Engineering i skolen
– hvad, hvordan, hvorfor

Didaktikken, revideret udgave, 2022

Engineering i skolen

Engineering i skolen – hvad, hvordan, hvorfor
Revideret udgave, 2022

Forfattere: Suzie Auner, Peer Schrøder Daugbjerg, Keld Nielsen, Simon Olling Rebsdorf, Martin Krabbe Sillasen, Mads Joakim Sørensen

Redaktion: Martin Krabbe Sillasen og Mads Joakim Sørensen
Grafik & layout: Grethe Kofoed og Anne Dorte Spang-Thomsen
ISBN: 978-87-994359-5-1

Didaktikken udgives af Engineer the Future og VIA University College i samarbejde med Københavns Professionshøjskole og Astra.

Didaktikken er revideret og udgivet med støtte fra VILLUM-FONDEN under Engineering i skolen.

Tak til lærerne Anne Hermansen, Per Milling, Lotte Kold Thorup, Nina Gjetterman og Hanne Grøn for afprøvning og feedback under arbejdet med at revidere engineering-didaktikken og for at bidrage med eksempler fra egen engineering-praksis.

Tak til læreruddannere på professionshøjskolerne for frugtbare diskussioner, der har bidraget til at kvalificere engineering-didaktikken.

Engineering-didaktikken består af følgende kapitler:

Kapitel 1. Læsevejledning
Side 3

Kapitel 2. Engineering - en faglighed i skolen
Side 7

Kapitel 3. Engineering i STEM
Side 11

Kapitel 4. Engineering - hvad er det?
Side 15

Kapitel 5. Engineering-kompetencer
Side 19

Kapitel 6. Modellering i engineering
Side 31

Kapitel 7. Den gode engineering-udfordring
Side 37

Kapitel 8. Lærerens rolle, stilladsering og evaluering
Side 47

Kapitel 9. Design et engineering-forløb
Side 57

Kapitel 10. Engineering og andre undervisningstilgange
Side 69

Du kan finde alle kapitler på **engineeringiskolen.dk**

Kapitel 1. Læsevejledning

De følgende kapitler beskriver en didaktik for engineering i grundskolen og opstiller rammer for, hvordan man kan planlægge og gennemføre en undervisning, der er inspireret af den måde, som ingeniører arbejder på.
Vi omtaler, hvordan undervisningen kan organiseres i projektforløb, hvordan den kan planlægges, hvilke mål den kan føre til, og hvordan en række delprocesser indgår fra start til slut i et samlet projektforløb, som vi kalder en engineering designproces (se kapitel 4).

1. Læsevejledning

De følgende kapitler beskriver en didaktik for engineering i grundskolen og opstiller rammer for, hvordan man kan planlægge og gennemføre en undervisning, der er inspireret af den måde, som ingeniører arbejder på.
Vi omtaler, hvordan undervisningen kan organiseres i projektforløb, hvordan den kan planlægges, hvilke mål den kan føre til, og hvordan en række delprocesser indgår fra start til slut i et samlet projektforløb, som vi kalder en engineering designproces (se kapitel 4).

Engineering i grundskolen

Engineering designprocessen er ikke i sig selv knyttet til et eller flere af grundskolens fag. Engineering er i denne didaktik beskrevet som en procesorienteret arbejdsform i fag – ikke som et grundskolefag med et traditionelt fagligt indhold og faglige mål.
En proces har imidlertid altid et indhold. Der er altid et eller flere fag til stede, når man arbejder med engineering i grundskolen. Det faglige indhold i processerne bestemmes af de udfordringer, som eleverne arbejder med i deres projekt, altså af den udfordring, eleverne har fået. Det faglige indhold fastlægges dermed i sidste ende af læreren. De processer og den didaktiske ramme, der præsenteres her, kan således ikke fungere uden fagligt kompetente lærere, som – ligesom i al anden undervisning – er ansvarlige for, at undervisningen imødekommer de færdigheds- og vidensmål, der aldrig må lades ude af syne, når man underviser.

Engineering står for E'et i STEM og indgår derfor i mange sammenhænge sammen med fagene Science (naturfag), Teknologi og Matematik. Derfor er det arbejdet med disse fag, der er i centrum for engineering-didaktikken.

STEM
Forkortelse for science, technology, engineering og mathematics.

Engineering i skolen introduceres dermed som en ramme om elevernes arbejde med STEM-fagligt indhold. Forhåbentlig er denne ramme intuitiv indlysende, når man som lærer vil planlægge og gennemføre et problembaseret projektarbejde. Samtidig har vi bestræbt os på at skabe en ramme, der rummer masser af muligheder for variationer for at engagere og udfordre eleverne og for at udvikle både lærerens og elevernes kompetencer til at arbejde åbent og procesorienteret.

Ud over at arbejdet i engineering designprocesser udfordrer eleverne på deres evne til at kommunikere, planlægge og samarbejde, er det en styrke, at de får muligheder for at sætte deres faglige viden ind i en større konkret sammenhæng. De får mulighed for at bruge deres tilegnede viden, konkret og i nær sammenhæng med deres eget arbejde og i forbindelse med en udfordring, som de alt efter frihedsgrad enten har arbejdet med eller selv har været med til at formulere.
Det er integrationen af naturfag, matematik og teknologi med optimering af praktisk-konstruktive elementer, som får engineering til at adskille sig fra anden undersøgelsesbaseret undervisning. Styrken ved at arbejde med engineering i skolen er, at eleverne oplever, at naturfaglig og anden faglig viden bruges i konkrete optimerings- og forbedringsprocesser.

Indholdet i kapitel 2-10 og bogens bilag

I kapitel 2 introduceres engineering som en procesorienteret faglighed i skolen. Med udgangspunkt i et bredt teknologibegreb begrunder vi, at engineering bidrager til at styrke elevernes teknologiske dannelse.

I kapitel 3 gør vi rede for engineerings rolle i forhold til de tre øvrige fagområder, der indgår i STEM-fagligheden: science (naturfag), teknologi og matematik. Desuden beskriver vi, hvordan engineering kan forstås som en faglig integrator, når forskellige fagligheder anvendes i problemløsende arbejde.

I kapitel 4 introduceres engineering designprocessen og de syv delprocesser, den består af. Med udgangspunkt i den måde, som "rigtige" ingeniører arbejder på, argumenterer vi for, at netop disse syv delprocesser er centrale for, at engineering-undervisning kan planlægges og gennemføres.

Kapitel 5 handler om de engineering-kompetencer, som eleverne tilegner sig, når de arbejder med en engineering-udfordring. Selve engineering designprocessen kan danne ramme omkring undervisning med meget forskelligt fagligt og tværfagligt indhold. Vi definerer en række nye engineering-kompetencer, der præciserer, hvad eleverne kan lære gennem deltagelse i de syv delprocesser. Vi uddyber hvordan denne læring i høj grad træner elevernes naturfaglige og matematiske kompetencer.

I kapitel 6 belyser vi hvordan engineering har modelbegrebet og modellering som central proces, ligesom det er i naturfag og matematik. Vi gør desuden rede for, at der findes ligheder og forskelle i brug af modeller i naturfag, matematik og engineering.

I kapitel 7 beskrives, hvad der kendetegner en god engineering-udfordring inden for et STEM-fagligt problemfelt, og hvilken betydning autenticitet har for elevernes motivation og læring i deres arbejde med en engineering-udfordring.

I kapitel 8 præciserer vi, hvordan lærerens traditionelle rolle udfordres i engineering-forløb. I forlængelse heraf udfoldes, hvordan læreren som facilitator gennem sin planlægning kan stilladsere og evaluere elevernes arbejde.

I kapitel 9 introduceres et didaktiske planlægningsværktøj, som læreren kan bruge i sin planlægning af et engineering-forløb. Centralt er de didaktiske pejlemærker, planlægningsværktøjet og en tjekliste, som samlet kan bidrage til at kvalitetssikre den planlagte engineering-undervisning.

I kapitel 10 udfordres engineering, da denne tilgang langtfra er den eneste nye didaktiske ide på vej ind i grundskolen i disse år. Der findes andre aktuelle ideer og pædagogisk-didaktiske slagord, som konkurrerer om lærernes opmærksomhed. For at afklare forholdet mellem engineering og seks andre nyere tilgange til undervisningen præsenteres i dette kapitel forskelle og ligheder mellem engineering og problembaseret læring (PBL), designbaseret undervisning, socio-scientific issues (SSI), innovation og entreprænørskab, samt inquiry-baseret matematik- og naturfagsundervisning (IBSME).

Kapitel 2. Engineering – en faglighed i skolen

Dette kapitel introducerer engineering som en procesorienteret faglighed i skolen. Med udgangspunkt i et bredt teknologibegreb begrunder vi, at engineering bidrager til at styrke elevernes teknologiske dannelse.

2. Engineering – en faglighed i skolen

Vi lever i en tid, hvor teknologi og naturvidenskab gennemtrænger næsten alle aspekter af det moderne liv. De to fænomener udgør nøglerne til løsningen af menneskehedens mest påtrængende problemer nu og i fremtiden. Men samtidig er den teknologiske udvikling selv en del af årsagen til, at vi har problemer som fx forurening og klimaændringer.

Derfor er det nødvendigt, at kommende generationer har tilstrækkelig kendskab til teknologi og naturvidenskab til dels at kunne deltage i offentlige diskussioner om samfundsrelevante problemstillinger, der relaterer til områderne, og til dels at være kritiske brugere af information med teknologisk og naturvidenskabeligt indhold, som har betydning for deres liv.

Det udbytte af undervisningen, som engineering kan bidrage med, kan opsummeres i kravet om, at uddannelsessystemet skal bibringe eleverne "teknologisk dannelse".

2.1 Teknologisk dannelse – hvad og hvorfor?

Den væsentligste grund til at beskæftige sig med teknologi i undervisning er, at det er brugen af teknologi, der giver de materielle betingelser for vores liv i form af mad, boliger, transport, kommunikation og underholdning. Alle de redskaber, mennesker benytter sig af, er teknologi. Uden teknologi ville vi være henvist til at leve af, hvad naturen umiddelbart byder på – frugter, rødder, bær, orme, biller – og til at grave huller i jorden med hænderne.

Mindst lige så væsentligt for undervisning er det, at alle teknologier har en bagside, som blandt andet viser sig gennem forurening og ødelæggelse af natur, hvad enten det drejer sig om kemikalier i miljø og drikkevand, plast i verdenshavene, luftpartikler i storbyerne eller drivhusgasser i atmosfæren. Disse kæmpeproblemer har menneskeheden selv skabt gennem uhensigtsmæssig og ureguleret brug af teknologi. Situationen er, at hvis vi fortsætter med at bruge visse teknologier på uhensigtsmæssige måder, så risikere vi at ødelægge mere end 1.000 års udvikling.

Det væsentligste argument for at uddanne eleverne til at være teknologisk dannede er deres bevidsthed om omgangen med og deres indflydelse på udviklingen af teknologien, der på den ene side giver os velfærd og velstand, men på den anden side har skabt problemer, som nu kræver kolossale indsatser af politisk, etisk, økonomisk, videnskabelig og ingeniørmæssig art.

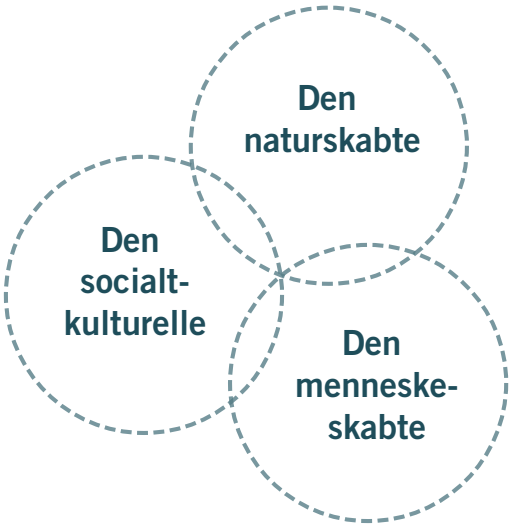
Helt overordnet gælder, at teknologisk dannende undervisning sætter eleverne i stand til at forstå, forvalte og forholde sig til teknologi og teknologisk udvikling. Dette indebærer følgende:

- Eleverne skal udvikle engineering-faglige kompetencer og opnå færdigheder og viden, så de konstruktivt og kritisk kan deltage i problemløsende aktiviteter, der skaber teknologier, og forstå betydningen af teknologisk udvikling.
- Eleverne skal beherske engineering designprocesser samt et teknologisk sprog og principper, så de iterativt og i samarbejde kan analysere, designe, konstruere, modificere og evaluere produkter til erkendelse og løsning af komplekse samfundsfaglige problemer, der har et naturfagligt og teknologisk indhold.
- Eleverne skal med teknologisk dannende undervisning og engineering-faglighed opnå kompetencer, så de forstår teknologiers muligheder og konsekvenser. Formålet med dette er at styrke elevernes forudsætninger for at forstå, skabe og agere meningsfuldt i et samfund, hvor teknologier i stigende omfang er katalysatorer for forandringer.

I kapitel 5 uddybes, hvilke engineering-kompetencer eleverne træner ved at arbejde med engineering-faglighed i faglige eller tværfaglige sammenhænge.

2.2 Teknologi og engineering

I denne didaktik bruger vi ordet teknologi på samme måde som i faget natur/teknologi. Teknologi betegner "den fremstillede verden", altså boliger, biler, kommunikationsmidler, energiproduktion, fabrikker, hårbørster og meget andet. I en meget grov inddeling kan man sige, at verden består af tre sfærer: den naturskabte, den socialt-kulturelle og den menneskeskabte (teknologien).



Dette teknologibegreb er meget favnende. Det rækker fra simple genstande som skruer og grydeskeer til apps på en mobil. Teknologi omfatter også den viden, der skal til for at designe, fremstille, anvende, vedligeholde og genbruge teknologiske artefakter. Uddannelser til fx håndværker eller køletekniker er dermed også en del af teknologien. Det skal understreges, at viden om, hvordan teknologi fungerer – fx en skriftlig instruktion i, hvordan man renser vand – også er et teknologisk produkt.

Engineering er en *designproces*, hvormed teknologi skabes. Teknologi beskæftiger sig med *resultaterne* af engineering i form af produkter og processer samt de indvirkninger på samfundet og naturen, som anvendelsen af teknologien giver anledning til. Det vil sige, at man også kan tænke på teknologi som den del af verden, der skabes og ændres gennem engineering.
Dermed kan man opfatte engineering som en delmængde af "teknologi".

2.3 Engineering: En procesorienteret faglighed på tværs af fag

Denne didaktik beskriver engineering som en *procesorienteret faglighed* i fag i skolen, der bidrager til at styrke elevers teknologiske dannelse. Ved at beskrive engineering som en procesorienteret faglighed signalerer vi, at det kan indgå som et element i mange forskellige fag i både monofaglige og tværfaglige sammenhænge. Undervejs vil vi eksemplificere, hvordan engineering kan anvendes i naturfagene og matematik såvel som i tværfaglige sammenhænge.

2.4 Teknologi som et integreret genstandsfelt i naturfag

Undervisning i teknologi repræsenterer en særlig udfordring i grundskolen, fordi mange lærere ikke er opmærksomme på, at teknologi allerede udgør ét af to overordnede genstandsfelter i skolens naturfag: naturens fænomener og teknologi. Det betyder, at naturfagenes fælles mål omfatter en lang række af mål, som ikke er knyttet til naturvidenskabelig viden eller naturvidenskabelige processer (naturfag), men til teknologiske processer eller produkter.

I mange undervisningssituationer kan det være svært at skelne mellem naturvidenskab og teknologi, fordi de to områder i mange situationer er filtret tæt ind i hinanden. Fx er astronomi tydeligvis en naturvidenskabelig disciplin, der arbejder på at udbygge vores kendskab til Universet. Men i deres arbejde er astronomer stærkt afhængige af teknologiske produkter som kikkerter, infrarøde kameraer, raketter eller computere. Derfor arbejder mange astronomer intenst med teknologi.
Omvendt er mange teknologer (blandt dem ingeniører), der arbejder på at forbedre eller vedligeholde avancerede produkter som internettet eller udvikle processer til fx genanvendelse af plast, afhængige af at have adgang til naturvidenskabelig viden, og de bruger denne viden intenst.
Så hvorfor skelne mellem naturvidenskab og teknologi i naturfagsundervisningen? Det kan ligne en overflødig pointe.

Men grundlæggende er der stor forskel på at arbejde med naturvidenskab og med teknologi:

- I naturvidenskab er alle bestræbelser ideelt set rettet imod at skabe naturvidenskabelig viden ved at undersøge grundlæggende naturvidenskabelige spørgsmål.
- Arbejder man med teknologi, er intentionerne med arbejdet helt anderledes. Målet er at fremstille produkter eller udvikle processer, der bearbejder naturen, som når man raffinerer olie, bygger biler eller fremstiller elektricitet.

I praksis står undervisningen i teknologidelen af naturfagene i skyggen af den naturvidenskabelige del. Mange lærere er usikre på, hvad man skal forstå ved begrebet teknologi, og derfor også, hvordan man udbytterigt underviser i det.

Et sted at starte vil være at legitimere, at teknologi allerede er til stede som teknologiske mål i naturfagenes målsætninger.

I forbindelse med STEM-undervisning skelner vi mellem engineering og teknologi, altså mellem engineering som en designproces og så den øvrige del af det teknologiske univers, som det er forsøgt karakteriseret i dette kapitel.

Edwin Hubble havde aldrig opdaget Universets udvidelse, hvis ikke det var lykkedes at bygge datidens største kikkert (Hookerteleskopet med en spejldiameter på 2,5 meter) på toppen af Mount Wilson i 1.800 meters højde over Los Angeles i 1920'erne. I sig selv en ingeniørmæssig bedrift.

Kapitel 3. Engineering i STEM

I dette kapitel redegør vi for engineerings rolle i forhold til de tre øvrige fagområder, der indgår i STEM-fagligheden: science (naturfag), teknologi og matematik.

3. Engineering i STEM

Både engineering og teknologi indgår i de fire fagområder, der omtales samlet med forkortelsen STEM. I dette kapitel beskriver vi engineerings rolle i forhold til de øvrige tre områder i STEM: science (naturfag), teknologi og matematik.

Udtrykket STEM bruges i mange sammenhænge og dermed i mange forskellige betydninger, og det er ikke altid klart, hvad man skal lægge i udtrykkene STEM eller "STEM-undervisning". Derfor vil vi i dette kapitel uddybe, hvad vi mener med STEM. Hvornår er noget STEM-undervisning, og hvad er det essentielle? Hvorfor er STEM – og dermed engineering som en del af STEM – et centralt og vigtigt begreb for fremtidens undervisning?

I den sammenhæng er der to vigtige pointer:
1. Man kan undervise i engineering – eller i matematik eller naturfag – uden at der er tale om STEM-undervisning (forklaring følger).
2. Engineering-didaktikken er et oplagt udgangspunkt for at arbejde med STEM-undervisning.

3.1 Hvad forstår vi ved STEM-undervisning?

Mange opfatter STEM-undervisning som et didaktisk koncept, der er kendetegnet af tværfaglige elementer. I denne opfattelse bruger man STEM-begrebet, når to eller flere fagområder arbejder sammen, fx et samarbejde mellem matematik og biologi eller et engineering-forløb, der inddrager fysik/kemi.

Men i forbindelse med engineering-didaktikken er målet for STEM-undervisning mere ambitiøst, både med hensyn til, hvordan man underviser, og med hensyn til samspillet mellem fagligheder.

Her karakteriserer STEM en undervisning, der integrerer fagområderne, og hvor eleverne ikke bare arbejder med faglig viden, men også udvikler lyst og kompetencer til at bruge deres viden i forbindelse med problemløsning og herunder udbygge deres faglige viden.

Et afgørende træk ved STEM-integreret undervisning er, at eleverne arbejder med autentiske problemer, hvis løsning kræver viden og praksis fra mere end ét fagområde. Det er mere uddybende beskrevet i kapitel 6.

I et nyt amerikansk studie[1] ønskede forskerne at mindske forvirringen ved at komme med et bud på STEM, der hviler på opfattelse og erfaringer blandt lærere og didaktikere i STEM-områderne om, hvad de mener er det interessante og det nyskabende ved STEM-undervisning. Der var konsensus om, at det er i situationer, hvor viden fra fx naturfag (science) og matematik bruges til at løse problemer, og hvor fagene bliver autentiske og meningsfulde.
Kort opsummeret kom de frem til følgende:

> *Ved STEM-undervisning forstår vi en undervisning, som fremmer elevernes læring gennem bevidst integration af naturfag, teknologi, engineering og matematik, plus eventuelt andre fag, i projektbaseret undervisning, som kræver samarbejde og anvendelse af viden i løsning af omverdensproblemer.*

Det skal ikke forstås på den måde, at et forløb kun er STEM, hvis alle fire områder inddrages samtidigt. Det afgørende er, at eleverne arbejder med at forstå og løse et problem, og det er dette problem – støttet af lærerens planlægning og stilladsering – som styrer, hvilke fagligheder, færdigheder, viden, undersøgelser osv. der er relevante.

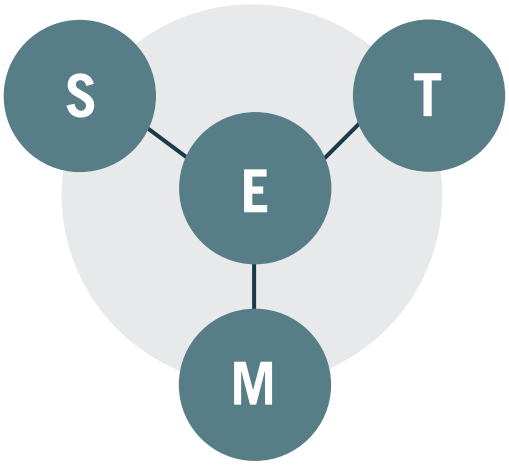
[1] Baseret på Sandall, B.K., Sandall, D.L. & Walton, A.L.J. (2018). Educators' Perceptions of Integrated STEM: A Phenomenological Study. Journal of STEM Teacher Education, 53(1), 27-41.

3.2 Problemløsende arbejde som faglig integrator

Med ovenstående definition på STEM bliver engineering-undervisning ikke automatisk STEM-undervisning.
I engineering kan man fx lade en klasse arbejde med at løse et problem på trial-and-error-basis: Byg en bro af mælkekartoner, der overholder en række krav – eller tilsvarende. Et sådant forløb kan være virkelig nyttigt ved at træne en række kompetencer, såsom samarbejde eller planlægning, eller træne engineering designprocessen (se kapitel 4). Men inddrages viden fra de andre STEM-faglige områder ikke eksplicit, så er det ikke STEM. Dette synspunkt uddybes i kapitel 7, som handler om den gode engineering-udfordring.

Når man arbejder problemløsende i en engineering designproces, er det et godt udgangspunkt for at inddrage et eller flere af de andre STEM-områder. Engineering-udfordringen og designprocessen fastlægger de afgørende træk ved undervisningen – herunder lærerrollen – og er dermed bærende som faglig integrator.

Men en faglig integration opstår selvfølgelig ikke af sig selv, og kræver en bevidst indsats fra læreren. Særligt kræver det opmærksomhed at inddrage de andre STEM-faglige fagområder, så de samlet set er med til at fremme elevernes faglige læring.



Kapitel 4. Engineering – hvad er det?

I dette kapitel gennemgås engineering designprocessens syv delprocesser. De er centrale for, at engineering-undervisning kan planlægges og gennemføres.

4. Engineering – hvad er det?

Engineering er en designproces til systematisk og videnbaseret problemløsning.

Udgangspunktet for engineering som didaktik i skolen er den måde, ingeniører arbejder på. Ingeniører er blandt samfundets centrale aktører, når der skal løses tekniske problemer eller udvikles nye teknologiske processer og produkter.

