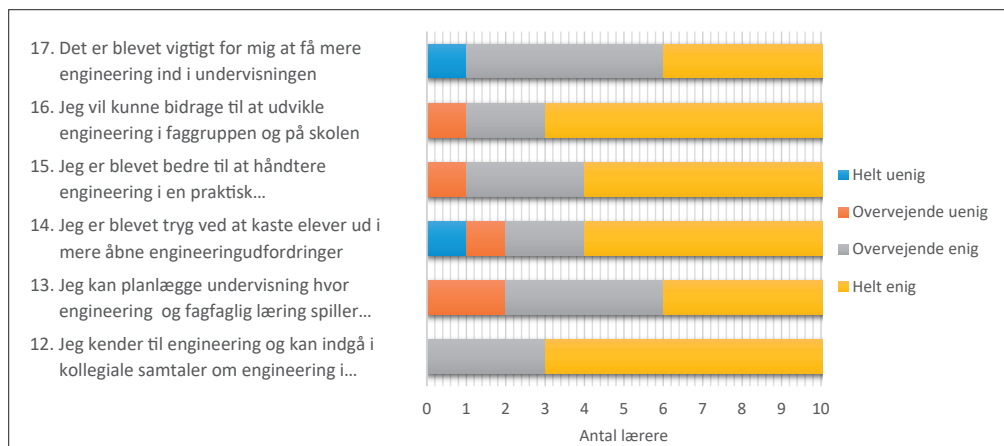
i pilotprojektet har overvejende været den omvendte: at engineering-udfordringen er kommet efter at der er etableret en fagfaglig basisviden, som eleverne så er tænkt at anvende ind i deres problemløsning. Fag først, og så en problemløsende design-fase er ikke optimalt for hverken elevmotivation eller for integrationen af de to komponenter. Og praktiseret på denne måde bliver engineering “blot” en ekstra og tidskrævende bearbejdning af det tillærte. En mere udstrakt anvendelse af fx FITS kunne have hjulpet her. I FITS-modellen etableres det fagfaglige fundament gennem koordinerede elevundersøgelser *efter* at engineering-udfordringen er introduceret: *hvad har vi brug for at vide mere om, for at lave en god problemløsning?* Det fagfaglige vidensgrundlag målrettes og drives således af den specifikke engineering-udfordring, så integrationen sikres.

- Udfordringen *tid til udfoldelse af engineering som proces*. Det har været et tilbagevendende tema i projektet at engineering tager tid. Som en lærer udtrykker det i sin slutevaluering: “Det kræver meget tid til et forløb og er ikke noget der kan gøres med alle forløb.” Når man ser de typiske lektionstal i figur 1, så forekommer (igen med escaperoomet som undtagelse) tidsforbruget vel egentlig ikke voldsomt, men tiden går selvfølgelig fra noget andet i et pensum der opleves presset. Samtidig tilkendegiver eleverne i postsurveyen at de gerne ville have haft *endnu mere* tid, først og fremmest mhp. at nå at optimere deres løsningsforslag. For nogle lærere i projektet har den naturlige konklusion været at engineering bedst bruges drypvist, fx en enkelt gang i C-niveausammenhæng og et par gange på de højere niveauer. For andre har løsningen snarere været at udvikle såkaldt “micro-engineering” ved at lokalisere de områder i pensum hvor det kan lade sig gøre at gennemløbe en rimelig EDP på nogle få timer. “Problemet er at finde de rigtige udfordringer” er en lærergruppe enige om i deres slutinterview. Der har også været forsøg på kun at inddrage *dele af* EDP i det enkelte forløb for på denne måde at spare tid i det enkelte forløb. Her er faren først og fremmest at forløb der stopper før eleverne står med et brugbart slutprodukt, næppe vil motivere eleverne. Tillige rejser det spørgsmålet om hvad der i hvert fald skal være med i en trunckeret version for at det overhovedet giver mening at tale om engineering. Her har forståelsen været at det særegne ved engineering er at der sker *konstruktion* af prototypiske problemløsninger, hhv. at der arbejdes *iterativt, systematisk og fagligt baseret* med disse problemløsninger. Som et minimum må i hvert fald ét af disse to træk være udfoldet for at man kan sige at elevernes arbejde er engineering-*inspireret*.
- Udfordringen *åbne arbejdsprocesser og processtilladsering*. I åbne survey-responser i projektopstarten udtrykte flere lærere udviklingsbehov a la: “Prøve det af så jeg ved hvad det præcis er, og bliver mere tryk ved det.” Og “At være ved at lærersvaret

