

Engineering i gymnasiet



Engineering i stx Didaktik *(forkortet udgave)*

1. udgave

Indhold

1. Indledning	3
2. Engineering i stx – hvorfor?	4
2.1 Engineering i stx – på jagt efter formelle begrundelser	5
2.2 Begrundelser fra Region Midt-projekt	5
3. Engineering i stx – hvordan tager det sig ud og hvad er de centrale træk?	7
3.1 Indkredsning af en forståelse af engineering i stx-undervisningen	7
3.2 Hvorved adskiller engineering som disciplin sig fra naturvidenskab som disciplin?	11
4: Engineering i undervisningen – hvordan gør man?	12
4.1 Engineering som målrettet aktivitet	12
4.2 Formulering af problemstillinger - hvordan ser den gode engineering udfordring ud?	14
4.3 Fra traditionel fysikøvelse til den gode engineeringudfordring	17
4.4 Samspil mellem engineering og science faglighed – den vigtige integration	18
4.5 ”Mikroengineering” - kortere og fokuserede engineering forløb	22
4.6 Stilladsering af elevers arbejde med åbne engineering problemstillinger	23
5. Stilladsering af elevmotivation ifm. engineering	31
6. Evaluering af elevernes engineeringudbytte	36
6.1 På vej mod best practice? – et samlende forskningsmæssigt blik på engineering-forløb	39
Referencer	42
Bilag:	
Eksempler på relevans i engineeringudfordringer og undervisningsmæssige indramninger	45

Kolofon

1. udgave 2021

Dette hæfte er en forkortet udgave af didaktikken 'Engineering i stx' udgivet i 2021 af Lars Brian Krogh. Hæftet er redigeret af Anne Hansen, Engineer the Future

Grafik og Layout: Grethe Kofoed, Artcome

Didaktik og hæfte udgives af Engineer the Future i samarbejde med VIA University College og med støtte fra Region Midts Uddannelsespulje.

1. Indledning

Billede 1: En højniveaunklasse i fysik har før ferien været på Aarhus Universitet og haft et oplæg om materialer og deres egenskaber. Bla. har de set et udstyr til bestemmelse af Youngs modul for metaller. Hjemkommet beslutter klassens fysik og kemilærer i fællesskab at lave et forløb om plast, herunder en engineeringudfordring, hvor eleverne skal designe en maskine, som kan bestemme Youngs modul for de fremstillede plaststoffer. Præcision, reproducerbarhed og undersøgelseshastighed er meldt ud som bedømmelseskriterier for elevernes bud på problemløsende maskiner. Før eleverne kastes ud i udfordringen, er der en fælles seance, hvor klassen gradvist genkalder sig, at måling af Youngs modul både kræver kendskab til den trækraft, som plasten udsættes for, tværsnitsareal og relativ længdeforøgelse. Herefter gives eleverne fri med hektisk aktivitet til følge. Et mangefold af måder at måle og kontrollere de forskellige variable på bliver idégenereret og siden bragt i spil. Analoge og digitale måder at måle længde hhv. kraft overvejes og prøves, opstillinger tager form og optimeres. "Hvordan får vi fastgjort plasten, så tværsnitsarealet ikke totalt ændres?", "Hvordan sikrer vi os, at vi hurtigt kan skifte plastprøven ud?", "Bliver det nu også præcist nok?" osv. Nogle laver mindstorms-robotter til at styre trækdelen af deres maskine. Eleverne dokumenterer deres proces med fotos af forskellige iterationer af deres design. Til slut fremviser de deres optimerede maskine for holdet, fremlægger data for, hvor pålideligt den bestemmer Youngs modul samt fortæller om, hvordan og hvorfor deres design har udviklet sig, som det har.

Billede 2: I biotekundervisningen får eleverne som engineeringudfordring at udvikle, optimere og deklare et vaskemiddel til brug på almindeligt vasketøj i hjemmet. I udgangspunktet er det specificeret, at eleverne har rådighed over en lang række specificerede stoffer, bla. en række enzymer. De har også rådighed over en række tekstiler og tilgang til forskellige typer af smuds. De mange faktorer gør, at mange elever starter med at spørge: Hvad er det egentlig de forskellige stoffer, vi har til rådighed, kan? Mange ved godt, at moderne vaskemidler indeholder enzymer – men hvilke og til hvilket formål? Efterhånden begynder nogle ideer mht. komponenter at tage form, og så melder der sig prompte nye spørgsmål: "Hvor meget skal vi bruge?", "Skal vi bruge koldt, tempereret eller varmt vand?", "Er det lige godt til alle typer pletter?" Efter et par timer har alle et fagligt begrundet bud ("en prototype") på et vaskemiddel. Hvorefter det pludselig bliver et problem at lave en fair sammenligning af vaskeevnen for de udviklede prototyper, hvert trin synes at fremkalde yderlige problemer og trække yderligere overvejelser ind.

Denne optakt er tænkt at give nogle konkrete billeder på, hvorledes gymnasielærere i forskellige naturvidenskabelige fag har søgt at implementere engineering i deres undervisning. I grove træk illustrerer eksemplerne engineeringaktiviteter, som lærere i det nylige projekt Engineering i gymnasiet (Region Midt) har prøvet af. Billederne tjener som afsæt for en indkredsning af, hvordan engineering kan indgå meningsfuldt i naturvidenskabsfagene i stx. Det vil være fokus i næste kapitel.

2. Engineering i stx – hvorfor?

Undervisningsfag er dynamiske, og det er ikke overraskende, at de løbende tilføjes nye elementer, fx finder naturvidenskabelige nybrud med en vis forsinkelse og nogen bearbejdning ofte vej til læreplanerne i gymnasiet. Genteknologi, nanoteknologi og global opvarmning er eksempler på hele emneområder, som stille og roligt er blevet inkorporeret (såkaldt ”infusion”) i de eksisterende naturvidenskabsfag i gymnasiet. Denne didaktiks fokus er på, hvordan ”engineering” kan indføres i naturvidenskabsfagene i gymnasiet.

God engineering bygger på, at eleverne i videst muligt omfang arbejder selvstændigt og målrettet, at de lærer af deres fejl snarere end at lade sig slå ud af dem. God engineering er samtidig en perfekt træningsbane for at udvikle evnen til selvreguleret læring – hvis blot man får den rette stilladsering.

Et engineeringproblem eller -udfordring tager udgangspunkt i, at eleverne skal løse en teknologisk problemstilling i en konkret og autentisk kontekst. For at løse udfordringen vil der være behov for, at eleverne anvender naturvidenskabelig viden både undervejs i processen, og når de afslutningsvist skal forklare deres løsning. Engineering er altså et bud på en metode til at træne elevernes naturvidenskabelige kompetencer. Hertil kommer, at eleverne i et engineeringforløb får trænet en række mere generiske kompetencer. Da engineeringforløb er procesorienteret gruppearbejde, må eleverne nødvendigvis samarbejde og bidrage til processen. Eleverne skal forstå og analysere udfordringen, indsamle og håndtere viden, videreformidle idéer både mundtligt og som model, udforme og følge en plan, udholde fejl og vedholdende arbejde med forbedring af gruppens prototype og endelig kommunikere og forholde sig kritisk til eget og andres arbejde.

Engineering udgør således en måde at undervise naturfag på, hvor eleverne ikke kun tilegner sig faglig viden, men samtidigt udvikler de nødvendige kompetencer til at kunne bruge den naturvidenskabelige viden til at løse fagligt relevante problemstillinger. De mange forskellige kompetencer, der bringes i brug i et engineeringforløb, betyder desuden, at mange typer elever kan motiveres og engageres af metoden. De åbne og elevstyrede processer giver også eleverne ejerskab over undervisningen på en anden måde end eksempelvis kogebogsagtige naturfaglige eksperimenter.

Ideen om at indføre engineering-elementer til de naturvidenskabelige fag er først og fremmest opstået i USA, bla. på baggrund af udtalelser fra ITEEA (International Technology and Engineering Educators Association), der argumenterer for et selvstændigt teknologi/engineering-fag-for-alle, som, de mener, vil kunne styrke og integrere elementer i andre fag, herunder de naturvidenskabelige fag.

We are a nation increasingly dependent on technology. Yet, in spite of this dependence, U.S. society is largely ignorant of the history and fundamental nature of the technology that sustains it. The result is a public that is disengaged from the decisions that are helping shape its technological future. In a country founded on democratic principles, this is a dangerous situation.

(forord, ITEEA, 2007)

Denne idé er siden blevet forfulgt i de amerikanske Next Generation Science K-12 læreplaner, hvor det er et centralt mål, at eleverne gennem naturvidenskabsundervisningen lærer otte specifikke *Science and Engineering Practices*, og hvor engineeringformåen formelt ligestilles med naturvidenskabelig formåen. Den primære begrundelse herfor er, at *“engineering and technology provide a context in which students can test their own developing scientific knowledge and apply it to practical problems; doing so enhances their understanding of science—and, for many, their interest in science—as they recognize the interplay among science, engineering, and technology”* (NGS Framework, p. 12).

Herhjemme har idéerne om en STEM-samtænkning af naturfagene, hhv. en opprioritering af T- og E-komponenterne i undervisningen vundet et vist gehør i de seneste år. I 2017 udsendte en bredt

sammensat strategigruppe under undervisningsministeriet således den såkaldte "STEM-strategi" [Astra, 2017], med det dobbelte sigte, at styrke såvel danske elevers almindelse og fremme rekrutteringen til naturvidenskabelige og teknologiske uddannelser og erhverv. Strategien anbefaler et tættere samspil mellem naturvidenskab, engineering og teknologi samt en kobling til matematik i undervisningen (p.7). Yderligere er det en anbefaling for naturfagene i folkeskolens udskoling, at "Fælles Mål, læseplaner og vejledninger for fagene biologi, fysik/kemi og geografi i udskolingen [justeres] til også at integrere engineering og teknologi, herunder digital teknologi og computational thinking". I forlængelse heraf anbefaler rapporten mere løst på gymnasieområdet, at "Rektorer og undervisere på stx og hf skal have incitamenter til at udarbejde principper for inddragelse af engineering, teknologi og undersøgelsesbaserede undervisningsformer i naturvidenskabsundervisningen" (ibid, p.25).

Senest har Danske Gymnasier i deres naturvidenskabsstrategi fra januar 2021 anbefalet, "at de almen-gymnasiale 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."¹

2.1 Engineering i stx – på jagt efter formelle begrundelser

Stx har en almen profil med et bredt videnskabsorienteret perspektiv, mens htx har et mere snævert teknologisk-naturvidenskabeligt perspektiv.

Kigger man på de aktuelle læreplaner i naturvidenskabsfagene i stx, så kræver det en velvillig læsning at finde mål, som med lidt god vilje kan udlægges som engineering-orienterede. Både fysik, biologi og kemi har således som mål (på alle niveauer, fysik dog kun A og B), at "fagets viden og metoder" bruges til at "udvikle og vurdere løsninger" i relation til problemstillinger. "Udvikling" af problemløsninger *kan* godt handle om at designe og optimere i engineeringforstand, men vil formentlig hyppigere blive udmøntet i en teoretisk analyse af forskellige scenarier og omtale af handlemuligheder. I faget kemi betoner læseplanerne på forskellige niveauer innovation, fx tales om "innovative tiltag", "innovative løsninger på problemstillinger med kemisk indhold" og "arbejdsformer, der træner elevernes innovative kompetencer". Den kombinerede vægt på innovation og "udvikling af løsninger" i kemi er utypisk og indikerer, at engineering formelt har størst udfoldelsesmuligheder der. Bag formuleringerne aner man, at den innovative problemløsning både skal tilgodese faglig kemilæring og er et mål i sig selv, idet eleverne skal udvikle *innovativ kompetence*. Lidt overraskende er NV helt uden antydning af engineering-agtige mål og undervisningsprincipper.

Pointen må være, at engineering absolut *kan* læses ind i de eksisterende læreplaner for naturvidenskabsfagene, men at det ikke er et kraftfuldt krav fra formelt hold.

2.2 Begrundelser fra Region Midt-projektet

Blandt deltagerne i projektet Engineering i gymnasiet (Region Midt) faldt lærernes væsentligste begrundelser for engineering i undervisningen i opstarten først og fremmest indenfor to argumenttyper:

- at det forventes at styrke elevmotivation
- at det *gør* det muligt for eleverne at se faget i anvendelse og at skabe en sammenhæng mellem faget og omverdenen.

Ifm. projektets slutevaluering fremhæver lærerne først og fremmest elevudbytter i form af motivation og metode-læring/undersøgelseskompetence. Væsentligt anfører 2/3 af lærerne i deres slutevaluering også, at "eleverne lærte et fagfagligt indhold gennem engineeringaktiviteterne", mens godt 2 ud 3 elever mener, at "*Engineeringopgaverne hjalp én til at forstå andre dele af faget*", hhv. at de "*lærte en masse fagligt i forløbet*".

¹ https://issuu.com/rektorforeningen/docs/final_dg_naturvidenskabsstrategi_2020_enkel_1.0?fr=sYzkyO-TI3NDQ2MQ

I EIG-projektet har det samtidig været muligt at indsamle elevernes oplevede udbytte vha. spørgeskemaer, som er indsamlet lige efter, at de har afsluttet et engineering-forløb. Der er udbytte-spørgsmål i forlængelse af forskellige begrundelser. I samplet med 374 elevsvar fra forskellige stx-fag og niveauer gælder det, at:

- godt 2 ud 3 elever er overvejende eller helt enige i, at "Engineering-opgaverne hjalp én til at forstå andre dele af faget", hhv. at de "lærte en masse fagligt i forløbet". Eleverne er således enige med lærerne i, at man kan lære fag og bygge faglig forståelse gennem engineering.
- eleverne er ganske positive ift., at engineering er et motiverende indslag i den almindelige naturfagsundervisning. Således viser post-surveyen, at:
 - 86% finder, at "engineering var med til at skabe en god variation i undervisningen"
 - 80% synes, at "engineering var sjovt"
 - 83% synes, at "det var spændende at lære at arbejde på den måde, som ingeniører gør"
 - 71% "vil gerne have mere engineering i undervisningen"

De fleste elever i samplet har kun mødt engineering en eller enkelte gange. Derfor er det uvist om denne tilsyneladende motivationsgevinst også holder, såfremt man omlagde hele undervisningen til et engineeringkoncept. Men umiddelbart er motivationsindikatorerne opløftende:

- eleverne i EIG-projektet oplever, at generiske kompetencer og bredere, fremtidsrettede dannelsesmål tilgodeses af engineering, idet:
 - 69% tilslutter sig: Jeg blev bedre til at arbejde innovativt og problemløsende
 - 77% tilslutter sig: Jeg lærte, at man ikke skal lade sig slå ud af, at tingene ikke lykkes i første omgang
 - 83% tilslutter sig: "Man skulle være kreativ for at løse de stillede opgaver"
 - 83% tilslutter sig: Vi var nødt til at arbejde sammen for at løse opgaven/problem

Alt i alt tyder empirien fra EIG-projektet på, at engineering faktisk på samme tid vil kunne tilgodeses adskillige mål:

- Det fremmer elevernes læring af naturfagligt indhold
- Det støtter tilegnelsen af naturfaglige kompetencer
- Det er motiverende for eleverne
- Det transformerer undervisningen ønskværdigt, gør den anvendelsesrettet, procesorienteret, tilfører frihedsgrader, og skaber faglige sammenhænge
- Det øger transfer af naturfaglig læring til hverdagen
- Det øger elevernes autonomi og deltagelse i det moderne højteknologiske samfund

3. Engineering i stx – hvordan tager det sig ud, og hvad er de centrale træk?

3.1 Indkredsning af en forståelse af engineering i stx-undervisningen

Nedenstående boks angiver karakteristika ved engineering som et bud på en syntese mellem de forståelser man finder i forskningslitteraturen, og det fagnære perspektiv, som ligger til grund for denne didaktik:

KARAKTERISTIKA VED ENGINEERING I STX-UNDERVISNINGEN – EN SLAGS TJEKLISTE

- Udspringer af eller meget direkte relaterer sig til fagfaglige dagsordener for undervisningen.
- Afsæt i et autentisk problem
- Problemløsning i form af objekter, processer, programmer og systemer
- Frihedsgrader mht. løsning – indenfor rammer og specifikationer
- Systematisk udvikling af løsning - med inddragelse af faglig viden/undersøgelser m.m.
- Afprøvning af prototyper/modeller og iterativ optimering

De ovenstående punkter uddybes her:

- **Udspringer af eller meget direkte relaterer sig til fagfaglige dagsordener for undervisningen**

Ovenstående eksempler på engineering illustrerer et gennemgående træk ved al den undervisning vi har set i projekt EIG (stx), nemlig at engineering i stx enten udspringer af eller meget direkte relaterer sig til fagfaglige dagsordener for undervisningen.

Engineering i stx er som sådan en anderledes undervisningstilgang, en vinkling og et tilskud som fører sig ind i læreplanens faglige emne- og kompetenceområder og den almindelige naturfaglige undervisning.

Langt den overvejende del af den internationale litteratur om engineering i grundskole og ungdomsuddannelse bedrives ud fra en tilsvarende forståelse; man taler således om "infusion" af engineering ind i den naturfaglige undervisning.

I forlængelse heraf er der et vist fokus på engineering i stx som *et middel* til at lære i naturfagene ("learning by design"). Det udelukker selvfølgelig ikke, at engineering i stx *også* kan tilgodese andre og bredere mål (se diskussionen i næste kapitel). Betonningen af det fagfaglige islæt er stærkere i stx end i engineering-tænkningen i grundskolen og nok også til forskel fra htx, hvor man har særlige fag (teknologi hhv. teknik), hvor beherskelse af engineeringprocesser udgør *et mål i sig selv*.

