

7 Kapitel 1.
Engineering – en faglighed i skolen

11 Kapitel 2.
Tværfaglig engineeringundervisning

17 Kapitel 3.
Engineering designprocessen

23 Kapitel 4.
Den gode engineering-udfordringer

31 Kapitel 5.
Lærerroller, elevstilladsering og evaluering

41 Kapitel 6.
Engineerings didaktiske pejlemærker

47 Kapitel 7.
Engineering som praksisfaglig didaktik

53 Kapitel 8.
Engineering og matematik



65 Kapitel 9.
Engineering og naturfag

75 Kapitel 10.
Engineering og håndværk og design

83 Kapitel 11.
Engineering og teknologiforståelse

91 Kapitel 12.
Engineering-didaktik i makerspaces

97 Kapitel 13.
Skolevirksomhedssamarbejde gennem engineering

107 Kapitel 14.
Motivation og lige deltagelsesmuligheder

113 Kapitel 15.
Engineering og andre undervisningstilgange



Introduktion

'Engineering – en praksisfaglig didaktik' udgør en samlet didaktik for engineering-undervisning i grundskolen. Den opstiller rammer for, hvordan man kan planlægge og gennemføre en undervisning, der er inspireret af den måde, som ingeniører arbejder på. Didaktikken beskriver, hvordan undervisningen kan organiseres i projektforsløb, hvordan den kan planlægges, hvilke mål den kan opfylde og hvordan fag og fagligheder på forskellig vis kan integreres i engineering designprocessen.

Denne tredje version af engineering-didaktikken bygger videre på de tidligere versioner og på nyere fagdidaktisk viden fra didaktikere på professionshøjskolerne, Naturvidenskabernes Hus og Engineer the Future. Didaktikken er desuden blevet revideret på baggrund af erfaringer fra de sidste mange års konkret brug af didaktikken i grundskolen.

Som noget nyt rummer didaktikken både matematik, håndværk og design og naturfagene og sætter engineering ind i en tydeligere praksisfaglig og tværfaglig ramme. Engineering og digital teknologiforståelse er to fagligheder som har meget til fælles og derfor med fordel kan supplere hinanden, og derfor har den nye faglighed som rammer grundskolen fra 2027 fået et særskilt kapitel.

Derudover er der tilføjet et kapitel om makerspaces, da der er gode erfaringer med at anvende engineering som didaktisk tilgang i det læringsmiljø. Der er et nyt kapitel om engineering og skolevirksomhedssamarbejde, da engineering's fokus på autentiske problemfelter udvider mulighederne for et samarbejde mellem skole og virksomhed. Endelig indeholder didaktikken også et kapitel om motivation og elevers lige deltagelsesmuligheder gennem engineering.



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 bestemmes af de udfordringer, som eleverne arbejder med i deres projekt. Det faglige problemfelt og indhold fastlægges 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 målene med undervisningen.

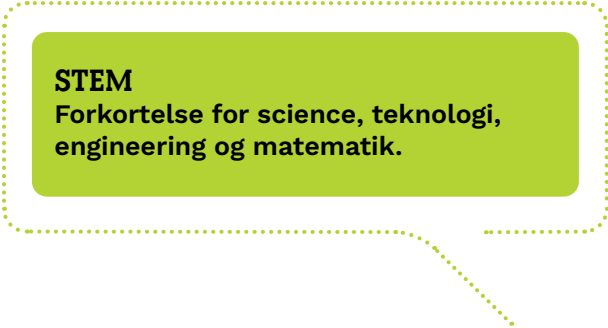
Engineering repræsenterer E'tet i STEM og indgår derfor i mange sammenhænge sammen med fagene Science (naturfag), Teknologi og Matematik. Derfor er arbejdet med disse fag i centrum for engineering-didaktikken. Engineering begrænses dog ikke kun til disse fag, da det ofte også kan være relevant at undersøge fx samfundsfaglige dele af et problem, for at komme frem til gode løsninger. Derudover er engineering en designproces, hvor der udvikles konkrete prototyper og faget håndværk og design kan også være centralt i engineering designprocesser.

Engineering introduceres dermed som en ramme om elevernes arbejde med fagligt indhold. Forhåbentlig er denne ramme intuitiv indlysende, når man som lærer vil planlægge og gennemføre et problembaseret projektarbejde. Et af formålene med denne didaktik er at skabe en ramme, der rummer forskellige muligheder for at engagere og udfordre eleverne og for at udvikle både lærerens og elevernes kompetencer til at arbejde åbent, iterativt og procesorienteret.

Det er en styrke, at arbejdet i engineering designprocesser både udvikler elevernes evner til at kommunikere, planlægge og samarbejde, og at de derudover kan sætte deres faglige viden ind i en større autentisk sammenhæng. De får mulighed for at bruge deres tilegnede viden 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.

Engineering adskiller sig fra anden problembaseret undervisning ved at integrere naturfag, matematik samt håndværk og design med en naturlig inddragelse af praksisfaglige elementer og teknologiudvikling. Styrken ved at arbejde med engineering er, at eleverne oplever, at viden og indhold fra fag har et tydeligt anvendelsessigte og er helt nødvendig i konkrete optimerings- og forbedringsprocesser.

God fornøjelse



STEM
Forkortelse for science, teknologi,
engineering og matematik.

Indholdet i kapitlerne

Kapitel 1. Engineering – en faglighed i skolen

Her introduceres engineering som en procesorienteret faglighed i skolen. Med udgangspunkt i et bredt teknologibegreb begrundes vi hvordan engineering kan bidrage til, at elever udvikler kundskaber og engagement, at de myndiggøres gennem undervisningen, og hvordan engineering kan styrke elevernes teknologiske dannelse.

Kapitel 2. Tværfaglig engineering-undervisning

I kapitlet redegøres for engineering som tværfaglig undervisningstilgang, og hvorfor problembaseret og procesorienteret undervisning giver mange og indlysende muligheder for at integrere både fag og fagligheder i et engineering-forløb. I kapitlet udfoldes, desuden hvorfor det kan være hensigtsmæssigt for elevers motivation og engagement at have fokus på forskellige former for autenticitet i engineering-undervisning.

Kapitel 3. Engineering designprocessen

Her introduceres engineering designprocessen og de syv delprocesser, den består af. I kapitlet uddybes, hvorfor disse syv delprocesser er centrale for, at engineering-undervisning kan planlægges og gennemføres. Kapitlet afsluttes med en beskrivelse af forskellige former for prototyper og hvilken betydning de har for elevers arbejde i engineering designprocesser.

Kapitel 4. Den gode engineering-udfordring

I kapitlet beskrives, hvad der kendetegner en god engineering-udfordring. En udfordring inden for et autentisk problemfelt, som indeholder både fagligt indhold og elevmotiverende perspektiver. Desuden præsenteres en konkret model til afgrænsning af autentiske problemfelter med gode engineering-udfordringer, som kan anvendes i planlægning af engineering-undervisningen.

Kapitel 5. Lærerroller, elevstilladsering og evaluering

I dette kapitel udfoldes, hvordan lærerens traditionelle rolle ændres i engineering-kontekst. Det beskrives, hvad facilitator-rollen indebærer for læreren, og hvordan man som lærer gennem sin planlægning kan understøtte rollen ved at indtænke forskellige typer af stilladsering og evaluering af elevernes processuelle arbejde.

Kapitel 6. Engineerings didaktiske pejlemærker

I kapitlet sammenfattes en række didaktiske pejlemærker, som er centrale ved planlægningen af et velfungerende engineering-forløb, samt et konkret værktøj til lærerne til at vurdere kvaliteten af eksisterende engineering-forløb.

Kapitel 7. Engineering som praksisfaglig didaktik

Her begrundes engineering som en praksisfaglig didaktik ud fra forskning om praksisnær og anvendelsesorienteret undervisning. Ligeledes uddybes, hvorfor engineering er et oplagt valg til både at arbejde med praksisfaglige elementer og opfylde de nye fagplaners intentioner, om at undervisningen både skal udvikle kundskaber og engagement hos eleverne samt myndiggøre dem.

Kapitel 8. Engineering og matematik

I kapitlet introduceres en række didaktiske potentialer for anvendelse af engineering som praksisfaglig didaktik i skolefaget matematik. Undervejs underbygges de matematikfaglige muligheder med engineering med eksempler på en matematikundervisning, som er anvendelsesorienteret, og hvor eleverne udvikler matematiske handle- og tænkemåder fx gennem undersøgende matematik og matematisk modellering i designprocessen.

Kapitel 9. Engineering og naturfag

I dette kapitel udfoldes, hvordan engineering kan sikre flere praksisfaglige dimensioner i naturfagsundervisningen, samt hvordan engineering kan bidrage til øget læring i naturfagene med fokus på elevernes kundskaber, engagement og myndiggørelse. Kapitlet belyser desuden, hvordan der kan arbejdes med forskellige naturfaglige praksisser i en engineering designproces, og hvordan naturfaglig undersøgelse og modellering er naturligt integreret.

Kapitel 10. Engineering og håndværk og design

Kapitlet beskriver samspillet mellem håndværk og design-faglighed og engineering, og hvordan fagets udtryk ses i delprocesserne i engineering. Til sidst beskrives, hvordan engineering kan understøtte refleksioner over valg og fravalg af materialer og teknikker, samt hvordan engineering og æstetiske læreprocesser kan gå hånd i hånd.

Kapitel 11. Engineering og teknologi-forståelse

I dette kapitel beskrives, hvordan engineering og digital teknologiforståelse kan se ud i et praksis-fagligt perspektiv, og hvordan engineering kan bidrage til at styrke elevernes teknologiske handleevne, digitale myndiggørelse og computationelle tankegange i en engineering designproces. Afslutningsvis beskrives, hvordan generativ AI kan anvendes på forskellige måder til understøtte elevernes design-proces.

Kapitel 12. Engineering-didaktik i makerspaces

I dette kapitel præsenteres, hvordan engineering som didaktik kan fremme læringsudbyttet i makerspaces. Med eksempler udfoldes, hvordan engineering kan fremme flere praksisfaglige dimensioner i læringsrummet, og der angives konkrete anbefalinger til makerteknologier, som har særligt potentiale i engineering-undervisningen.

Kapitel 13. Skolevirksomhedssamarbejde gennem engineering

Her udfoldes, hvordan skolevirksomhedssamarbejde har et særligt praksisfagligt potentiale i engineering-undervisning i forhold til autenticitet og udvikling af konkrete praksisfaglige kundskaber i mødet med virksomheder. Desuden bidrager kapitlet med eksempler på forskellige skolevirksomhedsaktiviteter samt med en model til at finde relevante virksomheder til et engineering-forløb.

Kapitel 14. Motivation og lige deltagelsesmuligheder

I dette kapitel præsenteres fem forskellige former for elevmotivation. Derefter gives en række eksempler på, hvordan engineering kan udvikle de forskellige motivationsformer hos elever. I anden del af kapitlet beskrives, hvordan kulturelle fortællinger kan skabe barrierer for forskellige elever, og hvordan disse kan udfordres gennem didaktiske greb i engineering designprocesser.

Kapitel 15. Engineering og andre undervisningstilgange

Her præsenteres forskelle og ligheder mellem engineering og problembaseret læring, designbaseret undervisning, socio-scientific issues, innovation og entreprenørskab, inquiry-baseret matematik- og naturfagsundervisning samt tinkering.





Kapitel 1. Engineering – en faglighed i skolen

Her introduceres engineering som en procesorienteret faglighed i skolen. Med udgangspunkt i et bredt teknologibegreb begrundes vi hvordan engineering kan bidrage til, at elever udvikler kundskaber og engagement, at de myndiggøres gennem undervisningen, og hvordan engineering kan styrke elevernes teknologiske dannelse.

Engineer the future

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 tilstrækkeligt 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".

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 negativ påvirkning af naturen, hvad enten det drejer sig om kemikalier i miljø og drikkevand, plast i verdenshavene, luftpartikler i storbyerne eller drivhusgasser i atmosfæren. Disse problemer har menneskeheden skabt gennem uhensigtsmæssig og ureguleret brug af teknologi.

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 fagspecifikke og engineering-faglige kundskaber, så de oplever, at færdigheder og viden på tværs af fag både er nødvendigt og kommer i anvendelse i en designproces. Kundskaber, der gør dem i stand til, konstruktivt og kritisk, at deltage i problemløsende aktiviteter, der både skaber teknologier og giver indsigt i konsekvenserne 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 løsning af autentiske og samfunds-faglige problemer. Problemer, der har tværfaglig karakter og indeholder en teknologisk løsning.
- Eleverne skal med teknologisk dannende undervisning og engineering-faglighed blive myndiggjort, så de ikke bare forstår, men også oplever at kunne handle på de muligheder og konsekvenser, som udvikling og anvendelse af teknologier medfører. Formålet med dette er at styrke elevernes almen-dannelse og dermed forudsætninger for at forstå, skabe og agere meningsfuldt i et samfund, hvor teknologier i stigende omfang er katalysatorer for forandringer.

Udvikling af teknologisk dannelse hos eleverne er med den argumentation både en central og uundværlig del af den almindelige dannelse, som skolens fag samlet er forpligtet på at bidrage til ifølge folkeskolens formål. En engineering-undervisning, som er beskrevet i dette kompendium, er en faglighed, der kan løfte den opgave, og som samtidig sikrer, at eleverne udvikler kundskaber, engagement og myndiggørelse i fagene. Hvilket netop er indeholdt i den didaktiske treklange for undervisningen, som alt indhold i skolens fag fra 2027 skal lede frem mod.

Engineering som faglighed i skolen er på tværs af fag både alment og teknologisk dannende, og engineering er en didaktisk tilgang, der kan bidrage til en helheds- og anvendelsesorienteret undervisning, hvor elevens udvikling af kundskaber, engagement og myndiggørelse er i centrum.

Teknologi og engineering

I engineering 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".

Dette didaktikkompendium beskriver engineering som en praksisfaglig procesorienteret faglighed i skolen, der bidrager til at styrke elevens teknologiske dannelse. Dermed signalerer vi, at det kan indgå som et element i mange forskellige fag i både monofaglige og tværfaglige sammenhænge. Dette vil blive foldet yderligere ud i de kommende kapitler.





Kapitel 2. Tværfaglig engineering-undervisning

I kapitlet redegøres for engineering som tværfaglig undervisningstilgang, og hvorfor problembaseret og procesorienteret undervisning giver mange og indlysende muligheder for at integrere både fag og fagligheder i et engineering-forløb. I kapitlet udfoldes, desuden hvorfor det kan være hensigtsmæssigt for elevers motivation og engagement at have fokus på forskellige former for autenticitet i engineering-undervisning.

Engineer the future

Tværfaglig engineering-undervisning

Undervisning i skolen, som bidrager til udvikling af elevernes teknologiske dannelse, har traditionelt hørt til i naturfagene og matematik. Men arbejdet med, om og i teknologi er mere tværfagligt end blot STEM-undervisning, da teknologisk dannelse også indeholder æstetiske og samfundsfaglige perspektiver på teknologi. Engineering som helheds- og anvendelsesorienteret didaktik giver elever mulighed for at arbejde med teknologi i og på tværs af flere fag og fagligheder i skolens undervisning. Det er der flere grunde til, men særligt to argumenter tydeliggør, hvorfor engineering grundlæggende er en tværfaglig disciplin:

- 1) Engineering-undervisningen er problembaseret, hvor udgangspunktet er autentiske problemfelter fra virkeligheden, ofte med flere teknologiske udfordringer, som sjældent forstås med indhold fra en afgrænset gruppe fag. Virkelighedens teknologiske udfordringer er ligeglade med "kunstige" faggrænser i skolen.
- 2) Engineering er en procesorienteret tilgang, hvor de løsninger og/eller prototyper, som eleverne udvikler, ofte vil kræve, at viden og metoder fra flere fag og fagligheder inddrages i designprocessen.

Dette kapitel vil derfor både beskrive engineerings rolle i forhold til de øvrige tre områder i de traditionelle STEM-discipliner: science (naturfag), teknologi og matematik, og hvorfor en engineering-tilgang til teknologi også gør andre af skolens fag relevante.

Tværfaglig STEM-undervisning

Udtrykket STEM bruges i mange sammenhænge og dermed i mange forskellige betydninger, og det har ikke altid været klart, hvad STEM og STEM-undervisning er. Derfor uddyber vi her engineering-didaktikkens tolkning af STEM, og hvorfor engineering er centralt for en sammenhængende tværfaglig STEM-undervisning.

I en STEM-kontekst er der to vigtige pointer:

- Det er muligt at undervise i engineering – eller i matematik eller naturfag – uden at der er tale om STEM-undervisning (forklaring følger).
- Engineering-didaktikken er et oplagt udgangspunkt for at arbejde med STEM-undervisning.

Mange opfatter STEM-undervisning som ét 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.

Engineering-didaktikkens mål med STEM-undervisninger 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 senere i kapitlet.

I forbindelse med et amerikansk studie¹ gav forskerne 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.

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.

Kort opsummeret kom de frem til følgende:

Ved STEM-undervisning forstås 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.

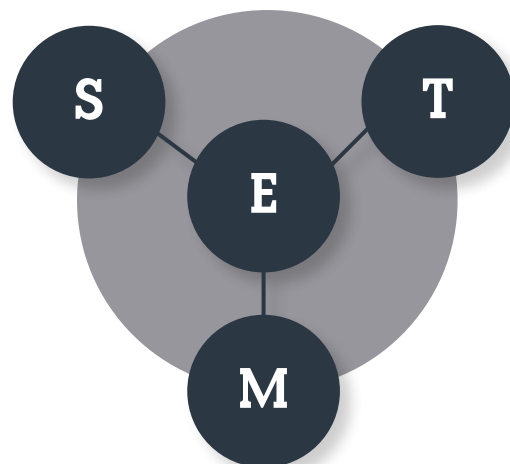
Det skal ikke forstås på den måde, at et forløb kun er STEM, hvis alle fire områder inddrages samtidigt. Det afgørende er, at eleverne arbejder med at forstå og løse et problem, og det er dette problem – støttet af lærerens planlægning og stilladsering – som styrer, hvilke fagligheder, færdigheder, viden,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

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 til at træne en række kompetencer, såsom samarbejde og planlægning, eller træne engineering designprocessen. Men inddrages viden fra de andre STEM-faglige områder ikke eksplicit, så er det ikke tværfaglig STEM-undervisning, som vi har defineret det.

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.

En funktionel tværfaglighed opstår ikke af sig selv, men kræver en bevidst indsats fra læreren, både ift. valg af problemfelt samt valg af, hvilken viden og praksisser fra andre STEM-fagområder, som er meningsfulde at inddrage i processen.



Tværfaglig engineering-undervisning er autentisk og problembaseret

Et udbredt kendetegn ved tværfaglig engineering-undervisning er, at eleverne skal arbejde med motiverende problemstillinger, hvor løsninger ofte kræver viden og praksis fra mere end ét fagområde. Med det fokus giver det ikke mening kun at afgrænse engineering til STEM-fagene, da både det motiverende problemfelt og inddragelse af faglighed i designprocessen kalder på tværfaglighed som bredere end STEM.

Inden for fagdidaktikken har motivation og 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 naturfagsdidaktik har dette arbejde taget udgangspunkt i tre former for elevautenticitet: personlig, faglig og samfundsmæssig autenticitet.

Forskellige former for autenticitet

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 eleverne enten bidrager til afgrænsning af et fagligt problemfelt, og/eller det indeholder flere engineering-udfordringer, der kan opleves som meningsfulde for forskellige elever. En god engineering-udfordring kan derfor være inden for et tværfagligt problemfelt, som relaterer sig til situationer tæt på elevens eget hverdagsliv (fx en holder til en mobiltelefon, der kan aflaste armen). En god engineering-udfordring kan også opleves som personligt autentisk, selvom problemfeltet ligger længere væk fra elevens hverdag, særligt hvis eleverne har haft indflydelse på valg af problemfeltet, eller hvis eleven forstår argumentet bag (det kunne fx være nødvendigheden af at designe bæredygtig emballage til transport af varer købt på webshops for at begrænse mængden af fx plast).

Faglig autenticitet. Gode engineering-udfordringer kan også være kendetegnet ved, at de relaterer sig til et afgrænset problemfelt på en faglig realistisk måde. Problemfelter med udgangspunkt i konkrete faglige udfordringer (eller mindre komplekse dele af dem), som fx forskere, ingeniører eller håndværkere dagligt arbejder på at løse, vil kunne bidrage til at øge elevernes oplevelse af et anvendelsesperspektiv og dermed autenticitet. Det kunne være udfordringer med at lagre energi eller udvikle CO₂-neutrale transportmidler.

Samfundsmæssig autenticitet. Endelig kan et autentisk problemfelt også 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. I engineering-didaktikken afgrænses samfundsfaglige problemfelter primært af indhold fra fagene, som kan bidrage til udvikling af teknologiske løsninger. Med sådanne problemfelter vil gode engineering-udfordringer blive oplevet som autentiske af eleverne, hvis de lever op til to krav: For det første indeholder problemfeltet, og dermed udfordringerne, indhold fra udvalgte fag, som eleverne kan undersøge og/eller anvende alderssvarende. For det andet indeholder problemfeltet, og dermed udfordringerne, også økonomiske, etiske eller politiske dilemmaer. Altså samfundsfaglige perspektiver, som kræver, at eleverne aktivt tager stilling til problemfeltet, da deres handlinger, fx valg eller fravalg, vil være af afgørende betydning for deres design af en løsning.

Når man i planlægningen af et engineering-forløb afgrænser problemfeltet, skal man ikke nødvendigvis kunne genfinde alle tre former for autenticitet i problemfeltet samtidigt, men det autentiske bidrager positivt til, at flere elever fra start får ejerskab til en engineering-udfordring, og undervisningen får en anvendelsesorientering, som skolens undervisning ofte anklages for at mangle.

Denne beskrivelse af autenticitet tydeliggør dog også, at en reel tværfaglig engineering-undervisning ikke kun kan afgrænses til STEM-fagene.