Det karakteristiske ved ingeniørers arbejde er, at de anvender mange former for viden til systematisk at designe eller forbedre redskaber, maskiner, strukturer eller processer. Løsningerne skal opfylde nogle klienters mål eller nogle brugeres behov og skal derfor overholde en række kravspecifikationer, samtidig med at løsningerne er underlagt økonomiske og praktiske begrænsninger.
Undervejs i deres arbejde trækker ingeniører på en lang række forskellige former for viden og ressourcer.

Det vigtigste, set fra et undervisningsperspektiv, er ingeniørers særlige tilgang til problembaseret arbejde. Det vil sige den måde, hvorpå de analyserer udfordringer og derefter organiserer processer og anvender allerede eksisterende viden og erfaringer, ikke mindst inden for teknologi og naturvidenskab. Dertil kommer, at de vurderer, tester og forbedrer deres prototype undervejs.

Prototype
En prototype er en tidlig udgave af et produkt eller en løsning. Prototyper kan afprøves med det formål at blive klogere på produktet. For det meste er det nemt og billigt at ændre på en prototype.

Med udgangspunkt i den måde, ingeniører arbejder på, kan man opstille en række karakteristiske træk ved deres arbejdsmetode, som undervisningen bør stile imod at genskabe eller reflektere.
Disse træk udgør tilsammen en karakteristik, der er fundament for den organisering og gennemførelse af undervisningen, som beskrives i denne didaktik.

Karakteristiske træk ved ingeniørers arbejdsprocesser

- Tager udgangspunkt i problemer eller udfordringer
- Er organiseret i projektgrupper, hvor deltagerne repræsenterer mange forskellige fag og kompetencer
- Inddrager relevante teknologier
- Er løsnings- og/eller produktorienterede
- Inddrager innovative designprocesser og fremstiller en eller flere prototyper, som gradvis forbedres
- Er målrettede, processtyrede og ofte iterative i forsøget på at finde en tilfredsstillende løsning
- Inddrager viden om naturvidenskab, matematik og informatik, når det er relevant
- Er underlagt tidsmæssige, økonomiske, miljømæssige, etiske og andre begrænsninger, der kan formuleres som kravspecifikationer, som løsningen skal overholde.

Skoleverdenen er anderledes end ingeniørverdenen
Men denne karakteristik, der handler om ingeniørernes verden uden for skolen, fører på ingen måde direkte til en didaktik. Eleverne i grundskolen er ikke uddannede ingeniører. De arbejder ikke i store firmaer eller organisationer, hvor der er mange penge eller store samfundsmæssige konsekvenser på spil. I en skoleklasse er det kun til en vis grad muligt at bringe en gruppe af elever i samme situation, som en gruppe ingeniører befinder sig i, når de løser en opgave.

Didaktikken må altså forholde sig til den udfordring, at det i en klasse ikke er muligt eller ønskeligt at skabe en 1:1-kopi af ingeniørernes verden og arbejdsmetoder. I didaktikken må man omhyggeligt vælge de træk ved ingeniørers arbejdsmetoder og -processer, der er relevante som udgangspunkt for meningsfuld undervisning.

Derfor er idealet at bruge ingeniørverdenen og dens metoder som inspiration for en nytænkende didaktik, hvor lærere bruger didaktisk tilpassede teknologiske problemstillinger og bringer dem ind i undervisningen, så eleverne får erfaringsbaseret indsigt i, hvad engineering er og kan som arbejdsmetode og som en handlingsorienteret og problemløsende tilgang.

Engineering og autentiske udfordringer

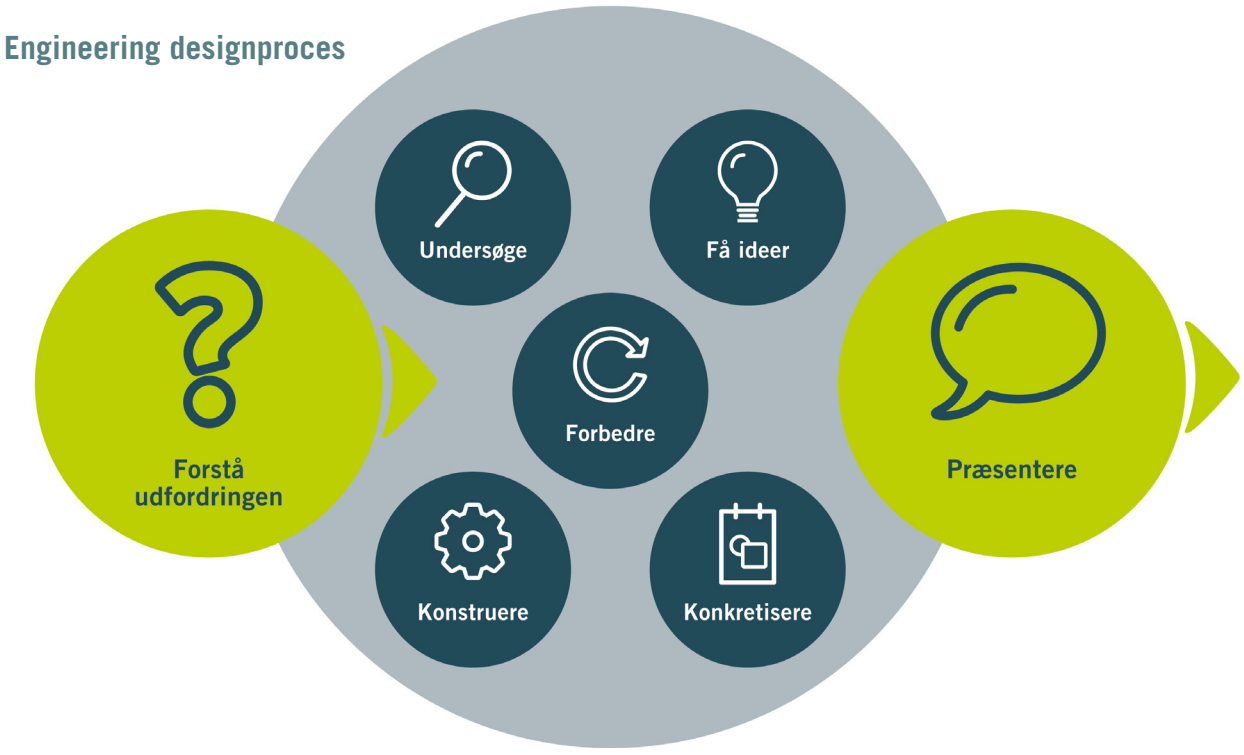
På grund af dette skel mellem virkeligheden for ingeniører og virkeligheden for eleverne i en klasse bliver det et didaktisk mål – og en didaktisk udfordring – at gennemføre engineering-undervisning, så eleverne oplever maksimal grad af autenticitet. Men autenticiteten må skabes med udgangspunkt i, at der er tale om undervisning, og at undervisningen skal hænge sammen med det, eleverne i øvrigt oplever og skal lære i deres skoletilværelse. Vi ser nærmere på, hvad der karakteriserer en god engineering-udfordring, i kapitel 7.

4.1 Designprocesser i undervisningen

Vi kan og skal – som antydet ovenfor – ikke umiddelbart overføre ingeniøraktiviteter til et skoleprojekt i forholdet 1:1. Derfor har vi foretaget en didaktisk reformulering af de elementer i det ovenstående, som undervisnings- og læringsmæssigt er centrale. Denne didaktisering skal være så enkel, at den kan håndteres i praksis i en travl skolehverdag.

4.1.1 Engineering designprocessen

Det er pædagogisk hensigtsmæssigt at dele hele engineering designprocessen op i syv delprocesser (se figur 1).



Figur 4.1: De syv delprocesser i engineering. To af processerne er fremhævet: Forstå udfordringen, fordi det er her, læreren sammen med klassen sætter projektet i gang. Præsentere, fordi det her, læreren og klassen afslutter projektet.

Delprocesserne kort beskrevet

Erfaringer fra praksis har vist, at elever tilgår de fem delprocesser i midten meget forskelligt. Derfor er der ingen pile, som angiver en foretrukken rækkefølge mellem delprocesserne.

Forstå udfordringen: Læreren introducerer problemfeltet/narrativet, og gennem aktiviteter afgrænses udfordringen. Elevgrupper og lærer bliver enige om mål og rammer for det kommende arbejde. Grupperne drøfter egen forståelse af udfordringen, fx ved at beskrive den med egne ord.

Undersøge: Elevgrupperne kortlægger relevant viden, de får brug for. De skaffer og tilegner sig viden.

Få ideer: Elevgrupperne udvikler, forhandler og vælger ideer, som de vil arbejde videre med.

Konkretisere: Elevgrupperne konkretiserer, skitserer og vælger materialer til den konkrete ide. De planlægger det videre arbejde og fordeler opgaverne.

Konstruere: Elevgrupperne virkeliggør deres ide ved at fremstille en prototype med valgte materialer og redskaber.

Forbedre: Elevgrupperne tester, evaluerer og forbedrer prototypen. Dette medfører ofte, at elevgrupperne må tilbage og gentage tidligere delprocesser, fx ideudvikling eller måske indsamling af mere viden gennem undersøgelser.

Præsentere: Elevgrupperne præsenterer løsning, overvejelser om designprocessen og valg truffet undervejs.

I skolen vil engineering-forløb altså udspille sig som projekter, hvor eleverne arbejder med en autentisk problemstilling i et tidsmæssigt afgrænset forløb, der er didaktisk tilpasset de undervisningsmæssige rammer. Forløbet skal både have en begyndelse med rammesætning og en afslutning med præsentation og evaluering(er).

Derfor har den indledende arbejdsproces, *Forstå udfordringen*, og den afsluttende, *Præsentere*, didaktisk set en særlig karakter. Læreren har nemlig især i disse to arbejdsprocesser mulighed for at give et engineering-forløb autenticitet, vel vidende at det foregår i en klasse på helt andre præmisser end i verden uden for skolen.

Mellem projektstart og projektslut arbejder elevgrupperne forskelligartet frem mod løsning af udfordringen. Som det fremgår af beskrivelsen af delprocesserne, arbejder eleverne sammen i grupper om at indhente viden, udvikle ideer, planlægge og konstruere en prototype samt teste og forbedre prototypen.

Afprøvninger af engineering designprocessen i grundskolen har vist, at eleverne ikke arbejder lineært med de forskellige delprocesser. Det er mere sandsynligt, at eleverne starter forskellige steder og springer mellem delprocesserne. Det afhænger af, hvordan læreren stilladserer og rammesætter deres arbejde. Det vender vi tilbage til i kapitel 8.

Forstå udfordringen – er alle med?

Læreren sikrer sig sammen med klassen, at alle eleverne har forstået engineering-udfordringen. Ideelt set kan man allerede i den indledende delproces, *Forstå udfordringen*, formulere og blive enige om en række krav, som en løsning skal overholde.
Når eleverne er på vej ind i forløbet, er opgaven for dem at forstå alle aspekter ved den autentiske udfordring, som læreren præsenterer for dem.

Præsentere – synlig afslutning

I forbindelse med afslutningen på projektet er det vigtigt, at der er tid til at reflektere over, hvad eleverne har lært fagligt, og over den proces, som eleverne har været igennem. Det er nødvendigt, selvom det kan være vanskeligt, at læreren også taler med eleverne om udviklingen af deres proceshåndtering, fx deres samarbejde, indbyrdes rollefordeling og evne til at forbedre undervejs i processen.

Kapitel 5. Engineering-kompetencer

Dette kapitel handler om de engineering-kompetencer, som eleverne tilegner sig, når de arbejder med en engineering-udfordring. Vi uddyber, hvordan denne læring i høj grad træner elevernes naturfaglige og matematiske kompetencer.

5. Engineering-kompetencer

Dette kapitel beskriver, hvilke engineering-kompetencer eleverne træner og udvikler, når engineering er en del af undervisningen, både i monofaglige og tværfaglige sammenhænge. Engineering-kompetencer relaterer sig til og viser sammenhænge mellem de eksisterende kompetenceområder i matematik og naturfagene (biologi, fysik/kemi, geografi og natur/teknologi) jf. Fælles Mål.

Formålet med at beskrive "nye" engineering-kompetencer er at tydeliggøre, hvilke fagspecifikke kompetencer eleverne har mulighed for at træne i hver af de syv engineering-delprocesser (beskrevet i kapitel 4), samt at udarbejde en fælles og forsimplet kompetenceramme for det tværfaglige samarbejde mellem matematik og naturfagene.

Relevansen af engineering-kompetencer forstærkes yderligere, fordi problembaseret undervisning som fx engineering giver eleverne mulighed for at udvikle kompetencer gennem handlinger, når de i gruppearbejde anvender deres faglige viden og færdigheder på at finde løsninger på autentiske problemstillinger.

5.1 Hvad er engineering-kompetencer?

Styrken ved at arbejde med engineering-faglighed i skolen er brugen af faglig viden og færdigheder i konkrete forbedringsprocesser. Det er integrationen af praktiske, konstruktive og forbedrende elementer, som adskiller engineering fra anden problembaseret undervisning. Dette peger på, at relevante engineering-kompetencer handler om at have *færdigheder* til at handle og *viden* til at kunne forstå og forklare problemløsningen.

Engineering er først blevet implementeret i naturfagene i grundskolen, som allerede har en fælles kompetenceramme, men har siden bredt sig til andre fag som fx matematik. Den fælles kompetenceramme i naturfagene har inspireret til beskrivelsen af en ny samlet kompetenceramme (se tabel 5.1), der meningsfyldt kan anvendes af lærere i matematik og naturfagene til planlægning af engineering-forløb.

Engineering-kompetencer	Naturfagskompetencer	Matematikkompetencer
Problemløsning og designfaglighed	Undersøgelse Perspektivering	Problembehandling Modellering
Praksisfaglig og teknologisk handleevne	Undersøgelse	Hjælpemidler
Undersøgelse	Undersøgelse	Ræsonnement og tankegang
Modellering	Modellering	Modellering Repræsentation og symbolbehandling
Myndiggørelse og perspektivering	Perspektivering	Modellering
Kommunikation	Kommunikation	Ræsonnement og tankegang Kommunikation

Tabel 5.1: Fagenes kompetenceområder fordelt på engineering-kompetencer. I tabellen er angivet, hvilke faglige sammenhænge og synergier der er mellem de natur- og matematikfaglige kompetencer og de seks engineering-kompetencer.

Med inspiration fra Fælles Mål i matematik og naturfagene er der i tabel 5.2 formuleret eksempler på færdigheder inden for hver af de seks engineering-kompetencer.

Eksemplerne viser, hvordan sammenhænge mellem fagene har defineret de seks engineering-kompetencer. Men det er ikke en udtømmende liste over alle faglige sammenhænge.

Engineering-kompetencer	
Kompetenceområde	**Færdigheder og viden** *Parentesen efter beskrivelsen angiver det grundskolefag, som har leveret inspiration til færdigheden med tilhørende viden.*
Problemløsning og design	En elev med denne kompetence kan • identificere, opstille og løse autentiske problemer (naturfag) • arbejde med et problem som en udfordring, der ikke umiddelbart kan løses ved hjælp af en standardprocedure, men kræver en handleplan, der ofte kan opdeles i delprocesser (matematik).
Praksisfaglig og teknologisk handleevne	En elev med denne kompetence kan • vurdere fordele og ulemper ved valgte værktøjer, materialer osv. i realiseringen af løsningen (matematik).
Undersøgelse	En elev med denne kompetence kan • formulere spørgsmål, som kan undersøges gennem valg af relevante undersøgelsesmåder, designe egne undersøgelser og systematisk indsamle data, der belyser fx ideer og løsninger (naturfag) • medtænke og vurdere kvaliteten af undersøgelser, fx i form af undersøgelsessystematik, variabelkontrol og væsentlige fejlkilder (naturfag) • finde mønstre i, fortolke og konkludere på data (naturfag) • relatere egne undersøgelsesresultater til faglige forklaringer (naturfag).
Modellering	En elev med denne kompetence kan • bruge modeller til at forstå, forklare eller forudsige fænomener og systemers opførsel samt diskutere og forholde sig kritisk til modeller, fx deres grundlag og rækkevidde (naturfag) • konstruere/revidere modeller med afsæt i egne undersøgelser eller som en del af problemløsning (naturfag) • skelne mellem virkelighed og model, især modellens afgrænsning og idealisering af den virkelige situation (matematik).
Myndiggørelse og perspektivering	En elev med denne kompetence kan • forbinde faglig viden til sin egen hverdag og nære omverden (naturfag) • belyse og forholde sig til løsningsrelevante samfundsmæssige problemstillinger med et naturfagligt indhold (naturfag) • beskrive og diskutere sammenhænge mellem teknologisk udvikling og samfundsudvikling (fysik/kemi) • italesætte og demonstrere egne muligheder for stillingtagen og handlen i forhold til en bæredygtig udvikling og menneskets samspil med naturen – lokalt og globalt (naturfag).
Kommunikation	En elev med denne kompetence kan • bruge et relevant fagligt sprog til både at beskrive og formidle faglige fænomener og indsigter, som er en del af løsningen eller af processen (naturfag) • argumentere med relevante faglige belæg og forholde sig kritisk til argumentation med et fagligt islæt (naturfag).

Tabel 5.2: Eksempler på færdigheder inden for hver af de seks engineering-kompetencer.

I ovenstående beskrivelse af de forskellige engineering-kompetencer har færdigheder fået forrang ved at anvende udsagnsordet 'kan' i den indledende sætning: *"En elev med denne kompetence kan..."*

Det betyder ikke, at viden fra naturfag og matematik eller teknologisk viden ikke er relevant i engineering i skolen. Hvilken viden det er relevant at inddrage, afhænger af engineering-udfordringens fokus. Det gælder dels leksikal viden, der kan bruges til at forklare og forstå engineering-udfordringen, dels viden om, hvordan udfordringen kan løses. Eleverne kan demonstrere deres viden om, hvordan de vil løse udfordringen, gennem deres handlinger, og den leksikale viden kan de vise gennem deres forklaringer om, hvordan dele af deres løsning virker.

5.2 Sammenhæng til STEM-fagenes kompetenceområder

De seks engineering-kompetencer er defineret som tværfaglige kompetenceområder, der sætter eleven i stand til at mestre krav, der hører til at gennemføre selve engineering designprocessen. Tabel 5.3 viser, hvilke delprocesser i engineering designprocessen der i særlig grad træner de forskellige engineering-kompetencer hos elever, når de arbejder fagligt eller tværfagligt i en engineering designproces.

Engineering-kompetencer	Engineering-delprocesser					
	Problem-løsning og design-faglighed	Praksis-faglig og teknologisk handleevne	Under-søgelse	Modellering	Myndig-gørelse og perspek-tivering	Kommuni-kation
Forstå udfordringen	X			X	X	X
Få ideer	X	X	X	X	X	X
Undersøge	X	X	X	X	X	X
Konkretisere	X		X	X		X
Konstruere	X	X		X		X
Forbedre	X	X	X	X	X	X
Præsentere				X	X	X

Tabel 5.3: I tabellen er angivet, hvilke engineering-delprocesser der i særlig grad træner og udvikler de forskellige engineering-kompetencer hos eleven.

5.2.1 Engineering og naturfaglige kompetencer

Som naturfagslærer er det naturligvis centralt at inddrage arbejde med naturfag i et engineering-forløb på en sådan måde, at det fremmer elevernes naturfaglige læring og derved gør engineering-forløbet mere udbytterigt.
Engineering designprocessen er først og fremmest nyttig ved at navngive og definere en række centrale delprocesser. Den gør det dermed muligt for elever og lærer at tale om, hvad engineering er, hvilke processer der er nødvendige, og hvor man er i den samlede proces.

Når vi så alligevel i denne engineering-didaktik lægger så stor vægt på at skabe sammenhæng til naturfagene, kan det bl.a. begrundes med, at erfaring viser, at engineering

Engineering-delprocesser	Naturfaglige delkompetencer			
	Undersøge	Modellere	Perspektivere	Kommunikere
Forstå udfordringen	X		X	X
Få ideer	X		X	X
Undersøge	X	X		X
Konkretisere		X		X
Konstruere		X		
Forbedre	X	X	X	X
Præsentere		X	X	X

Tabel 5.4: De naturfaglige kompetencer i relation til de syv engineering delprocesser. Et kryds angiver, at når eleverne arbejder (ideelt) i den givne delproces, udvikler de den angivne naturfaglige kompetence gennem engineering.

designprocessens syv delprocesser kan bidrage til elevernes læring inden for alle fire naturfaglige delkompetencer: undersøgelses-, modellerings-, perspektiverings- og kommunikationskompetence (se tabel 5.4).

For at vise, hvordan de naturfaglige kompetencer hos eleverne kan udvikles gennem engineering, er her beskrevet ét eksempel på et engineering-forløb, der er blevet anvendt som et fællesfagligt naturfagsforløb i udskolingen.

EKSEMPEL 1

Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen

Forløbet tager udgangspunkt i, at eleverne i en 8.-klasse skulle designe praktiske løsninger på forskellige STEM-faglige problemstillinger inden for problemfeltet bæredygtig fødevareproduktion i storbyen. Det fællesfaglige forløb indeholder STEM-faglige problemstillinger, som er relevante for alle tre naturfag. Eleverne skulle designe løsninger, der kunne muliggøre produktion af afgrøder i bymæssig bebyggelse, fx vertikale haver eller i vejrabatten.

Eleverne udførte undersøgelser omkring urbaniseringsgrad, fotosyntese og næringsioner. For at sikre, at eleverne udviklede naturfaglige kompetencer, og at undersøgelsesresultaterne blev brugt i det videre arbejde med udvikling af prototypen, blev grupperne stilladseret tæt i indsamlingen af data, herunder med fokus på systematik og variabelkontrol. Helt konkret bad læreren dem fx om at lave tabeller til dataopsamling, og stilladsering blev differentieret ift. elevernes niveau. Desuden sikrede læreren, at tabellerne efter undersøgelserne blev brugt aktivt i en fælles opsamling, hvor eleverne to og to forklarede og begrundede deres egen gruppes valg og udformning af tabellen.

Undervejs i delprocessen *Få ideer* samlede læreren også grupperne to og to og bad dem argumentere for deres ideer til prototypen ud fra data fra deres undersøgelser. Her fik eleverne en oplevelse af vigtigheden af deres undersøgelser og brugbarheden af data, ved at tænke det ind i en større kontekst.

For at understøtte udvikling af elevernes modelleringskompetence fik de undervejs i forløbet udleveret forskellige matematiske modeller over udvalgte afgrøders CO_2-aftryk – både lagkagediagrammer, grafer og et søjlediagram. Disse modeller skulle de bruge som grundlag for valg af afgrøde, og mindst en af modellerne skulle indgå i præsentationen af deres prototype.

Dermed satte læreren fokus på modellering og uddybede, at prototypen også er en model. Og i drøftelserne af prototyperne skulle hver gruppe derfor også betragte deres egen prototype som en model og sammenligne med andre modeller.

Koblingen mellem engineering-delprocesser og naturfaglige kompetencer

Som det fremgår af eksemplet med det fællesfaglige forløb, kan elevernes arbejde med de syv engineering designprocesser bidrage til læring og udvikling af naturfaglig kompetence. Det er lærerens ansvar at udvælge og planlægge aktiviteter, der undervejs understøtter elevernes designproces, og bidrager til elevernes udvikling af kompetencebaserede færdigheder. Erfaringer viser, at det fremmer kompetenceudviklingen hos eleverne, at læreren tydeligt stilladserer, hvilke færdigheder eleven forventes at træne og/eller udvikle. I læseplaner for naturfagene (2019) er det beskrevet, hvad eleverne forventes at kunne inden for de fire naturfaglige kompetenceområder på de forskellige trinforløb.

I det følgende tager vi udgangspunkt i eksemplet ovenfor og udfolder, hvordan naturfaglig kompetence kommer til udtryk i de forskellige engineering-delprocesser.

Forstå udfordringen

At *Forstå udfordringen* involverer både elevernes kommunikations- og perspektiveringskompetence. Disse to kompetencer bruger de til at "oversætte" udfordringen til "eget sprog" og forstå den kontekst, udfordringen indgår i, som en forudsætning for at kunne arbejde videre med at løse problemet med en prototype. For at kunne oversætte udfordringen kan der indledningsvis være behov for at lave nogle undersøgelser, som giver en dybere indsigt i udfordringen.