ofte kan være: “det ved jeg ikke, men du kan jo starte med at undersøge her ...””. For nogle lærere er det således udfordrende at arbejde med de åbne arbejdsprocesser hvor lærerautoriteten ikke er funderet i at kende “de rigtige” svar og forklaringer. Opløftende svarer 8/10 af underviserne til slut at de er blevet trygge ved at kaste eleverne ud i mere åbne engineeringudfordringer. Helt i tråd med Banduras teori om self-efficacy (Bandura, 1997) må denne gunstige udvikling tilskrives lærernes individuelle, relative succesoplevelser med engineering-afprøvnings tillige med adgangen til andenhåndserfaringer gennem kollegiale udvekslinger, på workshops og i den lokale udviklergruppe. Disse erfaringsudvekslinger vurderes usædvanlig højt i den afsluttende evaluering.

- Hvad angår stilladseringen er det omtalt hvorledes opmærksomheden på og repertoire af hård stilladsering af elevernes arbejde med designudfordringer styrkedes i takt med at lærerne fik større indsigt i elevernes vanskeligheder. En pointe udkrystalliseredes dog så sent at den aldrig reelt nåede at blive tacklet i projektet: Længerevarende engineeringarbejde er udfordrende gruppedynamisk og stiller mere vidtgående krav til elevernes samarbejdsevner, konfliktløsning m.m. end traditionel undervisning, herunder også traditionelle eleveksperimenter. I det omfang eleverne ikke er rustede til at håndtere denne slags udfordringer, så flytter “aben” blot over på lærerens skuldre. Procesværktøjer og træning i at bruge disse er efter al sandsynlighed de bedste bud på at imødegå udfordringen.
- Udfordringen *evaluering af læringsudbyttet af engineering*. I pilotforløbene har eleverne typisk præsenteret deres produkter og fået ad hoc-feedback i sammenhængen. Typisk uden at kriterierne for denne feedback har været tydelige. Derudover har vi ikke set egentlig evaluering af elevernes læring, ikke engang i mere fagfaglig forstand. I projektet blev flere engineeringevalueringsværktøjer ellers introduceret og diskuteret, men de proces- og kompetencerettede blev aldrig brugt. Da andre gymnasierettede projekter (fx Krogh, L.B.; Waadegaard, N.; Nielsen, 2019) har konstateret en tilsvarende ulyst til systematisk og læringsrettet evaluering hos naturvidenskabelige stx-undervisere, er det fristende at se dette som et særligt træk ved denne del af stx-kulturen hvilket imidlertid stadig er bekymrende ud fra et engineeringrettet udviklingsperspektiv idet denne type evaluering er altafgørende for at man som praktiker kan bedrive udvikling af egen praksis (Timperley et al., 2007).

Lærernes oplevede professionelle udbytte af EiG-stx: De identificerede udfordringer ændrer imidlertid ikke ved at grundfortællingen om lærernes evne til at håndtere engineering i undervisningen er ganske positiv hvilket også aflæses af deres afsluttende selvevaluering, jf. figur 2.



Figur 2. Lærernes oplevede udbytte af projektdeltagelsen (N=10).