Engineering med afsæt i autentiske problemfelter

Hvis undervisningen skal spejle virkeligheden og dermed bidrage til, at flere af eleverne oplever en autentisk og motiverende undervisning, vil tværfagligheden række ud over STEM-fagene, ofte med afsæt i samfundsfaglige, personlige og/eller anvendelsesorienterede problemstillinger, og hvor elevernes teknologiske løsninger vil kræve integration af kundskaber fra andre fag og fagligheder. Pointen er, at funktionel tværfaglighed i en engineering-sammenhæng ikke kun må begrænses til faglige sammenhænge på tværs af fag, men i højere grad bør være styret af elevernes oplevelse af autenticitet, og hvordan den kan fastholdes undervejs i designprocessen. Engineering kan derfor godt være fagligt meningsfuldt inden for et monofagligt problemfelt, men ofte vil elever opleve undervisningen som mere motiverende, hvis den tager afsæt i mere tværfaglige problemfelter, hvor narrativet bidrager til at øge autenticiteten som beskrevet i dette kapitel.

Et *autentisk problemfelt* er et afgrænset problemfelt med indhold fra et eller flere fag, som er relevant for elevernes udvikling af teknologiske løsninger. I engineering-undervisning kan sådanne autentiske problemfelter have et eller flere af 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 med teknologi, og som elever kan relatere sig til.
- 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 teknologisk med indhold fra et eller flere fag.

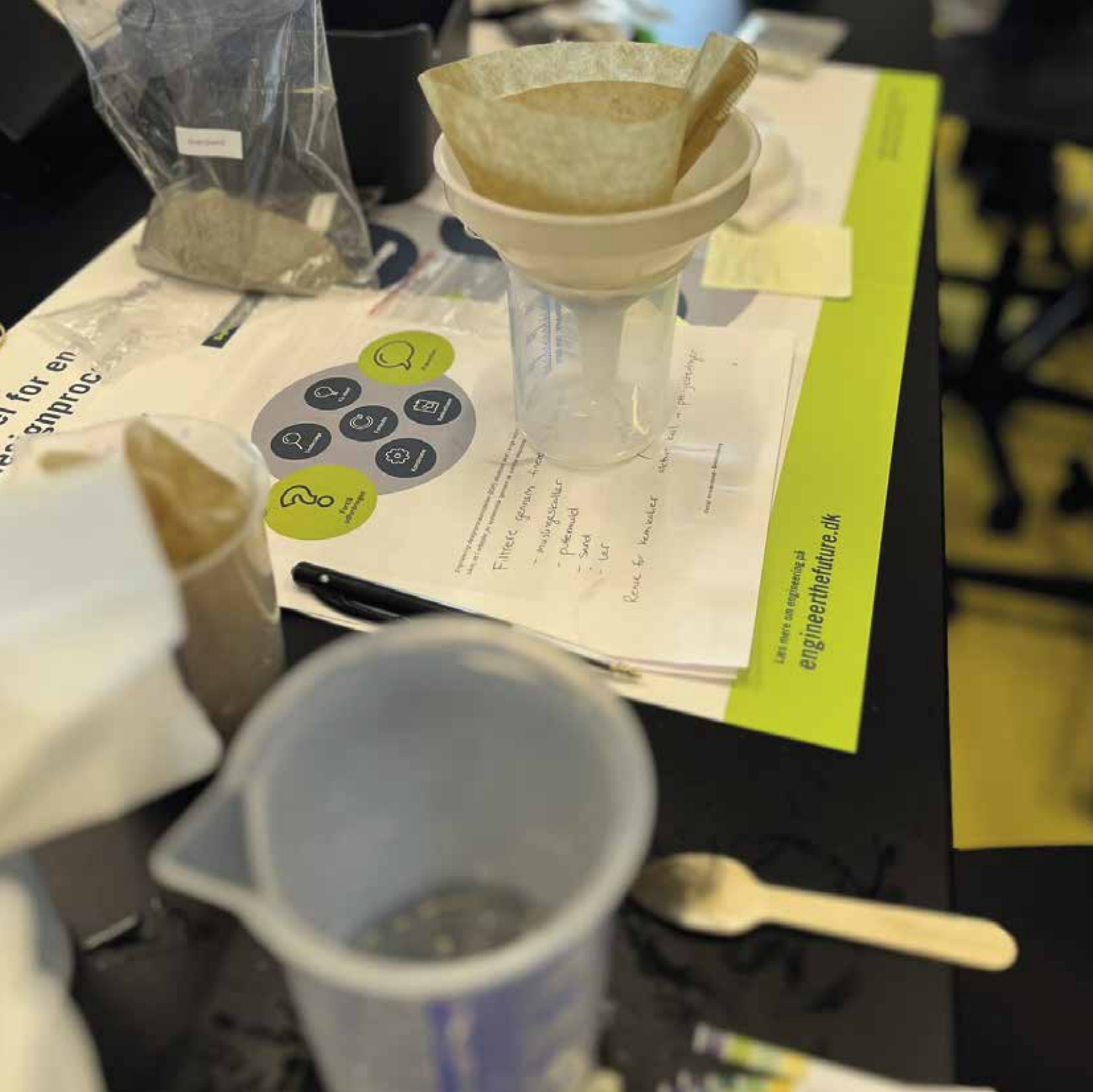
Et autentisk engineering-forløb kræver altså et afgrænset problemfelt, som ofte også indeholder etiske, økonomiske eller politiske dilemmaer, personlig relevans og en anvendelsesorientering, der kan rammesætte elevernes design af en teknologisk løsning, og hvor forskellige faglige kundskaber vil være nødvendige undervejs. Engineering er derfor en oplagt mulighed for et øget tværfagligt samarbejde med fag, der ikke kun hører til STEM-fagene.

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

Tabel 2.1: Eksempler på relevante tværfaglige sammenhænge mellem autentiske problemfelter og fag i grundskolen.

Hvordan forskellige fag og fagligheder kan inddrages i engineering-undervisning, hvorfor engineering er særligt praksisfagligt, samt hvordan gode autentiske problemfelter og tværfaglige engineering-udfordringer kan afgrænses, udfoldes senere i dette kompendium.





Kapitel 3. Engineering designprocessen

Her introduceres engineering designprocessen og de syv delprocesser, den består af. I kapitlet uddybes, hvorfor disse syv delprocesser er centrale for, at engineering-undervisning kan planlægges og gennemføres. Kapitlet afsluttes med en beskrivelse af forskellige former for prototyper og hvilken betydning de har for elevers arbejde i engineering designprocesser.

Engineering designprocessen

Engineering er en designproces til systematisk og videnbaseret problemløsning.

Udgangspunktet for engineering som didaktik i skolen er den måde, som fx 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 kunders 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 stille imod at genskabe eller reflektere.

Disse træk udgør tilsammen en karakteristik, der er fundament for den organisering og gennemførelse af undervisningen, som engineering-didaktikken beskriver.

Skoleverdenen er anderledes end ingeniørverdenen

Denne karakteristik, der handler om ingeniørernes verden uden for skolen, fører på ingen måde direkte til 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 involveret. 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 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 udfordring – at gennemføre engineering-undervisning, så eleverne oplever maksimal grad af autenticitet. 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 4.

Designprocesser i undervisningen

Ingeniøraktiviteter kan og skal – som antydnet ovenfor – ikke overføres ukritisk til et skoleprojekt. Det er nødvendigt at foretage en didaktisk reformulering af de elementer som undervisnings- og læringsmæssigt er centrale. Denne didaktisering skal være så enkel, at den kan håndteres i praksis i en travl skolehverdag.

Engineering designprocessen

Engineering designprocessen er delt op i syv delprocesser (se figur 3.1).



Figur 3.1: De syv delprocesser i engineering. To af processerne er fremhævet: Forstå udfordringen, da det er her, læreren sammen med klassen sætter projektet i gang. Præsentere, da 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. Derudover vil rækkefølgen variere, alt efter hvilken udfordring eleverne arbejder med, og de vil ofte bevæge sig frem og tilbage mellem de forskellige delprocesser. Derfor er der ikke angivet 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, som de kan få brug for. De tilegner sig viden, fx gennem faglige undersøgelser.

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 løbende og som afslutning på forløbet deres undersøgelser, ideer, løsninger, overvejelser om designprocessen og valg truffet undervejs.

I skolen vil engineering-forløb udspille sig som projekter, hvor eleverne arbejder med en autentisk problemstilling 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 delproces, *forstå udfordringen*, og den afsluttende, *præsentere*, didaktisk set en særlig karakter. Læreren har især i disse to delprocesser 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 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 også i høj grad af, hvordan læreren stilladser og rammesætter deres arbejde. Det vender vi tilbage til i kapitel 6.

Forstå udfordringen – er alle med?

Læreren sikrer sig sammen med klassen, at alle eleverne bliver introduceret for et autentisk problemfelt. Læreren stilladser elevaktiviteter, som bidrager til forståelse af og ejerskab til engineering-udfordringen. Ideelt set er man allerede i den indledende delproces, *forstå udfordringen*, blevet enige om og har formuleret en række krav, som en løsning skal overholde.

Det er lærerens opgave at sikre, at alle elever forstår de forskellige faglige aspekter, og at de introduces til, hvordan udfordringen indgår i et større autentisk problemfelt.

Præsentere – løbende videndeling og synlig afslutning

Ud over at dele deres erfaringer til sidst i forløbet kan der også undervejs være situationer, hvor eleverne *præsenterer*. Der kan fx være fordele ved, at eleverne deler erfaringer fra undersøgelser, ideer til løsninger eller udfordringer, som de har haft med at konstruere deres prototyper. Denne videndeling kan både være med til at forbedre elevernes designproces og deres prototyper, samtidig med at den kan bidrage til en fejlpositiv klassekultur.

I forbindelse med afslutningen på projektet er det vigtigt, at eleverne har tid til at reflektere over, hvad de har lært fagligt, og over den proces, de har været igennem. Det er nødvendigt også at tale med eleverne om deres udvikling og potentiale i arbejdsprocesserne fx deres samarbejde, indbyrdes rollefordeling og evne til at forbedre undervejs i processen.

Forskellige former for prototyper

I engineering designprocesser arbejdes der hen imod konkrete løsninger, der enten er nye produkter eller forbedringer af eksisterende løsninger. I løbet af designprocessen kan der udvikles forskellige former for prototyper, som hver især fokuserer på forskellige aspekter af den endelige løsning. Der er grundlæggende tre forskellige former for prototyper: rolleprototyper, udseende- og oplevelsesprototyper samt tekniske prototyper.

1. Rolleprototyper

Disse prototyper undersøger, hvilken funktion løsningen skal have i brugerens liv. De fokuserer på, hvad løsningen skal gøre, og hvordan det passer ind i brugerens dagligdag.

Det kan for eksempel være, at eleverne i forløbet "Pres på cykelparkeringen" udvikler et storyboard, der viser, hvordan det opleves at bruge en ny cykelparkeringsplads til nemt og sikkert at parkere sin cykel med de nye forbedrede faciliteter.

Formål: At kommunikere ideen om løsningens anvendelse og den forskel, den vil gøre for brugerne.

2. Udseende- og oplevelsesprototyper

Disse prototyper fokuserer på den sanselige oplevelse af at bruge løsningen – hvordan den ser ud, føles og reagerer.

Et eksempel kan være, at eleverne laver en animation eller tegninger, der viser brugergrænsefladen i en app, de har udviklet.

Formål: At teste og visualisere brugeroplevelsen uden nødvendigvis at have overvejet, hvordan den kan konstrueres.

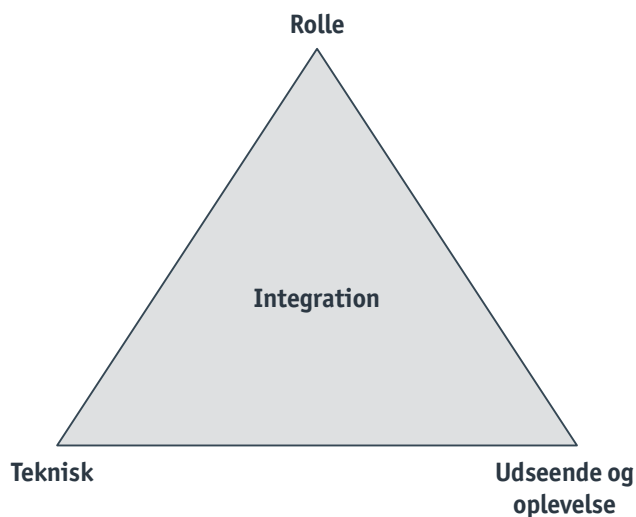
3. Tekniske prototyper

Disse prototyper undersøger, hvordan løsningen teknisk kan konstrueres. De fokuserer på de underliggende teknologier og metoder.

For eksempel kan eleverne i forløbet "Har du set lyset?" lave kode, der kan styre en LED-strip, som kan justere lysstyrken eller farvetemperaturen i en lampe. Det kan også være, at eleverne laver en kontakt, der aktiveres ved en bestemt vandstand, i forløbet "Alarm! Vandet stiger".

Formål: At afprøve, om løsningen teknisk kan gennemføres og er effektiv.

De tre nævnte prototyper kan kombineres i såkaldte *integrationsprototyper*. Her er formålet at sikre sammenhæng mellem alle designaspekter.



Figur 3.2: Tre former for prototyper.

Rolle: Hvad skal løsningen gøre for brugerne?

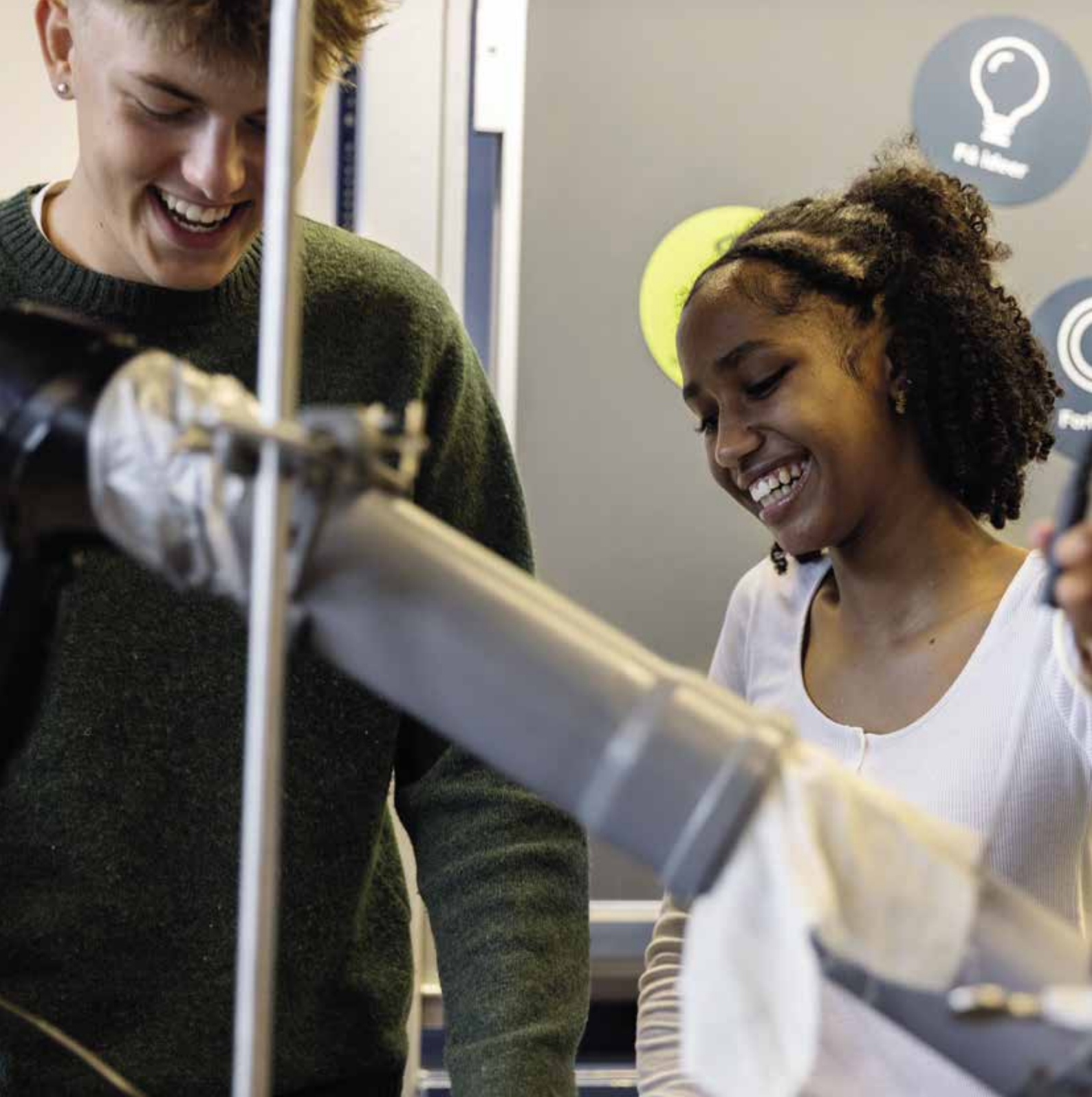
Udseende og oplevelse: Hvordan ser løsningen ud, og hvordan føles den?

Teknisk: Hvordan kan løsningen teknisk konstrueres?

Integration: Hvordan kombineres alle tre dimensioner?

Det kan være en kompleks og tidskrævende opgave at lave integrationsprototyper. Overvejelser omkring, hvilken form for prototype der skal udvikles, kan være med til at stilladsere elevernes designproces. Fx skal der i forløbet "Emballage med omtanke" konstrueres prototyper, der – for at reducere emballageforbrug under indkøb – kan afgive en bestemt mængde af en vare i den genbrugsbeholder, som forbrugeren selv medbringer. Elever vil kunne lave en integrationsprototype, men er der begrænset tid, kan kravene til prototypen specificeres, så eleverne fx fokuserer på en af de tre andre. De kan fx lave en rolleprototype, der viser forbrugers vej hjemmefra, gennem supermarkedet, til betaling og hjem igen. Det er også muligt at lave en prototype, der viser, hvordan prototypen betjenes, det kan være, at de viser, hvordan der er forskellige muligheder for at vælge mellem varer og mængder, og hvordan der sikres god hygiejne i løbet af forbrugers interaktion med prototypen. Sidst, men ikke mindst, vil de kunne lave en prototype, der demonstrerer, hvordan prototypen konstrueres, så den afgiver samme mængde hver gang, hvordan den åbner og lukker, eller hvordan varen føres gennem prototypen.





Kapitel 4. Den gode engineering-udfordring

I kapitlet beskrives, hvad der kendetegner en god engineering-udfordring. En udfordring inden for et autentisk problemfelt, som indeholder både fagligt indhold og elevmotiverende perspektiver. Desuden præsenteres en konkret model til afgrænsning af autentiske problemfelter med gode engineering-udfordringer, som kan anvendes i planlægning af engineering-undervisningen.

Den gode engineering-udfordring

I et tidligere kapitel har vi defineret kendetegn for autentiske problemfelter, som er centrale for at elever oplever en motiverende engineering-undervisning. I dette kapitel fokuseres der på, hvordan gode engineering-udfordringer kan lokaliseres i et tværfagligt problemfelt, og den store betydning, som rammesætningen har for at udnytte engineerings læringspotentiale.

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

Problemmfeltet omtales ofte som et *narrativ*, og bør være rammesættende for elevens nysgerrighed og forståelse af problemet, der skal løses. Et godt problemfelt kan 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 problemfelt også vigtigt, da det angiver et afgrænset fagligt område, som har relevans for elevernes problemløsning inden for rammerne af fagenes fagplaner.

Netop den problembaserede tilgang som ramme 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)

Et afgrænset problemfelt er med til at tilpasse den faglige kompleksitet og omfanget til den specifikke elevgruppe, så problemet opleves som meningsfuldt for eleverne og samtidig relevant i forhold til fagplanerne. Det sidste er væsentligt for, at elevernes arbejde med at løse udfordringen bidrager til at opfylde faglige mål i fag på tværs af fagene.

I dette kapitel udfoldes, hvordan gode engineering-udfordringer kan lokaliseres i en tværfaglig kontekst med udgangspunkt i autentiske problemfelter. De samme didaktiske overvejelser kan også anvendes til at beskrive gode engineering-udfordringer i et monofagligt perspektiv.

Engineering-udfordringer i autentiske problemfelter

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

For at man enten kan lokalisere eller vurdere kvaliteten af engineering-udfordringer, er det hensigtsmæssigt at opdele forberedelsen, så autentiske problemfelter anskues ud fra to indbyrdes afhængige didaktiske kategorier:

Fagligt indhold

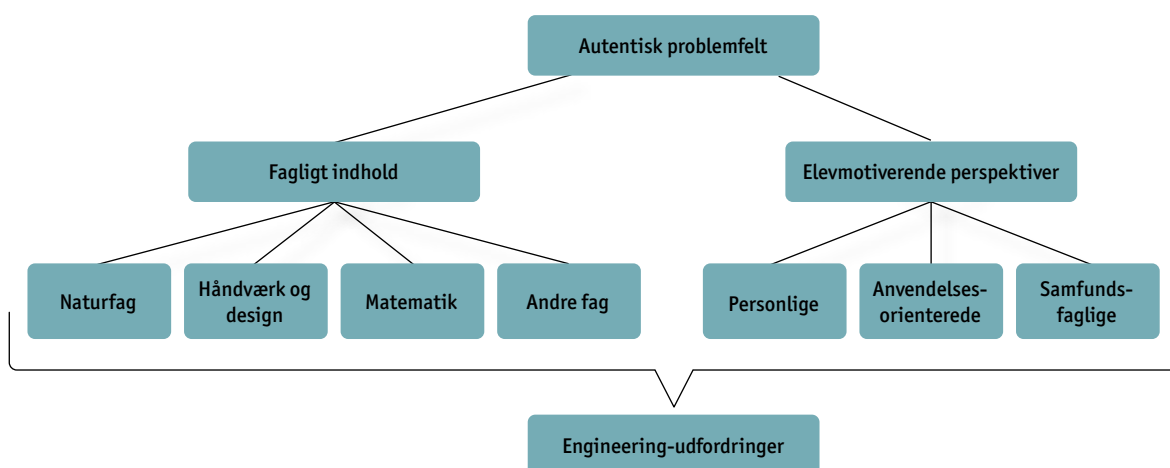
Det "rene" tværfaglige indhold af problemfeltet baserer sig på brugen af fagfaglig viden og metoder fra fagene, som eleverne kan få brug for gennem engineering designprocessen til at forstå udfordringen og til at udvikle en teknologisk løsning. Her er fokus på autenticitet ift. problemfeltets faglige relevans (jf. fagplanerne), og hvordan fagene kan bidrage forskelligt i designprocessen.