I eksemplet med "Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" kan en del af perspektiveringen være at forstå behovet for fødevareproduktion i storbyen. Undersøgelsesdelen kan fx omfatte at eleverne snakker med mennesker, der dyrker grøntsager i kolonihaver. Undersøgelsen kan også omfatte, at de udbygger deres praktiske forståelse af, hvordan bæredygtig fødevareproduktion i bymiljøer kan foregå.

Få ideer
At *Få ideer* ligger i forlængelse af behovet for at *Forstå udfordringen*. Her skal eleverne udvikle deres egne bud på at løse den udfordring, som de er blevet præsenteret for. Her vil de benytte sig af og træne de samme kompetencer, som når de "oversætter" udfordringen til eget sprog, nemlig undersøgelseskompetencen, perspektiveringskompetencen og kommunikationskompetencen.

I eksemplet med "Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" skal eleverne komme med ideer til produktion af afgrøder i bymæssig bebyggelse, vertikale haver og vejkanter. Undervejs laver de undersøgelser, som de efterfølgende præsenterer og får feedback på i peer-to-peer-sparring med en anden gruppe, som så kan bidrage til at kvalificere konkretiseringen af de forskellige bud på løsninger.

Undersøge
Delprocessen *Undersøge* lægger op til, at naturfaglige undersøgelser kan indgå i engineering-processen, men modellen anviser ikke tydeligt, hvordan eventuelle undersøgelser på forskellige klassetrin kan kobles til udfordringen og eventuelle krav, som løsningen skal leve op til. Det er op til læreren at planlægge, hvordan naturfaglige undersøgelser kan bidrage til gruppernes arbejde med engineering-processen, herunder i hvilken grad undersøgelserne skal være lærerstyrede eller elevcentrerede.

I eksemplet "bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" lavede elevgrupperne naturfaglige undersøgelser som en del af deres idegenereringsproces. De blev også præsenteret for modeller, som kunne bruges til at udbygge deres teoretiske forståelse for, hvordan de naturfaglige undersøgelser kunne bruges i det videre arbejde med at konstruere prototypen.

Konkretisere
Konkretisering er en konvergent proces, hvor eleverne går fra den abstrakte ide til den konkrete forestilling om, hvordan deres prototype skal konstrueres. Her trækker de på viden fra både *Forstå udfordringen*, deres naturfaglige undersøgelser og idegenereringen. De vil benytte sig af og træne både modelleringskompetencen og kommunikationskompetencen, fordi konkretiseringen bidrager til at udvikle den fælles forståelse af prototypens beskaffenhed og kvaliteter. Modelleringen som proces er en anden måde at visualisere konkretiseringsprocessen på.

I eksemplet "Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" bruger læreren modellering som en betegnelse for konkretiseringsprocessen. Elevgrupperne præsenterer og drøfter deres prototype med andre grupper og får derved værdifuldt input til at videreudvikle den.

Konstruere
Når eleverne *Konstruerer*, anvender og træner de fortrinsvis deres modelleringskompetence. Modelleringsprocessen benytter sig af både elevernes mentale forestilling af prototypens udformning, som opbygges gennem de forudgående arbejdsprocesser, og det konkrete arbejde med at bygge prototypen. Modelleringen kan opfattes som et samspil mellem elevernes indre forestillingsevne omkring prototypen og den konkrete realisering med de valgte materialer. En sammenlignende metafor kan være tømrerens brug af arbejdstegning og erfaringer om, hvordan huse bygges, til at bygge et nyt hus.

Forbedre
I delprocessen *Forbedring* anvender og træner eleverne alle fire naturfaglige kompetencer, fordi de både skal undersøge, om prototypen løser udfordringen, trække på erfaringerne fra de naturfaglige undersøgelser og perspektivere til udfordringens kontekst for at kunne forbedre prototypen.

Undervisningseksemplet "Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" indeholder mange muligheder for forbedringer af prototyper, afhængigt af hvilken slags løsningsforslag elevgrupperne arbejder med. Hvis det fx er afprøvning af vandingssystemer med genbrugsvand til urbane køkkenhaver, vil det kræve én slags forbedringsproces, som vil adskille sig fra forbedring af andre løsningstyper. Fælles for de forskellige løsningstyper vil være, at de trækker på alle fire naturfaglige kompetencer.

Præsentere
Når eleverne *Præsenterer* deres løsningsforslag, trækker de både på deres modellerings-, perspektiverings- og kommunikationskompetence. De tager udgangspunkt i den oprindelige udfordring, ved at forklare deres modelleringsproces, hvori prototypen blev udviklet, og inddrager den viden, som de har lært i tilknytning hertil.

Undervisningseksemplet "bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" kan have mange forskellige bud på løsninger. Fælles for dem alle vil være, at elevgrupperne skal demonstrere prototypens virkemåde, og hvordan den løser den givne udfordring, samt hvilke begrænsende faktorer de har oplevet undervejs i konstruktionsprocessen.

5.2.2 Engineering og matematiske kompetencer

Fælles Mål i matematik lægger op til mange sammenhænge imellem engineering og de matematiske kompetencer. Hvilke matematiske kompetencer der kommer i spil i et konkret engineering-forløb, afhænger af det valgte forløb. Som matematiklærer vil man ofte selv udvikle på forløbet for at få flere matematiske kompetencer i spil.
Før vi går mere i dybden med, hvordan matematiske kompetencer kan trænes i engineering, giver vi to eksempler på matematik i engineering-udfordringer.

EKSEMPEL 1

"Matematik og en katapult til kejser Augustus"

En 5.-klasse skal arbejde med matematik og engineering ud fra en narrativ fra Romerriget. De skal udvikle en katapult til kejser August.
Klassens matematiklærer gennemfører forløbet alene hen over tre uger.
Narrativ og udfordring lyder således:

> *Kejser Augustus (63 f.Kr. – 14 e.Kr.) ønsker at udvide sit territorium. Dette vil han gøre mod nord, men han møder kraftig modstand og stærkt befæstede byer med store fæstningsværker. Han har brug for et stærkt våben mod de befæstede byer, og derfor skal I hjælpe ham med at bygge nye katapulter.*
> *Udfordring: I skal bygge en katapult, der kan skyde over fæstningsværket og ramme husene i byen. Katapulten skal kunne:*
>
> - *skyde med en centicube*
> - *skyde over en 30 cm høj mur, som er placeret 20 cm fra katapulten*
> - *affyres ved hjælp af maks. 2 fingre.*

Som indledning til forløbet ser eleverne videoer af forskellige typer katapulter. Når begejstringen over katapulternes skydeevne har lagt sig, fokuseres på den affyrede kugles bane. Eleverne skal beskrive kuglens forløb, og for at understøtte kommunikationskompetencen giver læreren dem matematiske begreber som fx affyringsvinkel, kuglebane og maksimal højde og opfordrer ligeledes eleverne til at lave skitser, mens de diskuterer.
Dette fører til mange interessante diskussioner. Flere grupper ender med at filme små kast for at se, hvordan kuglens bane er, og de når alle frem til den erkendelse, at kuglen bevæger sig symmetrisk omkring toppunktet.
Her er kompetencen ræsonnement og tankegang i spil, da eleverne selv indser, at matematikken kan hjælpe dem til at løse opgaven.
I delprocessen konstruktion arbejder eleverne ud fra deres nye viden om kuglens bane. Alle grupperne har skitser, der viser, at kuglens bane skal have toppunkt over byens fæstningsværk, og udfordringen for mange er at finde den rette affyringsvinkel, så husene bag fæstningsværket rammes. Dette giver mange iterationer, og alle grupper må flere gange genbesøge deres skitser, ideprocessen og udføre nye undersøgelser. Dermed forbedrer eleverne både deres undersøgelser, deres ideproces og deres konstruktion.
Afslutningsvis præsenterer alle grupper deres prototype, og det er tydeligt, at det fælles matematiske sprog, som eleverne kan bruge om katapultens egenskaber, giver faglige diskussioner undervejs. Klassen er særligt optaget af, hvilken forskel affyringsvinklen giver ift. kuglens landing. De ved nu, at affyringsvinkel = landingsvinkel, men de overvejer, hvad der giver størst effekt, når kuglen lander – om den lander så lodret som muligt eller så vandret som muligt.

EKSEMPEL 2

"Matematik i lodrette haver"

Eleverne i en 7.-klasse arbejder i 4 uger med det fællesfaglige engineering-forløb "lodrette haver". Udfordringen lyder således:

I skal udvikle en lodret have, som passer til jeres klasseværelse eller til væggen ved kantinen. Følgende gælder for de lodrette haver:

- *Skal kunne hænge lodret på en måde, så planterne (karse) får optimale lysbetingelser.*
- *Skal indeholde en form for vandingssystem, så der ikke skal vandes i kortere ferier og weekender, men samtidig må planterne ikke blive overvandet (drukne).*
- *Eventuelt overskudsvand må ikke løbe ud på gulvet/jorden, men skal opsamles eller sendes retur.*
- *Gødning skal udnyttes optimalt i jeres lodrette have og må ikke ledes ud fra haverne.*
- *Dyrkningsmaterialet (jorden) skal sammensættes optimalt i forhold til planternes optagelse af vand og gødning.*

Klassens matematik- og biologilærer gennemfører forløbet sammen. I dette eksempel fremhæves, hvordan forskellige kompetenceområder fra matematik bliver bragt i spil.
I forløbet er der fokus på materialeforbrug, så da eleverne skal skitsere vandbeholderen til vandingssystemet, får de som benspænd, at de skal bruge så lidt materiale som muligt. Dvs. at overfladen på beholderen skal være mindst muligt ift. rumfang.
Her skal eleverne bruge geometrien til at beregne overflade og rumfang og finde bedst mulige forhold. Det sætter gang i matematiske diskussioner i grupperne, som eleverne understøtter med skitser og beregninger. Herved trænes både kommunikations-, ræsonnements- og modelleringskompetencerne.
Også forbruget af plantefrø skal beregnes. Eleverne bliver guidet til at tænke vægt frem for antal, og ved at bruge estimeringer og systematik undersøger de, hvor mange gram frø der skal til at dække 10 x 10 cm. Derefter beregner de den samlede mængde ud fra deres prototypes beplantningsareal. Her bringes elevernes problembehandlingsstrategier i spil.
Når eleverne når delprocessen konkretisering, skal de være helt konkrete og præcise omkring deres udformning af deres lodrette haver. Derfor skal de ud fra et egnet målestoksforhold tegne en målfast tegning af deres kommende prototype, og de træner derved kompetenceområdet matematiske repræsentationsformer.
Dette forløb har et særligt krav til præsentationen. Klassen skal deltage i Folkemødet på Bornholm og dér præsentere deres lodrette have. Dette gør, at eleverne er meget bevidste om at formidle deres nye viden i deres præsentationer. Grupperne bliver derfor enige om at medbringe skitser for dermed at tydeliggøre prototypernes opbygning og funktionaliteter, ligesom det er en støtte i præsentationen at inddrage et så centralt arbejdsdokument fra processen.

Koblingen mellem engineering-delprocesser og matematiske kompetencer

Vi fremsætter her den påstand, at når man arbejder med engineering i matematik, så træner man også matematiske kompetencer. Denne påstand underbygger vi med tabel 5.5, som kobler de syv engineering delprocesser med de matematiske kompetencer fra Fælles Mål. Et kryds angiver, at når eleverne arbejder (ideelt) i den givne engineering designproces, udvikler de den angivne matematiske kompetence gennem engineering.

Engineering-delprocesser	Matematiske delkompetencer					
	Problem-behandling	Modellering	Ræsonnement og tankegang	Repræsentation og symbol-behandling	Kommunikation	Hjælpemidler
Forstå udfordringen	X	X	X		X	
Få ideer		X	X		X	
Undersøge	X	X	X	X		X
Konkretisere		X		X		
Konstruere		X	X			
Forbedre		X				
Præsentere		X		X	X	

Tabel 5.5: De matematiske delkompetencer i de syv engineering-delprocesser. Et kryds angiver, at de matematiske delkompetencer trænes i den pågældende delproces.
Oversigten er udarbejdet af lektor Lars Henrik Jørgensen, Læreruddannelsen i Haderslev, UC Syd.

Nedenfor udfolder vi gennem de to tidligere beskrevne matematikeksempler, hvordan matematiske kompetencer kommer til udtryk i de forskellige engineering-delprocesser.

Forstå udfordringen
At forstå en problemstilling er et element i alle former for problemløsning – herunder virkelige problemer, som naturligt optræder i matematisk modellering og matematisk problemløsning. Desuden kan der i denne delproces være behov for at udtrykke udfordringen i et sprog, der indeholder matematiske formuleringer.

Eksempel 1, "Matematik og en katapult til kejser Augustus", illustrerer, hvordan kommunikationskompetencen kommer i spil. Også tankegangskompetencen kommer i spil, når eleverne skal vurdere, om og hvordan matematik kan bidrage til en løsning på problemet. Eleverne skal gennemtænke, hvad de forskellige krav til katapulten betyder, og hvordan de skal inddrage matematik for at opfylde kravene til, hvor langt kuglen skal kunne nå, blandt andet ved at forstå, hvilken bane centicuben følger.

Få ideer
Kommunikation er en væsentlig del af idegenereringen. Afhængigt af problemet kan matematiske formuleringer komme på tale. Ræsonnementskompetencen kan indgå i form af begrundet argumentation for at overbevise sig selv og andre om ideernes holdbarhed. Modelleringskompetencen kan komme i spil gennem skitser og matematisering af ideernes indhold.

Eksempel 2, "Matematik i lodrette haver", illustrerer, hvordan eleverne skal lave visuelle modeller i form af skitser. Disse skitser bruger de, når de over for gruppen skal forklare og begrunde deres ideer om, hvordan vandbeholderens udformning skal være. Heri indgår det, at en cylinderform kan give en mindre overflade i forhold til volumen end en firkantet form.

Undersøge
Problembehandlingsstrategier indgår, når eleverne opdeler problemet i elementer, der kan undersøges hver for sig. Undersøgelser involverer ofte matematiske modeller, fx i form af formel- og funktionsmodeller, ligninger, statistiske modeller, som repræsenteres gennem tabeller, grafer, dia-

grammer eller lignende. Matematiske hjælpemidler som programmet GeoGebra kan med fordel inddrages, og matematiske hjælpemidler til talbehandling som regneark eller CAS-programmer kan komme på tale.

I eksempel 2, "Matematik i lodrette haver" brugte eleverne deres viden fra matematiktimerne til at lave systematiske optællinger, som de skrev ind i et regneark. Senere i forløbet undersøgte og beregnede eleverne, hvor mange gram karsefrø de skulle bruge i deres have.

Konkretisere
I denne delproces kan der fx indgå forskellige matematiske repræsentationsformer i form af geometriske tegninger, andre arbejdstegninger eller beregningsmodeller. Desuden kan der arbejdes med målestoksforhold. Igen kan GeoGebra med fordel inddrages.

I eksempel 2, "Matematik i lodrette haver" arbejdede eleverne med målestoksforhold, da de ikke kunne lave de lodrette haver i fuld størrelse.

Konstruere
Konstruktion af en prototype involverer ofte matematiske ræsonnementer og argumenter, fx vedrørende beregninger, målinger, geometriske former, som kan henføres til matematisk modellering. Argumenter, der bygger på disse elementer, fx placering af prototypens forskellige dele, behandles geometrisk og beregningsmæssigt.

I eksempel 1, "Matematik og en katapult til kejser Augustus", er det vigtigt, at eleverne med matematiske ræsonnementer og overvejelser argumenterer for, hvordan de forskellige dele bliver sat sammen, så centicuben bliver sendt af sted i den rigtige vinkel.

Forbedre
Delprocessen Forbedre kan direkte overføres til modelleringsprocessen idet denne delproces ofte omfatter flere gennemløb af modelleringscirklen (se kapitel 6), hvor modellen forbedres og forfines, fx ved at tilføje flere elementer eller variable. Alt efter problemets karakter kan andre matematiske kompetencer også indgå i delprocesserne Få ideer, Konkretisere og Konstruere.

I eksempel 1, "Matematik og en katapult til kejser Augustus", skal eleverne tilpasse og ændre deres konstruktion af katapulten, indtil den virker tilfredsstillende.

Præsentere
I præsentationen indgår valg af kommunikationsform og -niveau, valg af repræsentationer med videre, som kan relatere direkte eller indirekte til kommunikations- og repræsentationskompetencen.

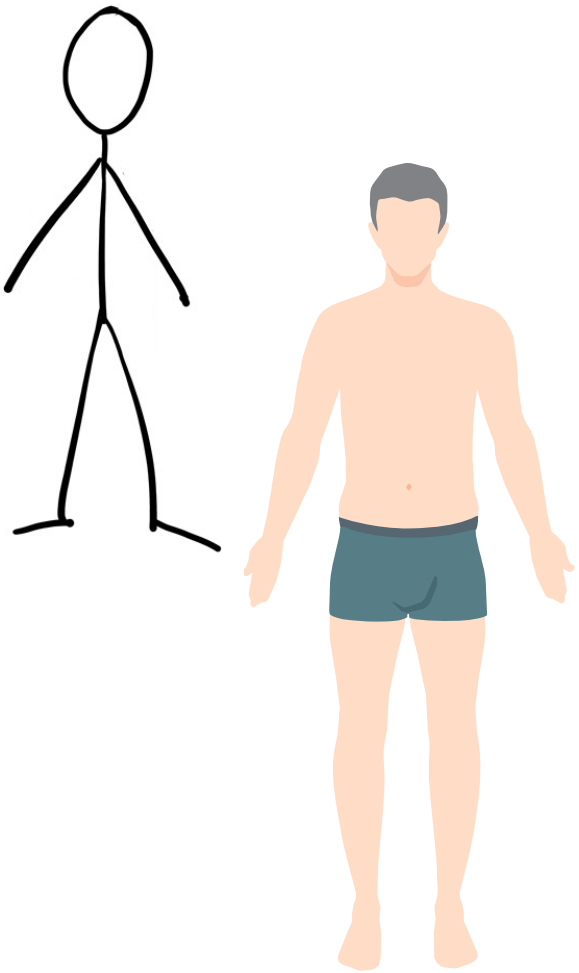
Kapitel 6. Modellering i engineering

I dette kapitel belyser vi hvordan engineering har modelbegrebet og modellering som central proces, ligesom det er i naturfag og matematik.

Engineering i skolen

6. Modellering i engineering

Når man arbejder med engineering eller andre design-processer, spiller modeller og modellering en central rolle. Når der skal udvikles nyt, starter det oftest som en ide. For at blive til noget konkret skal denne ide udvikles i en modelleringsproces, som fx begynder med visualisering gennem skitser og tegninger, som vi her vil omtale som modeller. I dette kapitel skulle det gerne blive klart, hvorfor det er vigtigt for læreren at holde fast i, at kodeordet er "model", og hvorfor elevernes tegninger bør betragtes som modeller.



Figur 6.1: En model er en forenklet repræsentation af en ide, en proces eller en genstand. En tegning af en tændstikmand kan være en model af en mand eller en dreng.

Når man arbejder med engineering i skolen, er det derfor nødvendigt at fortolke begrebet "en model" og "modellering" meget bredt. Fx er en tegning af en tændstikmand en model. Den viser, hvordan genstanden har to arme, en krop, et hoved osv., og hvordan delene er anbragt i forhold til hinanden. Og hvis elever bruger en simulering til at modellere et elektrisk kredsløb, kan de få en forståelse for sammenhængen mellem elektronernes vandring og energiomsætning i fx en lampe.

Selv om modeller og modellering stort set er det samme i engineering og i naturfag, vil der være forskel på, hvordan de anvendes som en del af undervisningen.

Modeller har en central rolle i engineeringundervisning, da modellering understøtter de faser, hvor eleverne udvikler og deler ideer. Det mest almindelige vil være, at de modeller, eleverne bruger, er simple skitser eller billeder. Når gruppen har opnået tilstrækkelig afklaring, bliver de enige om, hvilken ide de vil gå videre med.

I engineering er modeller altså konkrete redskaber, som bruges i en proces, der skal sikre, at alle i gruppen har (nogenlunde) ens forestillinger om, hvad de forskellige ideer går ud på. Modeller er dermed et redskab til, at alle i gruppen har nogenlunde samme opfattelse af, hvilken prototype de vælger, når de vælger en enkelt ide ud: Hvordan prototypen skal se ud, hvordan den skal fungere, og hvad den skal kunne.

Modeller af enhver art, som gruppen frembringer i delprocesserne, er artefakter, der understøtter den interne kommunikation. Uden modeller kan gruppens medlemmer ikke kommunikere konkret om ideer, forslag og løsninger. Engineering-processen indeholder blandt andet en konkretiseringsproces, hvor den faglige dialog i gruppen kan modereres gennem modellering. Derved omsættes ideen til konkrete forslag og løsninger på udfordringen. Dette er med til at gøre modelbegrebet centralt i engineering-processen, netop fordi det mål, man arbejder hen imod, er konkret og bedst diskuteres med udgangspunkt i noget konkret.

6.1 Flere slags modeller

I afsnit 6.2 beskriver vi gennem et eksempel, hvordan modeller fungerer i engineering. Eksemplet bygger på en teori om, at læring foregår, ved at den lærende udbygger, forfiner og stabiliserer sine mentale modeller. Teorien kaldes the Model Based View of Science.

I eksemplet i afsnit 6.2 skelnes mellem forskellige typer af modeller. Det er ikke tanken, at eleverne skal lære navnene på de forskellige modeller, eller at de nødvendigvis får noget ud af at lære at skelne mellem dem. Tanken med eksemplet er, at det kan være en hjælp for læreren at have øje for de ret forskellige funktioner, som modellerne har, og at der er et kontinuum af modeller, som rækker fra elevernes egne simple engineering-modeller til raffinerede naturfaglige modeller.
Undervejs refereres til delprocesserne i Engineering designprocessen som er beskrevet i kapitel 4.

6.2 Modeller og modellering i naturfag – en vindmølle

Hvis en gruppe har fået en udfordring, der går ud på at fremstille elektricitet på et sted, hvor det blæser meget, kommer ideen om en vindmølle hurtigt på bordet. Det mest sandsynlige vil være, at hver elev derefter fremkalder en (vag og upræcis) indre forestilling om, hvilken slags vindmølle de eventuelt kan bygge.

De indre forestillinger, som en elev danner om de møller, der nu bliver talt om i gruppen, er elevens meget ufærdige tankemodel af en mulig vindmølle. Før eleverne begynder at tegne eller demonstrere med små tredimensionelle modeller, tager de udgangspunkt i denne tankemodel, når de forklarer, hvad deres ide går ud på. Under diskussionen i gruppen udbygger og justerer hver elev sin tankemodel ved at lytte til de andre og stille spørgsmål. Da tankemodeller er individuelle og skjulte, skal modellerne gøres synlige og fælles, for at gruppen kan komme videre.

På et tidspunkt vil en elevs tankemodel være så afklaret og robust, at den kan udtrykkes mere konkret gennem en skitse, et billede eller en lille fysisk model. Eleven laver sin egen personlige modelleringsproces. Hvordan eleven end vælger at illustrere sin ide over for resten af gruppen, så er der tale en konkretisering af tankemodellen. Eleven har lavet en *udtrykt model* (se figur 6.2).

Både i Få *ideer, Undersøge, Konkretisere* og *Konstruere* bruger eleverne udtrykte modeller, når de skal tale sammen og forklare hinanden, hvad de mener. Ved at udtrykke sig sprogligt deler de deres model med de andre elever. Og ved at lytte til gruppens medlemmer og studere de udtrykte modeller arbejder eleverne hver især med at justere deres egen tankemodel i retning af det, de andre mener. I løbet af samtalen i gruppen udvikler elevernes forskellige tankemodeller sig (forhåbentlig) i samme retning – hen imod det, der kan blive ideen til prototypen. Derfor har modelleringsprocessen og modeller en afgørende og absolut central rolle i engineering, ligesom modellering og modeller generelt har i designprocesser.