Denne didaktik lægger altså op til en mere fagnær forståelse af engineering end den, man fx finder hos amerikanske National Assessment of Education Progress (NAEP)-styrelse, hvor man definerer engineering på følgende vis: "*Engineering er en systematisk og ofte iterativ tilgang til at designe objekter, processer og systemer mhp. at imødekomme menneskers behov og ønsker*" (NAEP/USA, Assessment Guide, 2014).

I denne definition lægger man straks mærke til, at fag, faglig viden eller faglige kompetencer er aldeles fraværende. Derudover noterer man, at hos NAEP skal engineering *imødekomme menneskers behov og ønsker*, hvilket har det med at række ud over faget. Ikke alle indledende eksempler på engine-

ering i stx lever umiddelbart op til dette kriterium, om end engineering aktiviteterne relativt nemt ville kunne indrømmes eller omformes, så det begynder at ligne.

Afsæt i et autentisk problem (her henviser termen "problem" til "noget, der kalder på en løsning". Det autentiske tilføjer hertil, at en sådan problemløsning bør være relevant for nogen, at det er plausibelt, at den opfylder et behov, idet det af hensyn til elevmotivationen er vigtigt, at eleverne får mulighed for at opleve, at deres problemløsning er relevant og meningsfuld for andre end dem selv.

En anden betydning af autenticitet er også væsentlig her: nemlig, at eleverne oplever problemet som reelt, altså som noget de ikke forlods kender en detaljeret problemløsning til.

- **Problemløsning i form af objekter, processer, programmer, systemer**

I EIG-projektets tidlige fase rejste lærerne spørgsmålet: "Kan engineering føre til andet (og mere) end en dims?". Til modsvar til dette spørgsmål fastslår Eisenkraft et al (2018, p.9): "Engineering is more than building a prototype!". Bla. anføres det, at engineering i hvert fald også bør omfatte materiale-test, fejlfinding, modellering, computeranalyse m.m.

Efterfølgende blev det i EIG en pointe, at problemløsning i engineering fastholdes i form af et *produkt*. Til gengæld kan dette produkt have mange *forskellige former*. I nogle situationer er produktet et fysisk design ("dims"). Eksempelvis har elever i konkrete engineeringforløb i EIG-projektet bygget strengeinstrumenter, optimeret på mozzarellaost og mayonnaise samt bygget et strækapparat til måling af brudstyrke. Men det kunne i princippet også være en optimeret version af *en proces*, en algoritme, en kode, en forsøgsprotokol eller en måleopstilling. Eksempelvis en kemisk rensningsproces i et spildevandsrensningsanlæg eller et program, der beregner gevinsten ved at skifte fra 2-lags til 3-lags-vinduer. Man kan også fint bedrive engineering, som på et empirisk grundlag munder ud i en "*konsulentrapport*", fx med forslag til energibesparelser på en skole, eller hvordan indeklimaproblemer i en klasse bedst løses.

Af hensyn til det fagfaglige islæt er det opportunt at forstå produktkravet i engineering i stx rummeligt. Samtidig er der visse forskningsmæssige belæg for at mene, at eleverne i særlig grad bliver motiverede af at stå med et produkt, som synligt "kan noget" og "virker". Denne motivationsmæssige gevinst er nok nemmere at høste, når og hvis produktet er et fysisk design, snarere end en konsulentrapport.

- **Frihedsgrader mht. løsning – indenfor rammer og specifikationer**

Hvad angår frihedsgrader bør det også være sådan, at der *ikke kun er én* indlysende løsning på det givne problem. Ideelt set vil det være muligt at gå ad flere løsningsveje og argumentere for forskellige løsninger. I konkrete fysiske designsituationer åbner forskellige materialer måske for yderligere frihedsgrader mht. design og konstruktion.

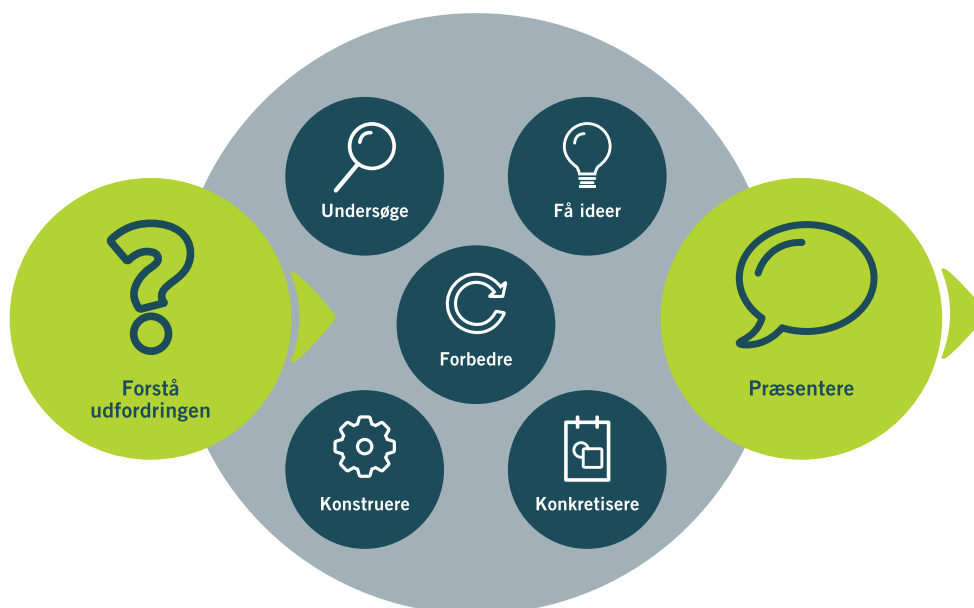
Frihedsgrader åbner for elevernes idéer, kreativitet og deres oplevelse af autonomi og dermed også deres motivation. Imidlertid kan for store frihedsgrader udfordre nogle elever over evne, hvorfor det i praksis er vigtigt at balancere frihedsgraderne (og evt. differentiere hjælpen), så de fleste elever ender med at få en succesoplevelse ud af at arbejde med givne, autentiske problemer ("udfordringen").

Problemløsning i engineering foregår med fordel indenfor visse begrænsninger (tid, materialer, økonomi) og med kravspecifikationer til problemløsningen. Disse kan bla. bruges som pædagogiske og læringsmæssige benspænd, men de har samtidig en vigtig funktion som regulering af frihedsgraderne i elevernes problemløsende proces. Færre materialer til rådighed for et løsningsdesign reducerer selvfølgelig frihedsgraderne, men undertiden kan det godt være med til at fokusere elevernes tænkning og faktisk fremme kreativiteten i problemløsningen.

- **Systematisk udvikling af løsning - med inddragelse af faglig viden/undersøgelser m.m.**

I dette træk ligger der en anerkendelse af og en forsikring om engineering som et fagfagligt ærinde. Der er givetvis mange veje til et afsluttende produkt, men tilgangen til problemløsning bør under alle omstændigheder være systematisk snarere end udtryk for en tilfældig trial-and-error-metode.

Der foreligger et antal forskellige måder at beskrive, hvorledes en sådan systematisk engineeringproces tager sig ud, i Engineering i gymnasiet-projektet har vi taget udgangspunkt i den Engineering Design Proces-model (EDP-modellen), der er udviklet i det nationale Engineering i skolen-program² og som organiserer arbejdet i syv delprocesser: Modellen hjælper eleverne med at arbejde systematisk med deres problemløsning og lærerne med at tilrettelægge forløb og stilladsering:



Forstå udfordringen: Udfordringen er inspireret af et problem i den omgivende verden og/eller har en sådan karakter, at eleverne oplever udfordringen som autentisk og vedkommende.

Undersøge: Eleverne kortlægger deres relevante viden, herunder naturfaglig viden, indkredser og skaffer sig den viden, de har brug for.

Få idéer: Eleverne foreslår, forklarer, forhandler og udvikler idéer, de mener, kan løse udfordringen.

Konkretisere: Eleverne konkretiserer en udvalgt idé ved at lave skitser og vælge materialer. De planlægger og fordeler det videre arbejde.

Konstruere: Eleverne omsætter den valgte idé til et konkret bud på en løsning i form af en prototype. Prototype skal her forstås meget bredt. Det kan både være et konkret fysisk produkt bygget af eleverne. Men en prototype kan i princippet også være en digital kode, en algoritme, en forsøgsprotokol eller en "konsulentrapport", fx med forslag til energibesparelser på en skole. Det er dog værd at være opmærksom på motivationsgraden af de forskellige typer produkter, hvor særligt de fysiske produkter skaber motivation.

Forbedre: Prototypen testes ved naturfaglige undersøgelser eller målinger og forbedres – måske i flere omgange – så den kommer tættere på at løse udfordringen.

² <https://engineerthefuture.dk/engineering-i-skolen/om-engineering-i-skolen/>

Præsentere: Gruppen præsenterer sin løsning og forklarer, hvordan den virker, og hvordan de er kommet frem til den. Grupperne ser tilbage på processen og samarbejdet, og hvad de har lært.

Start og slut på et engineeringforløb

I skolen vil engineeringforløb typisk udspille sig som projekter, hvor eleverne arbejder med en given problemstilling i et tidsmæssigt afgrænset forløb. Det er ikke sikkert, at eleverne arbejder sig systematisk frem gennem delprocesserne fra den ene til den anden, snarere er det mere sandsynligt, at der vil være mange tilbageløb og spring mellem delprocesserne. Men forløbet begynder altid med delprocessen "Forstå udfordringen" og slutter med delprocessen "Præsentere". Derfor har disse to delprocesser didaktisk set en særlig karakter. Det er især her, at læreren har mulighed for at give et engineeringforløb autenticitet, vel vidende at det foregår i en klasse på helt andre præmisser end i verden uden for skolen.

Endvidere skal der fokus på den proces, grupperne har været igennem. Hvordan de kom frem til deres løsninger? Hvordan gik samarbejdet? Udnyttede de, at de var en gruppe? Hvad lærte de? Hvad har de lært af færdigheder? Er der noget, de har lært her, som kan bruges i andre fag – eller næste gang de skal i gang med et projekt? I det lange perspektiv kan vigtigheden af disse sidste overvejelser ikke overvurderes.

Et væsentligt aspekt af engineering i stx er, at eleverne systematisk forsøger at inkorporere viden fra naturfagene i deres problemløsning, samtidig med at de lærer nyt af processen. Undervejs i problemløsningen vil der mange gange opstå spørgsmål, som kræver systematisk undersøgelse i fagfaglig forstand. Det er en del af den systematiske engineeringtilgang, at sådanne spørgsmål faktisk stilles, opfanges, undersøges og får konsekvens for det endelige bud på problemløsning.

Integrationen af engineeringaktivitet og fagfaglighed er usynlig i ovenstående EDP-model. I kapitel 3 vil EDP-modeller, som er anderledes eksplicitte omkring koblingen mellem engineering og fagfaglighed, blive omtalt.

- **Afprøvning af prototyper/modeller og iterativ optimering**

Udover arbejdet med autentisk og produktrettet problemløsning ligger her det træk, som væsentligst adskiller engineering fra sædvanlig naturfaglig undervisning. Nemlig, at man udvikler prototypiske problemløsninger, som underkastes test, der sikkert giver anledning til ændringer i budet på problemløsningen, som så på ny testes osv. På denne måde sker der en systematisk iterativ optimering af løsningen. Netop i denne proces indfanges en af de mere grundlæggende forskelle på engineering og naturvidenskab: Hvor målet for naturvidenskab er sikker viden, så er målet for engineering "bedst mulig problemløsning".

3.2 Hvorved adskiller engineering som disciplin sig fra naturvidenskab som disciplin?

Det er pointen med ovenstående, at engineering i stx er en særlig pædagogisk tilgang til undervisning – som ganske vist prøver at favne centrale aspekter af, hvad ingeniører gør, men som ikke nødvendigvis i forholdet 1:1 eftergør disciplinen ”akademisk ingeniørvidenskab”, lige så lidt som naturfagene i almindelighed eftergør akademisk naturvidenskab. I begge tilfælde er der forskellige mål og praksisser knyttet til, hvad der foregår i skolefag og modsvarende videnskabelige discipliner.

En central engineering-i-undervisningen aktør J. Kolodner ser nedenstående ligheder og forskelle mellem de to bagvedliggende *videnskabelige discipliner* (”epistemiske praksisser”, fra Kolodner, 2002):

Naturvidenskabelige praksis-elementer	Engineering praksis-elementer
At forstå et problem/fænomen, og hvad der er behov for at undersøge	At identificere kriterier, begrænsninger, problemspecifikationer
At generere spørgsmål, som kan undersøges	At afsøge muligheder i materialer m.m.
At designe og udføre undersøgelser mhp. at afdække mønstre, under iagttagelse af variabelkontrol, samt minimering af fejl og usikkerhed, modellering	At konkretisere/designe/konstruere bud på problemløsning – på basis af praktisk relevante undersøgelser/simuleringer og erfaringer.
Evidensbåret stillingtagen, rapportere og argumentere for konklusioner	Informeret beslutningstagen, rapportere og argumentere for design-beslutninger
Iteration hvad angår bedre forståelse	Iteration i retning af den bedst mulige løsning
Naturvidenskabelig forklaring	Forklaring på fejl og forbedringer
Kommunikation af ideer, resultater, fortolkninger, konsekvenser, begrundelser, forklaringer, principper	Kommunikation af ideer, design beslutninger, begrundelser, forklaringer, design-tommelfinger-regler
Gruppearbejde, samarbejde på tværs af teams, respons og anerkendelse	Gruppearbejde, samarbejde på tværs af teams, respons og anerkendelse

(* noget misvisende hos Kolodner betegnet ”Technology skills and practices”)

Hvorvidt tilsvarende forskelle også gør sig gældende mellem engineering-i-naturfagsundervisningen og den almindelige naturfagsundervisning vil i høj grad afhænge af, hvilke mål man forfølger, når man introducerer engineering i undervisningen. Denne diskussion er central i det følgende kapitel.

4. Engineering i undervisningen – hvordan gør man?

I dette kapitel vil vi forsøge at adressere en lang række fagdidaktiske spørgsmål, som har med den praktiske undervisning i engineering at gøre.

Kapitlet er bygget op med følgende struktur, hvor de tre første knytter sig især til planlægningen af engineeringforløb.

- 4.1 Engineering som målrettet aktivitet
- 4.2 Formulering af problemstillinger – hvordan ser den gode engineeringudfordring ud?
- 4.3 Fra traditionel fysikøvelse til den gode engineeringudfordring
- 4.4 Samspil mellem engineering og science-faglighed – den vigtige integration
- 4.5 Forløbsopbygning – ”mikroengineering”
- 4.6 Stilladsering af elevers arbejde med åbne engineeringproblemstillinger

I kapitlerne 5 og 6 vil vi komme ind på, hvordan man som lærer kan evaluere elevernes udbytte af engineering samt komme med et bud på, hvordan et best practice engineeringforløb kan se ud.

4.1 Engineering som målrettet aktivitet

Al god undervisning forfølger bestemte læringsmål, men hvilke typer af mål ser man konkret ifm. engineering i stx? Hvordan vægtes faglige mål og begrundelser ift. mere generelle? Hvor konkrete er de – og bliver de tydeliggjort for eleverne? I dette afsnit beskriver vi den typiske praksis mht. læringsmål, sådan som vi har set det i det første Engineering i gymnasiet-projekt.

Faglige læringsmål

Som typiske stx-lærere har deltagerne stort fokus på faglig læring, og vi ser derfor, at *faglige* begrundelser og læringsmål er meget dominerende i projektet. Projektevalueringen indikerer, at engineering faktisk vil kunne tilgodeses disse i betryggende grad. Selvom generiske læringsmål – og i sjældne tilfælde også mere engineeringrettede mål – nævnes, er det for lidt konkret til, at man ser det have konsekvenser for udformningen af selve undervisningen. En række mulige undervisningsrettede konsekvenser af dette omtales senere i afsnittene om stilladsering og elevmotivation ift. engineering nedenfor.

Opløftende har lærerne i flere tilfælde kunnet koble engineeringprocessen til faglige læreplansmål i form af processer og metoder. Fx peges der i et Fysik B-forløb på følgende mål:

- kunne undersøge problemstillinger og udvikle og vurdere løsninger, hvor fagets viden og metoder anvendes
- kende og kunne opstille og anvende modeller til en kvalitativ eller kvantitativ forklaring af fysiske fænomener og sammenhænge.

mens et NT-forløb giver anledning til følgende mere løst koblede læringsmål:

- arbejde undersøgelsesbaseret med udgangspunkt i en engineeringmodel
- anvende modeller, som kvalitativt og kvantitativt beskriver enkle sammenhænge i omgivelserne, og se modellernes muligheder og begrænsninger.

I forlængelse heraf er det ikke overraskende, at lærerne ifm. afsluttende projekt-interviews især fremhævede, at eleverne var blevet bedre til at arbejde undersøgende, naturvidenskabeligt og vedholdende. Som én af de deltagende lærere udtrykte det:

"Følte, at de havde en motivation for at lave et godt eksperiment". "De var meget opmærksomme på at opdage de fejl der nu ku' være ... eller eliminere de fejl, der ku være" (lærer 1)

Hvis man har som mål, at eleverne skal blive bedre til at lave naturfaglige undersøgelser, er det ikke kritisk, at engineeringaktiviteten er stærkt koblet til et bestemt fagligt indhold og til pensum. I princippet vil enhver rimelig engineering-aktivitet give mulighed for at træne (dele af) disse aspekter. Alligevel vil det være gavnligt for både planlægning og elevernes læring, at man bliver så konkret som muligt med hvilke aspekter af undersøgelseskompetencen man gerne vil fremme - og trimmer arbejdet med udfordringen derefter.

Ovenstående målformuleringer fra stx-projektet er måske for ukonkrete til at fungere helt godt som pejlemærker for den aktuelle undervisning og læring. Hvad vil det fx sige at arbejde "undersøgelserbaseret med udgangspunkt i en engineeringmodel"? Mere konkret og brugbart kunne et læringsmål i en udfordring, der handler om at designe et højtydende solcellepanel, måske være, "at eleven kan identificere faktorer som påvirker output fra et solcellepanel og vælge/bruge relevant måleapparatur til systematisk at optimere effekten fra panelet". Her afføder målformuleringen klare planlægningsfoci:

- Hvordan guides eleverne til at identificere relevante faktorer?
- Hvilket måleudstyr skal de vælge/bruge?
- Hvilke muligheder for systematisk designvariation og optimering kan/skal der gives?