Elevmotiverende perspektiver

De elevmotiverende perspektiver i problemfeltet relaterer sig til personlige, anvendelsesorienterede og/eller samfundsfaglige aspekter. Denne del har særligt fokus på, at det tværfaglige problemfelt opleves som autentisk for eleverne, og at det indeholder flere forskellige motiverende engineering-udfordringer.

Den faglige anvendelsesorientering kan opleves som autentisk, hvis problemfeltet fx er en case fra en virksomhed, mens den personlige autenticitet kan fremmes ved at inddrage teknologiske udfordringer fra hverdagen. For at et problemfelt indeholder gode engineering-udfordringer med samfundsmæssig autenticitet, kan det være hensigtsmæssigt, at problemfeltet også indeholder politiske, økonomiske og/eller etiske dilemmaer, som eleverne gennem hele designprocessen skal forholde sig til.

Denne opdeling kan man anvende operationelt fx ved planlægning af et engineering-forløb for at understøtte muligheden for at finde gode engineering-udfordringer. Modellen i figur 4.1 kan anvendes til at vurdere graden af tværfaglighed og autenticitet i et problemfelt, og om der er potentiale for at finde flere gode engineering-udfordringer, der er egnet til problembaseret undervisning.



Figur 4.1: Autentiske problemfelter kan afgrænses af udvalgt indhold fra et eller flere fag samt elevmotiverende perspektiver og sammenhænge. Samlet bør et autentisk problemfelt indeholde flere engineering-udfordringer med forskellige teknologiske løsninger.

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

Når man skal udvikle eller vurdere kvaliteten af en engineering-udfordring inden for et autentisk problemfelt, kan det være relevant at vurdere vægtningen af det "rene" faglige indhold og de elevmotiverende perspektiver i problemfeltet. I det arbejde kan man bruge analyseværktøjet i tabel 4.2.

Værktøj til identifikation af gode engineering-udfordringer inden for et autentisk problemfelt	
Autentisk problemfelt	Hvilket narrativ kan beskrive problemfeltet, så det indeholder både personlig, faglig og samfundsmæssig autenticitet? Hvilke former for teknologi og teknologiske løsninger er relevante inden for problemfeltet?
Fagligt indhold	Hvilken viden og hvilke færdigheder fra grundskolens fag og fagligheder er brugbare til at løse udfordringerne? Hvilke teknologier og materialer kan være relevante for løsningen? Hvilke undersøgelser fra fagene kan bidrage med viden?
Elevmotiverende perspektiver	Hvilke etiske, økonomiske og politiske problemstillinger eksisterer i udfordringen? Hvordan kan problemstillingerne bidrage med personlig og/eller anvendelsesorienteret autenticitet undervejs i designprocessen? Skal problemstillingerne forsimples til engineering-forløbet, og hvornår vil eleverne have gavn af det i engineering designprocessen?
Engineering-udfordringer	Hvilke engineering-udfordringer kan formuleres inden for problemfeltet, så de kan løses med indhold fra de valgte fag.

Tabel 4.2: 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 syv delprocesser. Ligeså bør man overveje andre metoder og/eller teknikker fra STEM-fagene, som kan bidrage til at løse udfordringen.

I tabel 4.3 er opstillet tre eksempler på anvendelse af værktøjet i praksis. Eksemplerne er ikke beskrevet udtømmende:

PROBLEMFELT: <i>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?</i>	
Fagligt 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. • Undersøgelser af materialer og teknikker til konstruktion.	
Elevmotiverende perspektiver • 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 leverer små stykker foder forskellige steder, så dyret skal søge og dermed imitere en jagtsituation.	

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?

Fagligt 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.

Elevmotiverende perspektiver

- 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.

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?

Fagligt indhold

- Vedvarende energi >< fossile brændsler.
- Elektriske kredsløb.
- Solcelleteknologi.
- Matematisk modellering af sammenhænge mellem overfladeareal og vindmodstand.
- Elektrolyse og brintteknologi.

Elevmotiverende perspektiver

- CO₂-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. S sammensæt den mest brugbare intelligente vej til det danske klima.

Tabel 4.3: Tre eksempler på faglige problemfelter med engineering-udfordringer, som kan løses alene med fagligt indhold, men hvor elevmotiverende perspektiver kan inddrages meningsfyldt.

Naturfaglige problemfelter og fællesfaglig naturfagsundervisning

I udskolingsens naturfag er der blandt andet på grund af den fælles prøve mange erfaringer med at arbejde tværfagligt. Et eksempel er en udskolingsklasse, der arbejdede med vertikale haver:

EKSEMPEL

BÆREDYGTIG FØDEVAREPRODUKTION I STORBYEN

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

Eleverne udførte undersøgelser af 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 CO₂-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.

Eksemplet illustrerer, at engineering-undervisning i udskolingen fint kan fungere som en del af den fællesfaglige problembaserede naturfagsundervisning. "Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" er et naturfagligt problemfelt, som eleverne oplever som meningsfyldt og autentisk, og indholdsmæssigt binder det 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 naturfagene, 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 fællesfaglige naturfagsprøve.

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 naturfaglige problemstillinger 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-naturfagligt indhold gerne må inddrages perspektiverende i relation til den naturfaglige problemstilling, men at det ikke må blive for dominerende.





Kapitel 5. Lærerroller, elevstilladsering og evaluering

I dette kapitel udfoldes, hvordan lærerens traditionelle rolle ændres i engineering-kontekst. Det beskrives, hvad facilitator-rollen indebærer for læreren, og hvordan man som lærer gennem sin planlægning kan understøtte rollen ved at indtænke forskellige typer af stilladsering og evaluering af elevernes processuelle arbejde.

Lærerroller, elevstilladsering og evaluering

Engineering er en anden måde at tilrettelægge og gennemføre undervisning på end traditionelt. Fordi engineering er organiseret som problemorienteret projektarbejde ændres lærerens rolle til at være mere faciliterende, 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. Læreren faciliterer processen ved at præsentere en autentisk problemstilling, definere mål i samarbejde med eleverne, observere og støtte elevernes arbejde, sikre, at de inddrager relevant faglig viden, samt ved at guide eleverne gennem engineering designprocessen.

LÆRERENS ROLLE SOM FACILITATOR OG GUIDE

- **Strukturerer og faciliterer:** læreren strukturerer forløbet, men lader eleverne arbejde selvstændigt. Læreren er en guide, der støtter eleverne i at nå deres mål.
- **Stiller autentiske udfordringer:** læreren præsenterer en autentisk problemstilling, som eleverne oplever som relevant og meningsfuld.
- **Faciliterer designprocessen:** læreren faciliterer de forskellige delprocesser i engineering designprocessen.
- **Fremmer samarbejde og kompetencer:** læreren skaber rammer for elevernes gruppearbejde og stilladserer samarbejdet.
- **Sikrer faglig integration:** læreren sørger for, at relevant viden fra naturfag, matematik, håndværk og design og eventuelt andre fag integreres bevidst i løsningen af problemet, så fagene understøtter den kreative proces.
- **Tilpasser forløb:** læreren tilpasser et givent forløb til klassen og de forskellige gruppers behov.

Gennem engineering designprocessen 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 en for eleverne autentisk og meningsfuld kontekst.

Engineering og stilladsering

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

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.

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: 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.

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 fx afsæt i logbog/makerjournal

Tabel 5.1: Eksempler på stilladsering efter formål.

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 videnpersoner. På engineeringiskolen.dk findes en lang række elevark og metodekort til stilladsering af elevernes arbejde i syv delprocesser. Derudover findes der forløbsspecifikke elevark, der kan stilladsere dele af elevernes arbejde i det konkrete forløb.

I eksemplerne på næste side stilladses eleverne både fagligt og processuelt. De støttes fx i 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 engineering-forløbet ”Design et solcelledrevet køretøj” udviklet ifm. Danmarks Tekniske Museums særudstilling ”Sort energi og grønne håb” til 7.-9. klasse.

Eleverne skal arbejde med udfordringen 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*.

Elevark 3

SYSTEMATISK UNDERSØGELSE AF SOLCELLER

25 minutter (inkl. pause)

Opplæg 1 – viden om solceller

Grøn i gruppen hvilken videns i har om solceller, herunder hvilke forholdsregler der skal tages for at sikre sikkerhed ved brug af solceller.

Hvor kommer solceller fra?

Opplæg 2 – systematisk undersøgelse

A) Anvend multimeter til at måle spændingsforskellen mellem solceller og noter den højeste værdi i volt eller i watt.

B) Undersøg systematisk hvordan i kan øge spændingsforskellen på solceller. I kan fx ændre på solcellens størrelse, på hvilken side solcellen er belyst, på hvilken side solcellen er belyst osv. I udfører undersøgelsen.

Højeste værdi målt _____ V

Testforløb	Volt
1	
2	
3	
4	
5	

Solcellers forbindelse	Watt
1	
2	
3	
4	
5	

danmarks tekniske MUSEUM

Engineer the future

EKSEMPEL

PROCESSTILLADSERING AF ELEVERNES DELPROCES KONKRETISERE

Et eksempel på processuel stilladsering af delprocessen *konkretisere* fra i engineering-forløbet ”Design et solcelledrevet køretøj”.

Eleverne arbejder med engineering-udfordringen at designe en solcelledrevet elbil, hvor læreren skal stilladser dem til at konkretisere deres ideer til konstruktion af dette køretøj. Elevgrupperne får udleveret elevarket ”Læg en plan” til at guide dem igennem delprocessen *konkretisere*. Derved stilladseres de til at fastholde fokus i denne delproces og blive bevidste om indhold og formål med at konkretisere undervejs i en designproces.

Lærerens processtilladsering skal støtte eleverne til at:

- visualisere deres designforslag med en skitse
- beskrive, hvilke materialer de vil anvende
- planlægge og prioritere en hensigtsmæssig rækkefølge af arbejdet med deres konstruktion.

Særligt planlægningen af delprocessen *konstruere* 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.

Elevark 4

LÆG EN PLAN

10 minutter

Opplæg 1

Læg en plan for jeres konstruktion med de ideer som i har undervejs i udfordringen.

Skitse af konstruktionen

Opplæg 2

Udfør en undersøgelse og læg en plan for jeres konstruktion af køretøjet ved at opdele processen i arbejdsopgaver. Prioriter opgaverne og fordel arbejdet mellem jer i gruppen.

Hjælpeark

Konstruktionsplan

Rækkefølge	Opbygning	Materialer
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

danmarks tekniske MUSEUM

Engineer the future

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.

Metastilladsering

Metastilladsering er lærerens stilladsering af elevernes gentagne refleksioner over egen læring i forløbet. Metastilladsering understøtter elevernes refleksioner over processer og læringer undervejs i engineering-designprocessen, 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. Engineering-posteren (figur 5.2) er et eksempel på, hvordan eleverne gennem metastilladsering kan hjælpes til systematisk at samle centrale læringer op og sætte dem i relation til udfordring og løsning i den samlede engineering designproces. Sidstnævnte kan ikke overvurderes, da det bidrager til elevernes overblik og forståelse af sammenhænge gennem hele forløbet. Som en del af planlægningen af et engineering-forløb er det lærerens opgave, med udgangspunkt i forløbets undervisningsmål, at udvælge, hvilke læringspotentialer metastilladseringen skal fokusere på. Det bør ikke være for mange, og alle skal være centrale for elevernes løsning af designudfordringen.

Figur 5.2: Engineering-poster.

EKSEMPEL

METASTILLADSERING MED ENGINEERING-POSTER

Et eksempel på metastilladsering kan være, at eleverne bliver præsenteret for arbejdsarket "Engineering-poster" (figur 5.2) i begyndelsen af et engineering-forløb. Engineering-posteren kan fx hænges op eller lægges frem på bordet. Gruppen noterer eller tegner på posteren undervejs i forløbet fx i forlængelse af aktiviteter, hvor eleverne er blevet fag- eller processtilladseret af andre elevark.

Feltet "Naturfaglig viden" kan eleverne udfylde efter at have gennemført en række undersøgelser. Eksemplet fra tidligere, hvor eleverne undersøgte effektiviteten af solceller under forskellige forhold, har givet dem viden, som de skal reflektere sammen om i gruppen ift. relevans for deres løsning og derefter skriver på posteren.

Tilsvarende kan processtilladseringen "Læg en plan" understøtte eleverne i at udfylde feltet "Udvikling af prototype", hvor de skal tegne en billedserie af deres prototypeudvikling.

En veltilrettelagt metastilladsering, hvor eleverne gentagne 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 ud fra eget niveau vil kunne enten modtage og give feedback, der bundes i eller kan sættes i 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 også understøtte og hjælpe eleverne til fagligt og velargumenteret at præsentere deres prototype til sidst i forløbet.

Elevers frihedsgrader

Engineering-designprocessen indeholder mange muligheder for at lade eleverne træffe selvstændige valg undervejs. Første gang elever arbejder med et engineering-forløb, er de næppe i stand til at håndtere store frihedsgrader i engineering designprocessen, da de risikerer at blive sat uden for nærmeste udviklingszone. Det er derfor en fordel, at man som lærer stilladser grupperne ved på forhånd at træffe de valg, der støtter den enkelte gruppe til at blive i nærmeste udviklingszone.

Skemaet over frihedsgrader i tabel 5.3 angiver muligheder for at differentiere elevernes arbejde i et engineering-forløb. Dette skema kan bruges til at planlægge stilladseringen. Skemaet kan også bruges til at planlægge en progression ift. elevgruppernes frihedsgrader, hvis man planlægger flere engineering-forløb hen over skoleåret.

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 medføre, at 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.

Første gang en klasse gennemfører et engineering-forløb. Kan det opleves som om, at projektarbejdsformen hverken gavner de mindre selvtillidsfulde eller de meget ressourcestærke elever. Men faktum er, at den overvejende del af en klasse generelt vil 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.



Divergente og konvergente tankeprocesser

I tæt sammenhæng med elevernes 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-undervisning 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 opstillede rammer. I engineering designprocessen 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 eleverne blive udfordret indbyrdes, hvis der er flere løsningsforslag i spil i en gruppe. 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 og en plan for, hvordan man vil konstruere og forbedre prototypen. Dette vil i høj grad træne elevernes samarbejdsevner. I engineering designprocessen 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.
Undersøge	Grupperne arbejder ud fra afgrænsede beskrivelser af, hvilke undersøgelser de skal lave.	Grupperne vælger mellem forslag fra læreren til, hvilke undersøgelser de vil gennemføre.	Grupperne vælger selv, hvilke undersøgelser de vil gennemføre.
Få ideer	Læreren styrer gruppens diskussion med metodekort 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 instruktioner.	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 vælger mellem flere forslag til afprøvnings- og testprocedure og vurderer forbedring af deres prototype efter givne kriterier.	Grupperne vælger selv afprøvnings- og testprocedure og vurderer selv forbedringer af deres prototype.
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 5.3: Tre niveauer af frihedsgrader udfoldet på de syv delprocesser.

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 opfylder disse mål.

Stilladseringen undervejs i forløbet skal give både lærer og eleverne selv 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 brug af logbog til evaluering.

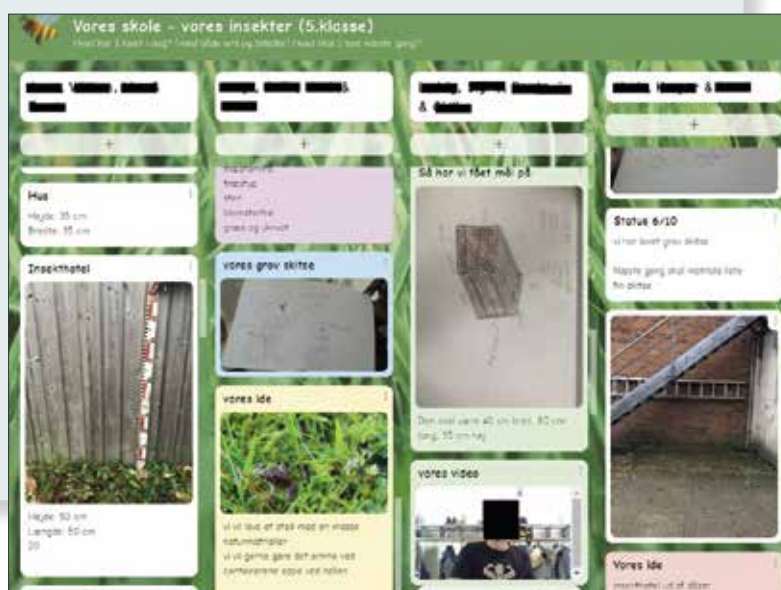
EKSEMPEL

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 faunaområder.

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 gange undervejs stilladseres eleverne med de samme gentagne spørgsmål, som fokuserer på undersøgelsessystematik og på gruppens egne refleksioner ved hver delproces. Eleverne dokumenterede dette arbejde i en logbog på Padlet med både tekst, fotos og videoer. Læreren brugte logbøgerne til at give respons på elevernes læreproces og evaluere på undervisningsmålene.



Figur 5.4: Elevernes logbog på Padlet til engineering-forløbet "Byg levesteder for insekter".

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 det konkrete engineering-forløb, og afslutningsvis beskrive og dokumentere, hvad eleverne nåede.

Det er ikke realistisk, at man i hvert engineering-forløb evaluerer alle forhold i forløbet. Derfor anbefales, at man som lærer udvælger 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 konstruktivt drøftet og forhandlet deres ideer? Får de iterativt forbedret deres prototype? Får de fastholdt refleksioner over deres læreproces i præsentationen af løsningen?

Fokus på tilegnelse af kompetencer, læring af begreber, håndværksmæssige færdigheder og/eller teknologisk indsigt vil hurtigt øges, efterhånden som lærer og elever finder sig til rette i engineering som arbejdsform.





Kapitel 6. Engineerings didaktiske pejlemærker

I kapitlet sammenfattes en række didaktiske pejlemærker, som er centrale ved planlægningen af et velfungerende engineering-forløb, samt et konkret værktøj til lærerne til at vurdere kvaliteten af eksisterende engineering-forløb.

Engineerings didaktiske pejlemærker

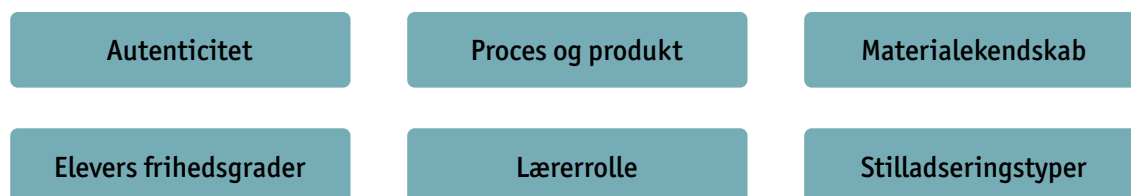
Undervisningsmaterialer, der har til formål at understøtte elevernes engineering designproces, er opbygget lidt anderledes end traditionelle undervisningsmaterialer. De skal nemlig kunne guide eleverne gennem forskellige delprocesser i engineering designprocessen, og der skal være mulighed for forskellige frihedsgrader. I et engineering-forløb skal eleverne ideelt set selvstændigt træffe mange valg undervejs om, hvordan de vil løse engineering-udfordringen, og 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 præsenteres en række didaktiske pejlemærker, som er centrale ved planlægningen af forløb. 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.

De 6 didaktiske pejlemærker

Man kan opsummere de særlige karakteristika ved engineering-undervisning i 6 didaktiske pejlemærker. 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 de oplever fremdrift i deres selvstændige aktiviteter. Vægtningen af de enkelte pejlemærker vurderes af den enkelte lærer, fagteam, læreruddanner eller kompetenceudvikler. De 6 didaktiske pejlemærker kan derfor være et vigtigt redskab for mange fagprofessionelle, når de planlægger undervisning og kompetenceudvikling.



Figur 6.1: De 6 didaktiske pejlemærker.

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.

1. AUTENTICITET

Autentisk ◀.....▶ Ikke-autentisk

Når man planlægger engineering-forløb, bør man i rammesætningen af problemfeltet vægte graden af autentiske elementer i forhold til den faglige kompleksitet. Problemfeltet bør 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 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

Proces ◀.....▶ 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. Proces-aktiviteter skal ofte stilladseres 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 at 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.

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 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 naturfaglige undersøgelser i forløbet.

Læreren kan også bruge materialekrav som fagligt benspænd, ligesom materialer kan begrænse elevernes frihedsgrader. Man kan udvikle 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. De små træstykker i forskellige størrelser og former var med til at skabe nye ideer hos eleverne, som brugte dem i konstruktionen af deres prototyper.

Balancen mellem strukturerede og åbne engineering-aktiviteter skal man overveje grundigt, da elevernes frihedsgrad har betydning for deres motivation og for deres mulighed for ejerskab og selvstændighed i opgaveløsningen. I kapitel 5 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.

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 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.

Engineering-aktiviteter kan udfordre traditionelle måder at tilrettelægge og gennemføre undervisning 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 5.



Vurder og tilpas engineering-forløb

Hvis man skal tilpasse eller vurdere eksisterende engineering-forløb, kan nedenstående tjekliste med spørgsmål anvendes. Spørgsmålene kan stilladser engineering-didaktiske overvejelser som er centrale for et eksemplarisk engineering-forløb. Tjeklisten er ikke udtømmende og kan med fordel suppleres yderligere.