Figur 6.2: En elevs udtrykte model af en vindmølle. Inden modellen (skitsen) evt. kan blive en arbejdstegning, fungerer den som et redskab til at skabe fælles forestillinger om denne vindmølleide i gruppen.

Figur 6.3: En afledt model af en vindmøllevinge. Måske har gruppen besluttet at forsøge at optimere deres vindmølle ved at give vingerne en egentlig profil, men de er løbet ind i konstruktionsproblemer. Derfor har de lavet denne model.

Når gruppen er i gang med delprocesserne *Konstruere* eller *Forbedre* og altså har en færdig eller næsten færdig prototype, kan modeller få en ny rolle. I denne del af arbejdet vil tegninger, diagrammer og fysiske modeller mere være et redskab, der bruges til fælles analyse i forbindelse med delprocessen Forbedre. En model kan sætte fokus på særlige design- eller optimeringsproblemer, som udspringer af den prototype, gruppen arbejder med. En sådan model kan man kalde en *afledt model*, fordi den er afledt af den konkrete prototype (se figur 6.3).

I de indledende delprocesser er modeller altså redskaber til, at eleverne gennem samtale og skitsering justerer deres tankemodeller og opnår afklaring i gruppen. Modellerne afbilder noget, der ikke eksisterer endnu – andet end som modeller.

Efterhånden som arbejdet og diskussionen skrider frem, bliver modellen en repræsentation af prototypen. Elevernes tegninger, deres modeller og deres kommunikation om dem er centrale for at give samarbejdet fokus. Men hvis eleverne går videre fra *Få ideer* uden at have "delt" den samme model og hver især har skabt tankemodeller, som afviger væsentligt fra hinanden, får de en ufokuseret proces. De vil nemlig ikke have et fælles billede af, hvad de vil arbejde hen imod. Dette punkt i engineering designprocessen er derfor helt afgørende.

I forbindelse med konstruktionen af deres prototype kan eleverne få brug for at forstå den bedre: Hvorfor opfører prototypen sig, som den gør, og hvad skal der til for at gøre den bedre? Her får eleverne typisk brug for naturfaglige modeller og måske at lave matematisk modellering, der repræsenterer træk ved prototypen, som eleverne mener er væsentlige at fremhæve eller undersøge. De kan også bruge naturfaglige eller matematiske modeller, når de skal forklare for andre, hvordan prototypen eller løsningen virker.

Figur 6.4: Naturfaglig model af en vindmølle. Modellen er ikke lavet for at udvikle prototypen, men for at kunne illustrere, hvordan den virker: Hvorfor får luften vingerne til at dreje rundt?

Det kan være vanskeligt for elever selv at lave naturfaglige og matematiske modeller. Selv om sådanne modeller kan se simple ud, rummer de ofte summen af mange videnskabsfolks arbejde gennem mange år. Tag fx illustrationen i figur 6.4 af, hvordan vinden strømmer omkring en vindmøllevinge med den velkendte vingeprofil. Det tog flere generationer af ingeniører og videnskabsfolk at nå frem til denne forståelse af løft og sug omkring en vinge med buet overflade, og der var mange misforståelser og forkerte forklaringer undervejs. Det tog fx Wright-brødrene 3-4 år at udvikle den rette vingeprofil til deres første flyver, som fløj i 1903.

Den forståelse er ikke noget, eleverne lige selv finder på. Derfor kan de være nødt til at gå tilbage til delprocessen *Undersøge* og i bøger eller på nettet finde forklaringer og modeller, der kan belyse og forklare visse træk ved deres prototype ved hjælp af naturfaglig viden. Eleverne kan også hjælpes på vej gennem lærerens stilladsering af deres arbejde.

En særlig form for modellering er animationer og simulationer, der kan bruges til at vise dynamiske aspekter af en prototypes virkemåde eller bruges til at forklare, hvordan prototypen virker.

6.3 Matematisk modellering og engineering

I det følgende beskriver vi, hvordan matematik efter vores opfattelse kan komme i anvendelse i forbindelse med engineering. Hovedpointen er, at når matematik anvendes for at løse et konkret problem, er der tale om matematisk modellering. Modellering er nøglen til at bringe matematik i brug som et redskab ved problemanalyse, problembeskrivelse og problemløsning. Med andre ord kan alle matematiske kompetencer trænes i engineering-aktiviteter ved at tage udgangspunkt i matematisk modellering af en engineering-udfordring. Det vil vi i dette afsnit forsøge at overbevise læseren om.

I engineering beskæftiger eleverne sig altid med at finde en konkret løsning – noget, man kan røre ved eller gøre noget med. Men tilsyneladende gælder det modsatte for matematik: De matematiske symboler og tilknyttede regneoperationer, som matematik beskæftiger sig med, findes ikke i virkelighedens naturskabte verden, kun i matematikkens formelle og abstrakte univers.

Hvad siger faghæftet om matematisk modellering?
Faghæftet for matematik forholder sig kort og klart til dette forhold mellem det matematisk abstrakte og det fysisk reelle ved at pege på modelleringens rolle i forbindelse med matematik:

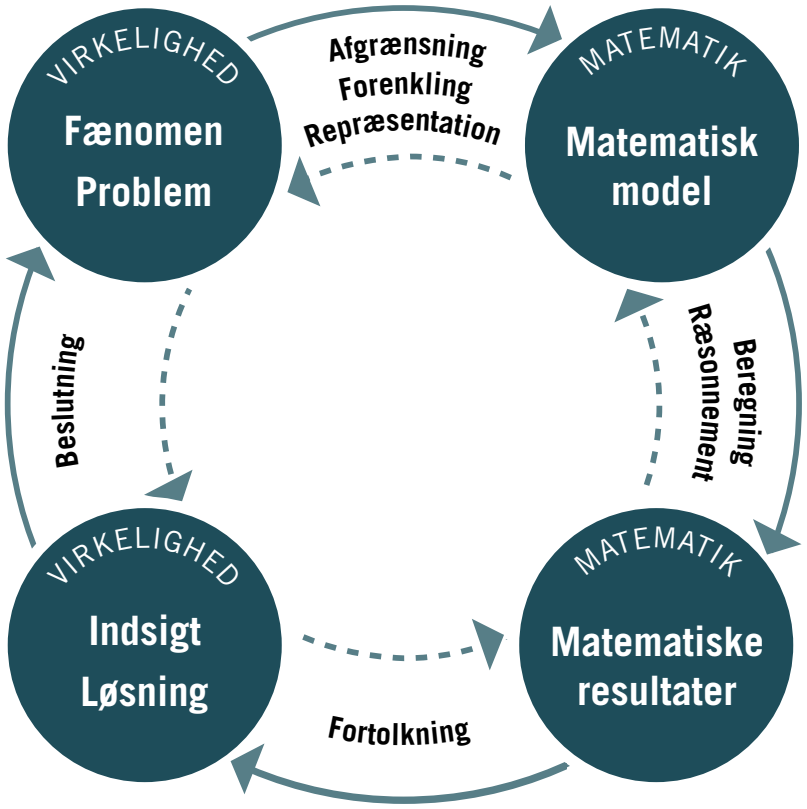
> *Modellering vedrører processer, hvor matematik anvendes til behandling af situationer og problemer fra omverdenen, og det vedrører analyse og vurdering af matematiske modeller, som beskriver forhold i omverdenen. (Matematik Læseplan, 2019 s. 13[1]).*

Det vil sige, at hver gang matematikundervisningen handler om andet end matematik selv, er der tale om modellering.

Faghæftets klare skelnen mellem matematik og matematisk modellering er ikke uden problemer, især fordi der i undervisning i matematik ikke er nogen stærk tradition for denne skelnen.
Derfor er det nødvendigt at overveje lidt mere formelt, hvad der sker, når man modellerer.

Illustration af den matematiske modelleringsproces
Den matematiske modelleringsproces kan illustreres ved et diagram som i figur 6.5. Det centrale består i at komme fra et fænomen i virkeligheden til beskrivelsen af fænomenet gennem de matematiske repræsentationer, der samlet udgør modellen, og derefter tilbage igen. Når man har omsat virkeligheden til en matematisk model, kan den matematiske behandling af problemet efterfølgende foregå inden for matematikkens egne rammer med de dertil hørende symboler, regler og stringens.

[1] https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/GSK_Læseplan_Matematik.pdf



Figur 6.5: Matematisk modellering er en proces som på figuren her er illustreret gennem en række faser. Faserne er indbyrdes afhængige og de fuldt optrukne pile angiver den fremadrettede sammenhæng. De stiplede pile angiver, at det undervejs i processen kan være nødvendigt at vende tilbage til en tidligere fase fx hvis resultatet af en matematisk beregning ikke er brugbar til løsningen. Model venligst stillet til rådighed af Systime.

Modellering inkluderer – ud over selve modelleringskompetencen – typisk andre matematiske kompetencer. Afgrænsning af problemet og oversættelsen fra virkelighed til matematik omfatter kommunikations-, repræsentations- og symbolbehandlingskompetencer. Den matematiske løsning af problemet involverer problembehandlingskompetence og fx ræsonnements- og hjælpemiddelkompetence, mens oversættelsen tilbage til virkeligheden, modelkritik samt præsentation af løsningen bl.a. involverer kommunikations- og repræsentationskompetence.

6.4 Engineering-modeller og den naturfaglige og matematiske modelleringskompetence

Der er ingen modsætning mellem, hvordan modeller italesættes og bruges i engineering, og i naturfags- og matematikundervisningen. Derfor kan det være et ideal, at eleverne oplever en slags glidende overgang fra den ene type af modeller til den anden: fra modeller, de selv fremstiller som en del af den designproces, de skal gennemføre, til forklarende modeller, der fremhæver et eller flere træk ved deres løsning.

Som eksempel viser aerodynamikkens historie – som antydet ovenfor – at det var meget vanskeligt at nå frem til, at tegne den usynlige luft som streger, når man vil vise, hvor der skabes tryk og undertryk (Se computerskærmen på figur 6.4). Umiddelbart kunne man vel også synes, at stregerne er en vanvittig ide, som kun kan føre til misforståelser. Men det er en ide, som vi har vænnet os til at se i mange fysikbøger, så måske synes vi ikke mere, at stregerne er kontraintuitive. Men det ér en ret vild model af luftstrømninger, og det kræver komplicerede matematiske modeller at kunne beregne luftstrømninger omkring en vindmøllevinge.

Man kan håbe på, at en gruppe elever, der selv har været gennem udfordringer med at *Præsentere* deres ideer gennem brug af modeller, vil have større forståelse for, hvorfor det på den ene side er skørt at tegne luft som tykke streger, men på den anden side er enormt smart. At eleverne gennem deres eget arbejde med modeller får en bedre forståelse af, at modellers egentlige styrke er, at de kan udformes temmelig frit. At man har frihed til at forme en model, så den udtrykker det, man i en given sammenhæng har brug for at demonstrere eller forklare.

Kapitel 7: Den gode engineering-udfordring

I dette kapitel beskrives, hvad der kendetegner en god engineering-udfordring inden for et STEM-fagligt problemfelt, og hvilken betydning autenticitet har for elevernes motivation og læring i deres arbejde med en engineering-udfordring.

Engineering
i skolen

7. Den gode engineering-udfordring

I dette kapitel beskriver vi, hvad der kendetegner en god engineering-udfordring i et STEM-fagligt problemfelt, og den store betydning, som rammesætningen har for et vellykket engineering-forløb.

Erfaringer har tydeliggjort, at elevernes ejerskab og deres engagement i engineering-udfordringen er helt afgørende for deres engineering-forløb. For at man kan tilgodese elevers forskellighed i læringsstile og interesser, er et fagligt problemfelt med velvalgte frihedsgrader centralt, da eleven derved kan arbejde med flere faglige perspektiver, som på forskellig vis belyser problemet.

Problemfeltet omtales ofte som en *narrativ*, og fortællingen bør være rammesættende for elevens nysgerrighed og forståelse af problemet, der skal løses. Optimalt skal et godt problemfelt derfor indeholde flere engineering-udfordringer, med faglige perspektiver, der bidrager til, at alle elevtyper oplever ejerskab og beskæftiger sig med en for dem meningsfuld engineering-udfordring. Endelig er et velvalgt STEM-fagligt problemfelt også vigtigt, da det angiver et afgrænset fagligt område, som har relevans for elevernes problemløsning inden for rammerne af Fælles Mål.

Netop den problembaserede tilgang som kendetegn for en tværfaglig undervisning kommer også til udtryk i beskrivelsen af den fællesfaglige undervisning i læseplanerne for naturfagene:

Problembaseret betyder her, at undervisningsforløbet har udspring i en autentisk situation, der kalder på elevernes forundring og naturfaglige undersøgelser. Det kan både være situationer fra elevernes nære omverden og fra andre steder, tider eller kulturer. Det er vigtigt at understrege, at undervisningsforløbet ikke behøver tage udgangspunkt i det, der klassisk forstås ved et problem, fx klimaproblemer eller fødevaremangel; der kan i lige så høj grad være tale om en forundring eller en udfordring, fx hvordan dyrene holder varmen om vinteren, eller hvordan en generator bliver så effektiv som muligt. (Fysik/kemi Læseplan 2019, s. 17)[1]

Den gode engineering-udfordring skal motivere eleverne, så den kan løfte kvaliteten af deres arbejde i de efterfølgende engineering-delprocesser. Et afgrænset autentisk problemfelt er med til at tilpasse den faglige kompleksitet og omfanget til den specifikke elevgruppe, så problemet opleves som meningsfuldt for eleverne og samtidigt relevant i forhold til Fælles Mål. Det sidste er væsentligt for, at elevernes arbejde med at løse udfordringen bidrager til at opfylde faglige mål i fag og på tværs af fagene.

I dette kapitel udfolder vi den gode engineering-udfordring i en tværfaglig kontekst med udgangspunkt i problemfelter fra en STEM-faglig undervisning. De samme didaktiske overvejelser kan også anvendes til at beskrive gode engineering-udfordringer i et monofagligt perspektiv.

7.1 STEM-faglig undervisning er autentisk og problembaseret

I uddannelsessektoren opfatter man almindeligvis STEM-undervisning som et didaktisk koncept, der bl.a. er kendetegnet ved tværfaglige elementer. STEM-begrebet anvendes derfor, når to eller flere STEM-fag eller fagområder arbejder sammen, fx et samarbejde mellem matematik og biologi eller et engineering-forløb, der inddrager fysik/kemi og teknologi. Et andet udbredt kendetegn ved STEM-undervisning er, at eleverne skal arbejde med autentiske problemstillinger, hvorfor løsningerne ofte kræver viden og praksis fra mere end ét fagområde.

7.1.1 Autenticitet

Inden for udvikling af naturfagsdidaktik har autenticitet fyldt mere og mere gennem de seneste 30 år. Et af hovedargumenterne for at introducere engineering i skolen var at øge elevernes motivation og engagement gennem arbejdet med autentiske engineering-udfordringer. I en dansk kontekst henvises ofte til tre former for autenticitet, formuleret af Jens Dolin i 2003: *personlig, faglig og samfundsmæssig autenticitet.*

[1] https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/Gsk_l%C3%A6seplan_fysikkemi.pdf

Personlig autenticitet. Eleven kan opnå et personligt engagement ved at arbejde med åbne spørgsmål drevet af elevens nysgerrighed og medbestemmelse i undervisningen. Det betyder konkret, at en engineering-udfordring for at være god skal opleves som meningsfuld for eleverne. En god udfordring kan derfor være inden for et problemfelt som relaterer sig til situationer tæt på elevens eget hverdagsliv (fx en holder til en mobiltelefon, der kan aflaste armen). En god udfordring kan også opleves som personlig autentisk selvom problemfeltet er længere væk fra elevens hverdag. Ofte vil udfordringen opleves som meningsfuld, hvis eleven forstår argumentet bag (det kunne fx være nødvendigheden af at designe bæredygtige teknologier til transport, for at begrænse udledningen af CO_2 til atmosfæren).

Faglig autenticitet. Gode autentiske engineering-udfordringer kan også være kendetegnet ved, at de relaterer sig til et problemfelt på en fagligt realistisk måde. Problemfeltet bliver autentisk ved at bidrage med konkrete faglige udfordringer eller mindre komplekse dele af dem, som også forskere og ingeniører til daglig arbejder på at løse. Det kunne være udfordringer med at lagre energi eller udvikle CO_2-neutrale transportmidler.

Samfundsmæssig autenticitet. Endelig kan et problemfelt bestemmes ud fra sin samfundsmæssige relevans. På engelsk omtales denne slags problemstillinger nogle gange som *Socio Scientific Issues*. På dansk kan det oversættes til samfundsfaglige problemstillinger med et naturvidenskabeligt og teknologisk indhold. Med denne form vil gode engineering-udfordringer blive oplevet som autentisk af eleverne, hvis de lever op til to krav: For det første indeholder problemfeltet og dermed udfordringen naturvidenskabeligt og teknologisk indhold, som eleverne kan undersøge alderssvarende. For det andet indeholder problemfeltet, som relaterer sig til udfordringen også økonomiske, etiske eller politiske dilemmaer, som kræver, at eleverne aktivt tager stilling, da deres valg/fravalg vil være af afgørende betydning for deres design af en løsning.

Når man afgrænser et problemfelt i planlægningen af et engineering-forløb, skal man ikke nødvendigvis kunne genfinde alle tre former for autenticitet i problemfeltet samtidigt, men det autentiske kan positivt bidrage til, at flere elever fra start får ejerskab til en engineering-udfordring.

Socio Science Issues kan oversættes til samfundsfaglige problemfelter med et naturvidenskabeligt og teknologisk indhold. I en engineering-kontekst kan sådanne problemfeltet have følgende kendetegn:

- Problemfeltet indeholder en eller flere udfordringer, som er et reelt problem i eller for samfundet.
- Problemfeltet indeholder udfordringer, som kan løses praktisk, og som elever kan relatere til værdier, de kender.
- Problemfeltet er dilemmafyldt, idet der kan være forskellige holdninger til, hvordan vi som samfund skal håndtere udfordringerne.
- Problemfeltet er åbent, og engineering kan være en af flere tilgange, som udfordringen kan håndteres med.
- Problemfeltet indeholder udfordringer, som kan løses alene med naturvidenskabeligt og/eller teknologisk indhold fra et eller flere fag.

7.1.2 Engineering med afsæt i samfundsfaglige problemfelter

Som beskrevet kan gode engineering-udfordringer tage afsæt i et samfundsfagligt problemfelt, der kan løses med indhold fra ofte flere af STEM-fagene i grundskolen. Pointen er, at elevernes oplevelse af autenticitet kan fastholdes, hvis de undervejs i designprocessen også skal tage højde for relevante samfundsfaglige problemstillinger. En god engineering-udfordring kræver altså et afgrænset STEM-fagligt problemfelt, som også indeholder reelle etiske, økonomiske eller politiske dilemmaer, der kan udfordre elevernes design af en teknologisk løsning. Samtidig er denne tilgang også en oplagt mulighed for et øget tværfagligt samarbejde med fag, der ikke hører til STEM-fagene.

Samfundsfaglige problemfelter	Eksempler på relevante STEM-fag
Dyrevelfærd hos kæledyr (1.-3. klasse)	Natur/teknologi, matematik
Bæredygtige teknologier til transport (7.-9. klasse)	Fysik/kemi, geografi, matematik
Affaldssortering og genbrug (4.-6. klasse)	Natur/teknologi, matematik, håndværk og design
Ren drikkevandsforsyning (7.-9. klasse)	Fysik/kemi, biologi, geografi, matematik

Tabel 7.1: Eksempler på relevante tværfaglige sammenhænge mellem samfundsfaglige problemfelter og STEM-fag i grundskolen.

Ved engineering bør et autentisk problemfelts faglige genstandsområde altid være afstemt ift. elevgruppen og være tilpasset deres niveau ift. faglig kompleksitet og omfang. Det betyder, at et problemfelt til en indskolingsklasse ofte vil have færre tværfaglige komponenter end et autentisk problemfelt til udskolingen. Derfor bør man som lærer altid overveje graden af det tværfaglige samarbejde mellem fagene, når man planlægger STEM-undervisning. Desuden bør læreren ud fra sin vurdering udvælge egnede problemfelter, der indeholder en eller flere engineering-udfordringer, som elever i grundskolen reelt har muligheden for at arbejde med og udvikle løsninger til.

7.2 Engineering-udfordringer i STEM-faglige problemfelter

For at man kan vurdere kvaliteten af engineering-udfordringer, er det hensigtsmæssigt at kunne opdele STEM-faglige problemfelter i to indholdsdele (se figur 7.2).

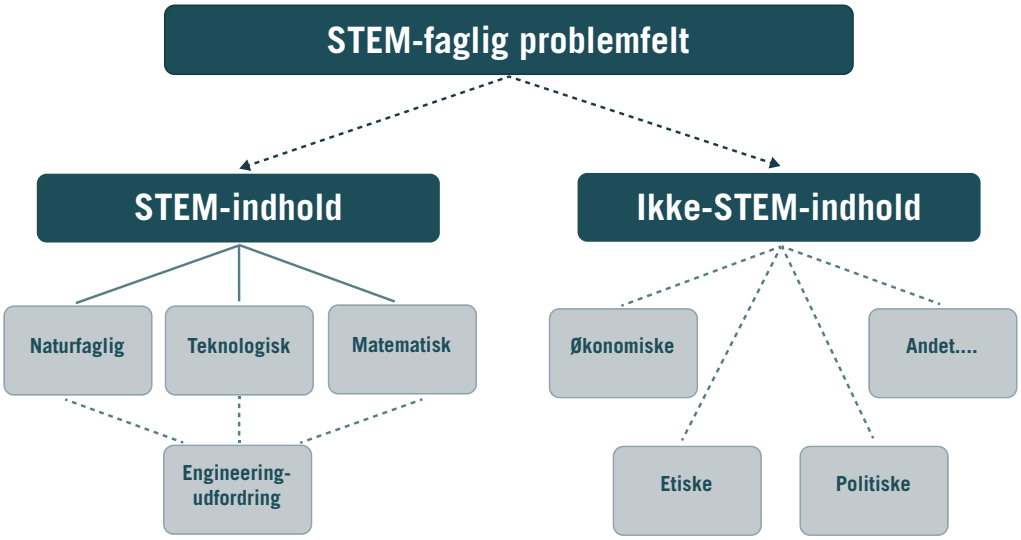
1. Det "rene" STEM-faglige indhold af problemfeltet, som baserer sig på brugen af fagfaglig viden alene fra STEM-fagene, som eleverne får brug for gennem engineering-design-processen til at udvikle en teknologisk løsning. Denne del af problemfeltet vil ofte indeholde gode engineering-udfordringer med faglig og/eller personlig autenticitet.
2. Det Ikke-STEM-faglige indhold, som relaterer sig til økonomiske, politiske og etisk-moralske aspekter af problemfeltet. Det vil sige forhold, som kan have indflydelse på engineering-udfordringen, og som der potentielt kan tages højde for ved design af teknologiske løsninger. For at en god engineering-udfordring kan give mulighed for samfundsmæssig autenticitet, er det nødvendigt, at problemfeltet også indeholder ikke-STEM-fagligt indhold.

Gode samfundsfaglige problemfelter bør i en engineering kontekst indeholde både STEM og ikke-STEM faglige perspektiver.

Denne opdeling kan man anvende operationelt fx ved planlægning af et engineering-forløb for at understøtte muligheden for at finde gode engineering-udfordringer. Modellen nedenfor (Figur 7.2) kan anvendes til at vurdere graden af tværfaglighed og autenticitet i det STEM-faglige problemfelt, og om der er potentiale for at finde flere gode engineering-udfordringer, der er egnet til problembaseret undervisning.