Undervejs i undervisningen vil læreren kunne aflæse konkrete tegn på, om eleverne kan identificere faktorer, vælge måleudstyr og arbejde systematisk med design-udvikling i lyset af deres effektmålinger. Hvor man i grundskolen måske gik for vidt med læringsmålsstyret undervisning, er det fornemmelser, at man i stx med fordel kunne gå et skridt videre til gavn for faglig læring i almindelighed – men så sandelig også for læringen ifm. engineering.

Mange stx-undervisere vil i udgangspunktet formulere læringsmål, som handler om faglig begrebslæring. Typisk er de meget overordnede i retning af, at eleverne skal lære om bestemte indholdsområder ("tryk", "proteiner og kulhydrater" osv.). Erfaringen fra projektet EIG er her, at lærere som starter med rent begrebslige læringsmål, undervejs i et længere efteruddannelsesforløb opdager relevansen af også at formulere andre mål, fx de procesrettede mål ovenfor. Hvad angår målene for begrebslæringen, kunne man også her ønske sig en større konkretisering. Typisk vil en engineeringudfordring ikke kunne sikre, at eleverne lærer sig alle hjørner af et bestemt indholdsområde. Som underviser er man nødt til forud at analysere, hvilke begreber en given engineeringaktivitet næsten uundgåeligt trækker ind.

Mange lærere, der ikke før har arbejdet med engineering, vil forsøge at sikre den faglige læring, og at "eleverne er klædt fagligt på" allerede i optakten til deres engineeringforløb. Som vi skal se i senere afsnit om integration af faglige og engineering-design aspekter og forløbsopbygning, så er det ikke nødvendigvis den bedste udnyttelse af læringspotentiallet i engineering. Heldigvis ser vi i EIG en tendens til, at "front-loadingen" aftager, når man først har opdaget, at engineering godt kan trække faglig begrebslæring med sig. I et amerikansk projekt om engineering i gymnasiet reflekterer en lærer til slut:

"Jeg har indset, at en vel gennemtænkt engineeringlektion kan have samme eller tilsvarende fysiklæringsmål som en mere traditionel, og at den tillige tenderer til at opfylde ekstra læringsmål, som den traditionelle lektion ikke gør" (Eisenkraft et, 2018, p. 6).

I slutevalueringen i EIG tilkendegiver 2/3 af lærerne, at "eleverne lærte et fagfagligt indhold gennem

engineeringaktiviteterne”, mens godt 2 ud 3 elever mener, at *”engineering-opgaverne hjalp én til at forstå andre dele af faget”*, hhv. at de *”lærte en masse fagligt i forløbet”*. Selvom de begrebslige læringsmål kunne være tydeligere og mere konkrete, og selv om forløbene ikke i alle tilfælde har været optimalt opbyggede, så er der altså en oplevelse af, at man faktisk kan tilgodese mål knyttet til faglig begrebslæring gennem engineeringaktivitet.

Engineeringrettede læringsmål

Det store fokus på faglig læring i stx betyder samtidig, at andre typer af læringsmål nedtones og sjældent ekspliciteres. Det er således en undtagelse, hvis der i et stx-forløb faktisk også formuleres mere engineeringrettede mål. Hvor det sker, så er det typisk i generelle termer, fx med henvisning til en (fagligt twistet) EDP-model:

”Engineering mål: Løse et autentisk problem, bygge en løsningsmodel og vurdere denne, optimere iterativt på løsningsmodel, omsætte virkeligt problem til faglig viden, og omsætte faglig viden til virkelighed”.

Tilsvarende mål fyldte noget mere i forløbsbeskrivelser for grundskoleprojektet Engineering i Skolen (EiS), hvor ganske mange lærere så det som et mål i sig selv, at eleverne lærte om *”engineeringmetoden”*. En selvstændig metode – på noget nær lige fod med *”naturvidenskabelige metoder”*. En tilsvarende metode-ligestilling ses ikke i stx-projektet.

Blandt de potentielle begrundelser for engineering var også elevmotivation og generiske kompetencer, såsom samarbejdsevne, selvstændighed og vedholdenhed. I en række stx-projekter er et eller flere af disse aspekter også angivet som læringsmål, men da kun overordnet og med angivelse af netop disse termer. Typisk anføres målene uden at de synligt forfølges i udformningen af engineeringudfordringen eller den øvrige planlægning. Måske som udtryk for, at lærerne mener at arbejde efter engineeringmetoden *automatisk* er motiverende for eleverne og god for deres evne til samarbejde? Også her er anbefalingen at udfolde og konkretisere: hvis målet er elevmotivation, er det så et mål at alle/bestemte elevgrupper motiveres? Skal det komme til udtryk ved, at de arbejder længere/stiller flere spørgsmål/diskuterer mere/selv bringer ideer i spil og er mere selvkørende?...

4.2 Formulering af problemstillinger - hvordan ser den gode engineering udfordring ud?

I kapitel 3 beskrev vi 6 karakteristika ved engineering i stx-undervisningen, herunder kendetegn ved den gode engineeringudfordring, og hvad man skal være opmærksom på, når man selv skal forsøge at formulere en sådan. Det følger vi op på her.

I forskningslitteraturen om engineering hhv. learning-by-design er der ikke systematiske *undersøgelser* af, hvad der kendetegner den gode engineering udfordring. Formentlig fordi det afhænger af allehånde kontekst-faktorer: hvad er det for elever der skal håndtere den? Hvilke forudsætninger har de? Fagfagligt, designmæssigt eller generisk? Hvor store frihedsgrader vil de være i stand til at håndtere? osv. Knapheden på egentlige undersøgelser modvirkes i nogen grad af, at undervisere og forskere efter mange års arbejde i feltet i en række tilfælde har søgt at generalisere deres erfaringer for, hvad der virker. Nedenstående tabel er således en syntese af erfaringer og pointer fra en række forskellige kilder (først og fremmest Ross (2011), Sadler et al (2000), Eisenkraft (2018)).

ANBEFALINGER FOR DEN GODE ENGINEERINGUDFORDRING:

- Færre, udstrakte udfordringer med mulighed for fordybelse er bedre end mange, hastige og mere overfladiske
- Udfordringen skal relatere sig til den virkelige verden – og relevansen skal være tydelig
- De bedste udfordringer relaterer sig til de unges hverdagsliv og bruger lige så gerne materialer fra hverdagen som laboratoriematerialer.
- Udfordringen skal være så åben, som eleverne kan håndtere det.
- Udfordringen skal knytte an til og kunne kvalificeres af faglig viden og faglige undersøgelser.
- Der bør være flere forskellige måder at løse problemet succesfuldt på.
- De tilgængelige materialer og øvrige ressourcer må ikke begrænse løsningsrummet for meget.
- Den gode udfordring åbner for problemløsning på flere niveauer – og har ikke en høj teknisk tærskelværdi for at komme i gang med problemløsningen
- Der skal være mulighed for fejl og optimering i selve udfordringen. Løsningsdesignet bør ikke være så tidskrævende i konstruktion, at der ikke er tid til iterativ forbedring.
- Udfordringen skal ledsages af klare mål, som eleverne både kan forstå og navigere efter.
- Hvor det er relevant, angives minimums-specifikationer og succeskriterier for det ønskede produkt,
- Den gode engineering udfordring omfatter ofte krav til elevernes proces. Fx at udviklingsprocessen skal dokumenteres vha. skitser/noter/foto af de forskellige løsningsdesign og de overvejelser, som lå til grund for design-ændringer.

Vi bemærker her, at kriterierne for den gode engineeringudfordring et godt stykke henad vejen spejler tjeklisten for, hvornår noget er engineering: at udfordringen/problemstillingen er autentisk, at der er forskellige frihedsgrader, at problemløsningen naturligt drager fagfaglig viden ind, og at der gives mulighed for optimering af de bud på løsning, som eleverne kommer op med. Visse aspekter af tabellen fortjener yderligere udfoldning:

- *Hvor omfattende og tidskrævende bør en engineeringudfordring være?*

Tabellens anbefaling af færre, men længere forløb, skal ses i lyset af, at tidspres som oftest betyder, at faser med idegenerering og iterativ produktoptimering, som regel bliver væk. Dermed tabes både en væsentlig motivationsfaktor og en essentiel komponent for, at der overhovedet er tale om engineering. Samtidig er der tendens til, at de fag-og-engineering integrerende elementer udtyndes under tidspres, hvilket koster læringsmæssigt, både hvad angår den fagfaglige læring og udbyttet mht. bredere engineeringmål.

Af lektionsplaner og survey-tilbagemeldinger i EIG-projektet kan vi aflæse, at forløbene har varet fra 2 til over 10 lektioner, med færrest forløb i den lave ende af spektret. Tidsforbruget er en smule længere end i folkeskoleprojektet Engineering i skolen, men mønsteret er ikke radikalt anderledes. I spørgeskemaets åbne responsfelter har eleverne kunnet komme med forslag til forbedring af engineeringforløbene – og her dominerer elevernes ønske om ”mere tid”.

Typiske eksempler på elevernes forbedringsforslag kunne være:

- *Hvis der var mere tid til de enkelte opgaver og tid til at forstå dem ordentligt.*
- *Større projekter – mere tid*
- *Mere hjælp til at komme på rette spor + lidt længere tid.*
- *Mere feedback og bedre tid til testning af produkt*

Disse indikationer underbygger i hvert fald tabellens anbefaling af færre og mere udstrakte og meningsfulde forløb. Heroverfor står mange naturfaglige underviseres ønske, om ikke nødvendigvis at skulle gennemløbe en hel problemløsende EDP-cyklus hver eneste gang engineering tænkes at indgå, men i stedet fokusere på delprocesser i det enkelte forløb. Vi vender tilbage til denne mulighed senere i kapitlet – her nævnes den blot, fordi en sådan tilgang selvfølgelig flytter gevaldigt rundt på grænserne for, hvor omfattende en god engineering udfordring er.

- *Virkelighedsnære engineeringudfordringer*

Det er *afgørende for elevernes engagement, at det virkelighedsnære eller relevansen af engineeringudfordringen allerede fra første færd bliver tydeliggjort for eleverne*. Der er en klar motivationsgevinst for mange elever i at tilegne sig viden, som kan gøre godt for noget eller nogen (såkaldt "frelserstrategi", som mange unge, især piger er præget af).

Mange engineeringudfordringer – især for yngre elever – bruger et indledende narrativ til at godtgøre, at en problemløsning er relevant og potentielt vigtig. Narrativet behøver ikke kun være på tekstform, men kan fint være en velvalgt video, som tydeliggør et behov. Sædvanligvis vil et velfungerende narrativ spille på nyhedskriterierne *væsentlighed* og *identifikation*. Oplevelsen af væsentlighed og mulighederne for identifikation får selvfølgelig et nøk opad hos eleverne, hvis de selv afdækker behovet for problemløsning, fx gennem samtaler med potentielle brugere/aftagere. Mange undervisere i naturfag vil dog nok forsøge at spare undervisningstid og nøjes med at *rimeliggøre*, at der er et behov. Fx gennem brug af et genkendeligt narrativ, eller ved en samlet klasseaktivitet ud-af-huset til en kontekst, hvor et behov for problemløsning aktualiseres. Fx en radiologisk afdeling, en affaldshåndtering, et rensningsanlæg osv.

I arbejdet med at etablere relevans er det vigtigt, at man er bevidst om, at der er *forskellige slags relevans*, og at de indvirker forskelligt på elevernes motivation. I bilag 2 eksemplificeres tre hovedtyper af relevans – faglig, samfundsmæssig og personlig – gennem konkrete udfordringer og tilhørende undervisningsmæssige indramninger.

- *Struktur og frihedsgrader i engineeringudfordringer*

I udgangspunktet siger forskningen om elevers problem-løsende arbejde, at elever lærer mest og har nemmere ved at anvende deres viden uden for skolen, hvis de arbejder med problemer med størst mulig åbenhed, såkaldt "understrukturerede problemstillinger" ("ill-structured"/messy/wicked problems", fx Jonassen, 1997; Chin et al, 2007). Ressourcestærke elever vil givet vist lære en masse af at arbejde med sådanne problemer og de meget store frihedsgrader, som de indebærer.

I den normale gymnasieundervisning vil det imidlertid være relevant at reducere frihedsgraderne på en eller flere dimensioner under hensyntagen til elevernes forudsætninger. Ud fra et læringsperspektiv bør frihedsgraderne justeres, så eleverne kommer til at arbejde i deres nærmeste udviklingszoner, hvor de akkurat og med passende støtte kan håndtere udfordringen. Denne type udfordring omtales oftest som "moderat struktureret". Ligeledes er det afgørende for motivationen, at elever oplever sig som kompetente ift. fagets udfordringer.

Selvom understrukturerede problemstillinger i reneste form næppe bliver en del af den naturfaglige undervisning, så genfinder man i de ovenstående tabel-anbefalinger for den gode engineeringudfor-

dring bud på relevante gradbøjninger langs de karakteristiske dimensioner ("så åben som eleverne kan håndtere det"/"åbner for problemløsning på flere niveauer", "bør være flere måder at løse problemet på", "materialer/ressourcer m.m. må ikke begrænse løsningsrummet for meget").

I tænkning om og design af engineeringudfordringer giver det således mening at granske den aktuelle problemstilling og vurdere hvor mange og hvor store frihedsgrader dens formulering lægger op til. Fx på de seks dimensioner vist herunder, hvor hver opfattes som et kontinuum fra fuldt struktureret til ikke-struktureret. Her nævner et godt wiki-eksempel på nettet *at starte en bil* som eksempel på en fuldt-struktureret udfordring, *at reparere en bil* som eksempel på en moderat struktureret udfordring, mens *at designe en bil* eksemplificerer den ikke-strukturerede udfordring.

Struktureret	Potentiel frihedsgrad	Ill-structured
Entydig. Til at arbejde med.	1. Problemdefinition ←→	Flertydig. Behøver bearbejdning.
Kendte metoder. Givet hvilke og hvordan de tænkes at bidrage.	2. Løsningsstilgange og metoder ←→	Ikke kun kendte metoder. Uklart, hvilke og hvordan.
Al relevant viden forlods etableret og koblet til løsningen.	3. Videngrundlag ←→	Måske skal der læres nyt. Uklart, hvilken & hvordan faglig viden indgår.
Kun én mulig løsning. Kun én rigtig løsning.	4. Løsningsrum/produkt ←→	Flere mulige løsninger. Ingen rigtige løsninger – kun gode og mindre gode
Forbedringer hverken relevante eller interessante.	5. Iterativ forbedring ←→	Åbninger for læring gennem forbedring.
Ingenting at vurdere eller forhandle.	6. Vurdering & forhandling ←→	Adskilligt som kræver vurdering og forhandling

Hvorvidt en given udfordring med bestemte frihedsgrader er optimal, afhænger både af, hvilke elever der er tale om og hvordan stilladsering medtænkes i undervisningen. Relevant stilladsering berøres senere i dette kapitel.

4.3. Fra traditionel fysikøvelse til den gode engineeringudfordring

En klassisk fysikøvelse handler om at bestemme den specifikke varmekapacitet af et metalrod ved hjælp af et kalorimeterforsøg. Hvis man analyserer det indsatte eksempel på en typisk øvelsesvejledning (se figur) ud fra anbefalingerne for den gode engineeringudfordring, så hæfter man sig især ved, at der ingen kobling er til noget autentisk ("real-world"), ligesom der ikke reelle frihedsgrader i forsøgsbeskrivelsen (se også denne i bilag XX).

Laboratorieforsøg 1.7
Specifik varmekapacitet

Den energimængde, der skal til for at opvarme en genstand fra temperaturen t_{start} til t_{slut} afhænger af genstandens masse og af, hvad genstanden er lavet af. Energimængden kan findes ud fra formlen:

$$E = m_g \cdot c_g \cdot (t_{slut} - t_{start})$$

Her er m_g genstandens masse, og c_g er genstandens specifikke varmekapacitet. Formelen gælder også for en væske, fx vand.

I dette forsøg skal den specifikke varmekapacitet bestemmes for en genstand, fx et lod eller en sten.

Apparatur & Kemikalier:
 Vægt
 Genstand (fx lod)
 250 mL bægerglas
 Bunsenbrænder
 Trefod m. trådnæt
 Flamingobæger
 Termometer

Udførelse

Først vejes genstanden. $m_g =$ g

Dernæst opvarmes genstanden til 100 °C i kogende vand. Den skal være i det kogende vand i ca. 5 min.

Et flamingobæger vejes. Dernæst fyldes det ca. trekvart med vand. Flamingobægeret med vand vejes, og vandets masse m_v bestemmes.

$$m_v =$$
 g

Begyndelsestemperaturen t_{start} for vandet i bægeret bestemmes.

$$t_{start} =$$
 °C

Den opvarmede genstand nedsænkes i vandet og efter forsigtig omrøring med termometeret bestemmes sluttemperaturen, som er fælles for vand og genstand.