- Er der opstillet undervisningsmål?
- 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?
- Indeholder forløbet løbende elevaktiviteter med fokus på delprocessen *forbedre*, så eleverne oplever designprocessen som iterativ?
- Understøtter eventuelle lærerressourcer rollen som facilitator?
- Indeholder forløbet fag- og processtilladserende elev-aktiviteter som understøtter elevernes fokus på både produkt og proces, samt åbne og lukkede designprocesser?
- Indeholder forløbet fag- og processtilladserende elev-aktiviteter som understøtter elevernes designproces enten med fagspecifik viden, undersøgelser eller metoder?
- Indeholder forløbet gentagende metastillaserende elev-aktiviteter der fastholder centrale læringer hos eleverne, samt understøtter processer med at give/modtage feedback?
- Er der krav til prototypen og bliver der fulgt op på 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-konstruktive overvejelser om teknologi og design af en teknologi, herunder hvordan det bidrager til og påvirker både den nære, regionale og globale omverden?





Kapitel 7. Engineering som praksisfaglig didaktik

Her begrundes engineering som en praksisfaglig didaktik ud fra forskning om praksisnær og anvendelsesorienteret undervisning. Ligeledes uddybes, hvorfor engineering er et oplagt valg til både at arbejde med praksisfaglige elementer og opfylde de nye fagplaners intentioner, om at undervisningen både skal udvikle kundskaber og engagement hos eleverne samt myndiggøre dem.

Engineer the future

Engineering som praksisfaglig didaktik

Fra politisk side har der i flere år været et ønske om at fremme ”praksisfaglighed” i grundskolen som et led i bestræbelserne på at gøre undervisningen mindre boglig-teoretisk.

I dette kapitel beskriver vi, hvordan engineering som didaktik er et oplagt valg som middel til at udvikle og gennemføre visse typer af praksisfaglig undervisning i hhv. matematik, håndværk og design samt naturfagene. Vel at mærke på en sådan måde, at praksisfagligheden naturligt støtter anvendelse og læring af faglig viden. I forbindelse med engineering-undervisning er praksisfaglighed ikke et add-on, men indgår som en naturlig og styrkende del af undervisningen.

Praksisfaglighed

I det politiske udspil *Aftale om styrket praksisfaglighed i folkeskolen* fra juni 2018 er praksisfaglighed beskrevet som en række karakteristika.

Praksisfaglighed omfatter ifølge rapporten:

- Praktiske færdigheder og kreativitet
- Arbejdskendskab, arbejdspladsfærdigheder og virkestrang
- Værkstedsfærdigheder
- Færdigheder i at kunne skifte perspektiv mellem del og helhed
- Færdigheder i at kunne anvende teorier i praksis.

Flere efterfølgende rapporter om praksisfaglighed har peget på, at begrebet ikke har nogen lang historik og derfor ikke er velbeskrevet, hverken didaktisk eller fagligt. Det har været nødvendigt med en præcisering af, hvad man kan forstå ved ”praksisfaglighed”. Derfor har flere af de samme rapporter arbejdet med at give en mere præcis og anvendelig karakteristik af, hvad praksisfaglighed kan være.

Siden 2018 er det derfor blevet mere klart, hvordan man som underviser kan tænke. I rapporten fra 2020 ”Praksisfaglighed i skolen. Vejledning og inspiration” fra Undervisningsministeriet beskrives praksisfaglighed som en kompetence i og på tværs af fag, som især tager udgangspunkt i den sidste af de fem ovenstående bullets:

Praksisfaglighed i og på tværs af fagene er elevernes kompetence til at koble ”Teori og fag” med ”Krop og erfaring” i udførelsen og udarbejdelsen af ”Handlinger og produkter” så tæt på en praksis som muligt.



PRAKSISFAGLIGHED OG FAGLIG FORNYELSE

Samtidig med at denne didaktik blev udarbejdet, blev der igangsat en proces, som skal forny folkeskolens fag.

I oktober 2023 offentliggjorde regeringen en række forslag til ændringer i folkeskolen, herunder forslag til ændring i beskrivelser af fagenes indhold og metoder (Regeringen, 2023). Udtrykket praksisfaglighed anvendes ikke i forbindelse med de nye forslag, men vi forstår de nye forslag som en faglig og didaktisk cementering af den praksisfaglighed, der omtales her i kapitel 7. Bag denne forståelse ligger, at regeringen foreslår, at der i fremtiden skal lægges mere vægt på praktisk og kreativ undervisning. Der skal være fokus på anvendelse og på sammenhæng mellem fagenes teori og praksis (s. 4, s. 18). Altså tiltag, som er velkendte i forbindelse med engineering og behandles i dette didaktikkompendium.

Tankerne i regeringsforslaget er ført videre af en ekspertgruppe, der har formuleret rammerne for indhold og form af de kommende fagplaner (STUK, 2024). Det understreges heri, at eleverne skal fordybe sig i fagene ved at arbejde praktisk, kreativt, skabende, abstrakt og teoretisk (s. 4). Undervisningen skal have plads til fagets praktiske sider (s. 8). Som det vil fremgå af dette kapitel, er engineering i fuld overensstemmelse med rammesætningen af de nye fagbeskrivelser.

Ekspertgruppen foreslår endvidere en didaktisk treklang bestående af engagement, kundskaber og myndighed (s. 10). For naturfagene, matematik samt håndværk og design, som denne didaktik særligt fokuserer på, læser vi treklangen som en videreudvikling af de nuværende formuleringer af fagenes formål. Som eksempel findes der formuleringer i alle fire naturfags formål – med vægt på følgende: elevernes engagement ("elevernes interesse og nysgerrighed [over for faget] skal udvikles"), elevernes kundskaber ("eleverne skal tilegne sig færdigheder og viden [i faget]") og elevernes myndighed ("elevernes ansvarlighed skal [videre]udvikles, så de får tillid til egne muligheder for stillingtagen og handlen").

De nye fagplaner skal være gældende fra skoleåret 2027/28. Indtil videre holder vi fast i udtrykket praksisfaglighed.

I den følgende gennemgang af forholdet mellem engineering-undervisning og praksisfaglighed udforsker vi mulighederne i denne beskrivelse. Desuden inddrager vi så mange af elementerne fra de fem punkter fra 2018, som det er muligt. Vi ser ingen modsætning mellem de to beskrivelser.

I forbindelse med praksisfaglighed sker det ofte, at aktiviteterne bliver "ren handling", altså at de bliver afkoblet fra en faglig læring eller andre forsøg på at teoretisere eller generalisere. God, gennemtænkt undervisning kan sagtens bestå i ren handling, men her er fokus på undervisning, hvor praksis forenes med faglig viden. Engineering-undervisning rummer nemlig særlige muligheder for at arbejde med denne kombination.

Ved "teori" forstås ofte i store træk den faglige viden, som er indeholdt i en lærebog eller på anden måde kan udtrykkes i ord. Det er selvfølgelig ikke alt, som kan skrives ned, der er fagligt og teoretisk, men som udgangspunkt lever faglig viden som ord og sætninger på papir eller lignende steder, fx matematikbogen, som introducerer brøkreger, eller hjemmesiden, som beskriver en dyreart og dens levevilkår.

Ved "praksis" forstås situationer, hvor eleverne er kropslige og aktive, problem- og anvendelsesorienterede, har fokus på fremstilling af et produkt eller er erhvervsrettede eller er rettet mod en virkelig praksis uden for skolen.

Praksisfaglighed kan man tænke på som en didaktisk balance mellem to poler. Den ene yderlighed – en rent boglig-teoretisk undervisning – er ikke noget ukendt fænomen, og nogle elever trives med en sådan undervisning. I visse situationer kan det fx være relevant for en lærer så at sige at ”forelæse” for en klasse. En sådan undervisning kan ikke stå alene, og for langt de fleste elever opleves en sådan undervisning som en prøvelse, læringsudbyttet er lavt, og meget af det, eleverne lærer, er kun brugbart i skolekontekst, netop fordi det er for ”teoretisk”.

Den anden yderlighed kan – som omtalt ovenfor – resultere i en undervisning, hvor eleverne kun handler, uden fokus på metode, begrebsmæssig indlæring eller inddragelse af teori. En sådan undervisning er mulig, og i mange fag og situationer kan den være relevant og nødvendig af hensyn til kropslige dimensioner, indlæring af viden, som er svær at skrift- eller sprogliggøre, sundhedsperspektiver osv. I matematik og naturfagene kan den dog ikke stå alene, fordi fagene traditionelt har et ”teoretisk” indhold som genstand for undervisningen. I håndværk og design kan det i nogle tilfælde forholde sig anderledes, idet der historisk har været en tradition for en praktisk undervisning, hvor eleverne blandt andet gennem gentagelser skal opnå håndværksmæssige færdigheder.

Engineering og praksisfaglighed

Mange af de oprindelige begrundelser for at inddrage engineering-didaktik i undervisningen henviser netop til behovet for en undervisning med balance mellem praksis og teori. Det gælder også i lande, hvor praksisfaglighed ikke – som i Danmark – er et nyt eksplicit mål for undervisningen, men hvor man har indset, at det er nødvendigt at finde et modtræk mod en overvejende boglig og lærerstyret, deduktiv undervisning.

Engineering er født som en didaktik, der rummer praksisfaglighed. Det er selvfølgelig muligt at gennemføre engineering-forløb, hvor der inddrages meget lidt teori i form af faglig viden, men generelt vil viden og metoder fra et eller flere fag være nødvendige i en engineering designproces, for at eleverne kan udvikle og forbedre konkrete løsninger på en given udfordring. Det kan dels være viden og metoder fra matematik og naturfagene, dels håndværksmæssige færdigheder og materialeforståelse fra håndværk og design.

”En hjælpende hånd” er et kortere engineering-forløb, hvor eleverne skal konstruere en prototype på et eksoskelet til hånden. Som udgangspunkt skal eleverne kun foretage få og simple undersøgelser af hånden i løbet af engineering designprocessen. Eleverne tilegner sig altså viden via en induktiv tilgang, og de anvender i høj grad denne viden gennem forskellige iterationer, fx som middel til løbende at konstruere og optimere deres prototype i delprocesserne *konstruere* og *forbedre*.

Pointen med eksemplet her er, at engineering giver mulighed for, at eleverne mere eller mindre struktureret tilegner sig viden gennem praktiske aktiviteter, og at den viden også anvendes praktisk til at løse konkrete udfordringer.

Engineering giver altså læreren en didaktisk tilgang med mulighed for at holde fast i faglig læring, samtidig med at undervisningen er praksisfaglig. Med engineering øges elevernes engagement ved at arbejde med aktiviteter, der kombinerer praktiske og teoretiske dimensioner af fagene, samtidig med at de gør sig erfaringer med faglige kundskaber gennem praktisk kunnen. På den baggrund kan man betragte engineering som en praksisfaglig didaktik inden for fire dimensioner.



Engineering som praksisfaglighed: Fire dimensioner

1. En kropslig og aktiv tilgang

I engineering designprocessen er der ofte fokus på elevcentrerede hands-on-aktiviteter, fx elevernes praktiske undersøgelser eller deres arbejde med at konstruere og lave forbedringer af en prototype.

Den kropslige-rumlige dimension, hvor eleverne får lov at være aktive og udnytter rum og omgivelser dynamisk, er en væsentlig del af engineering. Det bliver tydeligt for eleverne, at praktiske tilgange kan give andre løsninger og er anderledes at arbejde med end rent teoretiske overvejelser. Et eksempel findes i forløbet "Materialets mange muligheder", hvor eleverne konkret forarbejder uld med flere forskellige metoder, så ulden får forskellige egenskaber. Eleverne bruger i første omgang deres sanser – ikke mindst følesansen – til at *undersøge* og beskrive deres taktile oplevelser.

Fejl og detaljer, der ikke er tænkt igennem, kan desuden manifestere sig i det praktiske arbejde fx ved test af prototypen i delprocessen *forbedre*. Her kan eleverne opleve, at selv små detaljer kan få store konsekvenser for prototypens funktionalitet. Fejl i det praktiske arbejde "tvinger" altså eleverne til skiftevis at se på dele og helheder og at forstå sammenhængen mellem dem. Samtidig kan tilfældige fejl bruges konstruktivt fremadrettet, da analysen af de konkrete fejl bidrager med viden, der kan føre til yderligere forbedring af prototypen.

2. Problembaseret og anvendelsesorienteret

Engineering er problembaseret undervisning, som gør det muligt for læreren at skabe en (praksisfaglig) forbindelse mellem et fags teori og anvendelse af denne viden uden for faget/skolen.

I engineering arbejder eleverne praktisk med udgangspunkt i at løse et virkelighedsnært problem gennem en designproces, med inddragelse af relevant teori undervejs. Eleverne får dermed en mulighed for at arbejde konkret med (dele af) teorien. Den konkrete kontekst giver en anderledes forståelse, end hvis teorien er præsenteret for eleverne i en abstrakt form, der optræder løsrevet fra kontekst. Inddragelse af viden fra eksperter eller virksomheder, der arbejder med udvikling af lignende teknologier, produktionsmetoder eller engineering designprocesser, kan tydeliggøre koblingen mellem elevernes arbejde, og hvordan der arbejdes konkret med viden i produktionsvirksomheder.

3. Fremstilling af prototyper og produkter

Engineering kan motivere elever, når de oplever succes ved gennem praksis at skabe noget med deres hænder. Dét at dygtiggøre sig og lave et godt produkt er motiverende, ligesom dét at have noget konkret, noget håndgribeligt at samles om og referere til kan forene og anspore en gruppe. Samtidig er konstruktion af fysiske prototyper helt grundlæggende i engineering.

Der findes forskellige former for designprocesser, men netop engineering giver læreren en velbeskrevet didaktisk ramme for en stilladseret designproces og dermed for undervisningen og praksisfagligheden.

Gennem *udvikling/konkretisering, konstruktion og forbedring* af prototyper får eleverne mulighed for konkret at erfare, hvordan valg af forskellige materialer og teknikker – fx i forbindelse med samling af dele til en større helhed – radikalt kan påvirke løsningens kvalitet.

Gennem øget materialeforståelse og mestring af både analoge og digitale værkstedsfærdigheder og fremstillingsteknologier styrkes elevernes mulighed for at løse engineering-udfordringer. Det er igen et praksisfagligt perspektiv, når sådanne færdigheder bidrager til, at elever kan videreudvikle en prototype til et produkt.

4. Faglig viden og faglige metoder bliver konkrete

Engineering er en konkret og procesorienteret måde at arbejde på. Den tager udgangspunkt i autentiske problemstillinger og en praktisk kontekst, hvor eleverne designer egne prototyper som en del af deres løsning på problemet; eleverne arbejder praksisfagligt.

Når eleverne inddrager faglig viden i deres engineering designproces, er de nødt til at sætte den abstrakte viden fra fx lærebøger ind i en konkret sammenhæng. Derved fremmes elevernes forståelse af, hvad det er for en viden, de arbejder med, og hvad den kan bruges til. Dermed styrkes også deres motivation for at lære. Når viden på denne måde bliver konkret, smitter det også af på elevernes procesfærdigheder. Deres evne til at planlægge og gennemføre fx en konkret undersøgelse eller en analyse af en samling data udvikler sig, når de opnår erfaringer med en konkret proces, hvor de skal bruge resultaterne.

Naturvidenskabelig og matematisk viden eller viden om materialeegenskaber fra fx håndværk og design er essentiel, når eleverne får til opgave at forstå og forklare, hvordan en konkret teknologi fungerer. Det samme gælder når en gruppe vil optimere en første, grov ide til en prototype, som gruppen, i delprocessen *konkretisere*, arbejder på at få til at virke tilfredsstillende, eller i delprocessen *forbedre* arbejder på at forstå og gennemskue eventuelle svagheder i prototypen. Implementering og optimering af en teknologisk løsning bliver først effektiv, når man anvender disse typer af viden.

Det gør det nemmere for eleverne at se, hvad faglig viden kan bruges til, både metodisk og indholdsmæssigt, samt at se værdien af forskellige fagligheder og samspillet mellem praktisk og teoretisk viden. Samtidig kan engineering give autentiske rammer for, at eleverne udvikler virkestrang og alsidige kompetencer, og at de får skabt koblinger mellem teoretisk viden og praktiske færdigheder.





Kapitel 8. Engineering og matematik

I kapitlet introduceres en række didaktiske potentialer for anvendelse af engineering som praksisfaglig didaktik i skolefaget matematik. Undervejs underbygges de matematikfaglige muligheder med engineering med eksempler på en matematikundervisning, som er anvendelsesorienteret, og hvor eleverne udvikler matematiske handle- og tænkemåder fx gennem undersøgende matematik og matematisk modellering i designprocessen.

Engineering og matematik

Skolefaget matematik udgør M'et i STEM-undervisning, men der er stadig forholdsvis få eksempler fra praksis, hvor matematik integreres med de øvrige STEM-fag som et ligeværdigt og bærende element, også når der arbejdes problembaseret.

Funktionel integration af matematik i engineering-undervisningen forudsætter et bevidst valg og en eksplicit indsats fra læreren, så der i designprocessen løbende er fokus på at inddrage matematik både ift løsning af den konkrete udfordring og som bidrag til øget matematisk læring hos eleverne.

I dette kapitel udfoldes forskellige tilgange til god fagintegration af matematik i en praksisfaglig engineering-tilgang, herunder udvalgte matematikfaglige pointer og sammenhænge, der har særlig relevans for engineering-undervisningen, og som samtidig kan berige matematikfaget og undervisningen i matematik.

Engineering som praksisfaglig didaktik i matematik

Et af de helt store potentialer i at kombinere engineering og matematik er, at man kan forbinde matematik tættere med omverdenen og give eleverne en virkelighedsnær forståelse af matematiske metoder og begreber og deres praktiske anvendelse i virkelige problemstillinger.

Når matematikken gennem arbejdet med engineering bliver mere anvendelsesorienteret, lærer eleverne ikke blot at løse opgaver og problemer af rent matematisk karakter, men også at anvende deres matematiske færdigheder og kompetencer til at tackle virkelige teknologiske udfordringer.

En praksisfaglig dimension er anvendelsesorientering, og i matematik står det også centralt i fagformålet, da det åbner mulighederne for, at eleverne både styrker deres matematiske handle- og tænke-måder og deres forståelse af, hvordan matematik bliver brugt i samfundet.

I arbejdet med autentiske engineering-udfordringer får eleverne mulighed for at opleve matematik som et nødvendigt redskab til problemløsning, og de kan udvikle et nuanceret blik på matematikken og dens anvendelse, her som en central del af fx ingeniørers måde at arbejde på og som et nødvendigt og uundværligt element i den teknologiske udvikling.

Engineering gør også matematikfaget mere praksisfagligt, når faget bidrager til, at eleverne udvikler og forbedrer en prototype. Det opleves motiverende, og det bliver håndgribeligt fagligt at samles om og referere til – både for gruppearbejdet og ved fælles opsamlinger med fokus på det matematikfaglige læringsudbytte.

I læreplanerne til matematik fra 2019 beskrives under fagets identitet en undervisning, som konkretiserer fagets formål, og som tydeliggør, hvorfor engineering er relevant i matematikundervisningen. For eksempel skal der være fokus på, hvor i vores verden vi møder matematikken. I det møde er det sjældent, at der er én givet fremgangsmåde og én måde at formidle et resultat på, og undervisningen må derfor sætte matematikken ind i undersøgende og problemløsende sammenhænge. Det er netop det, engineering kan bidrage med.

Her er eksempler på områder fra matematiks formål, hvor der er et meningsfuldt match med engineering som praksisfaglighed.

Eleverne skal have mulighed for at:

- opdage, beskrive, fortolke og forklare fænomener i verden ved hjælp af matematik
- udvikle begreber og metoder
- indgå i processer som beskrevet i de matematiske kompetencer
- forholde sig vurderende til matematikkens anvendelse
- deltage i udviklingen af matematiske modeller
- reflektere over de muligheder og begrænsninger, der kan være ved konkrete modeller.

Desuden fremmer engineering muligheden for at arbejde selvstændigt og sammen med andre og at være en aktiv, undersøgende og ligeværdig deltager i klassens samarbejde om og med matematik.

På næste side er et eksempel på hvordan engineering kan se ud i matematikundervisning. I eksemplet udvikler og analyserer eleverne matematiske modeller, de beskriver, fortolker og forklarer fænomener ved hjælp af matematik og de forholder sig vurderende til matematikkens anvendelse. I løbet af elevernes designproces reflekterer de desuden over de muligheder og begrænsninger, der kan være ved konkrete modeller.



EKSEMPEL 1

MATEMATIK OG SMÆK PÅ TRANSPORTEN

En 8.-klasse skal arbejde med matematik og engineering ud fra et narrativ om CO₂-udledning i forbindelse med transport. De skal konstruere en prototype, der kan køre så langt som muligt på den potentielle energi, der er lagret i en spændt musefælde. Klassens matematiklærer gennemfører forløbet hen over tre uger. Narrativ og udfordring lyder således:

Narrativ

Selvom vi måske ikke tænker så meget over det, så er vi alle sammen afhængige af forskellige typer transport. Vi skal til og fra skole, vores mad skal transporteres fra producenten og hjem i køkkenet, og der er hele tiden varer, der transporteres på tværs af jordkloden. 28 % af den samlede danske CO₂-udledning (2019) stammer fra transportsektoren. I har måske hørt om nye typer motorer, der skal mindske udledningen af CO₂, men der er også andre steder, der kan forbedres, for at energien kan udnyttes mere effektivt og CO₂-udledningen reduceres.

Udfordring og krav:

Konstruer en prototype, der kan køre så langt som muligt på den potentielle energi, der er lagret i en spændt musefælde. I skal forholde jer til, hvordan forskellige modeller kan bidrage til udvikling af løsninger, der kan reducere udledning af CO₂. I skal redegøre for, hvordan overvejelserne omkring jeres prototype kan have en betydning for reduktion af CO₂-udledning i forbindelse med transport.