Som eksempel på denne opdeling af et STEM-fagligt problemfelt kan tages "ren drikkevandsforsyning". Her kunne en af engineering-udfordringerne være konstruktion af et vandrensningsanlæg. Det "rene" STEM-faglige indhold er nødvendigt for at løse udfordringen, fx hvordan vand kan renses kemisk, biologisk og mekanisk. Elevernes oplevelse af autenticitet og dermed ejerskab til udfordringen kan i dette tilfælde blive mere synlig og konkret, hvis ikke-STEM-faglige dilemmaer inddrages. Det kunne være politiske eller etiske problemstillinger om mulighederne for vandrensning forskellige steder i verden eller økonomisk problemstilling ift. samfundets og menneskers vandforbrug og vaner.

Når man skal udvikle eller vurdere kvaliteten af en engineering-udfordring inden for et STEM-fagligt problemfelt, kan det være relevant at vurdere vægtningen af det "rene" STEM-faglige indhold hhv. det ikke-STEM-faglige indhold i problemfeltet. I det arbejde kan man bruge analyseværktøjet i tabel 7.3.

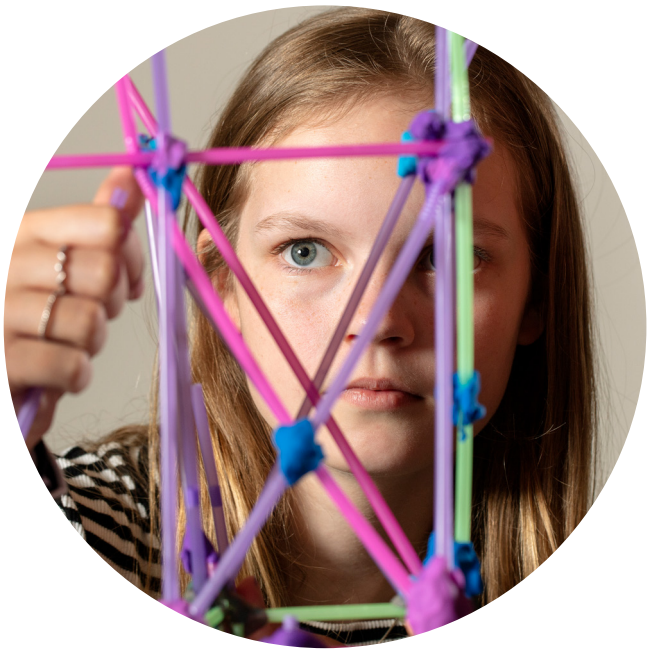


Figur 7.2: STEM-faglige problemfelter kan opdeles i STEM-indhold og ikke-STEM-indhold.

Værktøj til identifikation af gode engineering-udfordringer inden for et STEM-fagligt problemfelt	
STEM-fagligt problemfelt	Hvilken narrativ kan beskrive problemfeltet, så det indeholder både personlig, faglig eller samfundsmæssig autenticitet? Hvilke former for teknologi er relevante inden for problemfeltet?
STEM-fagligt indhold	Hvilken viden og hvilke færdigheder fra henholdsvis naturfag og matematik er brugbare til at løse udfordringerne? Hvilke teknologier og materialer kunne være relevante for løsningen? Hvilke undersøgelser kunne bidrage med viden?
Engineering-udfordringer	Hvilke engineering-udfordringer kan formuleres inden for problemfeltet, så de kan løses alene med STEM-fagligt indhold.
Ikke-STEM-fagligt indhold	Hvilke etiske, økonomiske og politiske problemstillinger eksisterer i udfordringen? Hvordan kan problemstillingerne bidrage med personlig og/eller samfundsmæssig autenticitet undervejs i designprocessen? Skal problemstillingerne forsimples til engineering-forløbet, og hvornår vil eleverne have gavn af det i engineering design processen?

Tabel 7.3: Værktøj til identifikation af gode engineering-udfordringer.

I forbindelse med at man bruger værktøjet, vil det som lærer være fordelagtigt at overveje hvordan eleverne kan stilladseres så de meningsfuldt kan arbejde med engineering-udfordringen gennem alle 7 delprocesser. Ligeså bør man overveje andre metoder og/eller teknikker fra STEM-fagene, som kan bidrage til at løse udfordringen.



Nedenfor tre eksempler på anvendelse af værktøjet i praksis. Eksemplerne er ikke udtømmende.

STEM-fagligt problemfelt:

Dyrevelfærd hos kæledyr. *Der er omkring 3 millioner kæledyr i Danmark. Hunde og katte er topscorere med over 1,2 millioner – og derudover er der en masse kaniner, fugle, fisk og andre dyr. Nogle kæledyr kan være alene hjemme i længere tid, hvis de får adgang til foder – men hvordan? Kan man gøre noget smart, så dyrene får lige præcis den rigtige mængde foder på de rette tidspunkter?*

STEM-indhold

- Undersøgelse af, hvad det valgte kæledyr spiser, hvor ofte og i hvor store portioner.
- Undersøgelse af, hvordan kæledyret vil finde sin føde i naturen.
- Beregning og/eller matematisk modellering af fodermængden over tid.
- Integration af et elektrisk kredsløb i fodermaskinen.
- Programmering af sensorer med Micro:bit.

Ikke-STEM-indhold

- Hvor lang tid bør et kæledyr maksimalt være alene?
- Hvad koster foder?
- Hvordan imødekommer man dyrets behov for adfærd, bevægelse og socialisering?
- Hvordan sikrer man, at dyret har det bedst muligt, når det er i fangenskab?
- Er der regler for, hvordan man behandler et kæledyr?
- Hvordan organiserer familien sig, så dyrets velfærd bliver bedst mulig?

Engineering-udfordringer

- Design en prototype til automatisk fodring af kæledyret, så dyret får, hvad det har behov for, mens det er alene hjemme i en uge.
- Programmering af device, som åbner for/leverer foder med et bestemt tidsinterval.
- Design en fodermaskine, som kæledyret kan aktivere ved at slutte et elektrisk kredsløb, som derved leverer rette portion foder.
- Design en fodermaskine, som konstant leverer små stykker foder forskellige steder, så dyret skal søge og dermed imitere en jagtsituation.

STEM-fagligt problemfelt:

Affaldssortering og genbrug. *Mennesket producerer affald. Både biologisk nedbrydeligt affald, men også affald, som ikke kan nedbrydes i naturen.*
Hvordan kan vi mindske mængden af affald vi producerer, og samtidig sikre, at vi bortskaffer affaldet så det forurener mindst muligt?

STEM-indhold

- Undersøgelse af affaldstyper og deres nedbrydelighed.
- Undersøgelse af, hvor affald behandles og bortskaffes i dag.
- Statistisk undersøgelse og analyse af affaldstyper.
- Udvikling af sorteringssystem, som indeholder alle skolens affaldstyper.
- Undersøgelse af affaldsmængder i forhold til forbrug, ressourcer og genanvendelse.

Ikke-STEM-indhold

- Affaldssortering globalt set – de etiske udfordringer med at eksportere affald.
- Politiske tiltag for at mindske affaldsmængden og øge affaldssortering.
- Tiltag, der kan ændre borgernes, skolernes, virksomhedernes eller kommunens adfærd.

Engineering-udfordringer

- Design en automatisk affaldssortering som frasorterer én bestemt affaldstype, fx plast.
- Design en løsning til biologisk nedbrydeligt affald, som gør genanvendelighed let og sikrer mod skadedyr som fx rotter.

STEM-fagligt problemfelt:

Bæredygtig transportteknologi. *Der bruges mange ressourcer på transport. Både energi til at bevæge sig fra A til B, men også gadelys, asfalt, saltning for is og vedligehold kræver mange ressourcer.*
Der er mange forskellige ressourcevenlige muligheder - hvordan kan vi udnytte dem, så vi kan skabe en mere bæredygtig transportteknologi.

STEM-indhold	Ikke-STEM-indhold
• Vedvarende energi >< fossile brændsler. • Elektriske kredsløb. • Solcelleteknologi. • Matematisk modellering af sammenhænge mellem overfladeareal og vindmodstand.. • Elektrolyse og brintteknologi.	• CO_2-aftryk og bæredygtighed i transportsektoren. • Politiske interesser ift. vedvarende energi. • Nationale og internationale aftaler om overgang til grøn energi. • Demografiske og økologiske faktorer i råstofindvinding til bilbatterier (fx minedrift og levevilkår).

Engineering-udfordringer

- Design et fartøj med en bæredygtig fremdriftsform, som potentielt kan erstatte en benzin- eller dieselmotor.
- Design en løsning, der kan opsamle energi fra en pedaldrevet cykel, så du kan oplade din mobiltelefon mens du cykler.
- Design en intelligent vej ud fra undersøgelser af hvad der er udviklet. Sammensæt den mest brugbare intelligente vej til det danske klima.

Tabel 7.4: Tre eksempler på STEM-faglige problemfelter med engineering-udfordringer som kan løses alene med STEM-fagligt indhold, men hvor ikke-STEM-fagligt indhold ligeledes kan inddrages meningsfyldt.

7.2.1 STEM-faglige problemfelter og fællesfaglig naturfagsundervisning

Eksemplet med vertikale haver i kapitel 5 illustrerer, at engineering-undervisning i udskolingen fint kan fungere som en del af den fællesfaglige problembaserede naturfagsundervisning. "Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" er et STEM-fagligt problemfelt, som eleverne oplever som meningsfyldt og autentisk, og indholdsmæssigt binder det færdigheds- og vidensområder fra alle tre naturfag sammen. Det indeholder engineering-udfordringer, som kan løses alene med viden/indhold fra naturfagene, hvilket er centralt, hvis det senere skal opgives til den fælles prøve i biologi, fysik/kemi og geografi. "Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" er desuden et problemfelt med flere indlejrede samfundsfaglige dilemmaer, som på trods af, at de ikke har indhold fra STEM-fagene, kan øge graden af både tværfaglighed og samfundsmæssig autenticitet. Endelig er der i forløbet fokus både på designprocesser og på elevernes tilegnelse af naturfaglig kompetence undervejs. Særligt det kompetencebaserede fokus i forløbet gør det derfor velegnet som et fællesfagligt forløb, som kan gennemføres af eleverne i 8.-9. klasse og senere opgives til den afsluttende fælles prøve i biologi, fysik/kemi og geografi.

Opgives der fællesfaglige engineering-forløb til den afsluttende fællesfaglige naturfagsprøve, så er det dog væsentligt, at eleverne ved, at de ikke vurderes i engineering, men i deres evne til at bruge naturfaglig kompetence til at belyse en naturfaglig problemstilling. Det kan derfor være en god ide, at både lærere og elever før prøven er i dialog om, hvilke STEM-faglige problemstillinger de har beskæftiget sig som engineeringforløb, herunder hvilke dele som er særligt relevante ift. naturfagene. Eleverne bør også vejledes i, at de til den fælles prøve ikke bliver vurderet ud fra kvaliteten af deres prototype eller deres designkompetencer. I vejledningen bør man desuden forklare, at ikke-STEM-fagligt indhold gerne må inddrages perspektiverende i relation til den naturfaglige problemstilling, men at det ikke må blive for dominerende.

OPGAVE

I tabel 7.4 er oplistet tre STEM-faglige problemfelter opdelt i STEM-fagligt indhold og ikke-STEM-fagligt indhold. Indholdet er ikke udtømmende.

a) Udvælg et af problemfelterne.

b) Anvend værktøjet i tabel 7.3 til at vurdere og diskutere kvaliteten af de formulerede engineering-udfordringer. Er de autentiske og kan løses med STEM-indhold?

c) Videreudvikle eksemplet ud fra spørgsmålene i værktøjet, og formuler på baggrund af jeres tilføjelser 1-2 nye engineering-udfordringer.

Kapitel 8. Lærerens rolle, stilladsering og evaluering

I dette kapitel præciseres hvordan lærerens traditionelle rolle udfordres i engineering-forløb. I forlængelse heraf udfoldes, hvordan læreren som facilitator kan stilladsere og evaluere elevernes arbejde.

Engineering i skolen

8. Lærerens rolle, stilladsering og evaluering

Engineering-aktiviteter udfordrer traditionelle måder at tilrettelægge og gennemføre naturfagsundervisning på, da engineering er organiseret som problemorienteret projektarbejde. Dermed ændres lærerens rolle så den understøtter elevernes arbejde gennem den iterative designproces.

Lærerrollen knyttet til projektorienterede arbejdsformer karakteriseres ofte som *facilitatoren*, der hjælper elevgrupper med at definere og nå et fælles mål. Til dette arbejde stilladserer læreren elevgruppernes arbejde med forskellige strategier.

God og velovervejet stilladsering bidrager til at styrke elevernes udbytte. Når et engineering-forløb lykkes, kan eleverne opleve, at engineering skaber en relevant og varieret undervisning, som hjælper dem til at forstå fagenes faglighed i forhold til en autentisk problemstilling, som er meningsfuld for eleverne.

8.1 Engineering og stilladsering

I engineering-aktiviteter arbejder eleverne i grupper, og stilladseringen skal understøtte elevgruppernes arbejde i nærmeste udviklingszone.

Nærmeste udviklingszone er forskellen mellem det niveau, hvor gruppen kan løse en opgave med støtte fra læreren, og det niveau, hvor elevgruppen selvstændigt kan løse en opgave.

Stilladsering
Stilladsering er den handling eller undervisningsaktivitet, der gør eleven i stand til at nå et mål, løse et problem eller færdiggøre en opgave, som eleven ikke ville have været i stand til at gøre uden støtte fra andre personer eller værktøjer.
(frit efter Hu 2006 s. 34)

Det er relevant at overveje, hvad formålet er med stilladseringen, herunder hvordan den bidrager til elevernes proces og læring. Skal stilladseringen:

- fange elevernes interesse?
- reducere frihedsgrader i forskellige delprocesser?
- fastholde fokus på læringsmålene?
- fremhæve kritiske elementer ved arbejdsprocessen?
- støtte eleverne gennem frustrerende faser?
- vise handlemuligheder, når udfordringer opstår?

Alt efter formål kan stilladsering kategoriseres i to overordnede stilladseringstyper:

Fag- og processtilladsering: Lærerens planlagte faglige og processuelle aktiviteter, der understøtter elevernes arbejde gennem forløbet.

Metastilladsering: Lærernes planlagte og gentagende evaluerende aktiviteter, der hjælper eleverne til deres refleksion over egen læring og til i samarbejde at fastholde centrale læringer i forløbet.

Fag- og processtilladsering	Metastilladsering af elevernes refleksion
Eleverne lærer nye færdigheder	Til- og fravalg af delprocesser
Skabelon til undersøgelse/feedback	At give/modtage feedback
Oplæg fra ressourcepersoner, fx virksomhedsejere, brugere eller interesseorganisationer	Rammesætning af ny prototype og eventuelle designprincipper
Teknologibegreber og -historie	Refleksion over proces samt valg og vurderinger foretaget i processen
Videofilm og andre typer af læremidler	Refleksion over slutprodukt med afsæt i fx logbog/maker journal

Tabel 8.1: Eksempler på stilladsering efter formål.

8.1.1 Fag- og processtilladsering

Fag- og processtilladsering fokuserer på formidling af skabeloner og processer til undersøgelser, idegenerering og konstruktion, præsentation af værktøjer og materialer fx gennem tutorials eller i form af faglige oplæg fra læreren eller eksterne videnspersoner.

I dette eksempel stilladseres eleverne fagligt til at koble viden om solcelleteknologi med deres egen undersøgelse af solcellers effektivitet (udtrykt som spændingsforskel) ved forskellige forhold. Eleverne arbejder med faglig viden om solceller og derudover får de styrket deres undersøgelseskompetence med fokus på variabelkontrol og systematik. Senere bruger de denne viden i design af deres soldrevne køretøj.

EKSEMPEL

Faglig stilladsering af elevers undersøgelseskompetence

Et eksempel på en faglig stilladsering af elevernes undersøgelseskompetence, ser vi i et engineering-forløb udviklet ifm. Danmarks Tekniske Museums særudstilling "Sort energi og grønne håb" til 7.-9. klasse. Se figur 8.2.

Eleverne skal arbejde med den udfordring, at designe og konstruere en prototype af et køretøj, der drives af solceller. Køretøjet skal kunne anvendes til at transportere pakker over en bestemt afstand hurtigst muligt.

Eleverne har undervejs i forløbet fået et kort oplæg om solcelleteknologi og været rundt i udstillingen, og eksemplet afspejler en stilladsering der skal bidrage med relevant faglig viden i delprocessen *Undersøge*.

Figur 8.2

EKSEMPEL

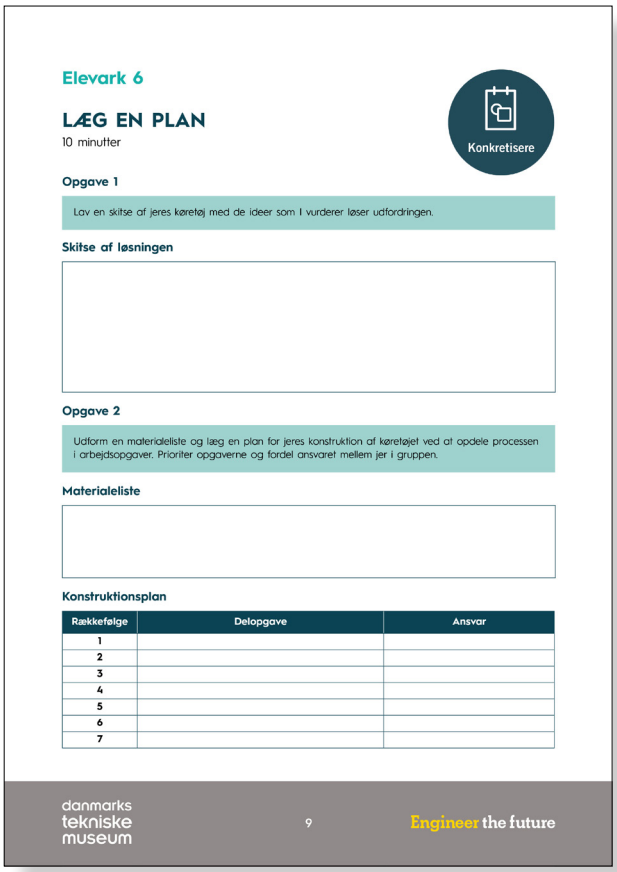
Processtilladsering af elevers delproces Konkretisere
Et eksempel på processuel stilladsering af delprocessen *Konkretisere* ses i samme engineering-forløb, "Design et solcelledrevet køretøj", figur 8.3.

Eleverne arbejder med engineering-udfordringen at designe en solcelledrevet elbil, hvor læreren skal stilladsere dem til at konkretisere deres ideer for konstruktion af et køretøj. Elevgrupperne får udleveret elevarket "Læg en plan" (figur 8.3), til at guide igennem delprocessen *Konkretisere*. Derved stilladseres de til at fastholde fokus i denne delproces, og blive bevidst om indhold og formål med at konkretisere undervejs i en designproces.

Lærerens processtilladsering skal støtte eleverne til at:
1. visualisere deres designforslag med en skitse
2. beskrive, hvilke materialer de vil anvende
3. planlægge og prioritere en hensigtsmæssig rækkefølge af deres arbejde i deres konstruktion.

Særligt planlægningen af delprocessen *Konstruktion* kan bidrage til, at eleverne på forhånd får beskrevet en systematik. Denne systematik gør konstruktionsopgaven mere overskuelig, og øger desuden sandsynligheden for at kunne teste og forbedre enkeltdele af prototypen undervejs. Systematikken kan også være med til at sikre ejerskab og motivation hos alle i gruppen, fordi ansvaret med at konstruere en prototype på forhånd fordeles i gruppen.

Denne form for processtilladsering indebærer nogle særdeles nyttige overvejelser, som læreren kan gøre sig i planlægningen af engineering-aktiviteter. Når eleverne skal arbejde med engineering-aktiviteter, bør man overveje, hvordan man vil strukturere stilladseringen, så eleverne oplever passende frihedsgrader til at blive udfordret i nærmeste udviklingszone.



Elevark 6

LÆG EN PLAN
10 minutter

Konkretisere

Opgave 1

Lav en skitse af jeres køretøj med de ideer som I vurderer løser udfordringen.

Skitse af løsningen

Opgave 2

Udform en materialeliste og læg en plan for jeres konstruktion af køretøjet ved at opdele processen i arbejdsopgaver. Prioriter opgaverne og fordel ansvaret mellem jer i gruppen.

Materialeliste

Konstruktionsplan

Rækkefølge	Delopgave	Ansvar
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

danmarks tekniske museum 9 Engineer the future

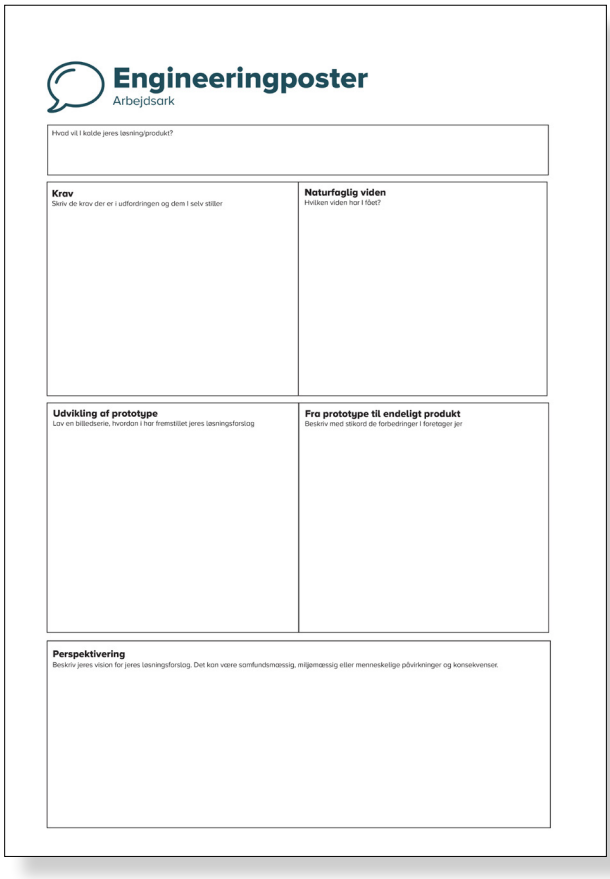
Figur 8.3

8.1.2 Metastilladsering

Metastilladsering er lærerens stilladsering af elevernes gentagende refleksioner over egen læring i forløbet.

Metastilladsering understøtter elevernes refleksioner over processer og læringer undervejs i engineering-processen, så de stimuleres til at nå højere op ad den taksonomiske stige i deres læring. Læreren skal bruge sin faglige og didaktiske viden til at få eleverne til at fokusere på særlige læringspotentialer for det specifikke engineering-forløb. Metastilladsering skal derfor assistere og rammesætte aktiviteter, hvor elever lærer at give, modtage og anvende feedback undervejs i deres designproces. Denne type stilladserende elevaktiviteter egner sig derfor særlig godt til at sikre et løbende fokus på elevens læring ift. opstillede undervisningsmål. Se mere i afsnit 8.3 Stilladsering og evaluering.

Engineering-posteren (figur 8.4) er bare ét eksempel på hvordan eleverne gennem metastilladsering kan hjælpes til systematisk at samle centrale læringer op, og samtidig sætte dem i relation til udfordring og løsning i den samlede engineering designproces. Sidstnævnte kan ikke undervurderes, da det bidrager til elevernes overblik og forståelse af sammenhænge gennem hele forløbet. Som en del af planlægningen af et engineeringforløb er det lærerens opgave og med udgangspunkt i forløbets undervisningsmål, at udvælge hvilke læringspotentialer metastilladseringen skal fokusere på. Det bør ikke være for mange og alle skal de være centrale for elevernes løsning af designudfordringen.



Figur 8.4

EKSEMPEL

Metastilladsering med en engineering-poster

Et eksempel på metastilladsering hvor eleverne bliver præsenteret for arbejdsarket "Engineering-poster" (figur 8.4) i begyndelsen af et engineeringforløb. Engineering-posteren kan fx hænges op eller lægges frem på bordet. Gruppen noterer eller tegner på posteren undervejs i engineering design processen og fx i forlængelse af aktiviteter, hvor eleverne er blevet fag- eller processtilladseret af andre elevark.