Den langt overvejende del af lærerne mener således at de ved afslutningen af workshopforløbet har fået begreb om engineering, vil kunne planlægge engineering, har opnået en vis formåen mht. at implementere engineering i praksis og tilmed vil kunne bidrage til udvikling af engineering i faggruppen og på skolen. Selvom samplet er småt, og der er tale om lærerselvurderinger, så indikerer det alligevel at et workshopforløb som det gennemførte formår at klæde stx-underviserne på til i rimelig grad at løfte opgaven med engineering i undervisningen. Lige så opløftende, omend mere overraskende, er det at samtlige (fem) nordjyske naturvidenskabelige undervisere har følt sig rustet til at afvikle eksisterende Region Midt-forløb alene på baggrund af én eftermiddags kondenseret workshop. En moderat efteruddannelsesindsats kunne umiddelbart synes at være nok. Men som en af lærerne pointerede: *“Hvis man skulle til at udvikle nye forløb, så kan det godt være man får brug for mere sparring!”*. Hvis man – som normalt på gymnasieområdet – forventer at lærere kan udvikle egen undervisning, så bør man nok ikke nedgradere efteruddannelsen i engineering nævneværdigt ift. pilotprojektets format.

Læringsperspektivet: Hvordan oplever elever og lærere læringsudbyttet af engineering?

I projektet er det således lykkedes at udvikle engineeringefteruddannelse og undervisningsmaterialer som – trods de nævnte udfordringer – gør det *realistisk* at implementere engineering i den naturvidenskabelige undervisning i stx. Men det bliver først for alvor *attraktivt* at gøre det hvis både elever og lærere oplever at det gør noget godt for elevernes udbytte af undervisningen. I projektet har vi ikke objektive mål for elevernes forskellige læringsudbytter, men til gengæld gode empiriske muligheder for at belyse deres *oplevede* udbytte hvad angår fagfaglig læring, elevmotivation

og 21st century skills/generiske kompetencer. Disse tre udbyttekategorier vil blive udfoldet i det følgende.

Oplevelsen af fagfaglig læring – hos elever og lærere: I den slutsurvey som eleverne udfyldte straks efter hvert enkelt engineeringforløb, er eleverne pænt positive over for deres fagfaglige læring. Fx tilkendegiver 69 % af 374 elever positiv tilslutning til udsagnet *Jeg lærte en masse fagligt i forløbet*. Samtidig svarer 66 % positivt på at *Engineering-opgaverne hjalp én til at forstå andre dele af faget*, hvilket indikerer at en praktisk og anvendelsesorienteret tilgang til naturfagsundervisningen godt kan være en vej til øget faglig forståelse.

De deltagende lærere er tilsvarende positive idet ni af 12 lærere ved projektafslutningen tilslutter sig at engineering “understøtter elevernes læring af et centralt fagligt indhold”, mens 8/12 tilslutter sig at Eleverne lærte et nyt fagfagligt indhold gennem engineeringaktiviteterne”. En underviser [Region N] fastslår at “de har lært mere end de ville gøre i den almindelige undervisning (...) fordi det er en mere aktiv læringsform end til daglig hvor de måske sidder og hører mig fortælle, og så skal de lave nogle opgaver”. Der er dog igen det ene forbehold at “Ulempen er (...) det her det tager lidt længere tid!”.

Lærerne er aldeles enige om (både i surveyresponser og i de afsluttende interviews) at eleverne blev bedre til selv at undersøge og håndtere naturvidenskabelige metoder. Det kommer fx til udtryk i lærerudsagn a la: “De er blevet meget, meget bedre til at lave øvelser”, eller at “se dem i laboratoriet (...) de næste gange efter man har kørt sådan nogle meget frie, innovationsproduktrettede forløb (...) de går til det eksperimentelle på en helt anden måde” udtrykker meget godt lærernes begejstring for engineeringens indvirkning på elevernes evne til at undersøge.

Flere lærere har observeret at engineering bringer en/flere svagere elever på banen, men det er ikke en konsekvent iagttagelse. På samme måde har flere observeret at stærke elever i udgangspunktet er forbeholdne over for at ændre undervisningen i engineering-retning, men som én konstaterer: “Udfordringen ligger hos “de flittige piger”, som lige skulle indse at der var noget fagligt i det her.”

Engineering og elevmotivation – ifølge elever og lærere: En afdækning af internationale studier om elevs udbytte af engineering i naturvidenskabelige fag på gymnasieniveau peger mest overbevisende på at engineering gør noget godt for elevernes motivation (Daugbjerg et al., 2021). Vi finder tilsvarende stærke indikatorer for en motiverende effekt i elevernes postsurveysvar på forskellige affektive udbytteparametre, jf. boks 2.