Efter at eleverne er introduceret til problemet og til forskellige typer matematiske modeller, konstruerer de et modelkøretøj, som skal bruges til deres undersøgelser. Eleverne identificerer forskellige variable, som hjul diameter og musefældens placering, der kan påvirke energiuudnyttelsen af køretøjet, og designer undersøgelser af variabelens påvirkning af effektiviteten. Efter at eleverne har undersøgt deres variable, sættes der gang i matematiske diskussioner i grupperne, som understøttes af elevark om databehandling og regressionsanalyser i CAS-værktøjer. Herved trænes både kommunikations-, ræsonnements- og modelleringskompetencerne, og eleverne får mulighed for at benytte regressionsanalyse til at vurdere forskellige variable og træffe matematisk begrundende valg for udvikling af deres prototyper.

Afslutningsvis præsenterer alle grupper deres prototype, og det er tydeligt, at det fælles matematiske sprog, som eleverne kan bruge om køretøjernes egenskaber, giver faglige diskussioner undervejs. Klassen er særligt optaget af, hvordan kombinationer af justeringer på de forskellige variable kan optimere deres løsninger, og diskuterer, hvordan andre variable som friktion og vægt kan påvirke deres prototyper.

Opsummerende kan man sige, at når matematik og engineering tænkes sammen i grundskolen, kan eleverne opleve en praktisk og anvendelsesorienteret tilgang til matematik. De lærer at løse matematiske problemer i en tværfaglig kontekst og at anvende deres matematiske færdigheder og kompetencer til at tackle virkelige og teknologiske udfordringer. Dette styrker såvel deres matematiske kompetencer som deres forståelse af, hvordan matematik bruges i samfundet, samtidig med at det åbner mulighed for at udforske matematik på nye måder. Ved at arbejde med autentiske engineering-udfordringer får eleverne mulighed for at opleve matematik som et levende og nødvendigt redskab til problemløsning og derigennem blive nysgerrige på matematikkens rolle.

Matematikfaglighed i engineering

Udvikling af matematiske handle- og tænkemåder

Matematiske handle- og tænkemåder omhandler indsigtfuld parathed til at handle i situationer, hvor det er hensigtsmæssigt at bruge matematikken. Når elever arbejder med engineering i matematik, kan de altså også udvikle de matematiske handle- og tænkemåder. Disse matematiske handlinger er i engineering ofte fordelt mellem følgende handle- og tænkemåder: kommunikation, modellering, problembehandling samt ræsonnement og tankegang.

Matematikundervisning i grundskolen sigter mod at sætte eleverne i stand til at begå sig hensigtsmæssigt i deres møde med matematik i verden omkring dem. Det er centralt at arbejde med matematiske handle- og tænkemåder i autentiske situationer, der peger ud i elevernes livsverden, herunder at skulle omsætte kompleksiteten i virkeligheden til noget, der kan rummes af og behandles med matematikken. Det gælder fx evnen til at analysere en problemstilling, udvikle løsninger og kommunikere resultater, men det kan også handle om, hvordan man helt konkret afgrænser en model, så den på den mest hensigtsmæssige vis bidrager til den løsning, man arbejder hen imod. Engineering designprocessen kan vise eleverne, hvordan matematiske kompetencer kan bringes til anvendelse i verden omkring dem og kvalificere deres møde med verden.

Engineering-forløb og de enkelte delprocesser kan typisk bidrage til udviklingen af flere af de matematiske handle- og tænkemåder, men i hvilket omfang og i hvilken grad dette understøttes, afhænger af lærerens tilrettelæggelse af forløbet og elevernes valg i de enkelte delprocesser.

Udvikling af eksisterende matematiske færdigheder

I grundskolens matematikundervisning er det et centralt mål, at eleverne lærer at anvende matematik som et redskab til at forstå og beskrive verden omkring sig. Matematik er et system af redskaber, der hjælper eleverne med at analysere og løse problemer i hverdagen, samfundslivet og på arbejdsmarkedet.

Matematikfaget har som værktøj til problemløsning meget at byde ind med, og det kan i høj grad være med til at kvalificere engineering designprocessen. Det kan blandt andet være ved at analysere og kvantificere den verden, som engineering-udfordringen skal finde løsninger til, eller det kan være gennem helt grundlæggende færdigheder som tegning, målinger eller beregninger af fx målestoksforhold og lign., når eleverne er i delprocessen *konkretisere*.

Samtidig kan hele engineering designprocessen drage nytte af de matematiske handle- og tænkemåder, som eleverne udvikler i grundskolen. Matematik kan her bruges som værktøj til at kvantificere, modellere og optimere løsninger. For eksempel kan eleverne anvende algebra til at beskrive forhold, geometri til at forstå rumlige relationer, statistik til at undersøge faktiske forhold og sandsynlighed til at vurdere mulige udfald og risici.

Kobling mellem engineering designprocessen og matematiske handle- og tænkemåder

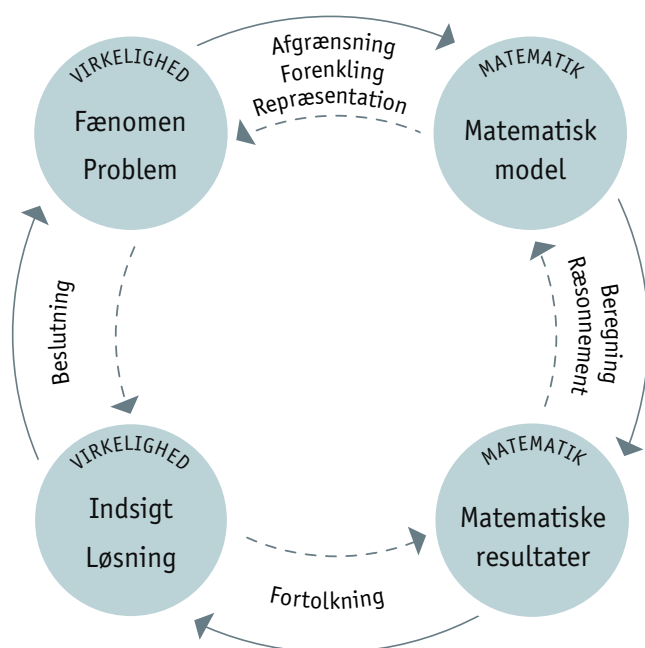
I en engineering designproces tager eleverne udgangspunkt i et autentisk problemfelt og arbejder for at løse en udfordring fra virkeligheden. En engineering designproces har derfor en helt særlig faglig sammenhæng med matematisk modellering, da det netop handler om at kunne håndtere noget fra virkeligheden, der i udgangspunktet ikke er matematisk, med matematik.

Den matematiske modelleringsproces kan opdeles i flere delprocesser, hvoraf en eller flere typisk vil indgå i en engineering designproces, og derfor vil det ofte være sådan, at eleverne udvikler deres modelleringskompetence i et engineering-forløb. Senere i afsnittet vises der, med to forløb, eksempler på, hvordan de øvrige matematiske handle- og tænkemåder kan komme til udtryk i de syv delprocesser.

Matematisk modellering og engineering

Når matematik anvendes for at løse et autentisk problem, er der tale om matematisk modellering. Modellering er nøglen til at bruge matematik ved problemanalyse, problembeskrivelse og problemløsning. Typisk kommer flere matematiske handle- og tænkemåder i spil, når der arbejdes med matematisk modellering, så eleverne kan udvikle flere af dem ved at tage udgangspunkt i matematisk modellering i en engineering-udfordring. I engineering beskæftiger eleverne sig altid med at finde en konkret løsning og konstruere en prototype. Herved kan eleverne opleve, at matematiske symboler, regneoperationer og metoder kan bruges til at skabe noget i virkelighedens verden.

Den matematiske modelleringsproces kan illustreres ved et diagram som i figur 8.1. 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.



Figur 8.1: Matematisk modellering er en proces, som på denne figur 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 brugbart til løsningen. Model venligst stillet til rådighed af Systime.

Modellering inkluderer – ud over selve modelleringskompetencen – typisk andre matematiske kompetencer. Afgrensning 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.

Udvikling af matematiske handle- og tænkemåder i designprocesser

Som beskrevet tidligere vil eleverne kunne udvikle flere matematiske handle- og tænkemåder gennem engineering. Dog afhænger det naturligvis dels af problemfeltet, dels i hvilket omfang handle- og tænkemåderne er relevante for at løse udfordringen, og dels i hvor høj grad lærerne vælger at stilladse matematikfaglige læringsprocesser i forløbet. Med udgangspunkt i konkrete forløb, vil vi illustrere, hvordan det kan tage sig meget forskelligt ud i en designproces.

EKSEMPEL 2

MATEMATIK I LODRETTE HAVER

Eleverne i en 7.-klasse arbejder i fire uger med det tværfaglige 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 vandings-system, 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 vandingsystemet, får de som benspænd, at de skal bruge så lidt materiale som muligt. Dvs. at overfladen på beholderen skal være mindst mulig 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 til delprocessen *konkretisere*, 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.

EKSEMPEL 3

MATEMATIK OG EN KATAPULT TIL KEJSER AUGUSTUS

En 5.-klasse skal arbejde med matematik og engineering ud fra et narrativ fra Romerriget. De skal udvikle en katapult til kejser Augustus. 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 huse-
ne 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 *konstruere* 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 og ideproces samt 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.

Gennem eksempel 2 og 3, vil vi nu udfolde, hvordan matematiske handle- og tænkemåder kommer til udtryk i de syv 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.

I eksempel 3, "Matematik og en katapult til kejser Augustus", anvendes en historisk kontekst for at skabe et narrativ for anvendelser af katapult. Det er ikke at foretrække ift. elevernes oplevelse af autenticitet, da evaluering viser, at det ikke giver den optimale motivation hos eleverne, men det er valgt i dette forløb, fordi det gav muligheder for at udvikle nogle særlige matematiske handle- og tænkemåder hos eleverne. De 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.

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 og statistiske modeller, som repræsenteres gennem tabeller, grafer, diagrammer eller lignende. Matematiske hjælpemidler som programmet GeoGebra kan med fordel inddrages, og det samme med matematiske hjælpemidler til talbehandling som regneark eller CAS-programmer.

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.

Få ideer: Kommunikation er en væsentlig del af idegenereringen. Afhængigt af problemet kan matematiske formuleringer komme på tale. Ræsonnementer kan indgå i form af begrundet argumentation for at overbevise sig selv og andre om ideernes holdbarhed. Gennem skitser og matematisering af ideernes indhold kan eleverne arbejde med forskellige former af matematisk modellering. 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 fx, at en cylinderform kan give en mindre overflade i forhold til volumen end en firkantet form.

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 og 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 3, "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 modellering, idet denne delproces ofte omfatter flere iterationer, hvor modellen forbedres og forfines, fx ved at tilføje flere elementer eller variable. I eksempel 3, "Matematik og en katapult til kejser Augustus", skal eleverne tilpasse og ændre deres konstruktion af katapulten, indtil den virker tilfredsstillende.

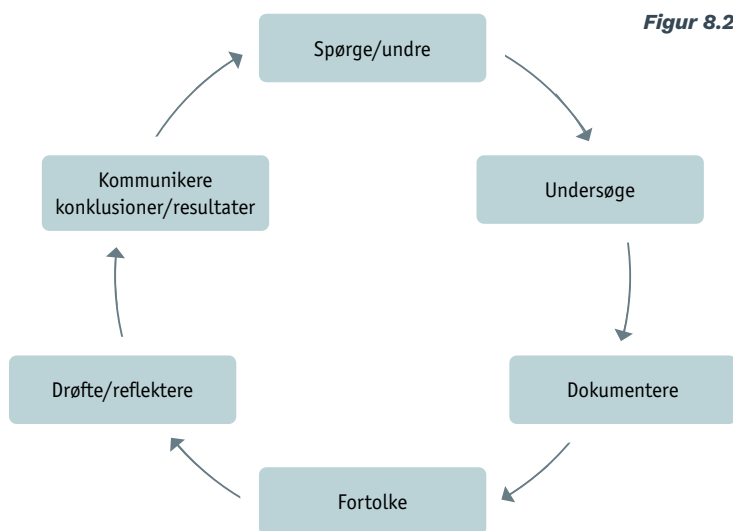
Præsentere: Når eleverne, både undervejs i designprocessen og i en eventuel afsluttende præsentation, deler viden og erfaringer med andre elever, vil handle- og tænkemåder fra matematik kunne kvalificere deres præsentationer, og samtidig kan eleverne i denne delproces arbejde med deres matematiske kommunikation.

Undersøgende matematik i engineering designprocesser

I en undersøgende matematik iscenesætter læreren, evt. sammen med eleverne, en undersøgelse fx ud fra en problemstilling, hvorefter eleverne selv, ofte i grupper, gennemfører undersøgelser, mens læreren stilladser og udstikker rammer. Sluttelig laves en opsamling på elevernes arbejde, og der drages konklusioner. Under elevernes arbejde opstiller de hypoteser, udvælger og afprøver strategier samt diskuterer og evaluerer deres resultater. Denne proces har stor lighed med engineering design-processen – dog med den forskel, at eleverne i engineering-processen ikke blot undersøger et matematisk felt eller søger efter et matematisk svar, men arbejder med udvikling af en konkret prototype og et design, som ofte kræver inddragelse af kompetencer fra flere fag.

Uanset om eleverne i et engineering-forløb får brug for at arbejde med specifikke matematiske elementer eller ej, vil forløbet kunne bidrage til at udvikle elevernes kreativitet samt deres problemløsnings- og undersøgelsesstrategier, som de kan have gavn af i den almindelige matematikundervisning. Ofte indgår matematiske undersøgelser dog eksplicit i engineering-forløb.

Undersøgende matematikundervisning kan som regel opdeles i en række iterative delprocesser. Den cykliske model (figur 8.2) er en fremgangsmåde, som ofte anvendes ved undersøgende matematik. I en engineering designproces vil man langt hen ad vejen kunne arbejde med tilsvarende processer.



Figur 8.2: Cyklisk model for en undersøgende tilgang (Grødum et al. 2010, gengivet fra Hansen & Hansen, 2013).

Særligt i delprocessen *undersøge* fra engineering designprocessen vil eleverne opleve, at matematiske undersøgelser kan være relevante, også derudover vil elementer fra den cykliske model også indgå eller bidrage ind i de seks andre delprocesser.

Alle undersøgelsesaktiviteter kræver, at eleverne forstår den udfordring, de står over for. I engineering-forløb, hvor det ofte er nødvendigt at trække på flere fagligheder, handler denne delproces om at have øje for, at udfordringen kan opdeles i elementer, der kan løses vha. de forskellige fagligheder, herunder matematiske undersøgelser. Fx har eleverne i forløbet "Regn med vand" brug for at undersøge vandforbrug og indsamle og behandle data for at forstå omfanget af udfordringen. Eleverne kan, evt. med støtte fra læreren, stille spørgsmål som fx "hvilke beregninger skal vi lave for at kunne bestemme vandforbruget?", "hvilke data har vi brug for til vores beregninger?" og "hvordan finder vi repræsentative data?". I undersøgende matematikundervisning vil denne delproces typisk være tæt koblet til selve undersøgelsen, hvor ideerne afprøves og evalueres.

I forløbet "Regn med vand" har eleverne brug for at indsamle data gennem teoretiske undersøgelser, fx statistiske materialer og oversigter fra husstandens forbrugsoversigter, eller de kan iværksætte egne konkrete undersøgelser, hvor de fx måler vandforbrug for en bruser, en vandhane mv. Når elever skal konkretisere deres ideer, kan de fx drøfte og reflektere på baggrund af deres undersøgelser, så konklusioner fra matematiske undersøgelser kvalificerer deres valg.

Afhængigt af udfordringen og elevernes valg kan konstruktionen af prototypen involvere matematiske elementer såsom målinger, geometriske konstruktioner eller figurer, beregninger mv. Hvis eleverne fx skal bygge en vandspareanordning, er der behov for målinger og beregninger, så anordningen passer til en vandhane el.lign. Oftest vil der også være specifikke krav til prototypen; her bliver behovet for matematiske overvejelser, beregninger og metoder påtrængende.

Eleverne vil ofte springe mellem de forskellige delprocesser i engineering designprocessen. Det samme gør sig gældende i den cykliske model. Forbedring kan ske, fx hvis eleverne opdager, at deres datagrundlag er for sparsomt eller ikke repræsentativt for den ønskede løsning; fx kan vandforbrug være afhængigt af årstid, hvilke installationer der er i husstanden, hvor længe man tager bad, osv. Der kan derfor være behov for at lave flere undersøgelser for at kunne skabe et mere generaliseret billede af forbruget. I det tilfælde kan der være behov for, at eleverne gentager eller tilpasser deres matematiske undersøgelser, spørger og undrer sig og eventuelt laver helt nye matematiske undersøgelser.

I løbet af engineering designprocessen kan der være behov for, at eleverne deler deres viden. Her kan flere af elementerne fra undersøgende matematik inddrages. Eleverne kan kommunikere konklusioner og resultater, de kan drøfte og reflektere over deres undersøgelser eller fortolke på hinandens resultater. Samtidig kan delprocessen *præsentere* bruges til at formidle processen, resultater, konklusioner og forslag. Forud for en præsentation må eleverne fortolke og reflektere over deres resultater, fx gennem matematiske ræsonnementer, så de kan gøre rede for gyldigheden af resultaterne. I præsentationer i engineering-forløb vil der ofte indgå relevante beregninger, tabeller og diagrammer, hvor eleverne må vurdere, hvilke matematiske repræsentationer der bedst udtrykker deres proces og resultater. Desuden må de tilpasse formidlingen til et fagligt niveau, der er passende for modtagerne.





Kapitel 9. Engineering og naturfag

I dette kapitel udfoldes, hvordan engineering kan sikre flere praksisfaglige dimensioner i naturfagsundervisningen, samt hvordan engineering kan bidrage til øget læring i naturfagene med fokus på elevernes kundskaber, engagement og myndiggørelse. Kapitlet belyser desuden, hvordan der kan arbejdes med forskellige naturfaglige praksisser i en engineering designproces, og hvordan naturfaglig undersøgelse og modellering er naturligt integreret.

Engineering og naturfag

Når engineering inddrages i naturfagsundervisningen, kan det så påviseligt medvirke til at øge elevernes motivation og udbytte af undervisningen?

Det korte svar er ja.

Det viser en national undersøgelse lavet blandt 210 lærere og knap 2.500 elever i perioden 2020-2023, hvor primært naturfagslærere blev kompetenceudviklet som en del af Engineering i Skolen-projektet (Hindsholm m.fl., 2023). Konkret ses en stor positiv forskel mellem elever på 'Engineering-skoler' (skoler, hvor lærerne systematisk er kompetenceløftet i engineering via Engineering i skolen-projektet) og referenceskoler. Det viser sig i deres vurdering af fagene, både i forhold til skolen, sig selv og samfundet:

Skolens rolle inden for naturfagene

Engineering-elever har en markant mere positiv holdning til naturfagsundervisningen og deres læreres rolle i undervisningen, end referencegruppen. Samtidig har de en mere positiv forståelse af naturfagernes relevans i forhold til fx at forstå problemer i samfundet.

Interesse inden for naturfagene

Engineering-elever har større interesse for at lære om naturfag i både skole og fritid, ligesom de bedre kan forestille sig at arbejde indenfor naturfag og science.

Holdninger til naturfag

Engineering-elever vurderer naturfags vigtighed for samfundet markant højere.

På lærersiden var konklusionen, at lærerne efter gennemført kompetenceudviklingen følte sig mere kompetente og bedre klædt på til at gennemføre både problembaseret og undersøgelsesbaseret undervisning, samt at de også brugte de praksisser, de havde udviklet i forbindelse med engineering, i deres undervisning i andre fag.

På denne positive baggrund beskriver vi i dette kapitel engineering som et praksisfagligt element i naturfagsundervisning. Vi viser, hvordan engineering kan bidrage til de didaktiske mål for den igangværende fagfornyelse, og hvordan engineering i øvrigt kan spille sammen med og styrke undervisningen i naturfagene, ikke mindst i forhold til de kendte områder undersøgelse, modellering, perspektivering og kommunikation.

Engineering som praksisfaglig didaktik i naturfag

Engineering er en udbredt didaktisk tilgang i grundskolens naturfag. Lærerne giver udtryk for, at den tilhørende designproces kan realisere læreplanernes krav om problembaseret tværfaglig undervisning. I et engineering-forløb udvikler eleverne naturfaglige kompetencer, mens de løser udfordringer inden for naturfaglige eller teknologiske problemfelter. Denne problembaserede og anvendelsesorienterede undervisning fremmer samtidig elevernes forståelse af faglig teori. Derfor giver det mening at tænke på engineering som en praksisfaglig didaktik – også i naturfagene.

Flere dele af engineering-undervisning kan, ved at øge praksisfagligheden, styrke naturfagene. Fx er praktiske undersøgelser af et materiales egenskaber (fx ild) meningsfulde – ofte ligefrem nødvendige – når der skal designs løsninger, hvor det undersøgte materiale kan bruges. Dermed overlapper engineering-delprocessen *undersøge* med naturfagenes undersøgelseskompetence, og er med til at er med til at tydeliggøre relevansen af naturfaglige undersøgelser og derved øge motivationen. Hands-on-aktiviteter, som de udspiller sig i delprocesserne *konstruere* og *forbedre*, er ligeledes eksempler på en praksisfaglig dimension med en kropslig og aktiv tilgang til undervisning, der styrker elevernes læring.

Engineering og faglig fornyelse: engagement, myndighed og kundskaber

I folkeskolens nye kvalitetsprogram, *Forberedt på fremtiden II. Frihed og fordybelse*, fremhæves behovet for en mere praktisk og kreativ undervisning. Eleverne skal bl.a. opnå faglige erfaringer gennem praktiske og skabende aktiviteter (Regeringen, 2023). Denne linje følges op i grundlaget for den kommende fagfornyelse, der skal træde i kraft fra skoleåret 2027/2028. Et centralt element i de nye fagplaner er den didaktiske treklang, hvor det skal udfoldes, hvordan fagene fremmer elevernes *engagement, myndighed og kundskaber* i undervisningen (STUK, 2024). Denne didaktiske treenighed vil fungere godt sammen med engineering.