Feltet 'Naturfaglig viden' kan udfyldes af eleverne efter af have gennemført en række undersøgelser. Aktiviteten fra tidligere hvor eleverne undersøgte effektiviteten af solceller under forskellige forhold, har givet dem viden, som de via refleksioner i gruppen ift relevans for deres løsning på engineering-udfordring skriver på posteren. Tilsvarende kan processtilladseringen "Læg en plan" understøtte eleverne i at udfylde feltet "Udvikling af prototype", hvor de skal I tegne en billedserie af deres prototypeudvikling.

En velrettelagt metastilladsering hvor eleverne gentagende gange har reflekteret over egen læring, og hvordan den kan anvendes ift løsning af deres engineering-udfordring kan også løfte kvaliteten af den løbende formative evaluering.
Ligeledes vil en systematisk og ensartet brug af metastilladsering på tværs af elever eller elevgrupper sikre, at alle i løbet af processen har reflekteret over de samme centrale pointer. Det forhold danner også basis for, at alle elever på deres niveau, vil kunne enten modtage eller give feedback der bunder i eller kan sættes spil ift. egne refleksioner. Det kan øge både kvaliteten og udbyttet af feedback hvad enten det kommer fra andre elever eller læreren.

Samtidig vil fastholdelsen af elevernes erkendelser og refleksioner undervejs i engineering designprocessen også understøtte og hjælpe eleverne til fagligt og velargumenteret at præsentere deres prototype til sidst i forløbet.

8.2 Elevers frihedsgrader

Engineering-aktiviteter indeholder mange muligheder for at lade eleverne træffe selvstændige valg undervejs i engineering-processen. Første gang elever arbejder med et engineering-forløb, er de næppe i stand til at håndtere mange frihedsgrader i alle delprocesserne i engineering designprocessen, da de risikerer at ende uden for nærmeste udviklingszone. Man kan derfor som lærer vælge at stilladsere grupperne ved på forhånd at træffe nogle valg på gruppernes vegne for at sikre, at de ud fra aktuelle forudsætninger bliver i nærmeste udviklingszone.

Skemaet over frihedsgrader i tabel 8.5 angiver muligheder for at differentiere elevernes arbejde i et engineering-forløb. Dette skema kan bruges til at planlægge stilladseringen. Hvis man har til hensigt at gennemføre flere engineering-forløb i den samme klasse over et skoleår, kan skemaet også bruges til at planlægge en progression i sværhedsgraden af de forskellige engineering-projekter.

8.2.1 Hvor meget og hvor lidt styring?

Det er en balance, hvor meget man som lærer skal styre elevernes frihedsgrader. Det afhænger blandt andet af klassetrin og klassens modenhed. Man skal huske, at endemålet efter 9. klasse er, at eleverne kan gennemføre komplekse forløb med så lidt stilladsering som muligt.

På den ene side kan for meget støtte fra læreren være demotiverende, hvis grupperne mister den motivation, der ligger i at have initiativet. På den anden side kan for lidt styring også virke demotiverende, hvis eleverne mister overblik over retning i designprocessen, så de frustrerede ender i en situation, de ikke kan overskue.
Elevernes nærmeste udviklingszone er en dynamisk størrelse, så man må overveje en progression for elevernes frihedsgrader, når man laver flere engineering-forløb i den samme klasse.

I de første forløb i en klasse kan det vise sig, at projektarbejdsformen hverken gavner de mindre selvtillidsfulde eller de meget ressourcestærke elever. Det er den store midtergruppe af elever, som i første omgang har størst udbytte af engineering. Alligevel viser det sig, at efter flere gennemprøvninger vil en overvejende del af en klasse generelt opnå et højere fagligt såvel som processuelt udbytte af engineering-aktiviteter med store frihedsgrader. Det skyldes, at eleverne gradvis udvikler deres kompetencer til at forstå, planlægge, overskue og gennemføre processer.

8.2.2 Divergente og konvergente tankeprocesser

I tæt sammenhæng med elevens frihedsgrader er det også centralt at se på, om der under designprocessen er mulighed for divergente og konvergente tankeprocesser. Begge tankeprocesser er vigtige på forskellige tidspunkter i engineering-processer for at nå i mål med at lave en prototype, der kan løse udfordringen. Som lærer bør man grundigt overveje, hvilken frihedsgrad der kan være med til at stilladsere elevernes divergente og konvergente tænkning på de rigtige tidspunkter i et engineering-forløb.

Divergente tankeprocesser forbindes ofte med en stærk form for kreativitet. Her handler det om at få så mange ideer som muligt til at løse engineering-udfordringen inden for de rammer, som er opstillet. I engineering design-processen knytter divergente tankeprocesser sig særligt til delprocesserne *Forstå udfordringen*, *Få ideer*, *Konstruere* og *Forbedre.*

Konvergente tankeprocesser knytter sig ofte til at sortere og udvælge, hvilke gode ideer og løsningsforslag elevgrupperne vil arbejde videre med. Det er i disse tankeprocesser, elever skal overveje, hvordan udfordringen løses bedst muligt. Her kan den enkelte gruppes medlemmer også bliver udfordret indbyrdes, hvis der er flere løsningsforslag i spil i gruppen. Der vil måske være behov for, at gruppens medlemmer må gå på kompromis for overhovedet at komme frem til et realistisk bud på en løsning til udfordringen og en plan for, hvordan man vil konstruere og forbedre prototypen. Dette vil i høj grad træne elevernes samarbejdsevner. I engineering design-processen knytter konvergente tankeprocesser sig særligt til delprocesserne *Forstå udfordringen, Konkretisere*, *Konstruere*, *Forbedre* og *Præsentere*.

	Struktureret forløb Meget få valg og frihedsgrader for grupperne.	**Guidet forløb** Nogle valg og frihedsgrader for grupperne.	**Åbent forløb** Mange valg og frihedsgrader for grupperne.
Forstå udfordringen	Grupperne arbejder ud fra lærerformuleret forståelse af udfordringen.	Grupperne vælger en forståelse af udfordringen fra lærerens liste.	Grupperne formulerer selv deres forståelse af udfordringen inden for den ramme, som er givet i oplægget.
Undersøge	Grupperne arbejder ud fra afgrænsede metodekort/beskrivelser af hvilke undersøgelser de skal gennemføre.	Grupperne vælger mellem forslag fra læreren til, hvilke undersøgelser de skal gennemføre.	Grupperne vælger selv, hvilke undersøgelser de skal gennemføre.
Få ideer	Læreren styrer gruppernes diskussion med metode kort eller lignende.	Grupperne vælger mellem forslag til styring af deres diskussion.	Grupperne organiserer selv deres diskussion om deres forskellige ideer.
Konkretisere	Grupperne arbejder efter præcise konkretiseringsinstruktioner.	Grupperne vælger mellem forskellige forslag fra læreren til, hvordan de vil konkretisere en løsning.	Grupperne vælger selv, hvordan de vil konkretisere en løsning.
Konstruere	Læreren fastlægger materialer, værktøjer og konstruktionsproces sammen med grupperne.	Læreren giver grupperne materialer og værktøjer at vælge imellem, og læreren vejleder i forhold til konstruktionsprocessen.	Grupperne vælger selv materialer og værktøjer.
Forbedre	Læreren fastlægger afprøvnings- og testprocedure og hjælper grupperne med at vurdere, hvordan deres prototype kan forbedres.	Grupperne kan vælge mellem flere forslag til afprøvnings- og testprocedurer og vurderer forbedring af deres prototype og løsning efter givne kriterier.	Grupperne vælger selv afprøvnings- og testprocedure og vurderer selv forbedringer af deres prototype og løsning.
Præsentere	Læreren hjælper grupperne med at præsentere deres løsning.	Grupperne følger en vejledning for, hvordan løsningen skal præsenteres.	Grupperne planlægger selv medie og format og præsenterer selvstændigt.

Tabel 8.5: Tre niveauer af frihedsgrader udfoldet på de syv designprocesser.

8.3 Stilladsering og evaluering

Stilladseringsaktiviteter skal som udgangspunkt hjælpe alle eleverne med at arbejde i retning af undervisningsmålene for et engineering-forløb. En evaluering kan hjælpe med at afgøre, i hvilken grad eleverne sluttelig opfylder disse mål.

Stilladseringen undervejs i forløbet skal give lærer og elever indblik i elevernes tilegnelse af arbejdsformer og processer og deres anvendelse af naturfaglig, håndværksmæssig og teknologisk viden og færdigheder. Desuden skal stilladseringen understøtte elevrefleksioner over egen læring. Læreren kan bruge dette indblik i sin løbende dialog med eleverne til at understøtte deres videre arbejde med udfordringen og til at fastholde særlige læringspotentialer. Denne type stilladsering kaldes også for formativ evaluering og giver læreren indsigt i behovet for løbende at justere elevernes arbejds- og læringsprocesser.

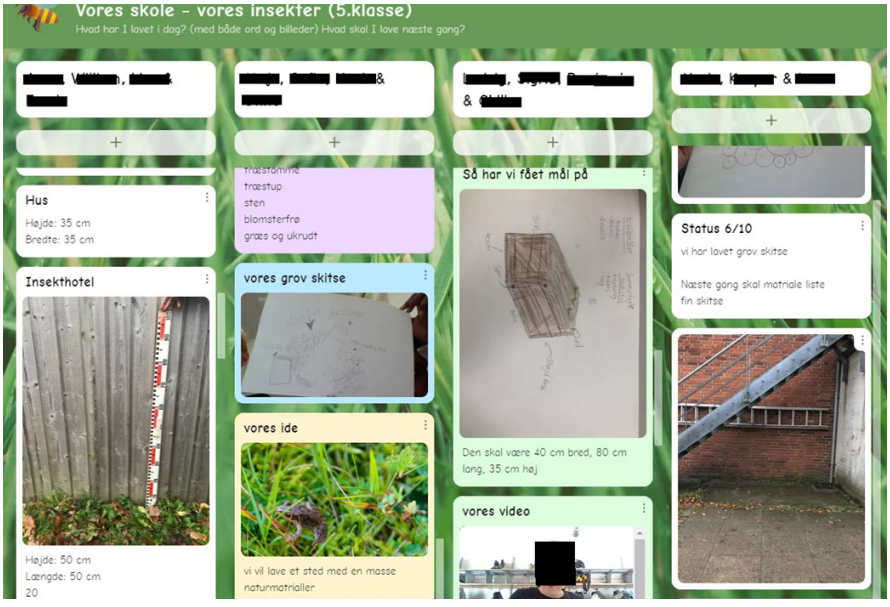
Metastilladsering vil ofte være særlig velegnet ved evaluering, især hvis stilladseringen gentages flere gange undervejs og fokuserer på nogle få udvalgte undervisningsmål. I engineering-forløbet hjælper metastilladsering eleverne til i samarbejde at beskrive og fastholde centrale læringer samt deres refleksioner over egen læring. Dette illustreres af eksemplet med brugen af logbog til evaluering.

EKSEMPEL

Logbog til evaluering (metastilladsering)

Natur/teknologi-lærerne i en 5. klasse udviklede et engineering-forløb om biodiversitetskrisen og indskrænkning af insekters levesteder. Eleverne skulle lære om insekters naturlige levesteder i Danmark og hvordan de er ved at forsvinde. Derefter skulle de med udgangspunkt i engineering-udfordringen "Byg levesteder for insekter" designe enten insekthoteller eller fauna-områder. Undervisningsmålene for forløbet var, at grupperne skulle planlægge og gennemføre deres undersøgelser med systematik, og at grupperne for hver delproces skulle fastholde centrale pointer, herunder begrunde relevansen ift. deres design af prototypen.

Flere gang undervejs stilladseres eleverne med de samme gentagende spørgsmål, som fokuserer på undersøgelsessystematik og på gruppens egne refleksioner ved hver delproces. Dette dokumenteres i en logbog på Padlet, se figur 8.6. Eleverne kan dokumentere deres aktiviteter og refleksioner med både tekst, fotos og videoer. Læreren bruger logbøgerne til at give respons på elevernes læreproces og evaluere på undervisningsmålene.



Figur 8.6: elevernes logbog på Padlet til engineering-forløbet "Byg levesteder for insekter".

8.4 Evaluering

Formålet med evaluering er at vurdere, hvad eleverne har lært i forhold til undervisningsmålene for forløbet. Det betyder, at man skal beskrive sine forventninger til, hvad eleverne lærer af at arbejde med et engineering-forløb, og man skal afslutningsvis beskrive og dokumentere, hvad eleverne nåede.

Det er ikke realistisk, at man i hvert engineering-forløb evaluerer alle forhold i forløbet. Derfor skal man som lærer udvælge nogle elementer, som man vil være særlig opmærksom på i et givent forløb.

De første gange man gennemfører et engineering-forløb, kan det typisk dreje sig om elevernes systematik i arbejdsprocesserne: Får de forhandlet deres ideer? Får de iterativt forbedret deres prototype? Får de fastholdt refleksioner over deres læreproces i præsentationen af løsningen?

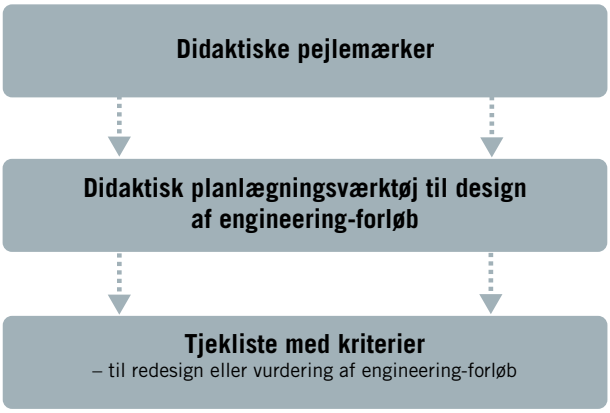
Efterhånden som elever og lærere finder sig til rette i engineering-arbejdsformen, kan der også blive fokus på tilegnelse af kompetencer, læring af begreber, håndværksmæssige færdigheder og/eller teknologiske indsigter.

Kapitel 9. Design et engineering-forløb

I dette kapitel får du præsenteret didaktiske redskaber, som understøtter planlægning af et engineering-forløb.

9. Design et engineering-forløb

Undervisningsmaterialer, der har til formål at understøtte elevernes engineering-designproces, er opbygget lidt anderledes end traditionelle materialer til undervisning i naturfagene og matematik. De skal nemlig kunne guide eleverne gennem forskellige delprocesser i engineering-designprocessen, og der skal være mulighed for forskellige frihedsgrader. I et engineering-forløb skal eleverne ideelt set selvstændigt træffe mange valg undervejs om, hvordan de vil løse engineering-udfordringen. Hvis engineering-udfordringen indeholder mange frihedsgrader, kan grupperne vælge mange forskellige veje gennem processen. Som lærer og facilitator i elevernes læreproces må man stilladsere elevernes arbejde tilstrækkeligt til, at eleverne oplever en fremdrift i deres selvstændige aktiviteter.
I dette kapitel får du præsenteret didaktiske redskaber, som understøtter planlægning af et engineering-forløb.
Først præsenterer vi en samlet didaktisk ramme for engineering-forløb, udfoldet som en række didaktiske pejlemærker, som er centrale ved planlægningen af forløb. Herefter introducerer vi et konkret planlægningsværktøj til læreren, og til sidst finder du en liste med kriterier, som du kan bruge, hvis du ønsker at redesigne et eksisterende undervisningsforløb eller vurdere kvaliteten af andres engineering-forløb.



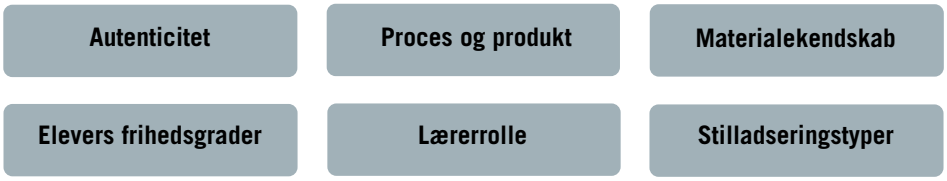
Figur 9.1: Sammenhæng mellem elementer i den samlede didaktiske ramme.

9.1 De 6 didaktiske pejlemærker

Man kan opsummere de særlige karakteristika ved engineering-undervisning i 6 didaktiske pejlemærker (se figur 9.2). Disse pejlemærker bør man altid overveje og indtænke, når man forbereder et engineering-forløb.

De 6 didaktiske pejlemærker udgør summen af det særlige ved engineering. Isoleret set kan enkelte af pejlemærkerne være relevante i andre undervisningssammenhænge end lige netop engineering. Det er inddragelsen af *alle* 6 pejlemærker, der udgør det særlige ved engineering, og som sikrer, at elevernes læreprocesser faciliteres og stilladseres, så eleverne oplever fremdrift i deres selvstændige aktiviteter. Vægtningen af de enkelte pejlemærker vurderes af den enkelte lærer, fagteam, læreruddanner eller kompetenceudvikler. Den erfarne underviser vil hurtigt se, at der indgår elementer fra problembaseret undervisning. De 6 didaktiske pejlemærker kan derfor være et vigtigt redskab for mange fagprofessionelle, når de planlægger undervisning og kompetenceudvikling.

De didaktiske pejlemærker tydeliggør områder af didaktikken, som er centrale for udvikling af god engineering-undervisning. For hvert område er udfoldet et didaktisk handlingsrum mellem to yderpunkter, som man som fx lærer bør forholde sig til, inden man gennemfører et engineering-forløb. De didaktiske pejlemærker lægger altså op til væsentlige didaktiske refleksioner, hvor valgene varierer og afhænger af konteksten omkring den enkelte klasse.



Figur 9.2: De 6 didaktiske pejlemærker.

1. Autenticitet

Når man planlægger engineeringforløb, bør man i rammesætningen af problemfeltet vægte graden af autentiske elementer i forhold til den faglige kompleksitet. Som beskrevet i kapitel 7 bør problemfeltet indeholde autentiske engineering-udfordringer som for eleverne kan opleves som enten personligt, fagligt eller samfundsmæssigt relevant, for at sikre, at alle elever/elevgrupper bevarer motivation og interesse for engineering-arbejdet. Elevernes faglige niveau og skolens "begrænsede" muligheder ift. materialer og tid vil modsat udfordre elevernes autentiske oplevelse, især hvis den faglige kompleksitet medfører at eleverne fx har vanskeligt ved at undersøge udfordringen eller måske ikke kan løse den.

Eksempelvis kunne det være fagligt autentisk for eleverne, hvis problemfeltet og engineering-udfordringen tager udgangspunkt i en jægers virkelighed og at hun pga. dyrenes adfærd har brug for, at eleverne designer og konstruerer et stabilt jagttårn. Jægeren, som måske endda er en forælder, kan bidrage til yderligere personlig autenticitet hos eleverne ved fx at deltage i enten formidlingen af problemfeltet eller ved elevernes præsentation af løsninger. Grad af autenticitet vil her blive udfordret af at eleverne konstruerer deres prototyper som modeller i mindre skala, og derfor ikke laver en løsning som fx tager højde for materialernes vægt, og som umiddelbart ikke kan testes og forbedres af jægeren.

2. Proces eller produkt

Når man arbejder i en designproces, sker det for de fleste naturligt, at de hurtigt retter deres fokus mere på produktet end på at følge planlagte processer. Læreren bør derfor overveje, hvordan og i hvilken grad eleverne skal fastholdes på både proces og produkt i et engineering-forløb. Procesaktiviteter skal ofte stilladseres forholdsvis detaljeret og struktureret, især for uerfarne elever. Og det er centralt i udvikling af elevernes processuelle færdigheder, at de løbende forholder sig til processernes formål både gennem tekst og tale.
I delprocessen *Få ideer* kan man fx stilladsere elevernes proces vha. metodekort, som hjælper til at fastholde idegenereringen og tydeligt rammesætter, at der er fokus på *denne* delproces.

Aktiviteter, som har et mere produktorienteret stillads, bør hjælpe eleverne med systematik og løbende fastholde deres produktorienterede til- og fravalg. Aktiviteterne er desuden væsentlige for at sikre, at elevernes valg kan underbygges fagligt, så faglig viden og færdigheder fra fagene kommer i spil.
Eksempelvis kan eleverne i delprocessen *Undersøge* med fordel opstille hypoteser før en konkret undersøgelse. Dermed stilladseres deres refleksion, og det bliver mere sandsynligt, at de inddrager læringen fra undersøgelsen.

3. Materialekendskab

Et særkende ved engineering er, at design af fysiske prototyper nødvendiggør et materialekendskab hos eleverne. Denne viden bruger de særligt i delprocesserne *Få ideer, Konkretisere, Konstruere* og *Forbedre*.
Som lærer bør man derfor altid overveje materialernes rolle i forløbet: Hvilket omfang skal materialerne have, og hvordan skal elevernes adgang til materiale være? Desuden kan man med fordel variere, hvornår i designprocessen eleverne introduceres for udvalgte materialer. Materialer kan nemlig give inspiration til designprocessen, men omvendt kan de være svære at overskue, hvis der er frit valg, eller være styrende for processen, hvis der kun er et begrænset udvalg.
Overvej derfor, om der skal være stilladserende aktiviteter, som introducerer eleverne for specifikke materialetyper, deres egenskaber og forskellige forarbejdningsmuligheder. Herigennem vil eleverne få et øget materialekendskab, og det vil udvikle deres praksisfaglige kompetencer. Hvis eleverne får mulighed for struktureret at undersøge flere mulige materialer, kan man på den måde desuden inddrage elevernes arbejde med undersøgelseskompetence i forløbet.

Læreren kan også bruge materialekrav som fagligt benspænd, ligesom materialer kan begrænse elevernes frihedsgrader. Man kan designe mange spændende engineering-forløb, hvor eleverne arbejder med helt almindelige dagligdags materialer. Ud fra det aktuelle klassetrin bør man altid overveje, hvilken materialesamling man vil anvende, og hvilken rolle materialerne tænkes at spille i engineering-forløbet.

Materialer kan være mange ting – en 5.-klasse fandt fx stor inspiration, da de efter besøg i kommunens centrale makerspace fik en kasse med rester fra lasercutteren med hjem. Det var små træstykker i forskellige størrelser og former, og de var med til at skabe nye ideer hos eleverne, som brugte dem i konstruktionen af deres prototyper.

4. Elevers frihedsgrader

Balancen mellem strukturerede og åbne engineering-aktiviteter skal man også overveje grundigt, da elevernes frihedsgrad har betydning for elevernes motivation og for deres mulighed for ejerskab og selvstændighed i opgaveløsningen. I kapitel 8 er der beskrevet tre niveauer af elevernes frihedsgrader for hver delproces i engineering-designprocessen, og denne oversigt kan med fordel inddrages, når man planlægger undervisningen. Øget frihed kan forstærke elevernes motivation, og desuden kan variation i frihedsgrader didaktisk anvendes til at sikre undervisningsdifferentiering.

I et engineering-forløb kan der være grupper, der af forskellige årsager har brug for forskellige frihedsgrader.
Et eksempel er, at én gruppe i delprocessen *Undersøge* arbejder helt selvstændigt og selv designer og udfører undersøgelser, mens en anden gruppe i samme klasse kan have brug for præcise instruktioner til, hvilken undersøgelse de skal gennemføre. Denne vekslen mellem frihedsgrader er en naturlig undervisningsdifferentiering, og i engineering understøttes den af koblingen mellem frihedsgrader og de enkelte delprocesser.

5. Lærerrolle

Som lærer i et engineering-forløb er idealet primært at være facilitator for elevernes arbejde i de forskellige designprocesser. Det indebærer, at læreren – ud over at "styre" og stilladsere engineering-designprocessen for eleverne – fx indtager rollen som "ligeværdig" sparringspartner, hvor man frem for at give svar på spørgsmål er nysgerrig sammen med eleverne.