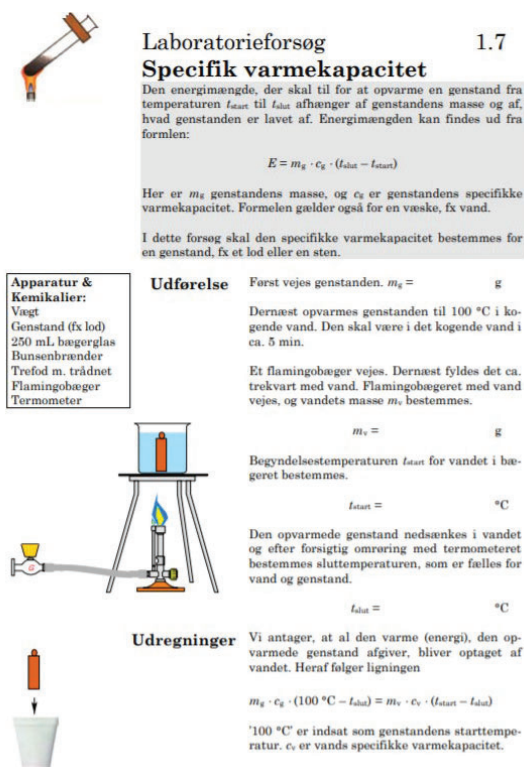
$$t_{slut} =$$
 °C

Udregninger

Vi antager, at al den varme (energi), den opvarmede genstand afgiver, bliver optaget af vandet. Heraf følger ligningen

$$m_g \cdot c_g \cdot (100 \text{ °C} - t_{start}) = m_v \cdot c_v \cdot (t_{slut} - t_{start})$$

'100 °C' er indsat som genstandens starttemperatur. c_v er vands specifikke varmekapacitet.




Redesign

REDESIGNET SOM ENGINEERINGUDFØRDRING

Autentisk problem:

En folkeskole mangler penge til at købe apparatur til undervisningen i energi. Konkret savner man et udstyr til at måle solindstrålingen, altså hvor stor en effekt som rammer jorden pr. kvadratmeter. Jeres opgave er at designe og kalibrere en simpel udgave af et sådant apparatur ud fra dagligdags materialer, herunder et husholdningstermometer.

Kriterier: et mobilt-robust produkt, størst mulig præcision, samt dataark som redøgør for kalibrering og måling/beregning ved brug.

Evt. stilladseringer:

- **Afgrænsede materialer til rådighed?**
- **Hints?** Til specifik varmekapacitet? Et billede af et simpelt pyrheliometer? Til kalibreringsmuligheder?
- **Planlagt elev-elevinteraktion:** planlagt idedeling? Respons på pre-prototyper?
- **Fælles inquiry-fokus:** noget vi skal have undersøgt og finde svar på, for at løse opgaven godt?

Der er en kobling til faglige begreber (varmekapacitet, varme) og "udregninger" baseret på energibevarelsessætning er afgørende. Men: selve udførelsen aktiverer kun helt basale undersøgelsesfærdigheder.

I den redesignede version er der skabt en ramme af relevans omkring aktiviteten: skolen står og skal bruge et sådant apparat. Der er også indført flere frihedsgrader – som kan justeres alt efter rammer og elever. Engineering-aktiviteten har samme begrebsmæssige indhold som den traditionelle fysikøvelse – men den lægger i langt højere grad op til, at eleverne selv tænker, både om produktet og den undersøgelsesmæssige side.

4.4 Samspil mellem engineering og science faglighed – den vigtige integration

Formålet med at indføre engineering i den naturfaglige stx-undervisning er, at det dels vil fungere som en anderledes måde at tilegne sig et naturfagligt indhold og naturfaglige kompetencer, og dels vil lære eleverne at arbejde mere kreativt, problem- og produktrettet og vedholdende. Det sidste opfattes hypotetisk som aspekter af engineering arbejdsmåder ("habits of mind"). Et godt engineering-forløb bringer således naturvidenskabelige tilgange sammen med design-tilgange – og ideelt set er der et læringsudbytte knyttet til hver af disse to typer af faglighed.

Spørgsmålet er nu, hvordan man bedst sikrer sig, at der faktisk er et sådant dobbeltsidigt læringsudbytte. Her peger den eksisterende forskning på vigtigheden af, at de to fagligheder faktisk integreres. Dette kræver, at det dobbelte perspektiv fastholdes hele vejen fra mål, over planlægning og gennemfø-

relse af undervisningen, til evaluering. En række opmærksomhedspunkter og overvejelser omtales i det følgende.

4.4.1. *Engineering som samspil mellem to slags faglighed* (science hhv. engineering-design)

Man kan organisere faglige samspil på mange forskellige måder. Én mulighed er at sekvensere, dvs. undervise i den ene faglighed forud for den anden, fx science-delen forud for engineeringudfordringen. En anden er at bearbejde de to fagligheder parallelt, uden at de to spor bevidst samtænkes – i undervisningen såvel som i elevernes hoveder. Endelig kan man søge at integrere de to faglige spor, i større eller mindre grad. Spørgsmålet er nu, om den ene variant resulterer i et større læringsudbytte end den anden?

Eisenkraft et al (2018) beskriver forskellige måder at integrere engineeringaktiviteter på i undervisningen:

- Som "aktivator" ved forløbsstart - for at motivere eleverne for at tilegne sig relevant fagligt stof
- Som "anvendelse" undervejs i et forløb – for at sikre eleverne en bearbejdning af det faglige stof og vise eleverne, at dette stof kan bruges til noget
- Som syntese-indslag i afrundingen af et forløb – så eleverne får overblik over og proportioner på den faglige læring og dennes anvendelsesmuligheder i en given kontekst.

Umiddelbart forekommer alle tre måder at bruge engineering på fornuftige – og de er tillige genkendelige fra engineering i skolen-projektet. Derfra ved vi, at eleverne jævnt hen var fornøjede med samtlige varianter, idet indikatorerne for *elevmotivation* ser positive ud. Omvendt foreligger der pt. ikke aldeles overbevisende studier af, hvorledes elevernes *læring* påvirkes af det faktiske science-engineering-samspil (se fx Becker, 2011). Alligevel peger en række studier på, at det er mest tjenligt at *integrere* de to typer af faglighed. Honey et al (2014) skriver således opsummerende: "*vore resultater indikerer at integration kan føre til øget begrebslæring i fagene, men effekten afhænger af, hvorledes der integreres, hvilke udbyttsmål man går efter, samt af elevernes erfaringer og forudsætninger*". (p. 52).

I et nyere studium (Crotty et al, 2017) har man undersøgt godt 2500 elevers *engineering*-relaterede udbytte i forskellige typer af samspil. Her fremgår det, at det ikke er godt for engineering-udbyttet at starte med en science-indsigt-etablerende optakt. Det er klart bedre at starte og slutte med engineeringindslag. Evt. udbygget med løbende engineering-integration hele vejen fra optakt til slut.

Engineering Design Modeller og forløbsopbygning

I kapitel 1 (rettes til 2 sener) beskrev vi projektets Engineering Design Proces-model. Oprindeligt stammer denne model fra grundskoleprojektet og er efterfølgende blevet afprøvet blandt de tre delta-gende gymnasier. Denne type EDP-model er først og fremmest nyttig ved at sætte etikette på en række centrale engineeringprocesser. Dermed gør den det muligt for både elever og lærer at snakke om, hvad engineering er, og om hvilke processer man lige nu har gang i. Til gengæld støtter den ikke særligt lærerens planlægning og afvikling af et engineering-forløb, ligesom det ikke er synligt, om/hvorledes fagligheden indgår. I det følgende vil vi beskrive en alternativ model, der er anderledes explicit omkring koblingen mellem engineering og fagfaglighed.


I vores afsøgning af et vidensgrundlag for engineering (Silassen et al, 2018) fandt vi i FITS-modellen (Van Breukelen, 2016), som var det mest overbevisende bud på en forløbsopbygning, som understøtter faglig læring. FITS-modellen bygger på en række tidligere studier, hvor man havde forsøgt at integrere engineering og science vha. en særlig EDP-model (Kolodner, se kapitel 3). I disse studier havde Van Breukelen set, at elever lynhurtigt ryger over i et design-fokus ("hvad skal vi gøre?"/"hvilket design skal vi komme på?"), som aldeles overskygger det underliggende naturfaglige indhold ("hvad skal vi lære?"). Samtidig observerede Van Breukelen, at lærerne oftest ikke gjorde nok for at bringe science explicit ind undervejs og til slut af design-processen. Endelig pegede studierne på, at eleverne ople-

vede læreprocessen som fragmenteret, bla. fordi der ikke var tilstrækkelig stilladsering undervejs. Med afsæt i sin problemanalyse foretog Van Breukelen en række optimeringer af EDP-modellen, som førte til den endelige FITS-model,


FITS-modellen strukturerer elevernes læring-gennem-design-proces gennem 4 overordnede faser. Faserne Fokus-Inquiry (undersøgelse)-Teknologisk Design-Synergi bidrager hver med et bogstav til akronymet.

FITS-MODELLEN (FOCUS-INVESTIGATION-TECH. DESIGN-SYNERGY, Van Breukelen, 2016)

1. Fokusfase	2. Undersøgellesfase	3. Tekn. Designfase	4. Synergifase
Intro til udfordring	Diskussion af "fair test"/metode	Diskussion af "fair test"/metode	Lav prototype
Granskning af udfordring og materialer	Undersøgelser	Ideer og skitser af mulige design	Test og forbedring af design
Spørgsmål til undersøgelse	Konklusioner	Skitse-fernisering m. respons	Produktpræsentation
Deling og evt. fordeling af spørgsmål til undersøgelse	Poster Session, hvor resultater opsamles og formuleres som anvendelsesrettede Tommel-finger-regler	Færdiggørelse af Endeligt design til konstruktion	Naturvidenskabelige forklaringer i relation til design



Fagfaglige inputs



Fagfaglige inputs

En række kommentarer knytter sig til FITS-modellen, som den er vist her:

- For det første, at der er tale om en totalt integreret model – engineeringudfordringen introduceres som det første, og *alle andre aktiviteter knyttes efterfølgende an til denne*. Ved at introducere engineeringudfordringen forud, så opnår man at denne kan motivere eleverne til det videre arbejde, ligesom udfordringen fokuserer elevernes efterfølgende faglige undersøgelser.
- På denne måde holdes både design-tænkning og faglig læring i princippet i luften samtidig. Farvekoden øverst i skemaet indikerer, hvilket af de to domæner, som er i *forgrunden* i forløbets forskellige faser.
- Modellen er bevidst *sekventiel* – der er pædagogiske grunde til, at faserne skal gennemløbes i den rækkefølge, som modellen (og akronymet) angiver.

Uddybende kan man sige om faserne:

- I fokus-fasen er det meningen, at eleverne dels skal forstå udfordringen og dels begynde at fundere over, hvilke spørgsmål det afføder. I forlængelse heraf skal eleverne forholde sig til, hvilke naturfaglige undersøgelser det vil være relevant at lave for at kvalificere deres problemløsning. I dette skridt kæmper eleverne med at afdække den mere generelle naturfaglighed, som ligger bag den konkrete udfordring. Der er således tale om en dekontekstualiserings-proces.

Hvis fx udfordringen er at designe en termokop, så vil relevante bud på undersøgelse måske handle om forskellige måder at afgive varme på, om varmeledningsevnen og formbarheden af forskellige materialer og om evt. afgivelse af usunde stoffer fra materialerne til typiske drikkevarer.

I slutningen af fokus-fasen samler læreren så klassen og faciliterer, at eleverne deler deres spørgsmål og bud på undersøgelser. I fællesskab prioriteres de vigtigste – og evt. aftales hvilke elevgrupper der undersøger hvad.

- I Inquiry-fasen undersøger eleverne i grupper deres respektive spørgsmål, evt. efter at man er blevet enige om, hvorledes dette kan gøres på systematisk vis. Eleverne fremlægger deres resultater og konklusioner for hinanden, fx på en poster-session. Læreren hjælper til med at sikre, at disse fremlæggelser rundes design-rettet af: hvad betyder disse (naturfaglige) undersøgelsesresultater for det design vi ønsker at udvikle? Giver resultaterne mulighed for at formulere nogle tommel-finger-regler for designet?

Her arbejdes altså bevidst med at sammenknytte resultaterne fra de mere generelle og abstrakte naturfaglige undersøgelser med den konkrete design-udfordring. Resultaterne (re)kontekstualiseres, så de bliver praktisk anvendelige. Hvis læreren undervejs i opsamlingen føler, at der mangler afgørende vidensbrikker, så er dette et godt tidspunkt at levere faglige input.

- I Tekno-design fasen genererer eleverne ideer og skitser til problemløsning – med afsæt i de faglige tommelfingerregler, som sidste fase udviklede. Før de låser sig fast i en løsningsmodel-tænkning, udveksler eleverne konkrete ideer i en ferniserings-runde. Her får hver gruppe medspil på sine ideer – og ideelt set indarbejdes responsen i det endelige udkast til problemløsning, som gruppen beslutter sig for at færdiggøre.
- Synergi-fasen indeholder først og fremmest den egentlige konstruktion og optimering af gruppens problemløsning. Produkterne præsenteres og holdes op mod evt. succeskriterier/kravsspecifikationer. Nok så vigtigt, så holdes grupperne fast på at deklarerer, hvorledes deres design er optimeret i lyset af faglig viden. Hvis væsentlige faglige vidensbrikker mangler i gruppernes redegørelser, så er det på ny et godt tidspunkt for læreren at supplere.

FITS-modellen har således indlejret viden om, hvornår faglige inputs er bedst anbragte, ligesom den opererer med dekontekstualisering/kontekstualisering som en mekanisme til at fremme koblingen mellem det naturfaglige og det design-faglige domæne. Endelig indgår der i samtlige faser en delingsrunde, hvor eleverne præsenterer deres foreløbige bud og responser hinandens bidrag. Planlagte delings- og responsrunder af denne type er en vigtig støtteforanstaltning for eleverne (såkaldt "hård stilladsering").

Hvis man vælger at opbygge engineering-forløb omkring andre EDP-modeller end FITS, så er man i hvert fald sikker på, at de centrale engineeringprocesser faktisk tænkes med i forløbet. I nogle tilfælde (som fx EiS-EDP-modellen) anviser modellen ikke en bestemt vej igennem disse, men den naturlige undervisningsprogression i forlængelse af EiS-modellen må være en undervisning med faser i følgende sekvens:

Forstå udfordringen -> Få ideer -> Undersøge [byttes evt. om med Få ideer – i tilfælde hvor eleverne ikke har megen forudgående viden] -> Konkretisere -> Konstruere -> Forbedre -> Præsentere

Med dette afsæt har man den overordnede forløbsstruktur. I modsætning til FITS-modellen, så indeholder "almindelige" EDP-modeller til gengæld ikke så meget hjælp til udfoldningen af de forskellige faser, fx: er det faglige kun til stede ifm. undersøgelsesfasen. Her må man som underviser enten række på sine erfaringer og sin professionelle dømmekraft for at udfylde rammen. Alternativt kan man inkludere eksempelvis FITS-modellen i sin planlægning.

4.4.2. Erfaringer med EDP-modeller fra Region Midt-projektet

Lærere på et af gymnasierne i Engineering i gymnasiet projektet har konsekvent brugt FITS-modellen til deres undervisningsplanlægning. Det fremgår af lærergruppens lektionsplaner m.m., at FITS-modellen har været særdeles brugbar i deres planlægning, og at de på bedste vis har formået at omsætte den til praksis. I deres post-refleksion omtaler de modellen som meningsfuld og oplever ikke modellens detaljeringsgrad som en spændetrøje. I refleksionerne efter det første forløb skriver de yderligere: *"Det fungerede godt at anvende FITS-modellen og præsentere den for eleverne. Modellen understøttede processen, og den klare struktur i FITS-modellen var en støtte for nogle elevtyper. Eleverne blev gennem FITS-modellen gjort opmærksom på, at et engineering-forløb indeholder mange faser, og at det ikke er smart at hoppe direkte til at lave produktet."*

Lige netop til elevbrug har lærergruppen dog efterfølgende udviklet en layoutmæssigt simplere version af FITS-modellen, mens andre af projektets lærere har valgt at bruge EDP-modellen overfor eleverne. Dette illustrerer meget godt, at modeller bør være tilpasset det givne formål – og at en fagdidaktisk model, som skal understøtte lærerens planlægning, ikke er den optimale model til at introducere de centrale engineering-processer for elever.

4.5 "Mikroengineering" - kortere og fokuserede engineering forløb

Vi har tidligere set, at mens eleverne synes, at der gerne må gives mere tid til arbejdet med en enkelte engineeringudfordring, så er mange undervisere bekymrede over tidsforbruget. Selvom lærerne anerkender, at eleverne både lærer både faglige begreber og undersøgelsesmetoder af engineeringtilgangen, så drømmer mange om at høste potentielle engineering-gevinster via de kortest mulige forløb (herefter betegnet som "mikroengineering"). Grundlæggende åbner der sig i hvert fald to tilgange til mikroengineering, som vil blive omtalt hver for sig i det følgende:

Fokus på "små" engineeringudfordringer, som er fagligt relevante, og hvor hele EDP-processen kan gennemløbes på nogle få lektioner. Det er meget almindeligt at fulde EDP-gennemløb, hvor der er tid til at udfolde samtlige delprocesser, tager af størrelsesordenen 10 lektioner (à 45 min). Med velvalgte engineeringudfordringer er det imidlertid en erfaring fra EIG-projektet, at det faktisk er muligt at gennemføre et meningsfuldt EDP-gennemløb på bare 2-3 lektioner. Et af de kortere forløb i 1.g kemi handlede om at udvikle en ny type mayonnaise. Forløbet var 3 lektioner à 70 min, men den midterste lektion kunne i princippet være skåret væk, da den mestendels handlede om at konsolidere den faglige begrebslæring. Selvom man godt vil kunne pege på forbedringsmuligheder i forløbstænkningen, så var både lærere og elever ganske fornøjede med forløbet, som i grove træk havde følgende opbygning:

- *Lektion 1: Indramning vha. undersøgelser:* Hvordan laver man en emulsion? Forskellige stoffers evne til at emulgere (fx salt, citron, æg, hvidløg...)? Lav en mayonnaise efter opskrift ("Brdr. Prices")
- *Lektion 2:*
 - *Videnskonsolidering.* Lav en video, hvor I forklarer i faglige termer, hvad der sker i en emulgeringsproces.
 - *Brainstorm:* ideer til "en ny og forbedret mayo" – vælg selv kriterier: smag, miljøhensyn, økonomi, vegansk, party- eller juleagtig...
 - *Udvælg og skitser en indkøbsplan for produktionen*
- *Lektion 3: Fremstilling af mayo-prototyper, optimering og smags-tests som evaluering.*

For underviserne var det en ahaoplevelse, at man faktisk kunne skære en fagligt relevant problemstilling til på en måde, så der blev lavet engineering, på et fagligt grundlag og i mikroforstand! Det gav dem mod på at gå på jagt efter andre afgrænsede problemstillinger, hvor man kunne gøre noget tilsvarende.