Eleverne skal *engagere sig* i egne oplevelser og interesser bl.a. gennem skabende aktiviteter. Dette giver engineering-undervisning gode vilkår for, da det er en elevcentreret didaktik, der giver eleverne mulighed for at arbejde med deres egne ideer, som de fordi de selv fandt på dem typisk oplever som spændende. Som omtalt i indledningen gælder det, at elever, der arbejder med engineering, har en større interesse for naturfag sammenlignet med elever, som ikke har modtaget engineering-undervisning. Tilsvarende har flere elever en positiv oplevelse af undervisningen, ligesom de har en oplevelse af, at naturfag er relevante og vigtige.

Elevernes *myndighed* skal styrkes, så de kan og tør træffe selvstændige og ansvarlige beslutninger, herunder også etiske beslutninger. Den oprindelige argumentation for at implementere engineering i naturfag var at give eleverne oplevelsen af at kunne handle på autentiske udfordringer gennem skabende og kreative processer. Under et engineering-forløb skal der træffes mange beslutninger, både praktiske og etiske. Der skal tages stilling til miljø- og bæredygtighed, herunder materialevalg, fx om materialet er bionedbrydeligt, eller om det kan genbruges. Og hvis det produkt, eleverne har besluttet sig for at designe, er rettet mod brugere, som ikke er eleverne selv, skal de overveje, hvordan brugerne vil tage imod produktet, og hvordan det vil ændre deres adfærd. Eleverne oplever, at når virksomheder designer nye produkter, så er produkterne med til at ændre verden – på godt og ondt.

Eleverne bliver derfor nødt til at udøve dømmekraft, når der skal tages vigtige designvalg. Hvis for eksempel engineering-udfordringen er, at eleverne skal designe og konstruere et insekthotel til skolens område, er det vigtigt, at de overvejer materialevalget i forhold til miljø, da hotellet placeres ude i naturen. Desuden skal eleverne vælge, hvilke insekter de vil bygge insekthotellet til, hvordan det skal se ud, og hvor på skolens grund det skal placeres.



Endelig skal eleverne fortsat opnå *kundskaber*, så de gennem viden og praktiske færdigheder kan handle indsigtsfuldt, både i og uden for skolen. Engineering giver mulighed for, at eleverne anvender og udvikler deres naturfaglige viden i for dem autentiske situationer. Undervejs er eleverne nødt til at inddrage relevant viden, som de selv opsøger, modtager fra læreren eller erhverver gennem egne undersøgelser. I designprocessen får eleverne konkrete kundskaber, som senere kan anvendes til at løse problemstillinger, og de kan udvikle kompetencer til at navigere og agere i en kompleks virkelighed. Myndig optræden betyder, at man i sine valg kombinerer sin viden med sine værdier. Den kombination kan eleverne træne i engineering designprocessen.

I det følgende gøres der først rede for de naturfaglige mål, og derefter, hvordan der gennem engineering designprocessens syv delprocesser arbejdes med praksisfaglighed og naturvidenskabelige praksisser.

Naturfaglige mål i engineering

Et centralt mål for naturfagsundervisningen er kundskaber, som eleverne skal lære gennem forskellige handlinger, og som bidrager til naturvidenskabelige erkendelser. De kundskaber, som eleverne skal lære i naturfagene, betegnes også som naturfaglige praksisser.

Naturfaglige praksisser kan opdeles i:

- 1) stille spørgsmål
 - 2) udvikle og anvende modeller
 - 3) planlægge og gennemføre undersøgelser
 - 4) analysere og tolke data
 - 5) bruge matematik og algoritmisk tænkning
 - 6) lave forklaringer
 - 7) argumentere ud fra evidens
 - 8) skaffe, vurdere og kommunikere information
- (National Research Council, 2012).

Disse 8 praksisser kan alle indgå i engineering designprocessen. Det egentlige mål med engineering designprocessen er derfor ikke prototypen. Målet er, at eleverne gennem designprocessen lærer at løse problemer systematisk med inddragelse af naturfaglig viden og praksisser. Det kan være viden og metoder, som eleverne allerede kender fra undervisning, eller som de opsøger i designprocessen.

De syv delprocesser og naturfaglige praksisser

Som naturfagslærer er det 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 giver en tydelig ramme og navngiver og definerer 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.

Som det fremgår af eksemplet med bæredygtig fødevarereproduktion på næste side, kan elevernes arbejde i de syv delprocesser bidrage til læring og udvikling af naturfaglige praksisser. Det er lærerens ansvar at udvælge og planlægge aktiviteter, der undervejs understøtter elevernes designproces og bidrager til elevernes udvikling af naturfaglige kundskaber.

Med udgangspunkt i eksemplet udfolder vi, hvordan praksisfaglighed, naturfaglige praksisser og viden kommer til udtryk i de forskellige engineering-delprocesser. Desuden illustreres, hvordan de fire naturfaglige kompetencer – undersøge, modellere, perspektivere og kommunikere – kan udvikles i et engineering-forløb.

EKSEMPEL

BÆREDYGTIG FØDEVAREPRODUKTION I STORBYEN

Dette fællesfaglige forløb indeholder STEM-faglige problemstillinger, som er relevante for alle tre naturfag, og 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.

Eleverne skulle designe løsninger, der muliggør produktion af afgrøder i bymæssig bebyggelse, fx i vertikale haver eller i vejrabatten.

Eleverne udførte *undersøgelser* omkring urbaniseringsgrad, fotosyntese og nærings-ioner. 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. Desuden sikrede læreren, at data-tabellerne efter undersøgelserne blev brugt aktivt i en fælles opsamling, hvor eleverne begrundede deres gruppes valg og udformning af tabellen.

Undervejs i delprocessen *få ideer* samlede læreren 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 elevernes *anvendelse af modeller* fik de undervejs i forløbet udleveret matematiske modeller over udvalgte afgrøders CO₂-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 uddybende, at prototypen også er en model. Ved drøftelserne af prototyperne skulle hver gruppe derfor også betragte deres egen prototype som en model og sammenligne den med andre modeller. Gruppen bragte altså naturfaglig viden med ind i delprocessen *konstruere*.

Forstå udfordringen: I denne delproces skal eleverne engageres i problemfeltet. For at *forstå udfordringen* kræver det, at eleverne undersøger problemfeltet og "oversætter" udfordringen til "eget sprog". De arbejder med at 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 "Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" kan en del af perspektiveringen være at forstå behovet for fødevareproduktion i storbyen. Undersøgelsesdelen kan fx omfatte, at eleverne indsamler og bearbejder data eller taler med mennesker, der dyrker grøntsager i fx kolonihaver. Delprocessen *undersøge* kan også omfatte, at eleverne udbygger deres praktiske forståelse af, hvordan bæredygtig fødevareproduktion i bymiljøer kan foregå, ved at søge informationer om dette.

Undersøge: Delprocessen *undersøge* lægger op til, at naturfaglige undersøgelser kan indgå. Det er op til læreren at planlægge, hvordan naturfaglige undersøgelser kan bidrage til gruppernes arbejde i engineering designprocessen, og herunder overveje frihedsgrader for elevgrupperne.

I eksemplet "Bæredygtig fødevareproduktion i storbyen" gennemførte elevgrupperne forskellige naturfaglige undersøgelser og naturfaglige praksisser. Fx blev undersøgelser, indsamling af informationer og analyse og tolkning af data inddraget i delprocessen. De blev også præsenteret for modeller, som kunne udbygge deres teoretiske forståelse af, hvordan de naturfaglige undersøgelser kan bruges i det videre arbejde med at konstruere prototypen.

Få ideer: At få ideer ligger i forlængelse af behovet for at forstå udfordringen. Her er der virkelig en mulighed for, at eleverne deltager i kreative processer som en del af praksisfagligheden, idet eleverne skal udvikle deres egne bud på at løse den udfordring, som de er blevet præsenteret for. De arbejder først i en divergent fase, hvor de skal finde på flere forskellige ideer, og senere i en konvergent fase, hvor de skal udvælge argumentere for den ide de vil arbejde videre med.

I eksemplet "Bæredygtig fødevarerproduktion i storbyen" kan eleverne komme med ideer til produktion af afgrøder i bymæssig bebyggelse, vertikale haver og vejkanter. Undervejs arbejder de gennem forskellige naturfaglige praksisser, når de skal argumentere for deres designvalg ud fra viden fra egne naturfaglige undersøgelser og informationssøgning. Efterfølgende fik og gav elevgrupperne feedback i peer-to-peer-sparring med en anden gruppe, som bidrager til at kvalificere konkretiseringen af de forskellige bud på løsninger. Dette er en delproces, hvor elevernes myndighed fremmes, da skal argumentere for og træffe selvstændige valg.

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 flere delprocesser, både forstå udfordringen, undersøge og få ideer. De vil benytte sig af og træne naturfaglige praksisser, som at anvende og udvikle modeller, men også at kommunikere, fordi konkretiseringen bidrager til at udvikle den fælles forståelse af prototypens udformning, funktioner og kvaliteter. Modelleringen som proces er en anden måde at visualisere konkretiseringsprocessen på.

I eksemplet "Bæredygtig fødevarerproduktion 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: I denne delproces træder den del af praksisfagligheden, som handler om kropsligt og praktisk arbejde, tydeligt frem, og elevernes håndværksmæssige evner trænes. Når eleverne konstruerer, så anvender og træner de fortrinsvis det at udvikle modeller. Modelleringsprocessen benytter sig af både elevernes mentale forestilling om 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 en arbejds-tegning – som er en model – og erfaringer om, hvordan huse bygges, til at bygge et nyt hus.

Forbedre: I delprocessen forbedre har eleverne mulighed for at anvende og træne flere naturfaglige praksisser i en konkret kontekst. Gennem test af prototypen skal eleverne planlægge og gennemføre undersøgelser af, om prototypen virker som forventet og lever op til de krav, der er stillet. Sandsynligvis er de nødt til at indsamle og analysere data for at undersøge, om prototypen løser udfordringen. Eleverne diskuterer deres undersøgelsesdata og vurderer, om der skal foretages forbedringer af prototypen. De kan blive nødt til at perspektivere til udfordringens kontekst for at kunne forbedre prototypen på en hensigtsmæssig måde. Det er igen en delproces, hvor elevernes myndighed kommer i spil gennem naturfaglig argumentation og fælles beslutninger.

Undervisningseksemplet "Bæredygtig fødevarerproduktion 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 dem er, at de vil have størst potentiale for at virke, når eleverne formår at udnytte viden og resultater opnået gennem naturfaglige praksisser.

Præsentere: Når eleverne præsenterer deres løsningsforslag, skal de argumentere for og formidle deres valg gennem engineering designprocessen. De tager udgangspunkt i den oprindelige udfordring og forklarer deres vej gennem designprocessen, og de inddrager den viden, som de har anvendt eller erfaret under udviklingen af deres prototyper. Det er også her, den naturfaglige praksis at formulere forklaringer kan komme i spil, hvis man som lærer stiller som krav, at eleverne i præsentationen skal gøre rede for den naturfaglige viden, som forklarer og begrundet produktets funktionalitet.



Modeller og modellering i naturfag

Modeller og modellering er centrale emner i alle naturfag. At udvikle og anvende modeller er også en gennemgående praksis for engineering designprocessen. I det følgende uddybes denne praksis.

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 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 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 om en *konkretisering* af tankemodellen. Eleven har lavet en udtrykt model (se figur 9.1).



Figur 9.1: 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.

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 forventeligt i samme retning – hen imod det, der kan blive ideen til prototypen. Derfor har modelleringsprocessen og modeller en central rolle i engineering, ligesom modellering og modeller generelt har i designprocesser. Men modellering spiller en anden rolle her, end modellering gør i naturfag. I designprocessen modellerer man noget, der ikke eksisterer endnu, men som (måske) skal skabes. I naturfag, derimod, bruges modeller til at forklare og illustrere eksisterende fænomener i naturen, som havstrømme, eller en celledes opbygning.

Når gruppen er i gang med delprocesserne *konstruere* eller *forbedre* og 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. Modellens rolle nærmer sig dermed den forklarende funktion, som modeller har i naturfag. En sådan model kan man kalde en afledt model, fordi den er afledt af den konkrete prototype og altså modellerer noget eksisterende (se figur 9.2).



Figur 9.2: En afledt model af en vindmøllevinge. Måske har gruppen besluttet at forsøge at optimere deres vindmølle ved at give vingerne en særlig profil, men de er løbet ind i konstruktionsproblemer. Derfor har de lavet denne model.

I de indledende delprocesser er modeller altså redskaber til, at eleverne gennem samtale og skitsering justerer deres tankemodeller og opnår afklaring i gruppen. Eleverne er på det rene med, at 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 delprocessen *få ideer* uden at have ”delt” den samme model og 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.

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 9.3 af, hvordan vinden strømmer omkring en vindmøllevinge med den velkendte vingeprofil.



Figur 9.3: 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 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 en fungerende vingeprofil til deres første flyver, som fløj i 1903. Men fra Wright-brødrenes buede vinge var der stadig lang vej til den moderne karakteristiske vingeprofil, der anvendes på flyvemaskiner og helikopter-rotorer.

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.

Engineering tager afsæt i problemer, ikke i viden

For at engineering i naturfagsundervisningen skal være autentisk og føre til en dybere forståelse af, hvad teknologisk design er, skal den tage udgangspunkt i en problemstilling, hvor løsningen er et konkret produkt. Det er altså ønsket om at løse et problem, der er drivende i engineering designprocessen. I processen kommer viden ind som et redskab, som eleverne kan trække på, når de arbejder og træffer designvalg.

I forløbet "Svampe-emballage" skal eleverne designe en prototype på en ny type klimavenlig emballage, der kan beskytte en mindre vare efter eget valg. Et af kravene til løsningen er, at emballagen skal bestå af 'genbrugs'-materialer og svampemycelium. En undersøgelse af svampemyceliums vækst i forskellige materialer bliver derfor relevant, for at eleverne kan løse udfordringen.

Behovet for naturvidenskabelig viden udspringer altså direkte af problemet, som eleverne skal løse. For at kunne designe en sådan undersøgelse kræver det naturfaglig viden om svampes vækstbetingelser, og i forløbet er der derfor lagt op til en kort svampetur på og omkring skolen.

Viden om svampes vækstbetingelser stilladseres i dette tilfælde, ved at eleverne undersøger, hvor svampene findes og beskriver levestederne. Efterfølgende sammenholdes de forskellige observationer, og de bruges som grundlag for en mere generaliseret viden om svampes vækstbetingelser og levesteder. Senere i forløbet bruger eleverne denne viden, når de skal vælge materialer og undersøge, hvilke af dem svampemyceliet bedst gror på.

For at udvikle løsninger på en engineering-udfordring er det dog ikke et mål i sig selv, at den viden, eleverne inddrager, skal være naturvidenskabelig. Derfor leder de også efter andre former for viden, fx ved at nærstudere et eksisterende stykke teknologi, som løser et problem, der minder om det, de arbejder på (kendt som "reverse engineering").

Men i langt de fleste tilfælde vil eleverne for at kvalificere deres løsninger og udvikling af prototyper have brug for systematisk at indsamle og analysere data, planlægge undersøgelser, evaluere på resultaterne og bruge eksisterende naturvidenskabelige erkendelser.

Elevark 3 (1/2)

Observer svampe i naturen

Svampe kan bedst findes i nærheden af gamle træer, hvor der er skygge og fugt og hvor jorden er dækket af blade. I kan prøve at vende store stykker dødt træ eller blade om. Når I finder mycelium og/eller frugtlegetet fra svampe, skal I:

Observer og beskriv svampens udseende, lugt og hvordan den føles

- Hvordan ser svampen ud? Er det mycelium og/eller frugtlegetet?
- Hvis det er et frugtlegete, har den så stok/stilk, hat (paddehat) eller er den hindeagtig, mugagtig eller andet?
- Hvordan lugter svampen? Kraftigt, surt, af jord/mug, af svamp
- Hvordan føles svampen? Kraftig, stærk, blød, fugtig, luftig, let, tung, sart

Observer og beskriv svampens levested og hvad svampen vokser på

- Hvor lever svampen? På et levende træ, i jorden, dødt træ der stadig står, stykker af træ i skovbunden, visne blade, dødt dyr, andet?
- Mærk på stedet hvor I fandt svampen – hvordan føles overfladen? Fugtig, kold, våd, varm, tør?
- Lever svampen i direkte sol eller skygge?

Observationsskema

Svamp 1:	
Beskriv svampens udseende, lugt og hvordan den føles Det er et stort lysebrunt frugtlegete. Den er helt fast på oversiden. Den har en stok. Den lugter af jord. På undersiden har den lameller som let kan trykkes sammen.	Tegn svampen (eller tag et billede) 
Beskriv svampens levested og hvad den vokser på Svampen fandt vi i skovbunden under en masse høje træer. Der var fugtig og masser af blade. Der var skygge.	

Teknologi som 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 naturfagene 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 målet, at fremstille produkter eller udvikle processer, der bearbejder naturen, som når man raffinerer olie, bygger biler eller fremstiller elektricitet.

For at lave gode teknologiske løsninger vil eleverne i langt de fleste tilfælde have behov for at inddrage viden og erfaringer fra naturfagene, ud over den der eksplicit refererer til teknologi og teknologjudvikling.

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 10. Engineering og håndværk og design

Kapitlet beskriver samspillet mellem håndværk og design-faglighed og engineering, og hvordan fagets udtryk ses i delprocesserne i engineering. Til sidst beskrives, hvordan engineering kan understøtte refleksioner over valg og fravalg af materialer og teknikker, samt hvordan engineering og æstetiske læreprocesser kan gå hånd i hånd.

Engineering og håndværk og design

I håndværk og design-fagets formål fra 2019 er beskrevet, at undervisningen i faget skal give eleverne en glæde ved at arbejde med hænderne, anvende og udvikle kreative evner, få handlekompetence samt reflektere over valg og fravalg i designprocesser. Faget skal desuden give eleverne mulighed for at udvikle praktiske og håndværksmæssige færdigheder, samtidig med at de lærer at arbejde i og med forskellige designprocesser.

Faget lægger også op til samarbejde, hvor eleverne lærer at dele ideer, kommunikere, give feedback og finde frem til fælles løsninger. På den måde udvikler eleverne praksisfaglige færdigheder, der er vigtige i deres hverdag, i deres videre uddannelsesliv og i samfundet som helhed. I dette kapitel udfoldes forskellige tilgange til integration af engineering i håndværk og design, og hvordan kombinationen håndværk og design og engineering kan styrke begge fagligheder.

Engineering som praksisfaglig didaktik i håndværk og design

Den mest iøjnefaldende sammenhæng mellem engineering og håndværk og design er, at begge tilgange understøtter elevernes evne til at tænke kreativt, løse problemer og arbejde praktisk med konkrete designmæssige udfordringer.

I håndværk og design kobles teoretisk viden, håndværksmæssige færdigheder og overvejelser om materialer med praktisk design og prototyper. Herved opnår eleverne en helhedsforståelse af, hvordan teknologi og produkter fungerer og udvikles i og uden for skolen.

Med en lidt anden ordlyd er det også det, der kendetegner engineering som praksisfaglig didaktik, hvor netop fremstilling af prototyper og produkter er fremhævet som en særlig dimension. Eleverne lærer desuden, hvordan viden og metoder fra andre fagligheder kan anvendes til at skabe løsninger, der både er funktionelle og har en æstetisk værdi.

Her kan håndværk og design-faget særligt være med til at kvalificere engineering designprocessen, så eleverne oplever at komme længere i udviklingen af prototyper og tættere på et færdigt produkt. Engineering-forløb er ofte kendetegnet ved at slutte, når eleverne har en mere eller mindre velfungerende prototype i et simpelt materiale. Faget håndværk og design bidrager her til, at prototypen kan udvikles med et højere niveau af håndværksmæssige færdigheder og med mere kvalificerede materialevalg.

Den anden vej rundt kan engineering og samspillet med naturfag og matematik bidrage med inddragelsen af andre former for viden og undersøgelser, som kan medvirke til udviklingen af andre typer produkter i håndværk og design.

Endelig er iterative processer et centralt fælles særkende i både faget håndværk og design og i engineering som didaktik, hvor konkrete løsninger udvikles, testes og forbedres baseret på løbende feedback og evalueringer.

Håndværk og design-faget har siden 2014 arbejdet med tre kompetenceområder, som har flere sammenfald med engineering designprocessen, fordi der begge steder er et fokus på at arbejde kreativt, undersøgende, problemløsende og eksperimenterende. Der er fokus på at bruge hænderne i det praktiske arbejde, og eleverne bruger værktøj og materialer til at løse problemstillinger, når de laver prototyper, færdige produkter og løsninger.



De oprindelige kompetenceområder i håndværk og design er:

- Håndværk – forarbejdning
- Håndværk – materialer
- Design.

Selvom fagplanerne er under revision ved tilblivelsen af denne didaktik, er der ingen grund til at tro, at et fokus på hverken håndværksmæssige eller designfaglige færdigheder overordnet vil ændre sig i den proces.

Et af de helt store potentialer ved at bruge engineering i håndværk og design, er koblingen mellem faget og hvordan både design og håndværk praktiseres 'i virkeligheden'. Engineering kan være med til at øge elevernes forståelse for materialer, håndværksmæssige teknikker samt designprocesser og deres praktiske anvendelse i virkelige problemstillinger. Igen er der sammenfald med engineering, der også er kendetegnet ved at være problembaseret og anvendelsesorienteret. En sådan kobling kan medvirke til elevernes forståelse af, hvordan og hvornår designprocesser anvendes i praksis, og hvordan materialekendskab og forarbejdning er vigtige elementer også uden for håndværk og design-faget.

Engineering-didaktikken tog sit oprindelige udgangspunkt i naturfagene, hvor naturfaglige undersøgelser og arbejdsmetoder er en del af designprocessen. Samarbejdet med håndværk og design bidrager til at udvide mulighederne for at konstruere prototyper med andre materialer og teknikker og derigennem øge autenticiteten, når designprocessen konkretiseres i en prototype. Her bliver det tydeligt, hvordan de to fagligheder, engineering og håndværk og design, kan styrke hinanden gensidigt.