- 82 % synes at det var spændende at arbejde på den måde som ingeniører gør.
- 86 % finder at engineering var med til at skabe en god variation.
- 80 % synes at engineering var sjovt.
- 72 % vil gerne have mere engineering i undervisningen.

Datagrundlag: 374 elevsvar. Heraf Biotek: 16, Fysik: 228, Kemi: 58 og NV: 72. Klassestrin: 1. g: 123, 2. g: 212, 3. g: 39.

Boks 2. Elevernes oplevelse af motivation ifm. engineering.

Eleverne er også blevet stillet det åbne spørgsmål "Hvad var det bedste ved forløbet?". Med lidt forskellige flavours handler langt de fleste elevresponser om at engineering-aktiviteterne giver dem en autonomi som de ikke oplever ellers. Typiske eksempler på elevsvar kunne være: "At vi fik frie tøjler", "det med selv at finde en løsning", "vi fik lov til at være kreative", "det selvstændige arbejde", "at arbejde anderledes [åbent] med forsøg".

Et dryp malurt er der dog i bægeret af elevmotivation: Kun 51 % af eleverne følte at de "lærte noget som er relevant og kan bruges i livet uden for skolen". Rimeligvis som et udtryk for at eleverne nok havde mødt engineeringudfordringer der var virkelighedsnære, men oftest var disse kun svagt koblet til elevernes hverdag og livsverdener.

Lærerne er tilsvarende positive, fx er 11/12 i slutsurveyen enige i at "Eleverne blev mere motiverede for at deltage i faget, i kølvandet på engineering". I åbne responser og slutinterview tilføres dette nogle nuancer, bl.a. pointeres det af flere at elever ikke er ens, og at de dygtige elever ikke nødvendigvis blev mere motiverede af engineering. Lærerne udøver også selvkritik. Bl.a. reflekterer en lærer at en aktuel udfordring ikke gav nok frihedsgrader til at stimulere elevmotivation. En anden fastslår at elevernes mestringsforventninger (tiltroen til at ville lykkes og den deraf afledte motivation) forudsætter at processen understøttes på bedste vis.

Engineering og udvikling af 21st century skills/generiske kompetencer hos eleverne.

Som vi tidligere har omtalt i beskrivelsen af målene for de gennemførte forløb, så var der i flere tilfælde løseligt beskrevne mål knyttet til ønsket om at fremme elevernes kreativitet, problemløsningsevne, samarbejdsevne og vedholdenhed. Kun i enkelte tilfælde ser vi mere målrettede forsøg på at fremme sådanne læringsudbytter i lærernes planlægning. Set i det lys er elevernes egen udbytteoplevelse særdeles pæn idet den langt overvejende del finder at de er blevet bedre til at arbejde innovativt og problemløsende, samtidig med at deres vedholdenhed er styrket. Derudover mener et stort flertal at engineering har tvunget dem til at samarbejde på forpligtende vis (se boks 3).

- 83 % mener at man skulle være kreativ for at løse de stillede opgaver.
- 84 % tilkendegiver at de blev nødt til at arbejde sammen for at løse opgaven/problemet ordentligt.
- 69 % føler at de blev bedre til at arbejde innovativt og problemløsende.
- 77 % tilslutter sig at de lærte at man ikke skal lade sig slå ud af at tingene ikke lykkes i første omgang.

Boks 3. *Elevernes oplevede udbytte mht. generiske kompetencemål.*

På ny er der god overensstemmelse mellem elevoplevelse og læreroplevelse. Fx mener *alle* lærere afslutningsvist at eleverne er *blevet bedre til produktrettet, iterativ problemløsning*, og at de fik “stimuleret deres kreativitet og innovationsevne”. Alle på nær én mener også at eleverne *lærte, at fejl kan være lærerige, blot man bliver ved og lærer af dem*.

Alt i alt er der altså tale om en ganske opløftende udbytteoplevelse på et bredt spektrum af læringsmål – og betryggende nok hos både lærere og elever.