Find mayonnaiseforløbet og andre engineeringforløb på Engineer the Futures hjemmeside: [Engineeringforløb til gymnasiet \(engineerthefuture.dk\)](http://engineerthefuture.dk)

Fokus på enkelte, centrale EDP-processer – uden at eleverne gennemløber hele EDP-processen i det enkelte forløb. En sådan løsning forudsætter, at man kan udpege de centrale processer/delkompetencer/aspekter, som indfanger kernen af engineering og åbner for eleverne på de måder som engineering har vist sig at kunne.

I princippet kunne man hævde, at enhver fase i ovenstående EDP-/PBL-modeller udtrykker en vigtig delproces eller delkompetence. Men hvis man vil indfange det særlige ved engineering ift. vanlige tilgange til undersøgelse, problemløsning og innovation i naturfagene, så bør mindst én af følgende delprocesser være til stede:

- Konstruktion af fagligt baserede prototypiske problemløsninger
- Iterativ, systematisk og fagligt baseret udvikling af problemløsninger

Hvis man anerkender dette, så bør partielle EDP-forløb grundlæggende være af enten konstruktionstype eller optimeringstype. Med PBL-engineering modellens termer så omfatter disse:

Mikroengineering 1: "KONSTRUKTIONSTYPEN"

- Udforsk problemet (undersøge, idegenerere)
- Konstruer en prototypisk løsning
- Evt. præsentere problemløsningen og reflektere dens faglige grundlag

Mikroengineering 2: "OPTIMERINGSTYPEN"

- Afsæt i en ukomplet, outdated, dårlig problemløsning
- Optimering (test, redesign)
- Formidling m fokus på faglige tests og begrundelser for redesign

Eksempler på meningsfulde *optimeringstype*-forløb kunne være:

- 3-verdensteknologi til opvarmning af vand: træ/sprittablet bruges til at opvarme et krus vand. Forbedringsmuligheder?
- Et model-tårn, som måske/måske ikke kan klare en rystelsestest (dvs. fokus på testning og stabilitetsforøgende strukturer, fx trekantstrukturer i tårnet, tuned masse-dæmpere ophængt i tårnet...)
- En netlogo-computer-model af en pandemi, som i hvert fald IKKE beskriver noget, der ligner de virkelige udviklingskurver – eller en Arduino-sensor-opstilling, som skal udvides for at håndtere en mere vidtgående udfordring.

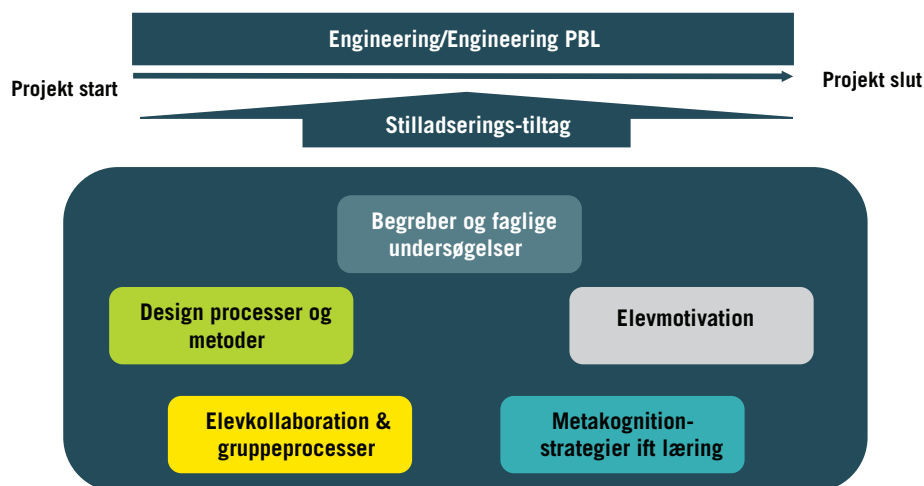
4.6 Stilladsering af elevers arbejde med åbne engineering problemstillinger

Stilladsering handler om at bygge støttestrukturer omkring elevernes læring. Ideelt set nogle, som kan nedtones/fjernes i takt med at eleverne bliver mere selvhjulpne og selvregulerede.

Engineering er karakteriseret ved, at eleverne prøver at tackle relativt ilde-strukturerede udfordringer på måder, som de længst muligt selv finder på. I mange tilfælde vil der således være åbne ender både mht. den præcise problemstilling, processerne der leder til deres bud på problemløsning, samt ikke mindst selve problemløsningen. **Med alle disse frihedsgrader er det i høj grad relevant, at man som lærer medtænker stilladsering i sin planlægning og afvikling af engineering i undervisningen.**

Både blød og hård stilladsering er afgørende for elevernes læring, når der arbejdes problembaseret og med de store frihedsgrader, som kendetegner engineering. I princippet bør man som lærer have gennemtænkt, hvorledes der kan stilladseres fra start til slut. Inspireret af Kim et al (2019), så kan

man tale om et lærings-centreret stilladserings-system (LSS), hvor man som lærer skal have opmærksomhed på og stilladserings-indsatser rettet mod 5 forskellige aspekter af læringen:



Tilstedeværelsen af hele 5 samtidige relevante områder for stilladsering tydeliggør, at engineering er krævende – for både elever og læreren. At der på samme tid er behov for at støtte såvel faglige som design-orienterede processer er en kompleksitetsforøgelse ift. almindelig naturfagsundervisning. Samtidig viser erfaringerne fra bla. EIG-projektet, at lærerne oplever, at de længerevarende og mere åbne engineeringprocesser i elevgrupper på godt og ondt udfordrer elevernes evne til samarbejde, konflikt-håndtering m.m. Derfor opstår der et større behov for stilladsering af gruppeprocesserne end i vanlig undervisning.

I det følgende vil der blive givet konkrete eksempler på *hård* stilladsering knyttet til hvert af disse opmærksomhedsområder.

4.6.1. Stilladseringen af faglige begreber og undersøgelser

Hvis målet er, at eleverne skal lære faglige begreber og/eller undersøgelsesmetoder gennem engineeringarbejdet, så er det afgørende, at de faglige elementer er til stede undervejs i forløbet. At eleverne holdes fast på at bruge eksisterende viden, men nok så vigtigt også på at undersøge og søge ny faglig viden, som kan kvalificere deres problemløsning. Det stilladserer ikke tilegnelsen af et *specifikt* indhold eller en specifik metode, men det burde stilladsere fagligheden i det hele taget.

FITS-modellen er formentlig så velfungerende som den er, netop fordi den er opbygget omkring en lang række hårde stilladseringstiltag:

- At der er *planlagte sessioner*, hvor der samles op på gruppernes behov, og læreren leverer faglige inputs i det omfang det er relevant.
- At der er *planlagt* en seance, hvor klassen i fællesskab formulerer design-relevante faglige undersøgelser
- At man *planmæssigt* drøfter, hvilke faglige undersøgelsesmetoder det vil være relevant at betjene sig af
- At man *bevidst og i bestemte faser* hjælper eleverne til at transformere generelle faglige indsigter over til arbejdet med den konkrete engineeringudfordring og tilbage igen. (kontekstualisering/de-kontekstualisering).
- At eleverne afslutningsvist holdes fast på og støttes i at levere naturvidenskabelige forklaringer i relation til deres problemløsning.

Andre eksempler på hård stilladsering af det fagfaglige:

- *Faglige baggrundsrapporter*: Som en del af udforskningsfasen – hvor engineeringudfordringen kendes, men før man skrider til egentlig problemløsning – så skriver eleverne en *faglig baggrundsrapport*, der opsummerer de faglige indsigter, som de har fundet i deres afsøgning, og som de anser for relevante for problemløsningen (O'Neill & Polman, 2004). Disse faglige indsigter kan selvfølgelig godt udspringe af egne undersøgelser. Arbejdet med baggrundsrapporten trækker eleverne aktivt ind i at etablere transfer af viden fra naturfagsdomænet til design-domænet.
- *Undersøgelser vha. faglige simulationer*: Cantrell et al (2006) har i det amerikanske TIES-projekt haft gode resultater af at bruge faglige simulationer forud for det praktiske design-arbejde i engineering-forløb for 6.-8. klasses elever. Velegnede simuleringer indeholder sjældent alt for megen kontekst og tillader som regel ret hurtige manipulationer og afprøvninger af, hvorledes bestemte variable påvirker en konstruktion, fx en bro, en luftballon, eller en raket. Hvis eleverne forlods kender engineeringudfordringen, så vil simulationen primært tjene til at faglige sammenhænge, mens relevansen af disse fastholdes i baghovedet. Simulationen bliver et medierende stillads mellem teoretisk faglighed og praktisk design.
- *Skriveprompts, fx engineering writing heuristic*: Diverse forskningsreviews over elevers fagligt begrebsmæssige udbytte af undersøgende arbejde i naturfagene har påvist, at dette generelt er moderat. Den praktiske gøren har det med at overskygge, at det undersøgte fænomen undervejs forbindes med teori om fænomenerne. Som værn mod dette har en gruppe australske forskere (Wallace et al., 2004) vist, at elevernes faglige udbytte øges, når de i deres undersøgelsesproces reflekterer og skriver med afsæt i en særlig sekvens af spørgsmål, tilsammen betegnet *Science writing heuristic* (SWH). Det er nærliggende at tro, at man vil kunne øge det faglige udbytte af engineering med en tilsvarende skrive-heuristik. Der skal imidlertid ændres en del i SWR, før man har oplevelsen af at sidde med et dækkende bud på en *Engineering writing heuristic*. Boksen nedenfor indeholder et sådant bud.

Engineering writing heuristic (EWH, ve0).

1. Spæde ideer og spørgsmål:

- Ideer: Vores forskellige bud på problemløsning. Hvad vi vælger at gå med
- **Spørgsmål – ting vi har behov for at søge faglig viden om** [for at lave en god løsning]

2. Undersøgelser, som vi tror kan forbedre vores design

- Hvad har vi undersøgt – og hvordan?
- Hvad har vi fundet ud af, som vi kan bruge ift. vores problemløsning

3. Vores forskellige bud på problemløsning. Hvad vi vælger at gå med – og **hvorfor**.

4. Vores første konkrete bud på problemløsning ("prototype") – sådan ser den ud & hvorfor den gør det

5. **Sådan har vi tænkt os at teste**, om vores design lever op til krav og specifikationer på bedste vis

6. Vores testresultater og konklusioner

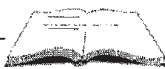
7. Vores bud på forbedring – **baseret på, hvad vi ved fra faget og vore undersøgelser**

8. Vores argumenter for, at den endelige problemløsning er god, dvs. løser problemet på bedste vis og **er naturfagligt velfunderet**.

De fede typer i boksen er tænkt at tydeliggøre, hvor de særlige faglige forankringspunkter i EWH ligger.

- *Design dagbøger ("design diaries")*

En del af forskningen, der ligger til grund for FITS-modellen, skyldes amerikaneren Janet Kolodner og hendes samarbejdspartnere. I deres udviklingsarbejde omkring design-baseret læring i naturfagene har de udviklet et sæt af "dagbogssider", som tjener til at fastholde elevernes arbejde i forskellige faser af problemløsningen. Tilsammen udgør de en refleksiv logbog/dagbogsfremstilling af processen. Figuren nedenfor viser en af de mere fagligt relevante design dagbogssider (Kolodner et al, 2003, p. 522). Som man læse af figuren, så er et stærkt fokus på faglige undersøgelsesmetoder (fair and accurate testing), og på datadrevet udvikling af prototypiske løsninger.

Testing My Design _____ 

Name _____ Date _____

Each time you have a design idea, you need to test it in a fair way and accurate way. Sketch and describe your idea, and describe what and how you are testing it. Tell what you observe and learn. Display the data you collect in ways so that others can understand and learn from your work.

Test for Design # _____

Data	Sketch of Design Being Tested
	Modifications Since Last Time
	Next Steps
Data Summary (What Happened?)	What Did You Learn
	<p>Hints</p> <ul style="list-style-type: none"> • Do you have rules of thumb for the class?

4.6.2. Stilladseringen af design processer og metoder

Eksemplerne på fagligt orienterede stilladseringer ovenfor retter sig mod (de særligt faglige) dele af engineeringprocessen, så på en måde kunne de også stå her. I det følgende vil der imidlertid udelukkende være fokus på stilladsering af mere design-specifikke elementer.

- *Allehånde procesværktøjer*, fx "*designproces og metodekort*" som blev udviklet ifm. EIS-projektet (<https://astra.dk/engineering/proces>). Her er bla. generelle kort til elevbrug ifm. brainstorm, ideudvælgelse, opgavedeling, brugertest osv.
- *Tydelige design-mål*: vi har tidligere omtalt, at mange engineering-forløb i stx slet ikke forfølger egentlige engineeringmål. Der er imidlertid ingen tvivl om, at tydelige design-mål, som faktisk kommunikeres til eleverne, kan være med til at støtte og guide deres indsats. Selvfølgelig er det nyttigt for eleverne at vide, om engineeringaktiviteten udelukkende er et påskud for en sjovere faglig læring (dvs. fravær af design-orienterede mål), eller om målet er produktrettet (proof-of-concept i form af en duelig prototype hhv. et fuldt funktionelt produkt, som lever op til alle udmeldte krav og specifikationer) eller procesorienteret ("det afgørende er, at I får genereret nogle gode ideer" eller "I skal kunne argumentere for, hvorledes & hvorfor Jeres design har udviklet sig i processen" eller "I skal kunne redegøre for Jeres proces med henvisning til EDP-modellen"). Tydelige design-mål har først og fremmest den fordel, at det bliver muligt for eleverne at vurdere,

hvordan det går ift. disse mål og selvregulere deres egen læring. Samtidig med, at det også bliver nemmere for underviseren at give feedback på designprocessen og evaluere et evt. design-udbytte.

- *Delingsrunder med fokus på design:*

Det er meget forudsigeligt, at nogle elever mangler ideer i en tidlig fase af arbejdet med en engineeringudfordring. Derfor vil det også være god hård stilladsering at planlægge at grupperne laver ide-pitches i en del-og-stjæl-runde, inden de for alvor overgår til udforskning og konstruktion af problemløsninger. Sådan som også FITS-modellen gør det. Samtidig kan man betone, at der ikke er noget forkert i at lade sig inspirere af andres ideer, hvis blot man husker at give dem kredit for det i passende sammenhænge. Det er i hvert fald et karakteristisk og autentisk træk ift. professionelle ingeniørers arbejde.

Tilsvarende vil det stilladsere gruppernes design-udvikling, hvis man planlægger, at grupperne giver hinanden respons på deres prototyper. Ideelt set gives respons med afsæt i udmeldte kriterier for produktkvalitet. Skal der gives respons på funktionalitet alene? Holdbarhed? På udseende? På anvendelsen af faglig viden? På ressourceforbrug? Med fordel forpligtes den gruppe, som har modtaget respons til at fastholde denne på skriftlig form og redegøre for, hvordan denne er brugt eller hvorfor denne ikke er brugt fremadrettet.

4.6.3. Stilladsering af elevkollaboration og gruppeprocesser

Elevernes evne til at samarbejde omkring problemløsningen i en gruppe er afgørende for elevernes udbytte af engineering. I første omgang er samarbejdet en forudsætning for, at de får udviklet en tilfredsstillende problemløsning og lærer noget fagligt og designmæssigt af det. Lige så vigtigt er det, at arbejdet med en engineeringudfordring kun opleves sjovt og motiverende, såfremt samarbejdet i gruppen fungerer. For nogle lærere, også i EIG-projektet, var det tillige *et mål i sig selv* at bearbejde elevernes evne til samarbejde. Så der er gode og positive grunde til at overveje, hvorledes man støtter samarbejdet og gruppeprocesserne i de åbne, problemløsende engineering-forløb. Mere problematiserende så var der også en række beretninger i EIG-projektet, om hvorledes der opstod synlige og påtrængende samarbejdsproblemer i en et antal elevgrupper. Måske netop aktualiseret af frihedsgraderne og varigheden af samarbejdsopgaven. Med det resultat, at lærerne på stedet måtte intervenere og lave proces-brandslukning. I de fleste EIG-sammenhænge havde lærerne overvejet gruppestørrelser og gruppesammensætning, sådan som ville gøre det i sædvanlige gruppearbejder. Med fordel kunne her være tænkt mere i hård stilladsering af gruppeprocesserne.

Og hvordan stilladserer man så konkret elevernes gruppearbejde? Morgan & Slough (2013) forfølger dette spørgsmål ifm. grupper i STEM-projektarbejde (og i øvrigt uden at nævne ordet stilladsering). De trækker først og fremmest på litteraturen om cooperative learning, som mange herhjemme også vil kende noget til. Nedenstående eksempler på stilladsering er inspireret af Morgan & Slough (2013), men følger også brikker andre steder fra ind.

4.6.4. Eksempler på stilladsering af opgave-relateret uenighed

Her er stilladseringens mål først og fremmest at sikre, at uenighederne bliver til frugtbare udvekslinger. At eleverne lærer at lytte til hinanden, diskutere og veje løsningsforslag mod hinanden, bygge videre på hinandens ideer snarere end at jorde dem.

Træning og strukturer omkring gruppearbejdet vil her være nyttige stilladseringer: træning og brug af bestemte grupperoller (i simpleste form en rød/grøn leder, med særligt ansvar for det opgave- hhv. det procesrettede i gruppen). Hvis rollerne roterer fra gang til gang, så vil den enkelte elev blive tvunget til på skift at reflektere sit bidrag til opgaven og til gruppens samlede proces. Det sidste vil gøre det svært vedvarende at forfægte én bestemt problemløsning.