EKSEMPEL

MATERIALETS MANGE MULIGHEDER

En klasse arbejdede i forløbet "Materialets mange muligheder" med uld som isoleringsmateriale til kopper. I processen forsøgte de sig med forskellige teknikker til at forme og forarbejde ulden. Efter at have fingerstrikket en prototype forsøgte eleverne sig med at filte deres fingerstrikk. I processen kom de ind på, at uld krymper, når det vaskes, og de fik den ide, at det kunne øge isoleringsevnen og gøre prototypen mere formstabil. Det førte til matematiske undersøgelser af krympeprocenter og naturfaglige overvejelser om, hvordan de sikrede sig ensartet krympning, når de vaskede. Her blev de naturfaglige og matematiske undersøgelser og overvejelser i forening med elevernes viden om materialer og teknikker fra håndværk og design, centrale for, at de kunne lykkes med udviklingen af deres prototyper.

Som eksemplet viser, kan kombinationen med engineering styrke praksisfagligheden i håndværk og design-faget. Blandt andet ved at arbejde med udviklingen af teknologiske løsninger på virkelighedsnære problemstillinger.

Koblingen med engineering kan ligeledes styrke det tværfaglige samarbejde mellem håndværk og design, naturfag og matematik. Herigennem kan elevernes forståelse af, hvordan metoder og viden fra de forskellige fag i samspil kvalificerer løsninger af designudfordringer, og dette kan give indsigt i, hvordan de enkelte fagligheder bidrager forskelligt i designprocesser og dermed giver løsninger, som ikke ville kunne opnås uden at inddrage flere fagligheder.



Håndværk og design-faglighed i engineering

Håndværksmæssige færdigheder

I engineering kan forforståelse og færdigheder fra områderne ”håndværk – forarbejdning” og ”håndværk – materialer” i høj grad kvalificere engineering designprocesser, hvor erfaring med teknikker og materialer kan øge elevernes muligheder for at løse de udfordringer, de stilles over for. Ofte laves prototyper i engineering-forløb af materialer, der er lette at forarbejde. Simple materialer giver mulighed for hurtig udvikling og afprøvning, men ved at arbejde med engineering i håndværk og design kan der inddrages mere krævende materialer og teknikker, og eleverne kan udvikle prototyper, der vil være tættere på et endeligt produkt både i kvalitet og funktion.

Samtidig kan inddragelse af viden og undersøgelser fra naturfag og matematik understøtte elevernes læring af forskellige teknikker til forarbejdning af materialer og materialeegenskaber. Dette kan hjælpe eleverne til at træffe til- og fravalg samt begrunde disse. Ved at arbejde med for eleven virkelighedsnære engineering-udfordringer kan der samtidig skabes en øget motivation for at afprøve og anvende forskellige teknikker, samt undersøge forskellige materialer eller værktøj, hvilket løfter elevernes kompetencer inden for forarbejdning og materialekendskab.

EKSEMPEL

KOM OG SÆT DIG

I forløbet ”Kom og sæt dig” laver eleverne puder til forskellige situationer, hvor man risikerer at blive kold eller øm. Ved at inddrage materialer og teknikker fra håndværk og design og kombinere det med naturfaglige undersøgelser, fx af materialers isoleringsevne, og matematiske undersøgelser, fx af hvordan et stykke stof kan bruges til flest mulige puder, kan eleverne udvikle færdige produkter i en proces, hvor de også forholder sig til ressourceforbrug.



Designfaglige færdigheder

I håndværk og design skal eleverne arbejde med at forstå samspillet mellem ide, tanke og handling frem til et færdigt produkt. Dette kan de opnå ved at arbejde i og med de delprocesser, som indgår i engineering designprocessen. Det er gennem de praktiske håndværks- og designprocesser, at eleverne arbejder undersøgende, problemløsende og evaluerende. De skal skabe meningsfulde innovative løsninger på problemstillinger. Engineering designprocessen kan stilladsere elevernes designproces-tilegnelse gennem de syv delprocesser. Elevernes refleksioner om, hvilken delproces de bevæger sig i, og den arbejdsform, delprocessen kræver, styrker elevernes bevidsthed om deres egen designproces i håndværk og design. Gennem sprogliggørelse af arbejdsprocessen kan eleverne blive i stand til både at reflektere over og formidle processen. Det kan blandt andet ske ved at diskutere de udfordringer, som eleverne møder, når de træffer til- og fravalg i processen.

Fagets udtryk i engineering designprocessen

I det følgende beskrives, hvordan håndværk og design-fagets udtryk kan se ud i de syv delprocesser fra engineering designprocessen.

Forstå udfordringen: I delprocessen *forstå udfordringen* identificeres problemstillingen. Eleverne præsenteres for en udfordring, hvor de skal designe en mulig løsning.

Eksempelvis skal eleverne i forløbet "Materialets mange muligheder" få en omverdensforståelse af problemfeltet, inden de kan designe. Det kan for eksempel undersøges, hvor der bruges uld i vores hverdag, og hvad uldens formål er i produktet. Hvis man som lærer ønsker et særligt fokus på enten materialekendskab eller forarbejdningssfærdigheder, kan der stilles krav til brugen af teknikker og materialer i den konkrete løsning af engineering-udfordringen. Eksempelvis som i forløbet "Det skal holde til vind og vejr", hvor eleverne skal udvikle prototyper, der er vejrbestandige, eller i "Materialets mange muligheder", hvor eleverne skal udvikle produkter lavet af uld.

Omvendt kan et frit valgt af teknikker og materialer sætte fokus på elevens designfaglighed. Det kan fx være "design en prototype, der kan holde noget varmt, og som laves i et bæredygtigt materiale".

Undersøge: Når eleverne er i delprocessen *undersøge*, er det centralt, at de går systematisk til undersøgelser, for at de bidrager med viden til designprocessen. I delprocessen er det oplagt at inddrage undersøgelser fra naturfagene og matematik til fx at analysere forarbejdningsteknikker og materiale-egenskaber. Det kan være, at ulds egenskaber skal undersøges og bestemmes gennem naturfaglige og matematiske metoder, fx udregning af, hvor meget materialet krymper i vask, eller bestemmelse af ulds evne til at absorbere stød.

Systematiske undersøgelser og sammenligninger af forskellige forarbejdninger, teknikker og/eller materialer kan ikke blot kvalificere elevernes løsninger på de konkrete udfordringer, men også give eleverne viden om fordele og ulemper ved forskellige teknikker, materialer og forarbejdninger. Derigennem kan delprocessen undersøge understøtte elevernes senere ideafprøvning. Hvad sker der eksempelvis, når man vådfilter ulden, bruger en filtenål i karteflor eller vasker noget, der er strikket i uldgarn, ved forskellige temperaturer?

Få ideer: Delprocessen *få ideer* sætter elevernes kreativitet fri inden for de rammer, som engineering-udfordringen rummer. Eleverne er her i en kreativ proces, hvor mulige ideer udvikles og vurderes i forhold til hinanden. Eleverne er måske vant til at arbejde med at få ideer til løsninger i håndværk og design, men når de arbejder igennem en engineering designproces, skal ideerne harmonere med engineering-udfordringen og kravene hertil.

Konkretisere: I delprocessen *konkretisere* skal eleverne blive mere konkrete vedrørende deres design. Læreren faciliterer en proces, hvor eleverne tilrettelægger deres arbejde samt forklarer og skitserer deres ideer. Eleverne skal også træffe kvalificerede valg om materialer og teknikker. Fx kan eleverne i forløbet "Materialets mange muligheder" vælge mellem forskellige fibre som materiale til prototypen. Det valg kan blive kvalificeret af naturfaglige undersøgelser af materialets egenskaber.

Konstruere: Delprocessen *konstruere* relaterer sig til elevernes skabende proces med udvalgte teknikker og materialer. Her vil der potentielt være mange faglige kundskaber fra håndværk og design-faget i spil, i og med at eleverne udvikler designet iterativt gennem forarbejdning af valgte materialer.

Forbedre: Eleverne befinder sig i delprocessen *forbedre*, når der opstår behov for tilpasninger. Dette kan både ske undervejs i designprocessen, og når den første prototype er konstrueret. I forløbet "Materialets mange muligheder" kan det være, at en beholder, der er vådfiltet, ikke krympede tilstrækkeligt og blev for stor, så isoleringseffekten ikke er tilstrækkelig. Eleverne skal forholde sig til, hvorvidt deres prototyper lever op til den udfordring og de krav, der er stillet til engineering-forløbet. Det kan være nødvendigt for eleverne at tilpasse deres undersøgelser, ideer eller konkrete konstruktioner, for at deres løsning kan imødekomme engineering-udfordringen. Eleverne kan også som en del af pro-

cessen reflektere over, om andre teknikker, redskaber eller materialer kan forbedre prototypen. Det kan fx være, at eleverne får en forståelse for, at hvis man benytter en tørretumbler til en stor vådfiltet beholder, kan man opnå en hurtig og effektiv krympning.

Præsentere: Som beskrevet tidligere har delprocessen *præsentere* fokus på formidling og feedback på både proces og prototype og delprocessen bør derfor foregå løbende som en del af engineering designprocessen. Eleverne kan fx redegøre for deres til- og fravalg undervejs i processen, præsentere resultater fra undersøgelser samt beskrive læringer fra fejl og forklare, hvordan ideer blev til en konstruktion af en prototype. I håndværk og design-kontekst vil det ikke nødvendigvis være en prototype – det kan være et egentligt produkt, der præsenteres. Det er centralt, at delprocessen præsentere inddrages løbende i engineering designprocessen for at lade eleverne dele viden og erfaringer med hinanden.

Engineering og kvalificerede valg og fravalg af materialer og teknikker

I engineering designprocessen kan eleverne opleve, at de har et spinkelt fagligt grundlag for at træffe valg og fravalg af materialer og teknikker. Det begrænser elevernes frihedsgrader og ikke mindst mulighedsrum med hensyn til design af løsninger. Ved tidligt i designprocessen at stilladsere undersøgelser med fokus på materialeegenskaber og forarbejdningsteknikker vil eleverne få en udvidet forståelse af materialer og ikke mindst, hvordan de kan bearbejdes og anvendes i en prototype.

For at kunne udvælge de rette materialer skal eleverne have et kendskab til materialernes egenskaber og forarbejdningmuligheder, og de skal prøve at arbejde med forskellige teknikker for at blive i stand til at begrunde deres valg af materiale, teknik og/eller kombination heraf.

Eleverne skal arbejde med forarbejdning af materialerne for at blive styrket til at træffe valg og fravalg i arbejdet med at lave prototyper. Deres færdigheder og viden skal de bruge, når de skal arbejde undersøgende og eksperimenterende med teknikker for at kunne øve sig i at disponere og tilrettelægge en arbejdsproces, hvor de arbejder med at skabe produkter, der har værdi for andre. Det er derfor nødvendigt at blive præsenteret for forskellige forarbejdningmuligheder og teknikker for at kunne træffe et kvalificeret valg, som blandt andet også omhandler at udvælge materialer, værktøjer, teknikker og redskaber.

Ved at stilladsere elevernes designproces gennem engineering kan undersøgelser af materialer og teknikker systematiseres, så der er større fokus på funktionalitet og formål. Dette vil styrke elevernes forståelse for forskellige forarbejdningsmetoder og brugen af forskellige materialer til forskellige behov. Der er fortsat plads til at vurdere materialer og teknikker i et æstetisk perspektiv, så længe elevernes til- og fravalg også kan begrundes ud fra materialets eller teknikkens egenskaber.

Engineering og æstetiske læreprocesser

Traditionelt har æstetiske læreprocesser ikke været i fokus, når elever har arbejdet med engineering i fx naturfagene. Dette er som sådan ikke et aktivt fravalg men skyldes, at hvor naturvidenskab tager afsæt i det objektive, så udspringer æstetiske læreprocesser i høj grad af det subjektive og kulturelle. Med æstetiske udtryksformer bidrager håndværk og design-faget således med en ”ny” dimension til engineering-didaktikken, hvor sanselige, kropslige og følelsesmæssige forhold bliver relevante i designprocessen. Nu er det ikke nok, at elevernes løsninger virker og løser en given udfordring; løsningerne skal også tage højde for, hvordan de opleves af de modtagende, og om de er appellerende rent æstetisk.

I en skabende engineering designproces kan eleverne omforme målgruppekendskab til æstetiske udtryk, som giver en merværdi for den specifikke målgruppe. Engineering designprocessen kan samtidig bidrage til elevernes specifikke færdigheder inden for de anvendte kunstneriske udtryksformer, materialekendskab og indblik i relevante kulturelle traditioner. I undersøgelserne af de emner, tema-tikker eller følelser, som engineering-udfordringen indeholder, vil eleverne skulle forholde sig til disse gennem bearbejdning, analyse eller udvikling af udtryk. Heri vil der altid være potentiale for indholds-mæssig læring, som samtidig gøres relevant for eleverne, da den bliver nødvendig for at løse den konkrete udfordring. Hertil kommer, at inddragelse af æstetiske læreprocesser kan øge autenticiteten for eleverne og styrke deres faglige selvtillid og lyst til at lære.

EKSEMPEL

HAR DU SET LYSET?

I engineering-forløbet "Har du set lyset?" skal eleverne undersøge, hvordan belysning kan påvirke og skabe den rette stemning ved en given aktivitet. Dette spørgsmål er interessant for æstetiske læreprocesser, fordi teoretisk forståelse af lys kobles tæt til praktisk anvendelse og design målrettet en bestemt sindstilstand og/eller arbejds-situation. Det hjælper eleverne med at udvikle færdigheder i at analysere og forstå, hvordan konkrete valg af lysfarver og intensiteter påvirker både funktion og oplevelse af et rum.

I delprocessen *undersøge* skal eleverne udføre undersøgelser af lysets farvetemperatur, hvor eleverne dokumenterer, hvordan forskellige "lysfarver" – fra varmt til koldt – skaber forskellige stemninger i et rum. Eleverne tester også, hvilke lysindstillinger der bedst støtter aktiviteter som læsning eller afslapning. De arbejder med forskellige lyskilder, fx glødepærer og LED-dio-der, og noterer, hvordan disse påvirker stemningen, hvilket giver dem mulighed for at forbinde teoretisk læring med praktisk erfaring.

Formålet med aktiviteten er at udvikle elevernes evne til at anvende teorien om lys og farvetemperatur i praksis og at forstå, hvordan forskellige lysvalg kan støtte bestemte aktiviteter. Det naturfaglige for-bindnes her med det æstetiske, og den naturfaglige viden bliver et værktøj, der kan understøtte til- og fravalg i designprocessen. Aktiviteten understøtter især de indledende delprocesser, hvor kontekstfor-ståelse og designkrav identificeres, men kan også skabe retning og kvalificere idegenereringsprocesser og delprocessen *konkretisere*. Den skaber en tydelig kobling mellem naturfaglig viden (lysspektrum og kelvinskala) og den praktiske anvendelse i designopgaver.

Fagligt understøtter aktiviteten forståelse af fysik og designprincipper, mens den også fremmer elever-nes evne til at skifte perspektiv mellem teoretiske modeller og praktiske løsninger. Stilladseringen er primært faglig og procesorienteret, da eleverne får støtte gennem opgaveark og vejledning i at udføre strukturerede tests og evaluere deres resultater. Desuden støttes eleverne i at reflektere over, hvordan deres fund kan anvendes og integreres i den videre designproces, hvilket hjælper dem med at udvikle en mere overordnet forståelse af deres arbejde.





Kapitel 11. Engineering og teknologi- forståelse

I dette kapitel beskrives, hvordan engineering og digital teknologiforståelse kan se ud i et praksis-fagligt perspektiv, og hvordan engineering kan bidrage til at styrke elevernes teknologiske handle-evne, digitale myndiggørelse og computationelle tankegange i en engineering designproces. Afslutningsvis beskrives, hvordan generativ AI kan anvendes på forskellige måder til understøtte elevernes designproces.

Engineer the future

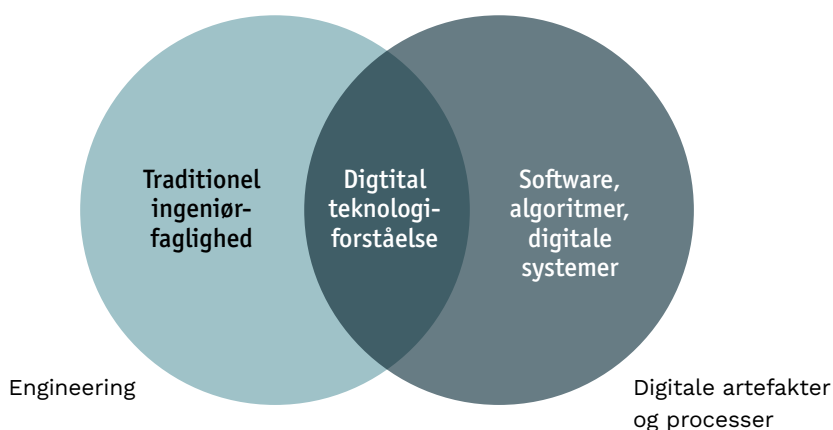
Engineering og teknologiforståelse

Digitale teknologier spiller en central rolle for den måde, mange teknologiske produkter og systemer fungerer på. Flere nye teknologier som fx computere, internettet og smartphones er resultater af en digital udvikling. Andre ældre, analoge teknologier har udviklet og fornyet sig gennem indarbejdelse af digitale elementer, ofte til styring eller overvågning. Eksemplerne er utallige og rækker fra biler over lagerstyring til vaskemaskiner.

Samtidig spiller computere til dataopsamling, beregning, modellering og simulering en stadig større rolle i virksomheders arbejde med at udvikle nye teknologiske produkter og systemer. Alt i alt har digitale teknologier på godt og ondt fået en stadig større betydning i vores hverdag, for samfundet og ikke mindst måden, vi mennesker er sammen på.

Det er derfor vigtigt, at eleverne i grundskolens fag beskæftiger sig med digitale teknologier gennem autentiske problemstillinger inden for fx kommunikation, produktion, finans, handel, nyhedsformidling, underholdning – rækken er lang.

Digitale artefakter og processer er domæner inden for den teknologiske sfære, ligesom engineering er. Derfor er det også relevant at se på forholdet mellem engineering og den forholdsvis nye faglighed beskrevet i forsøgsfaget digital teknologiforståelse fra 2018.



Engineering som didaktik i grundskolens fag beskæftiger sig med at gøre eleverne teknologisk dannede gennem designprocesser med tilhørende refleksioner over, hvordan teknologi skabes og får betydning for den måde, vi lever på. I den proces designer eleverne teknologiske løsninger på autentiske problemstillinger ved at inddrage viden og metoder fra fagene undervejs.

Det er derfor oplagt, at engineering-undervisningen i grundskolen også rækker ud mod digital teknologiforståelse, ved at eleverne arbejder med digitale redskaber og digitale løsninger, uden at begrænse udvalget af teknologi til det rent digitale. At fokusere på lidt ældre teknologier, der fx har indarbejdet mikroprocessorer, sensorer eller computere som redskaber til styring, dataopsamling eller kommunikation, er også relevant for en forståelse af nutidig teknologi og dens rolle i samfundet. Eksempler på teknologier, der er en kombination af det digitale og ældre teknologier, er fx computerstyret trafikregulering, elcykler, der kan vise vej til den nærmeste oplader, eller lamper med digital styring af lys.

Pointen er her, at det er centralt i arbejdet med engineering at fastholde et bredt teknologibegreb, som rummer både analoge og digitale teknologier samt deres fællesmængde.

Dette kapitel omhandler, hvordan digital teknologiforståelse som tværgående faglighed kan bidrage til og udvide engineering som praksisfaglig didaktik i grundskolens STEM-fag samt håndværk og design.

Engineering og digital teknologiforståelse i et praksisfagligt perspektiv

De digitale muligheder i engineering-forløb skal vurderes i lyset af, at fagligheden digital teknologiforståelse nu skal ind i grundskolens fag. Dels som et selvstændigt valgfag i 7.-8. klasse (fra 2027/28), dels som en integreret del af fagene dansk, matematik og natur/teknologi i 4.-6. klasse.

Da de nye fagplaner til valgfaget og de tre nævnte fag bliver udviklet sideløbende med udarbejdelse af denne version af engineering-didaktikken, har det ikke været muligt at indarbejde en nyere forståelse af fagligheden end den fra 2018.

I formålsbeskrivelsen for forsøgsfaget digital teknologiforståelse fra 2018 kobles elevernes viden om en given teknologi med skabelsesprocesser, refleksioner og handlinger. Der er altså ingen modsætning mellem teori og praksis. Fagligheden bygger på, at der etableres en tydelig sammenhæng. Som det er beskrevet i andre kapitler, gælder det samme generelt for engineering, hvor skabende og kreative processer både forudsætter viden og bidrager med viden med henblik på at udvikle løsninger. Så der er bred overensstemmelse mellem de to områders opfattelser af, hvordan man arbejder med teknologi i undervisning.

I nyere litteratur (Dafolo, 2023) er digital teknologiforståelse blevet beskrevet som en praksisfaglig tilgang til undervisning, hvor der skelnes mellem tre forskellige typer praktisk arbejde: *kropsligt*, *kreativt* og *praksisnært*. Også her ser integrationen med engineering som praksisfaglig didaktik ud til at være meningsfuld, da det matcher med flere af de fire praksisfaglige dimensioner, som er beskrevet i kapitel 7. En kropslig og aktiv tilgang fx i en engineering designproces kan understøttes, ved at elever arbejder konkret med digitale artefakter. I en engineering-sammenhæng kan det være ved undersøgelser, fx hvor Micro:bits og sensorer anvendes til opsamling af data, som er relevante for en designløsning, eller ved konstruktion af digitale artefakter, fx hvor Micro:bits bliver kodet og integreret i en samlet løsning, i et fysisk eksisterende produkt.

Elevernes *kreativitet* og anvendelsesorientering i en engineering designproces kan tilsvarende styrkes ved at give dem mulighed for at udvikle digitale artefakter. Udvidelsen med digital teknologi bidrager med øgede frihedsgrader og større mulighedsrum for løsningen på engineering-udfordringer. Fremstillingen af prototyper med digitale teknologier gør desuden designprocessen mere praksisnær, da eleverne oplever, at de i højere grad kan designe relevante løsninger på autentiske problemstillinger.