Rollen som facilitator varierer også ud fra en vurdering af, hvor mange frihedsgrader eleverne eller de enkelte elevgrupper i klassen kan håndtere.
Læreren kan også i kortere nedslag indtage rollen som ekspert. Hvis eleverne fx har brug for viden om vands kredsløb i forbindelse med et engineering-forløb om afvanding af skolens fodboldbane, kan læreren holde et fælles oplæg for klassen. Det er her vigtigt at være opmærksom på, om denne viden er nødvendig for alle eller kun for enkelte grupper.

6. Stilladseringstyper

Engineering-aktiviteter kan udfordre traditionelle måder at tilrettelægge og gennemføre naturfagsundervisning på, da engineering er organiseret som problemorienteret projektarbejde, hvor eleverne fordyber sig i konstruktionen af en prototype gennem en iterativ designproces.
Dette arbejde kan læreren stilladsere med dels fag- og processtilladsering, dels metastilladsering.
Fag- og processtilladsering består i, at læreren stilladserer elevernes arbejde med en blanding af faglige og processuelle aktiviteter, som bl.a. afhænger af den konkrete klasses forudsætninger, problemfeltet og den konkrete engineering-udfordring.

I et engineering-forløb med åbne rammer og skabende, selvregulerede arbejdsprocesser er det også vigtigt at understøtte elevernes læreprocesser gennem refleksion og feedback. Dette foregår ved hjælp af metastilladsering, der består i, at læreren planlægger aktiviteter, der systematisk bidrager til og hjælper med, at grupperne reflekterer over egen læring, og sikrer, at eleverne giver hinanden feedback ud fra ensartede kriterier, fx i responsgrupper.

Læs mere om stilladsering af engineering i kapitel 8 og i næste afsnit, hvor vi beskriver et didaktisk planlægningsværktøj.

9.2 Didaktisk planlægningsværktøj til engineering-forløb

Det didaktiske planlægningsværktøj og den efterfølgende uddybning i fire faser, har til hensigt at give læreren overblik og konkrete handleanvisninger til at inddrage de 6 didaktiske pejlemærker i planlægningen af et eksemplarisk engineering-forløb.

Planlægningsværktøjet er tilpasset udviklingen af længerevarende engineering-forløb. Ved kortere engineering-forløb kan udvalgte delprocesser være bærende i forløbet, og/eller hele delprocesser kan udelades.

Fra elevens engineering-designproces til lærerens planlægningsværktøj

Engineering-designprocessen er en didaktisering af ingeniørens arbejdsmetode, tilpasset elever i den danske grundskole. Der er altså tale om en didaktisk metode, der er målrettet eleverne og deres arbejde med de syv delprocesser.
Når man udvikler nye engineering-forløb, er det en fordel at bruge planlægningsværktøjet, som både forholder sig til engineering-designprocessen og hjælper med at strukturere og tydeliggøre de overordnede didaktiske valg. Det er altså et værktøj til læreren, som samler de væsentligste engineering-didaktiske elementer i én samlet ramme, og som er målrettet den erfarne underviser, udvikler eller læreruddanner, der ønsker at udvikle eksemplariske engineering-forløb.

De seks engineering-kompetencer, som er beskrevet i kapitel 5, angiver med udgangspunkt i Fælles Mål en funktionel kompetencebaseret tværfaglighed mellem naturfagene og matematik, som er relevant for eleven både i en engineering-kontekst, og for fagene jf. Fælles Mål. Planlægningsværktøjet er udarbejdet, så det understøtter en stilladsering der kan bidrage til elevens udvikling af engineering-kompetencer, herunder færdigheder og faglig viden. Det drejer sig vel at mærke om kompetencer, som både er relevante for at løse forløbets engineering-udfordring og for forløbets undervisningsmål.

9.3 Et værktøj til planlægning af engineering-forløb

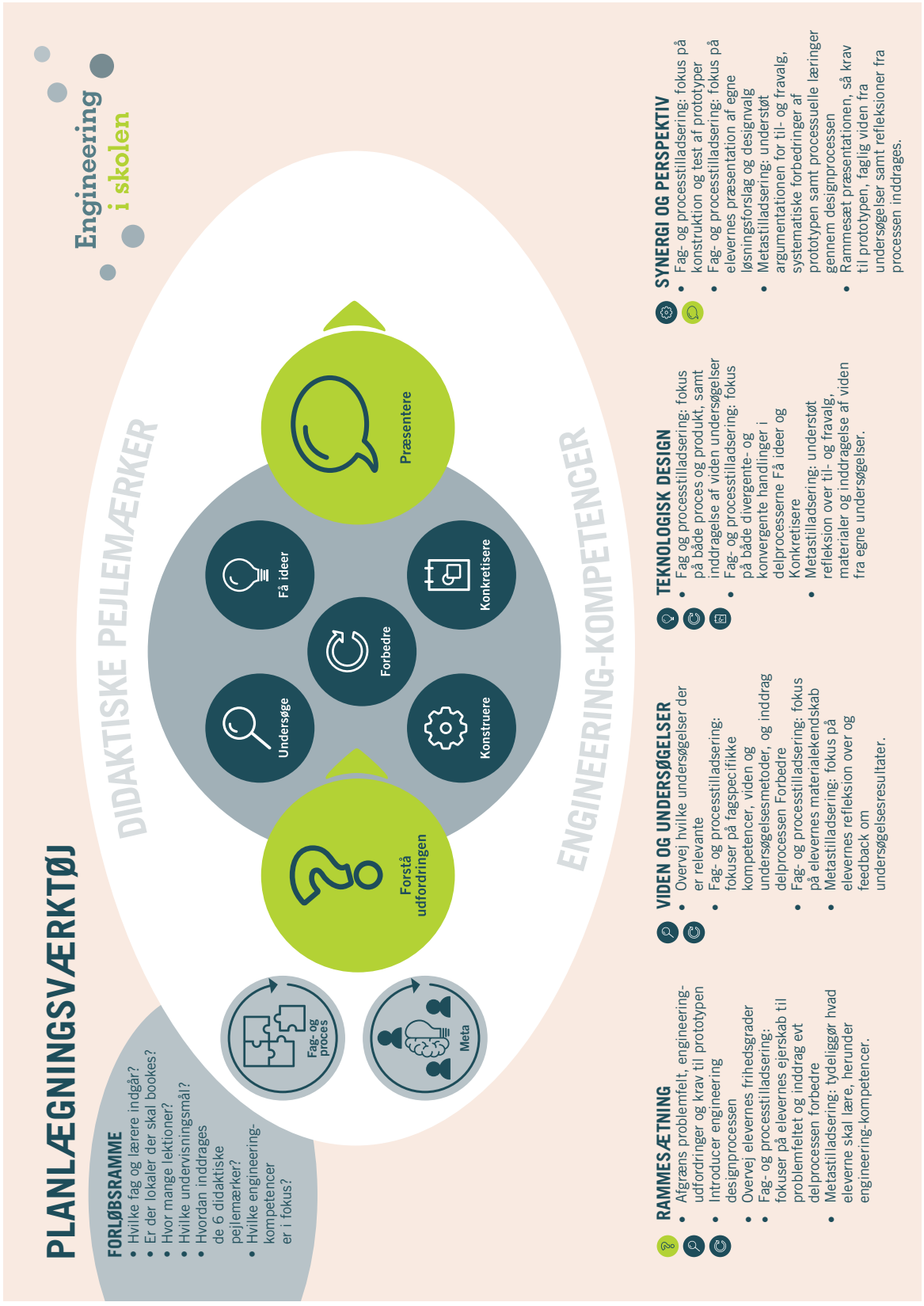
Planlægningsværktøjet kan anvendes til at udvikle engineering-forløb tilpasset kompetencetilgangen i den danske grundskole og samtidig sikre, at refleksioner over de didaktiske pejlemærker inddrages. Planlægningsværktøjet giver læreren mulighed for kronologisk at strukturere elevernes arbejde gennem fire planlægningsfaser, uden det bliver styrende for elevernes ikke-lineære arbejde med de syv delprocesser.
Planlægningsværktøjet rammesætter lærerens planlægning af et engineering-forløb. Først beskrives vi de overordnede rammer i *Forløbsramme*, og derefter gennemgår vi de fire planlægningsfaser *Rammesætning, Viden og undersøgelser, Teknologisk design* samt *Synergi og perspektiv*.

For hver af de fire faser kan du se, hvilke delprocesser i engineering-designprocessen der er særlig relevante for planlægningen. For hver fase er der desuden vejledende forslag til væsentlige didaktiske overvejelser og handlinger.

I planlægningsværktøjet er der lagt særlig vægt på, at man efterfølgende omsætter de didaktiske refleksioner og valg i hver fase til konkrete stilladserende elevaktiviteter, og at man indtænker begge stilladseringstyper: fag- og processtilladsering samt metastilladsering.

Fag- og processtilladsering: Lærerens planlagte faglige og processuelle aktiviteter, der understøtter elevernes arbejde gennem forløbet.

Metastilladsering: Lærerens planlagte og gentagne evaluerende aktiviteter, der hjælper eleverne til at reflektere over egen læring og til i samarbejde at fastholde centrale læringer i forløbet.



Figur 9.3: Planlægningsværktøj i fire faser, der anviser handlinger fordelt på de syv delprocesser ved brug af stilladseringstyper. De fire planlægningsfaser er: 1) Rammesætning, 2) Viden og undersøgelser, 3) Teknologisk design og 4) Synergi og perspektiv.

Forløbsramme

Når man planlægger et engineering-forløb, bør man først beskrive, hvilken ramme forløbet skal udvikles inden for. Det kan være organisatoriske rammer som fag, lærere, lokaler, varighed, og didaktiske rammer som fx vægtningen af de 6 didaktiske pejlemærker, samt hvilke engineering-kompetencer der skal opstilles undervisningsmål for.

Når man skal opstille undervisningsmål for engineering-kompetencerne, kan man som lærer have gavn af at anvende tabellerne i kapitel 5, der viser sammenhænge mellem fag, engineering-kompetencerne og de enkelte delprocesser i engineering-designprocessen.

Refleksioner og valg inden for de didaktiske pejlemærker og de formulerede undervisningsmål skal derefter være rettesnor for planlægningen af den stilladsering, der understøtter elevernes arbejde med engineering-designprocessen.

De fire planlægningsfaser

1. Rammesætning

Planlægning af *Rammesætning* skal afgrænse og identificere det problemfelt, som man vil arbejde inden for i det pågældende forløb. Problemfeltet skal være relevant for de involverede fag og skal kunne udmøntes i en eller flere konkrete engineering-udfordringer.
Det er centralt at overveje elevernes frihedsgrader, dvs. i hvilket omfang eleverne skal stilladseres, når engineering-udfordringen identificeres. Det er vigtigt, at eleverne forstår og tager ejerskab for udfordringen, og alt efter deres forudgående kendskab til fagområdet kan det kræve forskellige grader af stilladsering. Her spiller overvejelser om autenticitet en rolle.
For at sikre den fælles forståelse og kvalificering af elevernes videre arbejde kan det være en fordel, at man som lærer på forhånd har identificeret undersøgelser, som bidrager med relevant viden inden for problemfeltet.
Når elevernes forståelse af udfordringen er på plads, er det vigtigt, at også kravene til deres prototype defineres.

I *Rammesætningen* skal de faglige og processuelle aktiviteter planlægges. Disse aktiviteter skal stilladsere eleverne til at stille faglige spørgsmål inden for udfordringens ramme, som kan undersøges og derved bidrage med relevant viden til deres løsning af udfordringen.

Delprocessen *Forbedre* er relevant at inddrage i denne planlægningsfase, da eleverne flere gange kan have behov for at gå tilbage og lave yderligere undersøgelser inden for problemfeltet, for afdække et "nyt" vidensbehov.

I fasen *Rammesætning* skal man også overveje, hvordan engineering-designprocessen skal introduceres eller genbesøges som metode. Ligeså skal man overveje, hvordan man kan inddrage eleverne i en dialog om de enkelte delprocesser.
Desuden planlægger man fag- og processtilladsering, der understøtter elevernes planlægning af deres arbejde/proces, rollefordeling og forventninger til samarbejde.

Det er også i denne fase, læreren planlægger stilladserende aktiviteter, hvor eleverne i samarbejde tilegner sig en kritisk-konstruktiv tilgang til problemers kompleksitet og til deres eget design af teknologiske løsninger. Dette kan fx tage afsæt i samtaler, hvor elever diskuterer teknologiers betydning for deres hverdag og for deres teknologiske dannelse.

I denne fase bør man planlægge metastilladsering således, at det er tydeligt for eleverne, hvad der i engineering-forløbet er særligt fokus på, de skal lære jf. undervisningsmål. Ligeledes skal der være fokus på, hvilke engineering-kompetencer eleverne forventes at træne og udvikle, samt hvordan de løbende skal følge op på det gennem refleksion over egen læring, fx gennem en logbog eller særlige elevark.

2. Viden og undersøgelser

I denne fase er det primære fokus i lærerens planlægning at stilladsere elevernes arbejde i delprocessen *Undersøge*. Formålet er, at eleverne som en integreret del af deres engineering-designproces får kortlagt viden, som de eller læreren vurderer som nødvendig, og at eleverne tilegner sig den viden gennem egne undersøgelser. Undersøgelser skal her forstås bredt som fx læsning, eksperiment, observationer, interview, faglige oplæg af lærer eller eksterne fagpersoner m.m.

Fag- og processtilladseringen i denne fase giver god mulighed for, at eleverne kan inddrage og anvende fagspecifikke kompetencer og undersøgelsesmetoder fra fagene; dette kan med fordel komme til udtryk netop i stilladseringen. Alt efter elevernes frihedsgrad og lærerrollen kan undersøgelserne gå fra at afdække elevgruppernes egne spørgsmål og mangel på viden til at være meget lærerstyrede, så det på forhånd er valgt, hvilken viden og metode eleverne har behov for i deres designproces.
Stilladseringen af eleverne kan i denne fase også fokusere på deres undersøgelse af materialer med henblik på at øge materialekendskabet. Dette kan fx gøres ved at introducere eleverne for specifikke materialetyper, deres egenskaber og muligheder for at forarbejde dem.
Senere i designprocessen vil det ofte være nødvendigt for eleverne at lave yderligere undersøgelser og videnindsamling for at forbedre deres prototype. Derfor kan det i planlægningen være en fordel at reflektere over og evt.

forberede forskellige meningsfulde undersøgelser inden for problemfeltet.

Metastilladsering kan i denne fase planlægges, med henblik på at eleverne dels reflekterer over resultaterne af deres undersøgelser, dels giver eller modtager feedback på resultatet, fx i en postersession.

3. Teknologisk design
I planlægningsfasen *Teknologisk design* bør man forberede fag- og processtilladseringen, med henblik på at eleverne udvikler ideer og efterfølgende konkretiserer dem. Her afhænger elevernes frihedsgrader i høj grad af, om de tidligere har gjort sig erfaringer med engineering, og derved, om de selv kan udvælge egnede processer, eller om læreren skal udvælge og stilladsere sådanne processer.

Som udgangspunkt bør stilladseringen af delprocesserne *Få ideer og Konkretisere* ske med afsæt i den viden, som eleverne har tilegnet sig gennem undersøgelser. Desuden skal man planlægge stilladseringsaktiviteter i denne fase sådan, at eleverne arbejder iterativt med både konvergente og divergente processer undervejs med henblik på at designe en teknologisk løsning. Elevernes frihedsgrad her afhænger igen af, i hvor høj grad de har erfaring med engineering og de enkelte delprocesser fra tidligere – men centralt er, at eleverne stilladseres til både at idegenerere (divergent handling), ideudvælge og konkretisere ideer (konvergente handlinger).
I forhold til planlægningen af både *Få ideer og Konkretisere* er det erfaringen, at stilladseringen samtidig skal hjælpe eleverne med at finde en balance mellem proces og produkt, da eleverne ofte bliver meget løsnings- og produktorienterede. Når læreren planlægger denne fase, bør man også have fokus på elevernes materialekendskab, deres adgang til materialer samt på udvælgelse af materialer.

Også i denne fase er delprocessen *Forbedre* central, således at stilladseringen gør det tydeligt for eleverne, hvordan de senere kan vende tilbage til både idegenerering og konkretisering af ideer, hvis de har behov for det.

Metastilladseringen kan i denne fase planlægges, så eleverne reflekterer over, hvordan de kom frem til ideer og konkrete løsningsforslag. Dette kan fx gøres, ved at eleverne forklarer og får feedback fra hinanden på, hvordan løsningsforslaget kan realiseres gennem en prototype, eller hvilken viden der begrunder forskellige designvalg. Metastilladseringen kan også omhandle elevrefleksioner over valg af materialer og arbejdsprocesser.

4. Synergi og perspektiv
I den sidste planlægningsfase bør fag- og processtilladsering tage udgangspunkt i elevernes konkrete ideer og løsningsforslag. Det er centralt, at læreren sikrer, at eleverne har fokus på sammenhænge og at skabe synergi i deres designproces.
Det er delprocesserne *Konstruere og Forbedre*, der skal stilladseres, med henblik på at eleverne konstruerer en prototype, der kan optimeres på baggrund af naturfaglige tests. Stilladseringen i denne proces skal have som mål at hjælpe eleverne med at overveje, hvordan prototypen konstrueres, hvordan tests kan foretages, og hvilken dataopsamling der kan være relevant, set i forhold til forbedringerne frem mod det endelige løsningsforslag.
Også i denne fase bør man i planlægningen overveje, hvordan stilladseringen kan hjælpe eleverne med ikke at blive for produktorienterede, men også fastholde dem i refleksioner over valg/fravalg af materialer, hvilken faglig viden der underbygger deres designvalg, samt hvordan de kan forbedre deres prototype gennem systematiske naturvidenskabelige tests.

Et andet væsentligt element i denne planlægning er stilladsering af delprocessen *Præsentere*. Her skal eleverne understøttes i at præsentere deres færdige prototyper, holdt op mod den engineering-udfordring og de krav, som eleverne indledningsvis forstod, og som de har arbejdet med gennem hele engineering design processen.
Et væsentligt element i præsentationen er elevernes forklaring af prototypens virkemåde med den viden, de har til deres rådighed fra deres undersøgelser, samt deres refleksioner over egen læring både fagligt og processuelt. I den metastilladsering, som læreren planlægger, bør det processuelle aspekt være i fokus.

Endelig kan læreren igen planlægge, at eleverne også forholder sig kritisk-konstruktivt til dels deres design af en teknologisk løsning, dels hvordan deres prototype kan bidrage til og påvirke deres omverden. Det kan gøres ved at understøtte elevernes refleksioner med supplerende faglig viden eller med spørgsmål, som indbyder eleverne til uddybende perspektivering.

9.4 Anvendelse af planlægningsværktøjet - Gode råd til gennemførelse af forløbet

Som skrevet tidligere er intentionen med planlægningsværktøjet at læreren eller fagteamet anvender det til at designe et engineeringforløb. Gennem de forskellige planlægningsfaser vil didaktiske valg og refleksion foretaget undervejs skulle operationaliseres yderligere. Nedenfor er beskrevet en ikke udtømmende liste af konkrete forslag til at understøtte gennemførelse af et engineering-forløb.

Lektionsplan
Det kan lyde banalt, men en lektionsplan med fast ramme for de enkelte lektioner og deres indhold, kan være en stor hjælp til at fastholde fremdrift og rammer for engineering-forløbet. Det kan give et overblik ift konkret forberedelse, ligesom det kan være en stor hjælp hvis der undervejs korrigeres i forløbets indhold.

Slideshow
Et slideshow kan være en stor hjælp for dig som lærer til at strukturere dit engineering-forløb og fastholde den ønskede fremdrift og rammer. Dermed kan du sikre, at du fx får introduceret engineering-designprocessen og får vist lige den video du synes er relevant for at understøtte elevernes forståelse af udfordringen. Du kan også bruge notefunktionen til at skrive spørgsmålstyper som kan støtte dig når du skal stilladsere eleverne både fagligt, processuelt og på metaniveau.

Elevark
Når eleverne arbejder selvstændigt i deres grupper, kan det være en stor støtte, at de har elevark som stillads fx i deres undersøgelser eller når de skal få ideer. Derved understøttes, at de husker væsentlige elementer i deres arbejde og lærerens tid kan bruges dér, hvor den har størst mulig effekt.

I forbindelse med projektet Engineering i skolen, har vi udarbejdet såkaldte Metodekort, som er generiske elevark til hver af de 7 delprocesser i engineering. Find dem på **astra.dk.**

Inddrage andre ressourcer
Engineering lægger helt naturligt op til at tænke Åben skole og inddrage lokale virksomheder, kulturinstitutioner eller lignende. Repræsentanter derfra kan fx deltage i præsentation af en virkelig problemstilling som er en udfordring i deres hverdag og undervejs i konstruktion af prototyperne hvor de kan give kvalificeret feedback.

Ligeledes kan eksterne eksperter inddrages via vores besøgsordning Book en Ekspert; **ekspert.engineerthefuture.dk/**

9.5 Vurder og tilpas engineering-forløb

Når du som lærer skal tilpasse eksisterende forløb til engineering eller ønsker at vurdere engineering-baserede læremidler kan du vælge at bruge planlægningsværktøjet til en systematisk gennemgang.
En anden tilgang er at anvende nedenstående tjekliste med spørgsmål. Spørgsmålene støtter læreren i at huske de engineering-didaktiske overvejelser som er centrale for et eksemplarisk engineering-forløb. Tjeklisten ikke udtømmende og kan med fordel suppleres yderligere.

- Er der opstillet undervisningsmål i relation til engineering-kompetencer og færdighed- og vidensspørgsmål (jf. Fælles Mål)?
- Er problemfeltet autentisk og afgrænset, og rummer det en eller flere engineering-udfordringer?
- Hvilke materialer og materialekendskab hos eleverne forudsætter forløbet?
- Inddrages alle syv engineering delprocesser og med hvilke frihedsgrader for eleverne?
- Indeholder forløbet løbende elevaktiviteter med fokus på delprocessen *Forbedrer*, så eleverne oplever designprocessen som iterativ?
- Understøtter eventuelle lærerressourcer primært rollen som facilitator af designprocesserne?
- Indeholder forløbet fag- og processtilladserende elevaktiviteter som understøtter elevernes fokus på både produkt og proces, samt åbne og lukkende designprocesser?
- Indeholder forløbet fag- og processtilladserende elevaktiviteter som understøtter elevernes designproces enten med fagspecifik viden, undersøgelser og metoder?
- Indeholder forløbet gentagende metastillaserende elevaktiviteter der fastholder centrale læringer hos eleverne, samt understøtter processer med at give/modtage feedback?
- Er der krav til prototypen og bliver der fuldt op dem i delprocessen *Præsentere*?
- Indeholder forløbet gennemgående metastillaserende elevaktiviteter som fx logbog, og hvordan inddrages den i elevernes formidling af både prototype samt faglige og processuelle erkendelser fra designprocessen?
- Er der elevaktiviteter som bidrager med kritisk-konstruktivt overvejelser om teknologi og design af en teknologi, herunder hvordan det bidrager til og påvirker både den nære, regionale og globale omverden?

OPGAVER

Hvad er styrkerne ved engineerings 6 didaktiske pejlemærker?

1. Tag udgangspunkt i et konkret undervisningsforløb og drøft i fagteamet hvordan de 6 didaktiske pejlemærker er indtænkt i forløbet, og hvordan de hver især eventuelt kunne fylde mere.
2. Gennemgå hver af de 6 didaktiske pejlemærker, og tal om, hvorfor de hver især styrker et engineering-forløb og hvordan de konkret kan udfoldes.

Vurder et engineeringforløb

1. Vurder kvaliteten af et engineering-baseret læremiddel ved at anvende tjeklisten sammen med en kollega eller i fagteamet. Drøft for hvert spørgsmål om der bør foretages ændringer i forløbet inden det gennemføres med elever. Ofte vil der være mange forbedringsmuligheder, og derfor kan I med fordel diskutere hvilke der har størst betydning for elevernes motivation og læring, og på den baggrund udvælge fem didaktiske justeringer i prioriteret rækkefølge. I samarbejde videreudvikles disse fem didaktiske tilføjelser.