Man vil også med fordel kunne give eleverne simple observationsøvelser og værktøjer mht. at kortlæg-

ge kommunikationen i en gruppe. Evt. kan man indføre, at en gruppe kan låne en "uvildig" observatør fra en anden gruppe, når vigtige beslutninger skal tages. Observatøren vil så kunne afdække, hvem der taler mest, til hvem og hvem der evt. ikke bliver hørt så meget. Som stilladsering af, at alle bliver hørt, som en del af problemløsningen.

I den tidlige engineering-fase, hvor der idegenereres, så er det nemt at stilladsere, at alles ideer bliver hørt og deres muligheder afsøgt. Man opererer med en struktur, hvor hvert gruppemedlem først kort beskriver sin egen bedste ide. Idebeskrivelserne sendes til højre sidemand, som får 5 min til digte videre på ideen. Den udbyggede beskrivelse sendes videre mod højre, hvor der bygges yderligere på. Først når alle har bygget ovenpå alle andres bidrag stopper rotationen, og gruppen tager stilling til, hvilken ide der ser mest lovende ud. En klassisk cooperative learning struktur, som bla. har vist sig at være nyttig i EIG-projektet.

4.6.5 Eksempler på stilladsering af arbejdsprocessen i gruppen

Her vil man gerne foregribe samarbejdsproblemerne, hvilket bla. gøres ved at iscenesætte en forventningsafstemning i gruppen allerede ved starten af engineeringforløbet. I princippet kan man allerede indarbejde dette i selve gruppedannelsen. Hvis eleverne på forhånd på en skala fra 1-5 angiver, hvor meget arbejde de har tænkt sig at lægge i det kommende projekt – så kan sammensætte grupperne, således at lige elever med sammenligneligt indsatsniveau kommer i gruppe sammen. Det løser ikke samtlige problemer, men mange proceskonflikter handler netop om manglende indsats fra bestemte gruppemedlemmer – og de forebygges i betragteligt omfang. En anden forventningsafstemning foregår ved, at hver elev skriver stikord på sine personlige succeskriterier for det kommende forløb, fx "tre succeskriterier". Herefter fremlægges disse på tur, og gruppen forsøger at blive enige om, hvad der er prioriterede *fælles* succeskriterier. Det reducerer sandsynligheden for, at der senere opstår uenighed om gruppens mål – og gør det nemmere at italesætte, hvis man er utilfreds med at nogle prioriterer anderledes.

Standardstrukturer/redskaber til denne type stilladsering handler også om at etablere normer for gruppens arbejde. Studier af gruppers udvikling viser, at de – hvis de overlever længe nok – typisk forløber gennem faserne *forming-storming-norming-performing*. Det giver således god mening at kortslette *storming*-fasen, hvor en del grupper allerede knækker over, ved fra starten at et engineering-forløb at indlægge en planlagt *norming*-aktivitet. Det kunne fx handle om at insistere på, at der udarbejdes en gruppekontrakt: "sådan arbejder vi i vores gruppe". Igen startende med individuelle stikord til "sådan vil jeg gerne, at vi arbejder i denne gruppe" – og senere fremlæggelse og forhandling. Det er vigtigt, at den endelige kontrakt nedskrives og gemmes.

De foregående tiltag er alle forsøg på at stilladsere gruppearbejdet forud. Det er selvfølgelig også vigtigt at have redskaber, som kan stilladsere processen undervejs – fx vha. procesevaluering, som gør det muligt at opfange problemerne, før de vokser sig store. En god proces-evaluering er fokuseret omkring de hyppigst forekommende gruppeproblemer, samt overskuelig og hurtig at bruge, så den kan bruges konsekvent ved afslutningen af en lektion/session. Ifm. EIG-projektet blev der lavet et selvevalueringskema til elevbrug *Tjek på engineeringarbejdet* (se nedenfor, dog ikke afprøvet i projektet). Tjekarket er tænkt både at indfange opgaverettede og procesrettede problemer, således at kun de tre sidste rækker beskæftiger sig med de vigtigste procesaspekter.

Tanken er, at eleverne først får 2 min til at udfylde arket enkeltvist. Derefter løber de aspekterne igennem, fortæller deres respektive ratings. Hvis der er problemer, i form af at nogen scorer lavt på en/ flere dimensioner, så bør gruppen i første omgang selv drøfte dette. I anden omgang kan de bede om konsulentbistand fra underviseren. Regelmæssig brug af tjekarket gør det legitimt for marginaliserede/ utilfredse at markere dette og det skaber en ramme om ellers svære drøftelser.

TJEK-PROCES:

- Lav først din egen vurdering
- Tag en runde i gruppen, hvor I fremlægger jeres vurdering – og diskuterer, hvor det er relevant.

	<i>Angiv med kryds på akserne, hvor du mener, at Jeres gruppe lige nu er i processen</i>		Kryds for: pt. ikke relevant
Vi har et ret uklart billede af, hvad det er for et problem vi skal prøve at løse	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Styr på udfordringen</i>	Vi har styr på udfordringen og kravene til problemløsning	
Vi er temmelig blanke mht. hvordan problemet kan løses	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Ideer til problemløsning</i>	Vi har ideer til problemløsning – og er enige om, hvilken vi først og fremmest går med	
Vi har endnu ikke lavet konkrete bud på problemløsningen – vi er langt fra en prototype-løsning	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Konkretisering</i>	Vi er langt ift at omsætte vores ide til en konkret og praktisk problemløsning	
Vi prøver os frem – uden at koble det praktiske arbejde til viden fra faget	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Faglig fundering</i>	Vores bud på løsning udnytter viden fra faget – vi kan argumentere fagligt for designet	
Vi bruger ikke faglige undersøgelser som afsæt for vores problemløsning	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Undersøgelser og tests</i>	Vores bud på løsning bygger på undersøgelser og tests som vi har lavet	
Vi får ikke tjekket vores problemløsning ordentligt – vores forbedringer er tilfældige	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Forbedringer</i>	Vi foretager systematiske tjek og forbedringer af vores problemløsning	
Vi mangler en plan – og når for lidt	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Fremdrift og tidsstyring</i>	Det skrider planmæssigt frem – vi har nået det, som vi ville i dag	
Ens ideer bliver sjældent hørt, og man får sjældent respons fra gruppen på de inputs man kommer med	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Lydhørhed ift. ideer og bidrag</i>	Alles ideer bliver hørt og konstruktivt diskuteret	
Det er hele tiden de samme få, som trækker læsset	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Arbejdsdeling</i>	Arbejdet bliver fordelt og alle bidrager efter bedste evne	
Samarbejdet fungerer ikke – det er ret ubehageligt at være i gruppen	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ←————→ <i>Samarbejdsclima</i>	Samarbejdet fungerer bare - det er rart at være i gruppen	

4.6.6. Metakognitiv stilladsering

Grundlæggende har den metakognitive stilladsering til opgave at støtte eleverne i at indgå i (mere eller mindre) selvreguleret læring med størst mulig kontrol og udbytte. Nogle af de mere indlysende metakognitive stilladseringer handler om:

- At man planmæssigt støtter elevernes selvmotivation forud for et engineering-forløb. Ved fx at booste deres faglige selvtillid (self-efficacy) ved at minde dem om forudgående succeser med tilsvarende forløb. Eller ved at betone, at projektet er et afsæt for at blive klogere på relevante og interessante ting – snarere end en konkurrence om, hvem der laver det smarteste produkt
- Så snart engineering udfordringen er præsenteret, så bør man give eleverne tid til at lave en tidsplan, som de så holdes fast på løbende at forholde sig og evt. justere. Som underviser kan man fint lave den overordnede tidsplan for forløbet, men man bør ikke fratage eleverne muligheden for selv at lære sig at tidsstyre.
- Hvis eleverne har prøvet engineering forudgående, så kender de delprocesserne – og det giver mening, at de forholder sig til, hvilke delprocesser de gerne vil arbejde med at blive bedre til og overvejer strategier for dette. Disse overvejelser og strategier fastholdes, så eleverne enten undervejs (selvobservation) eller afslutningsvist (selvbedømmelse) kan reflektere, hvorledes det går med denne kompetenceopbygning.
- Som lærer kan man udmelde kriterier for, hvornår det er OK at søge lærerassistance (help-seeking). Fx: søg hjælp hos tre andre elever, før du kommer til mig som lærer, prøv endnu engang selv, forhør jer mindst hos en anden gruppe og afsøg ressourcerummet, før I kommer til mig.
 - Det fjerner den ureflekterede lærerafhængighed, øger elevernes vedholdenhed og gør dem både mere selvkørende og samarbejdsorienterede på tværs af grupper.
- Hold fast i, at eleverne skal selvreflektere ved afslutningen af et forløb: hvad lærte jeg om engineering/naturfag/... af dette forløb? Hvordan gik det med de engineeringprocesser, som jeg på forhånd havde besluttet at ville udvikle? Hvad kan jeg med fordel gøre anderledes næste gang?

De almindelige EDP-modeller er mere fokuserede på at synliggøre engineeringprocesser end på at stilladsere læring og udvikling af selvregulering. Derfor er denne type evaluering aldeles fraværende i dem. Med lidt god vilje, så kan det imidlertid læses ind i Engineering-PBL modellens sidste fase: reflekter problemløsningen. Så skal man blot sørge for at refleksionen ikke kun handler om udviklingen af designet og de fagnære begrundelser, som knytter sig til de enkelte udviklingstrin – men også inddrage metakognitive læringsaspekter i refleksionen.

5. Stilladsering af elevmotivation ifm. engineering

I kapitel 1 præsenterede vi kort resultater fra EIG-projektet, hvoraf det fremgik, at både lærere og elever oplevede, at engineering påvirkede elevernes motivation positivt. Og det endda uden at lærerne havde planlagt forløbene med fokus på motivation. Hvilket kunne foranledige en til at tro, at motivationsgevinsterne udløses automatisk, hvis blot eleverne arbejder efter en grundlæggende produktrettet og problemløsende engineering design proces (EDP). I hvert fald gør resultaterne det relevant at analysere, hvilke potentielt motiverende virkemidler ("affordances") engineering i standardversionen stiller til rådighed. Som en udløber af en sådan analyse, vil det være muligt at uddybe behovet og mulighederne for målrettet motivationel stilladsering.

Analysen, af hvilke motivationelle virkemidler engineering bringer i spil, bygger her på den motivationsteoretiske ramme CARTAGO (Krogh & Andersen, 2013, 2018, 2020 (senere udgaver)). CARTAGO er en anvendelsesrettet syntese af særligt undervisningsrelevante motivationsteorier – og bogstaverne i akronymet CARTAGO peger tilbage på vigtige motivationsfaktorer/begreber ("constructs"), som indgår i rammen (se figur). I den publicerede form af CARTAGO er der yderligere en kolonne med praksisrettede anbefalinger fra den relaterede forskning om motivation i undervisning i almindelighed. Disse vil blive inddraget i analysen af engineerings mere specifikke motivationelle virkemidler nedenfor.

Motivations-begreber	Motivationsmæssigt fokus
Kompetence-drivkræfter ("Competence/ Self-efficacy")	Oplevelse af eller forventning om at mestre/håndtere situationen eller problemet
Autonomi ("Autonomy")	Oplevelse af at have reel kontrol over eller indflydelse på forhold af betydning
Tilhørsforhold ("Relatedness")	Oplevelse af at have værdsættende relationer til andre og blive anerkendt som en del af fællesskabet
Opgave-værdi ("Task Value")	Oplevelse af en opgave som personligt vigtig, nyttig, interessant og ikke alt for omkostningsfuld
Udfalds-tilskrivning ("Attributions")	Forskellige årsager, som man kan bringe i spil ift. succes eller fiasko
Målorienteringer ("Goal Orientations")	Elevs forskellige mål ifm. læringsarbejde: at mestre, at outperforme andre, at undgå at dumme sig.

Analysen af de enkelte faktorer er mindre entydig, end man måske kunne have forventet, i lyset af elever og læreres generelt positive oplevelse.

C: Elevernes oplevelse af at kunne mestre og håndtere arbejdet med engineeringudfordringer:

- Positiv påvirkning: engineering har ofte en praktisk-teknisk-organisatorisk side, som åbner for, at elever med mindre teoretisk ballast i højere grad aktivt drages ind og oplever at kunne bidrage.
- Negativ påvirkning: I udgangspunktet er enhver engineeringudfordring ny, og rutinearbejde er der ikke meget af. Hvilket risikerer at undergrave troen på at kunne håndtere den foreliggende udfordring – og dermed gå ud over elevernes motivation.
- Stilladseringsmæssigt: Litteraturen om kompetencedrivkræfter (C) lægger især vægt på, at denne slags motivation skabes gennem regelmæssige succesoplevelser. Så stilladseringsindsatsen bør have et tilsvarende fokus på at sikre alle/flest muligt en tilstrækkelig oplevelse af succes i det en-

kelte forløb. Fra EIG-projekterne ved vi, at eleverne oplever, at tiden til udvikling og optimering var knap. Det er formentlig den nemmeste knap at skrue på, hvis man vil øge elevernes succes-sandsynlighed. Man kan sørge for at tænke en progression ind i brugen af engineeringudfordringer, så man introducerer arbejdsformen ifm. en overkommelig udfordring. Man kan selvfølgelig også overveje, om man skal "udbyde" engineeringudfordringer med forskellige grader af "benspænd", fx ved at tilføje ekstra lag af specifikationer til en problemløsning. Fx at en brokonstruktion ikke bare skal være stabil, men at den også gerne må have så lille et ressourceforbrug som muligt. Nogle grupper vil da kunne beslutte sig for at gå efter en stabil konstruktion – og få en succesoplevelse ud af det. Mens andre vil gøre det sværere for sig selv og forsøge at optimere mht. begge mål. Som en yderligere fordel vil de noget forskellige bestræbelser også gøre det sværere at sammenligne og rangere elevernes problemløsning. Hvorved alle oplever relativ succes, når produkterne præsenteres og der evalueres. Som lærer kan man selvfølgelig også være opmærksom på mere usikre elevgrupper og gennem sin feedback hjælpe dem med at stykke udviklingsprocessen op i mindre bidder: *"fokuser i første omgang på at få denne del til at virke... bagefter kan I med fordel...."*

- For at gøre det nemmere for eleverne at overføre succes i en engineeringudfordring til tiltro til succes ifm. den (anderledes) næste, så siger teorierne om transfer, at det tillige er nyttigt, at man gør det tydeligt for eleverne, at de to situationer alligevel er sammenlignelige, idet de begge trækker på EDP-modellen og de tilhørende processer og kompetencer.

A: Elevernes oplevelse af at have kontrol, indflydelse og valg.

- Positiv påvirkning: Engineering indebærer, at eleverne får en vifte af frihedsgrader, både mht. hvad der arbejdes med og hvordan der arbejdes. Til forskel fra almindelige undersøgelser i naturfagene, så har engineering et åbent udfaldsrum – man skal ikke bare eftervise/afdække noget bestemt, som andre allerede har afdækket forud. Det giver et helt andet ejerforhold til engineering-problemløsningen, især når der er tale om konstruerede genstande. Disse forhold bidrager til, at engineering har en motiverende effekt.
- Negativ påvirkning: De store frihedsgrader øger alt andet lige kompleksiteten af elevernes arbejde – og for store frihedsgrader vil kunne true kompetence-oplevelsen hos en elev. Ud fra en motivationsbetragtning er det således ikke nødvendigvis optimalt, at frihedsgraderne gøres størst mulige.
- Stilladseringsmæssigt: Det afgørende fokus ligger her i at balancere frihedsgraderne ift. elevernes forudsætninger – med hensyntagen til al den forskelligartede stilladsering man har planlagt.

R: Elevernes oplevelse af at have værdsættende relationer.

- Positiv påvirkning: Længerevarende engineeringforløb af denne art giver mulighed for, at nye relationer faktisk vil kunne nå at blive opbygget. I og med at engineeringopgaver oftest trækker på både teoretiske indsigter og praktiske færdigheder, så er der større sandsynlighed for, at flere elever rent faktisk oplever at kunne bidrage og dermed føle sig anerkendte og som en del af engineering-fællesskabet. Den relationelle motivation udspringer imidlertid ikke kun af interaktioner eleverne imellem – også relationen mellem lærer og elev er vigtig for de fleste elever. Netop dette aspekt betones af en af EIG-lærerne, som i sin slutevaluering beskriver at have fået en anden relation til nogle ellers noget marginaliserede drenge ved at gå rundt i lab under design-processen, Han afrunder på følgende vis:

"...har mærket de her drenge mere ... også efter at vi er færdige... det er som om, at de har fået en eller anden gejst eller et eller andet mod ... på at de faktisk godt kan være med.."

- Negativ påvirkning: vi har tidligere beskrevet, hvorledes engineering øger behovet for at stilladser elevernes samarbejde, bla. pga. forhøjet risiko for relationelle konflikter. Hvis ikke de er der på forhånd, så er der en risiko for, at uenigheder om opgaveløsningen eller konflikter ifm. med selve gruppearbejdsprocessen ender med at gå ud over det relationelle.

- **Stilladseringsmæssigt:** Den nemme – men ikke altid optimale – løsning er at overlade gruppedannelsen til elevernes frie valg. Så vil de fleste elever sørge for at komme i en gruppe med kammerater, som de oplever at have relationer til, og hvor de føler sig anerkendte. Mere komplekst kan stilladseringen være at tilskynde til at dele af problemløsningen arbejdsdeles i gruppen, sådan at alle føler, at de har noget at bidrage med til den fælles problemløsning. Allerede i udformningen af en opgave vil man kunne medtænke muligheder for udvikling af dele af en problemløsning – og på denne måde opnå, at der skabes en gensidig afhængighed mellem en gruppes medlemmer. Nogen bliver eksperter på visse dele og andre på andre. På passende tidspunkter skal deløøsningerne selvfølgelig sættes sammen og diskuteres i fællesskab. Jo mere man indbygger helklassens sessioner, hvor ideer pitches, der gives respons på prototyper og færdige produkter præsenteres, desto vigtigere er det, at man stilladserer opbygningen af en fællesskabende klassekultur, hvor alles bidrag er relevante og værd at beskæftige sig med.