Perspektiver og kommentarer

I USA er engineering skrevet ind på (noget nær) lige fod med naturvidenskab i det største curriculumprojekt på tværs af staterne, Next Generation Science Standards (NGSS), som gælder til og med gymnasieniveauet (Purzer & Quintana-Cifuentes, 2019). Den hastigt voksende forskning med udspring i NGSS-projektet indikerer at det er bæredygtigt at indlejre engineering i den naturvidenskabelige undervisning i USA, især ser det ud til at gavne elevernes motivation (Daugbjerg et al., 2021). Dette har været en del af baggrunden for at igangsætte nærværende pilotprojekt som væsentligst har haft til hensigt at afdække i hvilken udstrækning bæredygtigheden også gælder i en dansk stx-kontekst.

Med *Engineering i gymnasiet*-projektet er det lykkedes at sætte et antal flueben ift. en sådan bæredygtighed:

For det første har projektet udviklet og afprøvet et koncept for engineering-efteruddannelse af stx-lærere som har vist sig dueligt og værd at optimere på i efterfølgende projekter, fx det igangværende engineering stx-projekt i Region H. I kølvandet på efteruddannelsesforløbet har lærerne generelt været positive over for at få mere engineering ind i undervisningen, og de har både tilkendegivet og demonstreret i praksis at de er nået et godt stykke i retning af at kunne planlægge, gennemføre og bidrage til udvikling af engineering i den naturvidenskabelige undervisning. Som en konkret manifestation heraf er der i projektet udviklet et antal afprøvede forløb som

bredt eksemplificerer hvorledes engineering kan implementeres. Forløbene – og de tilhørende refleksioner – er et startsted og en støtte for nye lærere som vil afprøve engineering. Endelig er der udviklet en stx-engineeringdidaktik, ve1 som afsæt for videre udvikling af engineering i praksis (Krogh 2021). Projektet har ikke løst samtlige undervisningsmæssige problemer, men det har formået at identificere centrale udfordringer, og den forskningsbaserede engineeringdidaktik giver ganske kvalificerede bud på hvorledes udfordringerne fremadrettet vil kunne imødegås.

Det måske vigtigste flueben handler om elevernes læringsudbytte. Her peger projektets empiri på at engineering kan have positiv effekt på såvel stx-elevernes fagfaglige læring (især hvad angår det undersøgende og metodiske) som deres motivation og på centrale 21st century skills. Dette være sagt med forbehold for at udbyttet ikke objektivt er evalueret, men indkredset som et oplevet udbytte. Pålideligheden styrkes dog af at elevernes og lærernes oplevelse er overensstemmende og triangulerer hinanden. Man bør her holde sig for øje at pilotprojektets lærersample kun er af moderat størrelse.

Det er på dette grundlag at vi i overskriften tillader os at konkludere at der er proof-of-concept ift. at indføre engineering i den naturvidenskabelige stx-undervisning. Det giver mening for lærerne og udbytte for eleverne – og det lader sig realisere!

På den korte bane er det forhåbningen at projektets resultater vil inspirere et større antal naturvidenskabelige stx-undervisere til at afprøve engineering i deres egen undervisning som en saltvandsindsprøjtning til arbejdet med undersøgelsesmetoder og frihedsgrader, innovation i naturvidenskabelige fag og til gavn for elevernes motivation.

I et større perspektiv er projektet potentielt af stor vigtighed idet det funderer og styrker *Danske Gymnasiers* nye strategiske målsætning om at udvikle en “en ny didaktisk praksis i naturvidenskabsfagene” (Danske Gymnasier, 2020, p. 4) – med vægt på netop engineering og praksisorienterede undervisningsformer. Aktuelt arbejdes der på forskellig vis på at etablere et større og sammenhængende program omkring den videre udvikling af engineering i stx. Såfremt denne ambition realiseres, vil EiG-stx-projektets efteruddannelseskoncept, elaborerede forløb og engineeringdidaktik tillige med de høstede erfaringer og identificerede udfordringer være et uomgængeligt afsæt.

Det er ikke så ringe endda, at et prototypisk udviklingsarbejde med engineering leverer både vigtige afklaringer og betydningsfulde implikationer for praksis!