Kapitel 10. Engineering og andre undervisningstilgange

Engineering er langtfra den eneste nye didaktiske ide på vej ind i grundskolen i disse år. I dette kapitel ser vi på forskelle og ligheder med andre aktuelle ideer og pædagogisk-didaktiske slagord.

Engineering
i skolen

10. Engineering og andre undervisningstilgange

Engineering er et nyt element i naturfagsundervisningen i grundskolen. Men engineering er langtfra den eneste ide, der er på banen. Flere andre aktuelle ideer og pædagogiske slagord er på vej ind i skolen. For at afklare forholdet mellem engineering og anden nytænkning sammenligner vi i dette kapitel engineering med seks andre nyere tilgange til undervisning. I slutningen af kapitlet findes en oversigt over forskelle og ligheder mellem de nye tilgange.

10.1 Nye tilgange til STEM-undervisningen – frugtbar mangfoldighed eller forvirring?

På kort tid er der uden nogen synlig koordinering blevet introduceret flere nye ideer og krav, som hedder noget forskelligt, men alligevel har store ligheder. Nogle lærere føler, at de nye målsætninger og tværgående kompetencer stiller krav, som det er vanskeligt at leve op til i en kompliceret hverdag. Den nye mangfoldighed af slagord og initiativer, der kommer til skolen udefra, kan skabe problemer og sætte lærernes eksisterende undervisning under pres.
Nogle lærere reagerer ved at beskytte deres undervisning mod det nye, eller de vælger at nøjes med at arbejde med en enkelt af de nye ideer i håb om, at de så indirekte også rammer andre af disse ideer.
En forstærkende faktor er, at flere af de nye tiltag ikke tager afsæt i kendte fagligheder og måske ovenikøbet kun giver overordnede anvisninger på, hvordan undervisningen i praksis kan gribes an. Dertil kommer, at der i mange tilfælde mangler efteruddannelse, som kan klæde lærerne på til at undervise med inspiration fra de nye tilgange og emner.

Derfor er det et bevidst mål, at engineering kan reducere kompleksiteten og fungere som en lim, der kan binde det nye sammen med det eksisterende.
Formålet med en sammenligning er at give overblik og at tydeliggøre, hvad der gør, at engineering kan være et samlepunkt for flere nye tiltag i naturfagsundervisningen.
Udgangspunktet er, at flere af de nye ideer har en række fælles træk: Man lægger vægt på, at undervisningen er elevaktiverende, problemløsende, samarbejdsorienteret, praksisorienteret, undersøgende og ofte tværfaglig. Gennem bestemte typer af stilladsering af eleverne har underviseren rollen som facilitator, planlægger og proceskonsulent. Desuden indgår det i begrundelsen for de fleste tilgange, at de medvirker til at øge elevernes læring indenfor relevante fagområder.

I moderne undervisningsteori indgår ordet *design* i mange forskellige sammenhænge. For at gennemskue, hvordan ordet bruges, kan det være en hjælp at tænke på, at udtrykket design dukkede op i 1500-tallet, hvor det betød at udføre, planlægge eller tegne/formgive. Det klassiske eksempel på design er den proces, som en arkitekt udfører for at imødekomme en bygherres ønsker og behov, fra ide til en færdig bygning, der opfylder en række betingelser.
Design er et nyttigt ord til beskrivelse af bestemte menneskelige aktiviteter, og i undervisningssammenhæng bruges det typisk i forbindelse med innovationsfremmende undervisning eller engineering-processer.

Vi har udvalgt seks udbredte tilgange til undervisning, som præsenterer en vifte af nye didaktiske begreber, der alle er rettet imod at forny undervisningen i grundskolens naturfag. Nogle af dem er skrevet ind som formelle krav til undervisningen, fx innovation og entreprenørskab. Det gælder til dels også for IBSE. Hvis man tilføjer matematik bliver akronymet IBSME, hvilket dækker over at undersøgelseskompetence er vigtig i både naturfag og matematik. Andre af de nye ideer indgår fx i kommunale naturfagsstrategier, i efteruddannelse eller i fondsstøttede projekter.
Flere af de nye tilgange har mange ligheder, og det kan være vanskeligt at holde dem adskilt fra hinanden. Som det vil fremgå, er tilgangene dog ikke ens, idet der også er store forskelle mellem dem.

Der er tale om følgende nyere tilgange til undervisning:
- Engineering
- Problembaseret læring (PBL)
- Designbaseret undervisning
- Social Scientific Issues (SSI)
- Innovation
- Inquiry Based Science & Math Education (IBSME)
- Iværksætteri/entreprenørskab.

I det følgende udfolder vi de seks tilgange til undervisningen yderligere.[1]

[1] Det følgende afsnit bygger på Daugbjerg, P., Krogh, L.B., Nielsen, K. & Sillasen, M.K. (2021), Engineering i Gymnasiet: Vidensgrundlag, som indeholder kildehenvisninger til relevant national og international litteratur (https://www.ucviden.dk/da/publications/engineering-i-gymnasiet-vidensgrundlag)

10.1.1 Engineering

Som det fremgår af engineering-designprocessen, er engineering en designbaseret tilgang til undervisning. Engineering er rettet mod, at eleverne gennem et processtyret samarbejde finder en teknologisk løsning på et autentisk problem. Autentisk betyder i denne sammenhæng at problemet både skal opleves som meningsfyldt for eleverne, samtidig med at det kan relateres til udfordringer for andre end eleverne selv. Undervejs inddrager eleverne viden fra eksisterende fag.

Teknologi forstås i denne sammenhæng bredt, fra skruer og krydsfiner til apps på mobil. Teknologi inkluderer den viden, der skal til for at designe, fremstille, anvende, vedligeholde og genbruge teknologiske artefakter. Det skal derfor understreges, at viden om, hvordan teknologi fungerer – fx en skriftlig instruktion i, hvordan man renser vand – er et teknologisk produkt.

I mange lande – primært USA og UK – har der i det sidste årti eksisteret store initiativer, som har til formål at forny undervisningen ved at indføre engineering. Det sker enten ved at integrere engineering-undervisning i eksisterende naturfag eller ved at udvikle særlige engineering-projekter, der er rettet mod engineering som et selvstændigt fag.

10.1.2 Problembaseret læring (PBL)

PBL er udviklet som et redskab til bedre læring. PBL udspiller sig i projekter, hvor grupper af elever i en faseopdelt proces arbejder med at finde svar på et problem. I den oprindelige version af PBL var det en nødvendighed, at underviseren introducerede det problem, som eleverne skulle arbejde med. Men nu omfatter PBL også versioner, hvor der arbejdes med elevformulerede problemstillinger. Det er essentielt, at problemet er løst defineret ("ill structured") og derfor lægger op til flere forskellige løsninger.

I problemløsningsprocessen er der stort fokus på elevernes egne analyser af, hvilken viden de har brug for at tilvejebringe undervejs for at finde frem til et svar eller en løsning. Desuden er der fokus på, at eleverne selv planlægger, udfører og afrapporterer deres arbejde med at skaffe viden. Underviseren fokuserer på den forudgående planlægning – herunder overvejelser om, hvilke typer af problemer grupperne skal arbejde med for at nå en række givne læringsmål – og på stilladsering af elevernes arbejds- og læringsprocesser.

Eleverne planlægger og udfører gruppevis selv de læringsaktiviteter (fx undersøgelser), som de finder nødvendige. Elever, der har indhentet ny viden, rapporterer tilbage til gruppen, som derefter gennemgår problemet i lyset af den nye viden. Elevgruppen udvikler og præsenterer deres løsning og afslutter aktiviteten med refleksioner over, hvad de har lært, og om deres strategier til indhentning og deling af viden samt analyse af problemet har været effektive.

10.1.3 Designbaseret undervisning

Det mest velbeskrevne og målrettede eksempel på designbaseret undervisning er Learning by Design (LBD), en specifik tilgang til undervisning i naturfagene, som blev udviklet i USA i 1990'erne.

LBD er på mange måder en videreudvikling af PBL. I udgangspunktet var tilgangen rettet mod naturfag med fokus på elever fra 6. til 8. klassetrin. Siden har modellen inspireret en lang række udviklingsprojekter og undervisningsmetoder, der indeholder de væsentlige træk fra LBD. Sådanne ideer omtales bredt som *designbaseret undervisning*.

I denne sammenhæng bruges ordet design for at angive, at en specifik tilgang til undervisning er resultatet af en målrettet designproces, som er udført af lærere og/eller didaktikere.

LBD blev udviklet for at tage hånd om det problem, at undersøgelser viste, at elever i udskolingen var glade for at arbejde aktivt og procesorienteret i problemløsende projekter, men det var ikke muligt at påvise, at arbejdet resulterede i bedre læring af det naturfaglige indhold i form af begreber og teorier.

10.1.4 Social Scientific Issues (SSI)

SSI-undervisning placerer naturfagsundervisning i en bred kontekst i form af en samfundsmæssig problemstilling, der har en relation til et eller flere naturvidenskabelige emner. Problemstillingen er kompleks og vanskelig at få hold på, og netop fordi den er "social", har den ikke nogen "korrekt" løsning.

Ofte vil de problemer, der tages op, være kontroversielle, til trods for at de har en naturvidenskabelig kerne, fordi problemstillingen – og den eventuelle uenighed – er omgivet af holdninger og etisk-politiske overvejelser. Der er mange eksempler. Fx om man bør begrænse udbredelsen af sygdomme ved at tvangsvaccinere borgerne med vacciner med videnskabeligt dokumenteret virkning. Eller om man skal begrænse fiskeres ret til at fiske på grundlag af biologisk kortlægning af fiskebestande.

I SSI-undervisning arbejder underviseren altså bevidst med problemstillinger og diskussioner, der rækker ud over det naturvidenskabelige. Det betyder, at det vil være legitimt (og muligvis stærkt motiverende) for en elev at sige: "Jeg kender den videnskabelige evidens, der indgår som baggrund for diskussionen, men min holdning (til fx frihedsrettigheder eller dyrevelfærd) spiller en rolle for, hvordan jeg danner min mening. Min holdning er derfor …, og min begrundelse er…".

Den samme type af samfundsrelaterede emner kan tages op i forbindelse med teknologi og engineering.

For underviseren betyder det, at diskussionen i klassen ændrer karakter fra at være naturvidenskabelig/teknisk til også at inddrage etiske og holdningsmæssige argumenter. Derfor kan man også beskrive SSI-undervisning som demokratiforberedende STEM-undervisning.

10.1.5 Innovation og entreprenørskab

I den version af entreprenørskab, der i Europa rammesættes af EU, er entreprenørskab hverken en undervisningsmetode eller et fagområde, men et nyt, overordnet uddannelsesmål.

Internationalt er der ikke enighed om, hvad mål og begrundelse er for undervisning i entreprenørskab. Selv nyere oversigtsartikler peger på, at der heller ikke er enighed om, hvilke tilgange undervisere bedst kan bruge i forbindelse med undervisning i entreprenørskab.

På den ene side eksisterer en ældre og snæver opfattelse, hvor entreprenørskab (herunder det danske "iværksætteri") er knyttet til evne og lyst hos den enkelte til at starte egen virksomhed.

På den anden side en nyere og bred opfattelse, hvor entreprenørskab ses som en kompetence og indstilling, alle kan bibringes, og hvor fokus ikke er på business og økonomi, men er udvidet til at omfatte alle situationer hvor den/de entreprenante muliggør skabelse af værdi for andre.

I dansk sammenhæng har der – i overensstemmelse med udmeldingerne fra EU – været stor politisk opmærksomhed på at indføre entreprenørskab i undervisningen. I grundskolen udgør entreprenørskab sammen med innovation et tværgående emne i alle fag. På tværs af grundskolens fag er innovation og entreprenørskab derfor defineret lidt forskelligt (jf. Fælles Mål 2019). I naturfagene er innovation og entreprenørskab udfoldet i relation til problembaseret undervisning hvor eleverne både skal lære faget, samtidig

med de udvikler et produkt, metodisk og med relevans for andre. I innovationsdelen i naturfag skal det vægtes højt, at forbedringerne er originale i sammenhængen, og at der metodisk anvendes en tilgang som er meget lig engineering. I entreprenørskabsdelen i naturfag lægges der mere vægt på, at forbedringerne kan omsættes til handling i den virkelige verden, uden det er nærmere beskrevet hvordan. Grundlæggende skal eleverne lære naturfag samtidig med, at de udvikler forbedringer af produkter, metoder og problemløsende forslag m.m. af relevans for andre.

10.1.6 Inquiry Based Science & Math Education (IBSME)

I IBSME-inspireret undervisning er udgangspunktet for aktiviteter i klassen et "naturvidenskabeligt" spørgsmål, som eleverne gennem egne undersøgelser og egne overvejelser besvarer ved at formulere en naturvidenskabeligt acceptabel forklaring. Problemløsningen i IBSME er altså rettet mod at finde erkendelse og formulere en forklaring på et fænomen – at blive klogere. IBSME er ikke rettet mod at finde en praktisk løsning på en udfordring, som tilfældet er i engineering. På dansk omtales IBSME af og til som *undersøgelsesbaseret undervisning* i matematik og naturfag.

IBSME er karakteriseret ved, at eleverne efterligner metoder og processer, som videnskabsfolk gennemfører i egentlig forskning. En af begrundelserne for IBSME er netop, at eleverne på denne måde lærer om videnskab som en række dynamiske, videnskabende metoder og processer, samtidig med at de selv tilegner sig kompetencer i at udføre undersøgelser og formulere konklusioner.
I grundskolen i Danmark har undersøgelseskompetencen siden 2014 været en af fire gennemgående kompetencer i de naturvidenskabelige fag, og elevernes undersøgelser kan indgå i den praktiske fællesfaglige afgangsprøve i naturfagene. Dermed er der et godt grundlag for at arbejde med IBSME i grundskolen.
IBSME og den naturfaglige undersøgelseskompetence kommer naturligt i spil i forbindelse med engineering-designprocessens delkompetence *Undersøge*.

10.2 Oversigt med sammenligning af undervisningstilgange

I tabel 10.1 karakteriseres de forskellige tilgange helt kort i forhold til fire temaer:

- *Primær begrundelse og mål*: Hvad er den didaktiske begrundelse for at arbejde med denne tilgang, og hvad er det dermed, der ideelt set skal opnås i undervisningen?
- *Udfordring/Afsæt for undervisning*: Når udgangspunktet tages i begrundelsen, hvordan iscenesættes undervisningen så i praksis? Hvor tager undervisningen sit udgangspunkt? Hvilket område er den rettet imod?
- *Kobling af proces til fag*: Alle syv tilgange introduceres i en eksisterende skolesituation med etablerede fagligheder. Det er derfor relevant at se på, hvorledes tilgangen forholder sig til skolens eksisterende fag.
- *Arbejdsmodel/proces*: De fleste af de syv tilgange foreskriver en proces for elevernes arbejde. Afhængigt af hvor essentiel processen anses for at være, kan den være mere eller mindre velbeskrevet og eksplicit.

Primær begrundelse og mål	Udfordring/Afsæt for undervisning	Kobling af proces til fag	Arbejdsmodel/proces
Engineering			
Naturfaglig læring. Teknologisk dannelse. Generiske procesfærdigheder. STEM-rekruttering.	Autentisk omverdensproblem som afsæt for fagligt funderet problemløsning.	Kan inddrage naturfag, matematik, håndværksfag samt andre fag. Fagintegration et mål.	Faseopdelt engineering designproces, vægt på iteration og et konkret teknologisk produkt.
Problembaseret læring (PBL)			
Faglig læring gennem problemløsning. Generiske procesfærdigheder. Selvstændighed.	Løst defineret problem, som der kan findes forskellige løsninger på.	Læringsmål og problem er styrende – fag trækkes ind efter behov.	Semistruktureret proces med delfaser: • Afsøg problemet • Indsaml info/undersøg • Syntetiser en problemløsning/et svar.
Designbaseret undervisning			
Naturfaglig læring, især begrebsforståelse.	Ofte cases som afsæt for design.	Tager udgangspunkt i faglige læringsmål.	Design og faglige undersøgelser vævet sammen i semistruktureret proces.
Social Scientific Issues (SSI)			
Naturfag i samfundsfaglig/etisk kontekst. Naturfaglig opdragelse til demokrati.	Samfundsmæssig problemstilling, der har relation til et eller flere naturvidenskabelige emner, men ikke nogen entydig løsning.	Udvidelse af traditionel naturfagsundervisning. Inddragelse af etiske overvejelser i engineering.	Projekt- eller emnearbejde, der omfatter naturvidenskabelig/teknologisk viden samt holdninger og diskussioner.
Innovation og entreprenørskab			
Kreativitet/nytænkning. Generiske færdigheder som beskrive, analysere, evaluere. Værdi for den enkelte og samfund, evt. med et økonomisk spinoff.	Behov/udfordring, som kræver nytænkning og udløser oplevet merværdi. Enten for andre eller som et markedsbehov mhp. salgbart produkt, som kan stå sig i konkurrence.	Forskelligt fra fag til fag. I naturfag beskrevet som problembaseret undervisning, hvor eleverne skal lære naturfag. Entreprenørskab er svagt udfoldet ift. naturfag.	Anvendelse af en designproces til innovation. I naturfagene beskrevet meget lig engineering. Entreprenørskab er i naturfag ikke tilknyttet en procesmodel.
Inquiry Based Science & Math Education (IBSME)			
Naturvidenskabelig læring, især metodelæring. Undersøgelseskompetence.	Naturvidenskabeligt spørgsmål, gerne elevformuleret. Frihedsgrader mht. undersøgelse og tolkning.	Eftergør naturvidenskabelige forsknings- og undersøgelsesprocesser, herunder indsamling af evidens.	Elever stiller naturfaglige spørgsmål, som de forfølger ved at udtænke, udføre, fortolke og fremlægge undersøgelser.

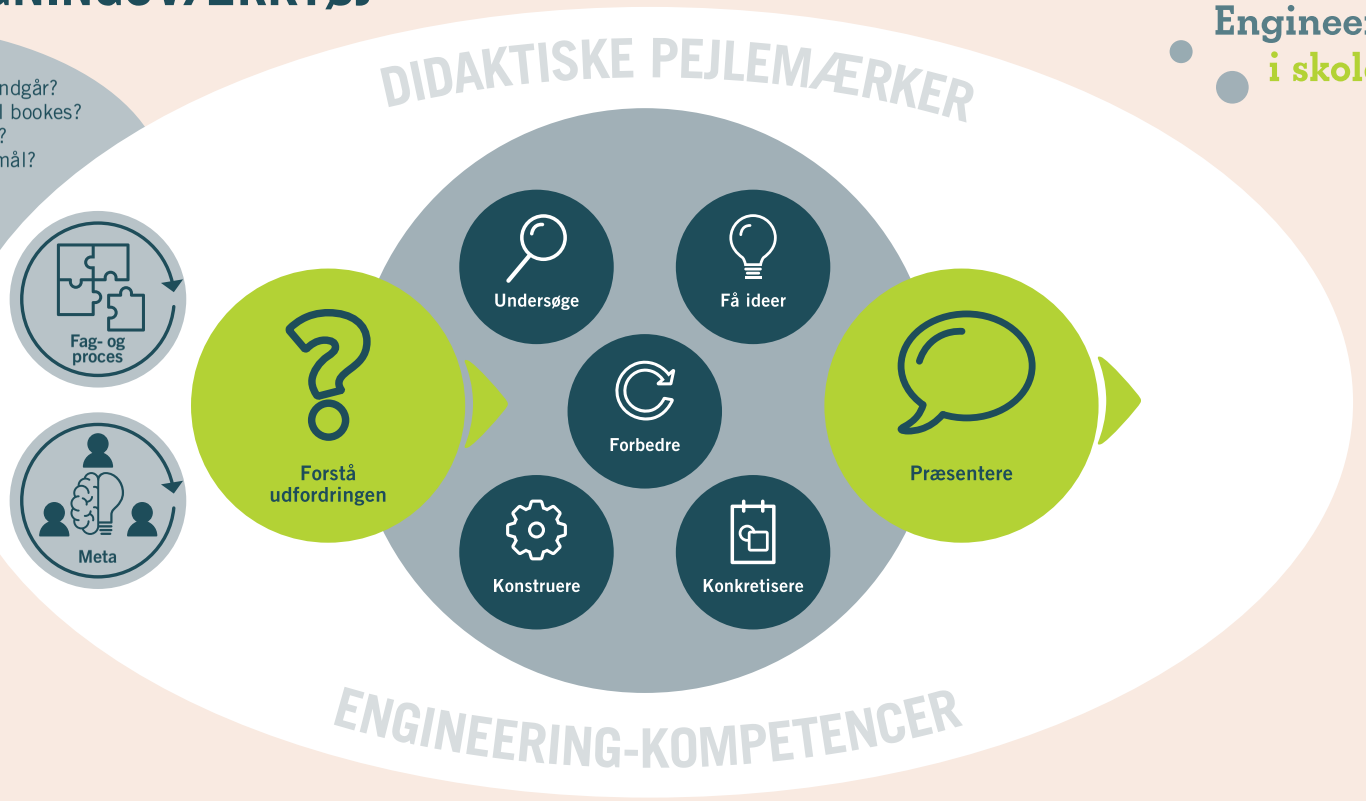
Tabel 10.1: Flere af de nye ideer har en række fælles træk: Der lægges vægt på, at undervisningen er elevaktiverende, problemløsende, samarbejdsorienteret, praksisorienteret, undersøgende og ofte tværfaglig. Gennem bestemte typer af vejledning af eleverne (stilladsering) har underviseren rollen som planlægger og proceskonsulent. Desuden indgår i begrundelsen for de fleste tilgange, at de medvirker til at øge elevernes læring i relevante fagområder.

PLANLÆGNINGSVÆRKTØJ

Engineering i skolen

FORLØBSRAMME

- Hvilke fag og lærere indgår?
- Er der lokaler der skal bookes?
- Hvor mange lektioner?
- Hvilke undervisningsmål?
- Hvordan inddrages de 6 didaktiske pejlemærker?
- Hvilke engineering-kompetencer er i fokus?



RAMMESÆTNING

- Afgræns problemfelt, engineering-udfordringer og krav til prototypen
- Introducer engineering designprocessen
- Overvej elevernes frihedsgrader
- Fag- og processtilladsering: fokuser på elevernes ejerskab til problemfeltet og inddrag evt delprocessen forbedre
- Metastilladsering: tydeliggør hvad eleverne skal lære, herunder engineering-kompetencer.

VIDEN OG UNDERSØGELSER

- Overvej hvilke undersøgelser der er relevante
- Fag- og processtilladsering: fokuser på fagspecifikke kompetencer, viden og undersøgelsesmetoder, og inddrag delprocessen Forbedre
- Fag- og processtilladsering: fokus på elevernes materialekendskab
- Metastilladsering: fokus på elevernes refleksion over og feedback om undersøgelsesresultater.

TEKNOLOGISK DESIGN

- Fag og processtilladsering: fokus på både proces og produkt, samt inddragelse af viden undersøgelser
- Fag- og processtilladsering: fokus på både divergente- og konvergente handlinger i delprocesserne Få ideer og Konkretisere
- Metastilladsering: understøt refleksion over til- og fravalg, materialer og inddragelse af viden fra egne undersøgelser.

SYNERGI OG PERSPEKTIV

- Fag- og processtilladsering: fokus på konstruktion og test af prototyper
- Fag- og processtilladsering: fokus på elevernes præsentation af egne løsningsforslag og designvalg
- Metastilladsering: understøt argumentationen for til- og fravalg, systematiske forbedringer af prototypen samt processuelle læringer gennem designprocessen
- Rammesæt præsentationen, så krav til prototypen, faglig viden fra undersøgelser samt refleksioner fra processen inddrages.

Engineering i skolen er et samarbejde mellem Engineer the future, VIA University College, Københavns Professionshøjskole og Astra, finansieret af VILLUM FONDEN.

Engineer the future

VIA University College

KØBENHAVNS PROFESSIONSHØJSKOLE

astra*

VILLUM FONDEN