T: elevernes oplevelse af opgaveværdi:

- **Positiv påvirkning:** Hvis ikke der arbejdes alt for fagnært med engineeringudfordringerne, så vil de fleste give eleverne mulighed for at trække problemløsningen i en retning, som de selv kan opleve som vigtig, interessant/relevant og potentielt nyttig. Opgavernes praktisk problemløsende karakter bidrager til oplevelsen af opgaveværdi. I almindelighed vil engineering-forløb indeholde aktiverende islæt og en betydelig dynamik i overgangen fra en fase til en anden. Hvilket er med til at skabe den oplevelse af god variation, som EIG-erfaringerne viser, at de fleste elever har ifm. engineering.
- **Negativ påvirkning:** Hvis engineeringudfordringen ikke fænger ift. elevernes livsverdener, fx fordi den knytter snævert an til faglige udfordringer, så skaber arbejdet med den næppe motivation hos andet end elever på et A-niveau-hold i faget. Eller, hvis tidsudmålingen i forløbet er så knap, at eleverne må stoppe med en så ufærdig prototype, at de ikke kan se nytten af den.
- **Stilladseringsmæssigt:** Den største motivationsgevinst ligger i at formulere engineeringudfordringen, så den enten direkte tager afsæt i de unges interesser eller tillader dem selv at drage interesser ind. Væsentligt er det også, at opstarten af projektet har en karakter, så eleverne kan opleve, at det er relevant og vigtigt – også for dem – at beskæftige sig med denne udfordring. Da oplevelsen af variation bidrager til oplevet opgaveværdi og motivation, så er det ud fra en motivationsvinkel en god ide, at engineering fremstår som "god anderledeshed", dvs. som noget andet end den almindelige naturfagsundervisning. Snarere end at EDP-forløb implementeres og fremstilles overfor eleverne som naturvidenskabelige undersøgelser/metoder med et let twist.

A: Stilladsering af hensigtsmæssige årsager til, at det gik som det gik ("attributioner").

- **Positiv påvirkning:** Det er en central del af EDP-modellen, at den første prototypiske løsning altid kan optimeres. At tingene udvikler sig til det bedre, hvis man er parat til at investere en ekstra indsats. For den enkelte elev bliver det en hjælp til at se indsats som afgørende for at lykkes. Forskningen i folks private forklaringsmodeller for deres succes/mangel på samme siger klart, at det mest motiverende er, at man ser, at det er noget man kan påvirke og ændre, først og fremmest gennem yderligere indsats. Indirekte vil dette også dreje én væk fra at tro, at formåen som et spørgsmål blot om evner i retning af at se det som noget, der kan udvikles. Et motiverende skifte fra et "fixed mindset" til et "growth mindset" (fx Dweck, 2000).
- **Negativ påvirkning:** Ikke udtalt. Kun hvis eleverne får indtryk af, at det er mere eller mindre tilfældigt om man lykkes, vil det være demotiverende for en vedvarende indsats.
- **Stilladseringsmæssigt:** Sørg for, at der bliver tid til optimering og læring af denne del af arbejdet. Bestyrk eleverne i, at det nytter at lægge en ekstra indsats, bringe ny teori eller nye værktøjer ind i problemløsningen m.m. Alt sammen noget, som eleverne vil have kontrol over og som giver en motiverende følelse af medindflydelse og kompetence.

GO: at stilladsere mestringsorienteret læring

- Positiv påvirkning: Det er motivationsmæssigt mest tjenligt, hvis eleverne drives af indre trang til at blive bedre, til at mestre. En vigtig del af dette er, at fejl og utilstrækkeligheder ses som læringsmuligheder. Engineeringarbejdet og især optimeringsprocessen burde understøtte dette aspekt.
- Negativ påvirkning: Målorienteringsforskningen peger på, at elever helst ikke må tilskyndes til at ville præstere af ydre årsager, såsom at overgå andre eller demonstrere overfor andre, hvor god man er. Hvis engineeringarbejdet udvikler sig til/afvikles som en konkurrence, så ødelægger man mestringsorienteringen og det drive, som den indebærer.
- Stilladseringsmæssigt: Hjælp eleverne med at formulere individuelle mål, som markerer vejen til at mestre engineeringprocesser og giv dem løbende feedback på deres udvikling. Undgå konkurrencer, som gør det muligt at sammenligne sin præstation med andres. En måde at reducere sammenligneligheden ifm. en produktfremlæggelse er at sikre, at produktet ikke kun måles på et enkelt kriterium, men at der lægges vægt på flere og gerne usammenlignelige aspekter. Fx at trækker kriterier som funktionalitet, ressourceforbrug, æstetik, anvendelsen af faglighed hver sin vej.

Som det er fremgået, så er der en lang række engineering-specifikke opmærksomhedspunkter, hvis man vil støtte eleverne til størst mulig motivation. I nærværende analyse har der været særligt fokus på den hårde stilladsering, bla. fordi erfaringer fra efteruddannelsesforløb med stx-lærere (fx om elevmotivation) viser, at lærerne nemmest kan forholde sig til denne type stilladsering.

Afslutningsvist alligevel nogle generelle anbefalinger mht. den bløde stilladsering, som jo af natur er situeret og kontekstbundet. Den bløde stilladsering vil typisk foregå i den løbende dialog med og feedback til eleven/gruppen. Ligesom den hårde stilladsering kan den i princippet vedrøre hvert af de 5 områder i LSS-figuren. Så den første udfordring for læreren er at afkode indenfor hvilket område, der i situationen er størst behov for stilladsering. Det er i sig selv ikke nogen nem sag at afgøre, om en bestemt elevgruppe er gået i stå, fordi de mangler konkrete faglige forudsætninger, fordi de mangler design-ideer, om gruppedynamikken bare er dårlig eller motivationen på nulpunktet i en lektion sidst på skoledagen. I forlængelse af denne on-the-spot-vurdering skal man dernæst som lærer finde ud af formulere spørgsmål og anvisninger, som leverer stilladsering ved at:

- Engagere den enkelte elev i udfordringen
- Gøre problemløsningen relevant for eleverne – engagere dem
- Begrænse valgmuligheder og frihedsgrader, hvor det er relevant.
- Hjælpe dem med at fastholde fokus og målet med opgaven
- Henlede elevernes opmærksomhed på kritiske aspekter
- Dæmpe elevfrustration
- Give selvtillidsfremmende elevfeedback
- Demonstrere metoder til problemløsning
- Spørge ind og fremkalde elevernes tænkning
- Få elever til at tænke over metoder og løsningsstrategier
- Give løbende feedback på proces og produktrettede tiltag
- ...

Den samlede opgave med at diagnosticere, hvilken type stilladsering der er mest brug for, samt at formulere spørgsmål og øvrig feedback i forlængelse heraf, er voldsomt kompleks og kan være svær at rumme. Heldigvis peger forskningen på, at det kan trænes og i nogen udstrækning automatiseres. Forskningen peger også på, at selvom eleverne af gode grunde *ikke* har et reflekteret forhold til stil-

ladsering, så kan de faktisk i mange situationer fungere som bløde stilladser for hinanden. Formentlig fordi de ligner hinanden så meget, at automatiserede og ureflekterede responser fra en elev alligevel bliver brugbare for en anden.

Ovenstående punkter er i øvrigt nært knyttet op på stilladsering, som det beskrives i den klassiske artikel af Wood et al (1976), hvor stilladseringsbegrebet for første gang så dagens lys. Her er det interessant, at det faktisk udsprang af overvejelser over, hvorledes man understøtter elever ifm. praktisk orienteret problemløsning. Skønt udfordringen havde færre frihedsgrader end god engineering, så er der dog tale om et beslægtet udgangspunkt!

6. Evaluering af elevernes engineeringudbytte

Det er en erfaring fra adskillige nyere udviklingsprojekter med stx-undervisere fra naturfagene, at det er svært at få dem til at evaluere elevernes udbytte af forløbene, i det hele taget og i særdeleshed i lyset af ekspliciterede mål. Det gælder også lærerne i EIG-projektet. Formentlig skyldes det både kulturel ulyst ved målsat evaluering og en fornemmelse af ikke at have brugbare redskaber til at foretage en dækkende evaluering af det nye og anderledes ved engineering. Dette afsnit prøver at afhjælpe den sidste fornemmelse.

I det omfang lærerne evaluerer elevudbyttet ifm. engineering, så sker det typisk i en af nedenstående varianter:

- Evaluering af rent fagligt udbytte, oftest gennem en temmelig traditionel naturfaglig rapport.
- Uformel evaluering – ustrukturerede indtryk fra løbende observation af og dialog med eleverne undervejs i engineeringprocessen.
- Produktevaluering – eleverne fremviser deres produkter, hvorefter de får mere eller mindre kriteriebundet mundtlige kommentarer på produktet og undtagelsesvist formativ feedback.

Her gælder det, at evalueringen af det rent faglige udbytte er relevant, hvis man har haft som mål, at eleverne faktisk tilegner sig faglig viden gennem et engineeringforløb. Da naturfaglige lærere er vant til denne form for evaluering frembyder den heller ikke udfordringer, hverken hvad angår form eller indhold. Så begrænsningerne ligger her i, at denne type evaluering af gode grunde netop kun indfanger faglige mål, hvorfor potentielle og særlige engineeringmål/udbytter forbliver usynlige. Lærernes løbende og uformelle evaluering vil glimtvist indfange engineering-aspekter, på en måde som er tilstrækkelig til at give dem selv en mavefornemmelse af om det aktuelle engineeringindslag overordnet set "fungerer" og evt. foretage justeringer af undervisningen.

Men hvis evalueringen skal bruges til andet og mere, fx indgå summativt i en elevs årskaraktter eller danne afsæt for en formativ samtale med elever om forbedringsmuligheder, eller måske endda overbevise en lidt skeptisk kollega om, at engineeringtilgangen kan noget, så er den nødt til at være mere målrettet, fokuseret og struktureret. Sådanne som fx den god produktevaluering er det.

Chien & Chu (2018) har lavet en bredspektret og på mange måder eksemplarisk evaluering af gymnasieelevers udbytte af at designe kulsyre-patron-drevne biler med chassis-udvikling i makerspace (brug af laser-cutter og 3D-print). Som en del af deres (forskningsmæssige) evaluering vurderes produkterne efter et overordnet sæt af kriterier, som vil kunne anvendes ifm. bedømmelse af mange andre designs også:

- Funktionalitet (holdbarhed hhv. brugbarhed)
- Sofistikation (attraktivitet, konsistens/konsekvens i design, god udnyttelse af faglig viden)
- Nyhedsværdi (mht. hhv. form, materialevalg og struktur, altså 3 bedømmelseskriterier)

Kriterierne fokuserer klart mere på design-produktet end på den viden, som ligger til grund for det, om end det sidste akkurat er med. De betoner således engineeringmål over mere traditionelt faglige. De er samtidig så brede, at de er *et godt udgangspunkt* for en produktevaluering – men *for lidt konkrete* til at kunne bruges af og med elever i en konkret sammenhæng. Her må man som lærer afklare, hvad funktionalitet i den konkrete udfordringskontekst først og fremmest handler om, hvad der skal til for at designet fremstår attraktivt, hvilke elementer af faglig viden man forventer at se brugt osv. Det handler altså om at tilpasse de generelle kriterier til den konkrete engineeringudfordring. Gerne forud for forløbet og formuleret på en måde, så de kan udleveres til eleverne.

Vaino et al (2018) eksemplificerer, hvad god udnyttelse af faglig viden vil sige, i den konkrete kontekst, hvor elevernes udfordring er at udvikle en (fløde)ismaskine baseret på principper om salte og kuldeblandinger. Det faglige aspekt bedømmes her på:

- Kemikalierne: er eleverne nået frem til effektive kuldeblandinger hhv. bruges de sikkerhedsmæssigt forsvarligt – herunder: er der en fysisk adskillelse mellem isen, som skal spises og kølemidlet?
- Materialevalg: er der brugt materiale med høj varmeledningsevne mellem is og kølemiddel? Er systemet (is+kølesystem) samlet set termisk isoleret fra omgivelserne?

Tilsvarende vil man kunne (og skulle) præcisere, hvad fx funktionalitet af en ismaskine indebærer – med skyldig hensyntagen til, hvilke materialer eleverne har til rådighed til deres problemløsning.

*I det følgende vil der være fokus på evaluering af engineering-design-processer – et forehavende, som ingen lærere i hverken EiS eller EIG reelt har forfulgt. Hvilket i bund og grund er overraskende, idet man ikke behøver at have specialiserede værktøjer m.m. til rådighed. I den simpleste version kan man jo bare indsamle elev-artefakter fra de forskellige engineering-delprocesser, fx bede eleverne skrive og evt. forklare deres ideer fra den tidlige fase med idegenerering. Man vil relativt nemt kunne opgøre, hvor mange ideer eleverne kan komme op med, om de er fagligt funderede hhv. om de realistisk vil kunne gennemføres. Tilsammen giver det en fin evaluering af elevernes evne til at generere mulige løsninger (jf. fx Engineering-PBL-modellen). Evnen til at foretage optimeringer mhp. at udvikle den bedst mulige løsning handler både om at kunne foretage relevante undersøgelser af prototyperne og om at kunne bruge resultater herfra - og øvrig faglig viden - til at ændre i det aktuelle design. Det første aspekt vil man nemt kunne bedømme, hvis eleverne fx fører en design dagbog a al den tidligere omtalte *Testing my design*. Det sidste vil tilsvarende nemt kunne bedømmes, hvis fx eleverne laver en photo doc over udviklingen af deres design, hvor de fra skridt til skridt forklarer, hvad der ligger til grund for ændringerne.*

I det amerikanske projekt Next Generation Science Standards (NGSS) er målene bygget op omkring 8 *Science & engineering practices*. Engineeringdelen af en af disse handler om at *designe problemløsninger*, hvilket favner flere af de EDP-processer, som vi har opereret med her. I NGSS har man ønsket at kunne evaluere disse delprocesser – med centralt stillede opgaver og altså uden brug af autentiske artefakter fra forløb, som eleverne har gennemført. Til dette brug har bla. Van Horne et al (2016, <http://stemteachingtools.org/assets/landscapes/STEM-Teaching-Tool-30-Task-Formats-for-3D-Assessment-Design.pdf> tilgået 18.2.2021) beskrevet en række evalueringsopgavetyper, som man fint kunne lade sig inspirere af, hvis man vil konstruere en summativ evaluering af engineering proces-formåen:

Ex1: evalueringsformat med fokus på fagligt funderet idegenerering.

Præsenter eleverne for et scenario [det vælger man altså selv som lærer], der beskriver et problem eller et behov – med brug af tekst, billede, video og/eller data, som omfatter beskrivelser af behov/problestillingen, design kriterier, specifikationer m.m. Derefter skal eleverne:

- *Skitsere eller beskrive en mulig design løsning på problemet og*
- *Forklare, hvordan relevante naturvidenskabelig teori indgår i budet på løsning.*

Ex2: evalueringsformat med fokus på vurdering af mulige problemløsninger.

Præsenter eleverne for en beskrivelse af en problemløsning, som er under udvikling, men hvor der problemer med, at flere specifikationer synes at modarbejde hinanden. Det er vanskeligt at opfylde dem samtidigt. Eleverne skal så

- *Redegøre for, hvorledes de vil arbejde videre med udvikling af designet – og i særdeleshed for, hvorledes de når frem til en afvejning af specifikationerne og deres betydning for designet.*

I forlængelse af dette fokus på engineering-delprocesser findes der en række forsøg på at tydeliggøre *Tegn på engineeringkompetence*. Med dem i hånden – evt. på skemaform – vil man som lærer kunne observere og artefakt-analysere, hvor langt man ser disse træk udfoldet hos eleverne. Naturfagernes Evaluerings- og Udviklingscenter (NEUC) (<https://neuc.dk/wp-content/uploads/2020/06/evaluation-af-engineering-i-skolen.pdf>) har udviklet en model til dette til grundskolen, som kan tjene som inspiration.

Det er indlysende en god ide med en konkret operationalisering – og selve konceptualiseringen er interessant. Bla. fordi et oprindelige skema indeholder 4 dimensioner – som omfatter hhv. 1) fagfaglige aspekter af engineering 2) design-aspekter 3) samarbejdsevne som eksempel på en generisk kompetence, samt 4) vedholdenhed, som eksempel på en Engineering Habit of Mind. Skemaet går således bredt ud – på bekostning af en mere detaljeret evaluering af forskellige engineering-delprocesser. I forbindelse med projektet EIG udarbejdedes et bud på en mere målrettet stx-version *Tegn på engineering – stx, som dog afventer afprøvning i undervisningen*.