Referencer

- Auener, S.; Daugbjerg, P.S.; Nielsen, K.; Sillasen, M. K. (2018). Engineering i skolen – hvad, hvordan, hvorfor. https://astra.dk/sites/default/files/eis_rapport_2.0_-_full_pdf_version_0.pdf
- Bandura, A. (1997). *Efficacy – the exercise of control*. W. H. Freeman.

- Bohm, M.;Salomonsen, D.;Quistgaard, N.;Binau, C.F.;Wøhlk, E.;Jensen, L.V.J.;Kronvald, O. (2017). *Sammen om naturvidenskab – Anbefalinger til en National Naturfagsstrategi*. Astra.
- 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>
- Daugbjerg, P.S.;Krogh, L.B.;Nielsen, K.;Sillasen, M. (2021). *Engineering i gymnasiet – vidensgrundlag*. VIA UC i samarbejde med Villum Fonden og Engineer the Future. ISBN: 978-87-995920-5-0
- Danske Gymnasier, D. (2020). *Danske Gymnasiers naturvidenskabsstrategi: Naturvidenskab til fremtiden*. https://www.danskegymnasier.dk/wp-content/uploads/2021/02/FINAL_DG_Naturvidenskabsstrategi_2020_enkel-1.0.pdf
- ITEA (2007). *Standards for technological literacy – content for study of technology*. International Technology Education Association. <https://www.iteea.org/File.aspx?id=67767>
- Krogh, L.B.;Waadegaard, N.;Nielsen, K. (2019). SUN-projektet: skolebaseret udvikling af naturfag og kapacitet i gymnasiet. *MONA (Matematik Og Naturfagsdidaktik)*, 3, 47-67.
- Krogh, L.B. (2021). *Engineering i stx – didaktik.ve1*. VIA UC og Engineer the future. https://www.ucviden.dk/ws/portalfiles/portal/116504694/Engineering_i_stx_didaktik.ve1_Krogh_F2021.pdf (fuld version).
- National Research Council. (2012). *Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. (C. on a C. F. for N. K.-12 S. E. S. B. On & D. of B. and S. S. and E. Science Education (eds.)). The National Academies Press.
- Peterman, K., Daugherty, J. L., Custer, R. L., Ross, J. M., Peterman, K., Daugherty, J. L., Custer, R. L., & Ross, J. M. (2017). *Analysing the integration of engineering in science lessons with the Engineering-Infused Lesson Rubric. 0693*. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1359431>
- Purzer, S., & Quintana-Cifuentes, J. P. (2019). Integrating engineering in K-12 science education: spelling out the pedagogical, epistemological, and methodological arguments. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0010-0>
- Saye, J.;Brush, T. (2002). Scaffolding critical reasoning about history and social issues in multimedia-supported learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 77-96.
- Sølberg, J.;Binau, C.F.;Trolle, O.;Elmeskov, D.;Quistgaard, N.;Mortensen, K.;Marckmann, B. (2019). *Evaluering af Engineering i skolen*. Naturfagenes evaluerings- og udviklingscenter. <https://neuc.dk/wp-content/uploads/2020/06/evaluering-af-engineering-i-skolen.pdf>
- Timperley, H., Wilson, A., Barrar, H., & Fung, I. (2007). *Teacher Professional Learning and Development – Best Evidence Synthesis Iteration*. Ministry of Education, New Zealand. http://www.educationcounts.govt.nz/_data/assets/pdf_file/0017/16901/TPLandDBESentireWeb.pdf

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>

English abstract

The pilot-project Engineering i gymnasiet explored potential and barriers for infusing engineering design into science teaching in Danish general high school (stx) which traditionally emphasizes theories and theoretically-driven inquiries. Science teachers from three high schools participated in workshops and in developing and trying out teaching materials. Data were collected from teachers and students through surveys, observations, and interviews. Both teachers and students found that engineering contributes to the learning of science, particularly it's methods, to students' motivation, and to generic competences. Development is needed regarding less time-consuming engineering activities, scaffolding, and assessment of engineering-related outcomes – but the prototype works!