Delkomponent. Evne til at....	Tegn 1	Tegn 2	Tegn 3	Tegn 4	Tegn 5
1. bruge naturvidenskabelig viden og kompetence i forbindelse med problemløsning	Eleven forbinder udfordringen med et naturfagligt indhold	Eleven formulerer spørgsmål og udfører faglige undersøgelser som afsæt for problemløsningen	Eleven begrundet design beslutninger (design-ide, materialevalg, prototypeudformning, optimering...) i lyset af naturfaglige begreber og principper	Eleven udfører kontrolerede/systematiske (nat.vid.) tests på prototyper mhp at optimere problemløsningen	Eleven præsenterer/ dokumenterer sit produkt med brug af relevante naturvidenskabelige termer, repræsentationer m.m.
	Selvurdering fra 1-5: 1: Kan ikke, 5: Kan klart				
2. bidrage konstruktivt til design-processer	Eleven bidrager med ideer til problemløsningen	Eleven afvejer mulige problemløsninger (i lyset af specifikationer/trade-offs-faglige aspekter..)	Eleven bidrager aktivt til udformningen af prototyper og den praktiske problemløsning	Eleven tester prototyper ift kriterier og specifikationer – og bruger tests til at optimere produktet	Eleven har sprog og opmærksomhed ift design-processen - og kan redegøre for denne.
	Selvurdering fra 1-5: 1: Kan ikke, 5: Kan klart				
3. samarbejde om problemløsning	Eleven er åben for andres bud på problemløsning	Eleven argumenter for sine synspunkter – men indgår villigt kompromisser, hvor det er nødvendigt	Eleven indgår aktivt i samarbejde - og evt. arbejdsdeling - med alle gruppens medlemmer	Eleven både giver og modtager konstruktiv kritik	Eleven bidrager til at arbejdsprocessen kører efter gruppens plan
	Selvurdering fra 1-5: 1: Kan ikke, 5: Kan klart				

I dette skema er der 5 tegn på, at eleven har en engineering-delkompetence. I princippet er dette tilstrækkeligt til, at man som lærer vil kunne vurdere graden af engineering-kompetence – fx med vurderinger fra 1-5 knyttet til hvert felt. I den viste version henviser ordet "selvvurdering" til, at det faktisk er meningen, at eleverne selvevaluerer deres kompetencer. Ved at involvere dem i selvevaluering på denne måde får de på samme tid pejlemærker for deres engineeringindsats og træner den selvvurdering, som en del af metakognition og selvreguleret læring. Hvis man finder det problematisk, at design-aspektet kun evalueres delvist i skemaet, så findes der mere detaljerede (engelske) evalueringsskemaer, der har EDP-opbygning og vurderer samtlige delprocesser, fx *Informed Design Rubric* (<https://www.linkengineering.org/File.aspx?id=3158&v=7b16edef>) baseret på Crismond & Adams (2012).

6.1 På vej mod best practice? – et samlet forskningsmæssigt blik på engineering-forløb

Peterman et al (2017/2018) har som en udløber af det store amerikanske engineeringprojekt Project Infuse udviklet en analytisk ramme *Engineering Infused Lesson Rubric* (EIL), som hjælper til at lærere bliver bevidste om de centrale aspekter af engineering ("distinguishing features of engineering-infused teaching", 2018 p. 19). Den analytiske ramme er udviklet gennem en lang proces, hvor man har gennemtrawlet forskningslitteraturen og observeret en masse engineering-undervisning mhp. at identificere "god engineering" ("best practices"). Foreløbige resultater er blevet vurderet af lærere, hvorefter udkastet til analytisk ramme er blevet optimeret i en iterativ proces (design-based research).

Det endelige resultat – EIL - er en rubric, som falder i tre afsnit:

- A. Læreplaner & ressourcer ("Curriculum materials") – engineeringens tilstedeværelse i læreplaner og de til rådighedværende ressourcer.
- B. Undervisningspraksis - med design fokus
- C. Undervisningspraksis – inddragelse af engineering begreber.

Ikke alle 12 vurderingsdimensioner forekommer lige relevante i den danske kontekst - hverken de aktuelle læreplaner i stx eller lærerne i EIG-projektet prioriterer, at eleverne kan anvende engineering-begreber. Det betyder, at især dimensioner af C-delen med rimelighed kan udelades.

En dansk stx-tilpasning af redskabet foreslås at have nedenstående kvalitetsindikatorer og (tentative) form:

Tjek af engineeringforløb			
Mål	Forløbet ikke koblet til læreplansmål	Kobling til fagets læreplaner ←—————→ 1 2 3 4 5	Forløbet stærkt koblet til mål i læreplanen
	Ingen engineeringrettede mål	Engineeringrettede læringsmål ←—————→ 1 2 3 4 5	Eksplícitte og prioriterede engineeringmål
Design-udfordring	Intet forsøg på at gøre udfordringen autentisk og virkelighedsnær for eleverne	Autentisk og virkelighedsnær relevans ←—————→ 1 2 3 4 5	Engineeringudfordringen gøres tidligt og tydeligt autentisk og virkelighedsnær
	Udfordringen kan reelt kun løses på en måde	Frihedsgrader ←—————→ 1 2 3 4 5	Udfordringen åbner for adskillige løsninger og løsningsstile
	Udfordringen kan fint løses ved at man prøver sig frem	Faglig anknøtning ←—————→ 1 2 3 4 5	Udfordringen kan kun løses godt, hvis man bruger faglig viden og metode.
Engineering-undervisning	Engineeringaktiviteten afvikles isoleret – op til eleverne at koble til det faglige	Integration mlm fag og engineering ←—————→ 1 2 3 4 5	Udfordringen er i centrum – men faglige inputs er medtænkt, hvor det er nyttigt.
	Eleverne bringes ikke til at reflektere over udviklingen af deres design	Begrundet design-udvikling ←—————→ 1 2 3 4 5	Eleverne fastholdes på at begrunde skridtene i deres design-udvikling
	Gruppedannelsen tilfældig	Organisering af gruppearbejde ←—————→ 1 2 3 4 5	Gruppedannelsen under hensyntagen til elevformåen og samarbejde
	Ingen planlagt stilladsering – kun løbende lærerfeedback	Stilladseringstiltag ←—————→ 1 2 3 4 5	En række hårde stilladseringstiltag – på valgte steder
	Der afsættes ingen/ utilstrækkelig tid til, at grupperne kan optimere deres design	Rum til forbedring ←—————→ 1 2 3 4 5	Der gives tid og tilskyndelse til design-optimering
Evaluering	Elevernes udbytte af forløbet evalueres kun uformelt	Evaluering inkl. engineeringrettede læringsmål ←—————→ 1 2 3 4 5	Læringsudbyttet – herunder også engineeringmål (produkt eller proces) evalueres systematisk

Skemaet til forløbstjek er baseret på Peterman et al's granskning af engineering-litteraturen. Når man sammenholder de centrale dimensioner og tilhørende best-practice-anbefalinger i skemaets højre kolonne, så går det op for en, at de meget langt svarer til pointer fra denne engineeringdidaktiks forskellige kapitler og afsnit. Hvilket er meget betryggende, idet skemaet og de foregående didaktiske kapitler er udviklet på basis af *uafhængige* granskninger af forskningslitteraturen. Det indikerer, at der virkelig er tale om centrale og konsoliderede pointer. ETF er på denne måde et seriøst og overordnet bud på en syntese af (store dele af) engineering forskningen.

Forløbstjek-skemaet er tænkt som et redskab for lærere, det være sig ifm. planlægning af egne engineeringforløb eller udvælgelse eller tilpasning af andres forløb. Hvis der er dimensioner, hvor et forløb scorer lavt, så er det i sig selv ikke tilstrækkeligt til at droppe et i øvrigt godt forløb. Men det burde give anledning til overvejelse: er der gode pædagogiske grunde til, at det ser sådan ud? Er det muligt at tilpasse forløbet, så dimensionen tilgodeses i højere grad?

Referencer

- Becker, K., & Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM Education*, 12, 23–37. <https://search-proquest-com.ez-aaa.statsbiblioteket.dk:12048/docview/893425366/fulltextPDF/EC82D5B3E8F845E9PQ/1?accountid=98281>
- Bohm, M.; Salomonsen, D.; Quistgaard, N.; Binou, C.; Wøhlk, E.; Jensen, L. V.; Kronvald, O.: (2017): *Sammen om naturvidenskab – anbefalinger til en national strategi for de naturvidenskabelige fag*. ASTRA. 2017.
- Cantrell, P., Pekcan, G., Itani, A., & Velasquez-Bryant, N. (2006). The Effects of Engineering Modules on Student Learning in Middle School Science Classrooms. *Journal of Engineering Education*, 95(4), 301–309. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00905.x>
- Condliffe, B.; Quint, J.; Visher, M. G. (2017). *Project-Based Learning A Literature Review*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED578933.pdf>
- Crismond, D.; Adams, R. (2012). The Informed Design Teaching and Learning Matrix. *Journal of Engineering Education*, 101(4), 738–797.
- Crotty, E. A., Guzey, S. S., Roehrig, G. H., Glancy, A. W., Ring-Whalen, E. A., & Moore, T. J. (2017). Approaches to Integrating Engineering in STEM Units and Student Achievement Gains. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 7(2). <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1148>
- Cunningham, C.; Lachapelle, C. P. (2016). Designing Engineering Experiences to Engage All Students. *JOURNAL OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR DESIGN AND DEVELOPMENT IN EDUCATION*, vol 3 (9), p. 1-26.
- Cunningham, C. M. (2018). *Engineering in elementary STEM Education: Curriculum Design, Instruction, Learning, and Assessment*. Teachers College Press.
- Domestic Policy Council (2006): *American Competitiveness Initiative*. USA. White House. 2006
- Eisenkraft, A.; Freake, S.-Y. C. (Eds.). (2018). *Beyond the egg-drop: infusing engineering into high school physics*. NSTA Press.
- Garcia-Martin, J.; Perez-Martinez, J. (2017). Method to Guide the Design of Project Based Learning Activities Based on Educational Theories. *International Journal of Engineering Education*, 33(3), 984–999.
- Ge, X.; Chua, B. L. (2019). The Role of Self-Directed Learning in PBL: Implications for Learners and Scaffolding Design 367. In N. Moallem, M.; Hung, W.; Dabbagh (Ed.), *Handbook, The Wiley of Problem-Based Learning* (pp. 367–388). Wiley Blackwell.
- Gomez, S.; van Eijck, M.; Jochems, W. (2013). A sampled literature review of design-based learning approaches: A search for key characteristics. *International Journal of Technology and Design Education*.
- Householder, D. L. (Ed.). (2011). *Engineering challenges in high school STEM courses: A compilation of invited position papers*. Retrieved from the NCETE website: <http://ncete.org/flash/pdfs/Engr%20Design%20Challenges%20Compilation.pdf>

Hynes, M., Portsmouth, M., Dare E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). Infusing engineering design into high school STEM courses. Retrieved from <http://ncete.org/flash/pdfs/Infusing%20Engineering%20Hynes.pdf>

Hsu, Y., Lai, T., & Hsu, W. (2014). *A Design Model of Distributed Scaffolding for Inquiry-Based Learning*. December. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9421-2>

Hurley, M. H. (2001). Reviewing integrated science and mathematics: the search for evidence and definitions from new perspectives. *School Science and Mathematics*, 101(5), 259–268.

ITEA (2000): *Standards for technological literacy: content for the study of technology*. International Technology Education Association. http://elkin.k12.nc.us/cte/smithl/Fund_of_Tech/Standards.pdf

Johnson, K.;Leydens, J. A.; Walter, J.; Boll, A. M.; Claussen, S.; Moskal, B. M. (2019). Sociotechnical habits of mind: Initial survey results and their formative impact on sociotechnical teaching and learning. *ASEE Annual Conference and Exposition*.

Jonassen, D.H. (1997) Instructional Design Models for Well-Structured and Ill-Structured Problem-Solving Learning Outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 45, 65-94. <https://doi.org/10.1007/BF02299613>

Kim, N.J.;Belland, B.;Axelrod, D. (2019). Scaffolding for Optimal Challenge in K–12 Problem-Based Learning. *Journal of Problem-Based Learning*, 13(1), 1–24.

Kolodner, J L. (2002). Facilitating the learning of design practices: Lessons learned from an inquiry into science education. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39(3), 9–40.

Kolodner, Janet L, Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S., & Ryan, M. (2003). Problem-Based Learning Meets Case-Based Reasoning in the Middle School Science Classroom: Putting Learning by Design Into Practice. *Journal of the Learning Sciences*, 12(4), 495–547. <https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1204>

Krogh, L.B.;Andersen, H. M. (2020). Motivation. In H. S. Dolin, J.;Ingerslev, G.H.;Jørgensen (Ed.), *Gymnasiepædagogik - en grundbog* (4. udgave, pp. 250–267). Hans Reitzels Forlag.

Lee, D.;Huh, Y.;Reigeluth, C. (2015). Collaboration, intragroup conflict, and social skills in project-based learning. *Instructional Science*, 43(5), 561–590.

Lucas,B.;Hanson, J. (2016). *Teaching Engineering Habits of Mind : An Employability Strategy That Involves Changing Educators ' Habits of Mind* TEACHING ENGINEERING HABITS OF MIND : AN EMPLOYABILITY STRATEGY THAT INVOLVES CHANGING EDUCATORS ' HABITS OF MIND.

Morgan, J.;Slough, S. (2013). CLASSROOM MANAGEMENT CONSIDERATIONS: IMPLEMENTING STEM PROJECT-BASED LEARNING. In J. Capraro, R.;Capraro, M.;Morgan (Ed.), *STEM Project-Based Learning: An Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Approach* (pp. 99–107). Sense Publishers.

NAEP (2014): Technology and Engineering Literacy Framework for the 2014 National Assessment of Educational Progress. National Assessment Governing Board, US. Dept of Education. <https://www.nagb.gov/content/dam/nagb/en/documents/publications/frameworks/technology/2014-technology-framework.pdf>

National Research Council 2012. A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>

National Research Council 2014. *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>

O'Neill, D. K., & Polman, J. L. (2004). Why educate "little scientists?" Examining the potential of practice-based scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(3), 234–266.

Sadler, P.; Coyle, H. P.; Schwartz (2000). Engineering Competitions in the Middle School Classroom: Key Elements in Developing Effective Design Challenges. *THE JOURNAL OF THE LEARNING SCIENCES*, 9(3), 299–327.

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.

Sillasen, Martin Krabbe; Daugbjerg, Peer; Krogh, Lars Brian; Nielsen, K. (2018). *Engineering i skolen - Vidensgrundlag*.

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>

Vossen, T. E.; Henze, I.; Rippe, R.; Van Driel, J.; De Vries, M. (2019). Attitudes of Secondary School STEM Teachers towards Supervising Research and Design Activities. *Research in Science Education*.

Wallace, C. S., Hand, B., & Prain, V. (2004). *Writing and Learning in the Science Classroom*. Kluwer Academic Publishers.

Wendell, K., & Rogers, C. (2013). Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 513–540. <https://doi.org/10.1002/jee.20026>

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100.

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a Self-Regulated Learner: An Overview. *Theory into Practice*, 41(2), 64–70.

Bilag

Eksempler på relevans i engineeringudfordringer og undervisningsmæssige indramninger

- **Ex Faglig relevans** i en engineeringudfordring.

Udfordring: Gærceller er bedst til at omdanne sukker til alkohol ved en pH-værdi på ca. 5. Design en puffer, som kan fastholde pH i dette område, selv om den fortyndes 20 gange og udsættes for forurenninger af syre og base.

Der gøres ikke noget ud af at forbinde pufferdesignet med behov eller anvendelser udenfor klasserummet. Til gengæld er den faglige relevans for undervisningsfagene kemi B og A åbenbar, formuleringen bruger fagsproget, og problemløsningen trækker på viden om og beregninger i lyset af pufferligningen. Alt sammen standard-elementer i pensum for disse niveauer. Indramningen af aktiviteten som en rent faglig aktivitet kunne yderligere forstærkes ved, at man som lærer fx henviser til lærebogssider eller ting man har gennemgået, som afsæt for elevernes problemløsning.

Man kunne også godt have tilføjet et fagligt *professionsperspektiv* ved at frame det som en udfordring fra et forskningslaboratorium.

I kapitel 1 gav vi et andet eksempel på en udfordring med ren faglig framing, idet eleverne på et højniveau-fysikhold skulle udvikle en maskine til at måle Youngs modul. Her var der dog bygget et ekstra engagement ind i optakten, idet holdet forinden havde besøgt Universitetet og da set en professionel maskine.

Generelt gælder det, at man måske nok kan motivere højniveau-naturfaglige elever med udfordringer, som er rent fagfaglige – men for det store flertal af elever skal der arbejdes med andre relevanser i formuleringen af udfordringen.

- **Ex Samfundsmæssig relevans** i en engineering udfordring.

En anseelig mængde danskere er bevægelseshæmmede i større eller mindre grad, fx er ca. 10000 personer spastisk lammede, mens ca. 3000 personer lider af rygmarvsskader, som kan give lammelser i såvel under- som overkrop. Design en digital teknologi, som kan hjælpe personer med sådanne lidelser i deres hverdag.

Udfordringen her er rammesat vha. et indledende mini-narrativ, som gør det plausibelt, at der er tale om et væsentligt samfundsmæssigt behov. Ved at løse dette vil eleverne (i princippet) kunne gøre godt for nogen. Mange vil endda kende nogen, som er i målgruppen. Denne type mini-narrativ er den hyppigst brugte måde at personliggøre udfordringer og fremme identifikationsmuligheder. Dertil kommer, at udfordringen giver betydelig mulighed for elevmedbestemmelse, mht. hvilket af målgruppens mange daglige problemer de vil prøve at afhjælpe.

- **Ex Personlig relevans** i en engineering udfordring.

Her er udgangspunktet, at man sikrer sig, at udfordringen udspringer af elevernes hverdag - eller formulerer sig, så eleverne får mulighed for at forfølge særlige interesser, hobbies m.m. Dette fordrer enten, at man kender sine elever gevaldigt godt, eller at man laver udfordringen så åben, at eleverne selv kan "hælde-hvad-som-helst" i.

Eksempler på udfordringer, der kobler til elevernes hverdag og interesser: design et lysshow til dit værelse, design the bedst mulige bordtennisbat, design en termoflaske til skolebrug eller som en meget åben variant: design en digitalt styret ting, som du kan have gavn af i din egen hverdag. Hvad angår elevmotivation er personlig relevans normalt den stærkeste relevans, man kan spille på i sin optakt og framing.

Engineering i gymnasiet

Støttet af:

midt
regionmidtjylland

Partnere:

Engineer the future



VIA University
College

Læs mere om engineering på

<https://engineerthefuture.dk/engineering-i-gymnasiet/>