I en engineering-designproces bliver elevernes *kreativitet* løbende udfordret, fordi de ofte skal finde på nye og (for dem) ukendte løsninger, så de kan komme videre med deres proces. Eleverne vil ofte opleve, at kreativitet er nyttigt, når man har til opgave at løse et konkret problem. God engineering-undervisning presser eleverne til at tænke "ud af boksen" og dermed bruge deres kreativitet målrettet. Også her kan digital teknologi og processer bidrage til at stimulere kreativitet i engineering.



Engineering og digital teknologiforståelse

Faget digital teknologiforståelse er først og fremmest begrundet gennem fire overordnede kompetencer (se tekstboksen).

Hensigten er her at skitsere, hvordan engineering kan bidrage til opfyldelse af nogle af intentionerne i digital teknologiforståelse som selvstændigt fag. Altså, hvordan engineering kan styrke digital teknologiforståelse. Under hvert kompetenceområde ser vi også på det faglige samspil i den modsatte retning: Hvordan aktiviteter med digitale teknologier kan bidrage til at gøre engineering mere fagligt inkluderende og teknologisk autentisk. Altså, hvordan digital teknologiforståelse kan styrke engineering ind i naturfag, matematik og håndværk og design.

Kompetencer	
Teknologisk handleevne	Omhandler mestring af computer-systemener, digitale værktøjer og tilhørende sprog samt programmering.
Computational tankegang	Omhandler analyse, modellering og strukturering af data og dataprocesser.
Digital design og designprocesser	Omhandler tilrettelæggelse og gennem-førelse af en iterativ designproces under hensyntagen til en fremtidig brugskontekst.
Digital myndiggørelse	Omhandler kritisk, reflektiv og konstruktiv undersøgelse og forståelse af digitale artefaktens muligheder og konsekvenser.

Helt overordnet kan digitale teknologier indgå i et engineering-forløb på to måder. For det første kan den engineering-udfordring, eleverne arbejder med, kalde på, at digital teknologi indgår. Fx i form af en mikroprocessor til styring, en app eller digital simulering. I sådanne undervisningssituationer kommer engineering designprocessen tæt på intentionerne med området "Digitalt design og designprocesser", som det er beskrevet i digital teknologiforståelse. For det andet kan en digital teknologi indgå som et redskab, som eleverne gør brug af undervejs i processen. Det kan være et instrument til dataopsamling eller en model, som bruges i forbindelse med delprocessen *undersøge*, eller det kan være digitale redskaber, der bruges i delprocessen *konstruere*, fx 3D-printere eller lasercuttere. Her er der flere faglige sammenfald mellem engineering og områderne computational tænkning og/eller teknologisk handleevne.

I det følgende er der for hvert af de fire kompetenceområder beskrevet eksempler på, hvordan de kan udfoldes i en engineering-kontekst. Beskrivelsen af eksemplerne er ikke udtømmende.

Teknologisk handleevne

Kompetenceområdet handler om, at eleverne skal opnå erfaringer med at bruge konkrete digitale teknologier og med at løse de problemer, der opstår, når man fx bruger en app på en computer eller en telefon. I læseplanen for teknologiforståelse udtrykkes det således:

Gennem arbejdet med dette kompetenceområde vil eleverne blive rustet til at benytte mange forskellige digitale teknologier, at have strategier til og erfaring med eksempelvis at fejlfinde og løse problemer ift. disse og at kunne træffe den rigtige beslutning ift. valg af værktøj. (S. 13).

I forbindelse med engineering kan eleverne udvikle deres teknologiske handleevne ved at arbejde med udfordringer, hvor det fra starten er oplagt, at der indgår digitale elementer som en del af deres teknologiske løsning. Fx som styring gennem programmering af Micro:bit eller Arduino, der indgår i det endelige produkt.

Udfordringen kan lægge op til, at eleverne skal indsamles data, som opsamles digitalt, enten i forbindelse med *undersøge*, for at forstå og analysere udfordringen eller senere i designprocessen at få et vidensgrundlag for udformningen af prototypen. Det er også en mulighed at eleverne indsamler data i forbindelse med afprøvning og forbedring af en prototype, fx en vandraket. Der kan også være tale om

løsninger, hvor der ikke kun bruges digital teknologi i forbindelse med dataopsamlingen, men også i analyse og *præsentation* af de indsamlede data, fx gennem brug af Excel. En udfordring kan også lægges op til at konstruere prototyper og dermed løsninger, som er rent digitale, fx i form af en app eller en computermodel, der løser udfordringen ved at vise en simulering.

Maker-teknologi kan også bruges til at træne elevernes digitale færdigheder i forbindelse med fremstilling af prototyper osv. Det kan fx ske i forbindelse med inddragelse af håndværk og design. Der er således en række forskellige faglige kombinationer, der kan komme i spil, så eleverne i forbindelse med engineering kan anvende og udvikle deres (digitale) teknologiske handleevne i en praksisfaglig kontekst.

Computational tankegang

Flere undersøgelser viser, at computational tankegang er det kompetenceområde, som lærerne finder mest udfordrende at arbejde med, blandt andet fordi mange beskrivelser af computational tankegang er så abstrakte, at det kan være vanskeligt at se, hvordan området kan omsættes til undervisning. I læseplanen for forsøgsfaget teknologiforståelse står: *Computational tankegang omhandler analyse, modellering og strukturering af data og dataprocesser.* (S. 12).

I forbindelse med engineering kan det i en opstartsperiode være en mulighed at forenkle forståelsen ved at begrænse sig til disse to områder: 1. modellering/simulering og 2. dataindsamling, dataanalyse og datapræsentation. Både arbejde med modellering og arbejde med data ligger i et fællesområde for kompetencerne computational tankegang og digital handleevne. De to områder er ret konkrete og derfor – sandsynligvis – nemmest at arbejde med, og mange lærere har allerede erfaring med de to områder i andre sammenhænge.

EKSEMPEL

”HVOR LÆNGE KAN FØDEVARER HOLDE SIG?”

I engineering-forløbet ”Hvor længe kan fødevarer holde sig?” bruger eleverne en simpel digital model for bakterievækst på madvarer for at få mere viden om, hvad det er, der gør, at fødevarer bliver dårligere. I princippet kunne eleverne have opnået den samme viden ved at lave eksperimenter med madvarer i petriskåle. Men den type forsøg tager lang tid. Så for at spare tid og eksperimentere grundigt med forandring af temperatur og lysforhold brugte eleverne en model, der simulerede bakterievækst. Modellen fik de af deres lærer, men i et mere ambitiøst projekt kunne eleverne selv have bedt et AI-program om at skrive modellen til dem.

Man kan også forestille sig engineering-udfordringer, hvis løsninger kræver, at eleverne indsamler og behandler store mængder af data. Så store, at det ikke vil være muligt at behandle dem manuelt eller ”håndholdt” fx i Excel. Eleverne vil så være nødt til at bruge kompetencer inden for computational tankegang i forbindelse med både *konkretisere* og *præsentere*.

Inden eleverne når til at kunne analysere, modellere og strukturere data og dataprocesser, kan det være nødvendigt, at eleverne først får en forståelse for de grundlæggende principper bag automatisering og programmering. Det kan fx gøres, ved at eleverne skal modellere virkeligheden ved hjælp af algoritmer fx i delprocessen undersøge. Her vil deres prototyper være de koder, der skal styre en proces. Et eksempel kan være fra forløbet ”Kom og sæt dig”, hvor eleverne kan designe mønstre til sideunderlag. Her kan der arbejdes med digital teknologiforståelse, ved at eleverne udarbejder skriftlige vejledninger til syning af mønstre eller udskæring på deкупørsav. Koden kan fx bygges op af forskellige kodeblokke, såsom ”sy X sting fremad”, ”drej Y grader med uret” og ”gentag Z gange”. På den måde eksemplificeres den digitale kode i noget konkret, og eleverne får erfaringer med kodens opbygning og funktion, samt hvordan den kan optimeres med loops, og samtidig får de erfaringer med matematiske principper i mønsterdannelse og design.

Digitalt design og designprocesser

Hjertet i engineering-undervisning er designprocessen, der er en elevcentreret processtilgang, hvor eleverne vidensbaseret skal løse et eller flere problemer. Løsningen er konkret på to måder. Dels skal forløbet ende med en fungerende prototype, dels designes prototypen med en eller flere specifikke brugere for øje.

For læreren er designprocessen et didaktisk redskab til at introducere, styre og opdele en praksisrettet proces, hvor eleverne arbejder med åbne spørgsmål, og hvor der er rum for eleverne til at arbejde med stor selvbestemmelse. En del af processen er *forbedre*, hvor eleverne forholder sig til kvaliteten af deres prototype og sandsynligvis forbedrer den gennem et eller flere iterative forløb, hvor de er nødt til at gå "tilbage" i designforløbet og gentage visse delprocesser for at forbedre deres prototype.

Design og designprocesser spiller også en stor rolle for identiteten og undervisningstilgangen i digital teknologiforståelse. I læseplanen står:

Digital design og designprocesser omhandler tilrettelæggelse og gennemførelse af en iterativ designproces under hensyntagen til en fremtidig brugskontekst. (...) Gennem digital design og designprocesser sættes eleverne i stand til at rammesætte komplekse problemstillinger (s. 11).

Dermed er der, i hvert fald på dette overordnede niveau, overensstemmelse mellem synet på design i digital teknologiforståelse og i engineering. Det er derfor oplagt, at bruge engineering som en del af et digital teknologiforståelses-projekt. Eller, hvis man foretrækker at tænke på en anden måde, at berige et engineering-forløb ved at tilføje den elementer fra digital teknologiforståelse. Dermed fremhæver både digital teknologiforståelse og engineering betydningen af design. I begge sammenhænge opleves det praktiske element i designprocessen positivt af eleverne.

I Slutevalueringen af forsøget med teknologiforståelse i folkeskolen pointeres flere steder, at *"Undervisningen i teknologiforståelse er særligt motiverende og lærerig, når eleverne har mulighed for at være kreative inden for nogle fastsatte rammer, når pædagogisk personale inddrager perspektiver fra det omgivende samfund, når eleverne arbejder 'hands-on' med analoge materialer og digitale teknologier, og når problemstillingerne og emnerne er virkelighedsnære og relevante for eleverne"*. (s. 4).

Det er didaktiske og læringsmæssige vigtige pointer. Det er også vigtigt at huske, at hverken elevers kreativitet, hands-on-perspektivet, samfundsperspektiverne eller det virkelighedsnære kun er knyttet til digital teknologiforståelse eller engineering, men i varierende grad kan indgå i enhver autentisk design- eller problembaseret undervisning – også i faget håndværk og design. Ift. engineering designprocessen er det netop en gevinst, at den er didaktisk generaliserbar til flere fag og fagligheder – hvilket også understøtter en mere funktionel tværfaglighed.

Digital myndiggørelse

I digital teknologiforståelse er udmøntningen af digital myndiggørelse knyttet til elevernes holdninger og deres værdier. Det er en del af myndiggørelsen, at eleverne er kritiske og reflektive i deres forhold til teknologi. Viden og forståelse spiller også en central rolle. Eleverne skal lære at undersøge og forstå (digitale) artefakters "muligheder og konsekvenser".

Det harmonerer med det syn på teknologisk dannelse, der er formuleret i forbindelse med engineering-didaktikken, hvor eleverne skal lære at "forstå, forvalte og forholde sig til teknologi og teknologisk udvikling", herunder at forstå "teknologiens muligheder og konsekvenser". Eleverne skal bibringes forudsætninger for at "skabe og agere meningsfuldt" i forhold til teknologi og samfundsudvikling (s. 8).

Digital teknologiforståelse lægger også stor vægt på, at eleverne lærer at ændre konkrete teknologier. I læseplanen står: *Gennem digital myndiggørelse erhverver eleverne således en forståelse af og en evne til at forandre uhensigtsmæssige digitale artefakter ift. eget liv, fællesskab og samfund.* (S. 10).

I digital teknologiforståelse er det altså i høj grad evnen til at ændre eller skabe konkret teknologi (artefakter), der er kernen i at være myndig. Dermed er vi tilbage ved designprocessen, som for begge fagligheder spiller en afgørende rolle for elevernes evne til at vurdere kritisk, til at agere og til at forbedre. Digital teknologiforståelse lægger vægt på, at eleverne gennem designprocessen kan agere og dermed udøve myndighed, mens engineering primært ser processen som et redskab til problemanalyse og problemløsning, hvor den designede løsning skal være konkret, afprøvet og teknologisk. Dermed er der gode muligheder for en faglig synergi, der er berigende for begge initiativer.

Generativ AI og engineering

De sidste 2-3 år har kunstig intelligens i form af primært generativ AI vundet indpas som en stadig mere anvendt teknologi både i samfund, erhvervsliv og i hverdagen. Som med meget anden ny teknologi åbner generativ AI for nye og anderledes muligheder til bl.a. problemløsning og kreative processer, herunder også engineering – men når nye teknologier skal integreres i undervisningen, kalder det på didaktisk refleksion. Det gælder naturligvis også i engineering-undervisningen.

En udfordring når elever arbejder i designprocesser i engineering-forløb, er den åbenhed, de skal navigere i. Åbenheden og de mange muligheder for at vælge til og fra er et markant skift fra en mere traditionel undervisning, hvor meget af indholdet kommer i mundrette bidder, som eleverne blot skal reagere på. Tidligere har man typisk stilladseret processen med envejskommunikation i form af kopiark eller videoer, men med fremkomsten af AI i særdeles brugervenlige formater er det pludselig muligt for eleverne at have deres egen assistent, som er tilpasset den konkrete opgave.

Brugen af chatbotten kræver naturligvis, at eleverne kan prompte. Derudover kræver det en god portion kritisk sans, og man bør altid som lærer guide til, at eleverne efterprøver chatbottens svar, inden de tages med i en løsning eller en analyse. Det kræver også lidt træning at prompte en chatbot, så den mere får karakter af et ekstra gruppemedlem og ikke et produktionsapparat, der laver arbejdet for gruppen.



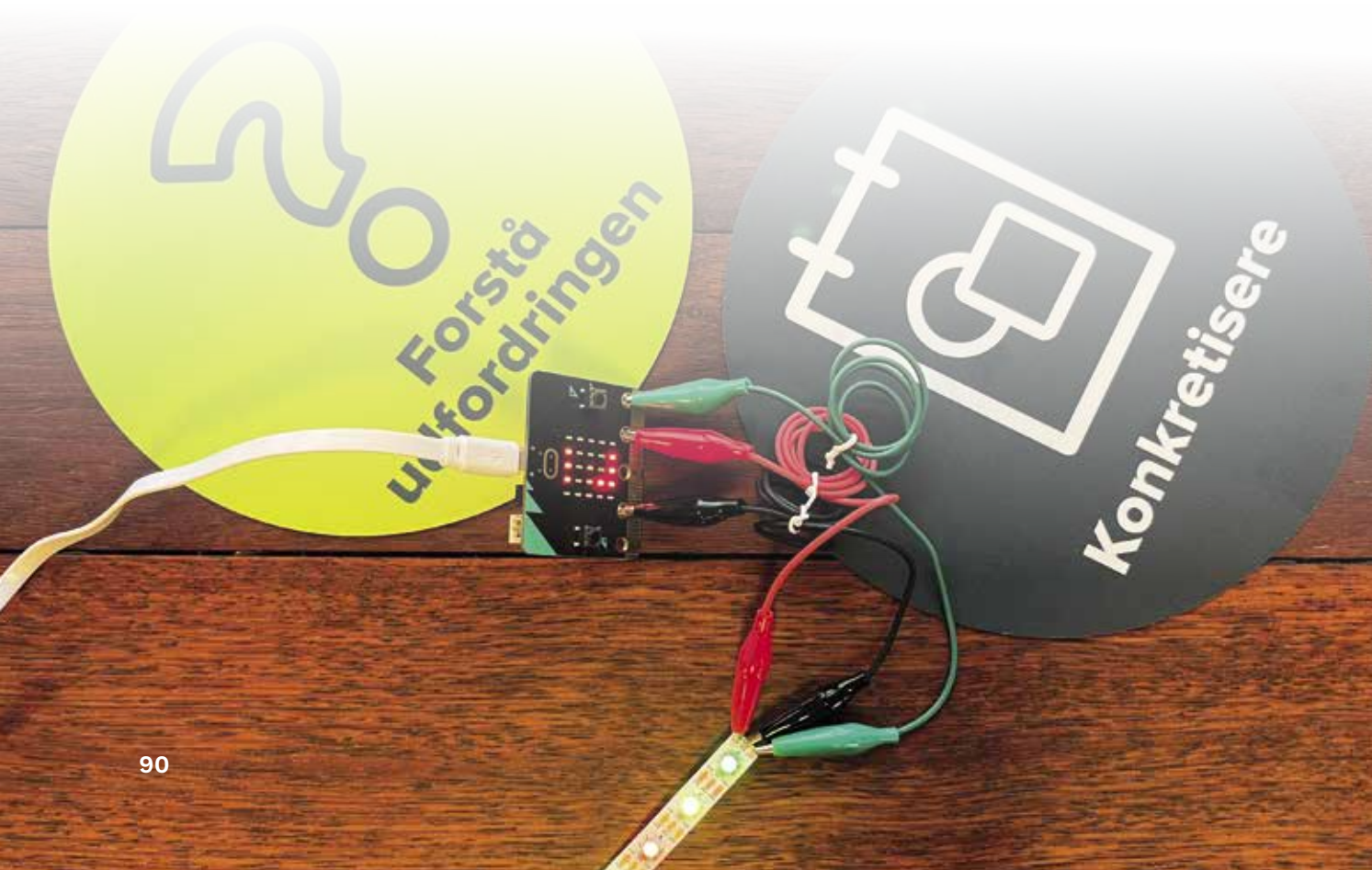
Anvendelse af generativ AI i designprocessen

Generativ AI kan støtte elevernes arbejde i engineering designprocessen ved at gøre arbejdet mere effektivt, kreativt og informativt:

1. **Forstå udfordringen:** AI kan eksempelvis hjælpe med at finde og opsummere relevante kilder eller identificere lignende projekter for at give eleverne inspiration.
2. **Undersøge:** AI kan eksempelvis analysere data fra tests og eksperimenter, visualisere resultater eller simulere forskellige scenarier.
3. **Få ideer:** AI kan eksempelvis foreslå innovative løsninger baseret på tidligere erfaringer, kombinere forskellige elementer fra elevernes ideer eller stille spørgsmål som kræver refleksion og nye overvejelser.
4. **Konkretisere:** AI kan eksempelvis optimere designtegninger eller give forslag til materialer baseret på projektets krav.
5. **Konstruere:** AI kan eksempelvis hjælpe med programmering og fejlretning af kode eller overvåge prototypens funktionalitet.
6. **Forbedre:** AI kan eksempelvis analysere testdata, foreslå specifikke justeringer for at forbedre designet eller stille spørgsmål som kræver refleksion og nye overvejelser.
7. **Præsentere:** AI kan eksempelvis hjælpe med at strukturere præsentationer og visualisere løsninger på en overbevisende måde.

Generativ AI's alsidighed gør det muligt for eleverne at arbejde mere kreativt og effektivt med komplekse problemer, mens de lærer at anvende teknologien kritisk og ansvarligt. De skal selvfølgelig også lære at være kritiske over for AI'en, når de bruger den i deres proces.

Ved at integrere digital teknologiforståelse og AI i engineering-forløb kan eleverne arbejde mere effektivt og kreativt med komplekse problemer. AI bliver ikke blot en hjælp til tekniske opgaver, men også en partner i processen, der understøtter elevernes læring og styrker deres forståelse af, hvordan teknologi kan anvendes og tilpasses til at skabe løsninger.





Kapitel 12. Engineering-didaktik i makerspaces

I dette kapitel præsenteres, hvordan engineering som didaktik kan fremme læringsudbyttet i makerspaces. Med eksempler udfoldes, hvordan engineering kan fremme flere praksisfaglige dimensioner i læringsrummet, og der angives konkrete anbefalinger til makerteknologier, som har særligt potentiale i engineering-undervisningen.

Engineering og makerspaces

Næsten sideløbende med at engineering blev udviklet og introduceret som didaktik i grundskolen i 2017 opstod de første initiativer omkring makerspaces i Danmark. Erfaringer fra de kommuner, som har fået kompetenceudviklet lærere i engineering, har vist, at didaktikken efterfølgende anvendes systematisk til at samarbejde og udnytte potentialet i skolernes etablerede makerspaces. Kombinationen af netop makerspaces og engineering kan styrke elevernes læring og motivation, og bidrage til at understøtte praksisfaglige dimensioner både i fag og i tværfaglige sammenhænge.

Engineering som didaktik i makerspace

Siden fagligheden digital teknologiforståelse blev introduceret som forsøgsfag i 2018, har Makerspace ofte været tæt koblet til digital teknologi, herunder digital fabrikation og design af digitale artefakter. Denne kobling har både været nødvendig og fagligt meningsfuld for at kunne hæve kompetence-niveauet for inddragelse af digital teknologi og makerteknologi i undervisningen hos både elever og lærere. Bagsiden er, at teknologi i makerspaces kan blive indsnævret til alene at omhandle brugen af digital teknologi på bekostning af læring om, hvordan forskellige teknologier, både digitale og analoge, bedst bruges i engineering designprocesser. Langt de fleste digitale teknologier indeholder både digitale og analoge dele, og derfor kræves det ofte, at der er muligheder for at udvikle begge dele i engineering-forløb, hvor der laves prototyper på digitale teknologier. Derfor defineres et makerspace i engineering-sammenhæng således:

Makerspace er et kreativt, eksperimenterende læringsmiljø, hvor elever arbejder med eksperimenter og design, træner færdigheder og udvikler konstruktioner til problemløsning. Det kan foregå med både digitale teknologier (fx robotter, 3D-printere og programmering) og analoge materialer (fx pap, lim, træ og tape). Det centrale er ikke udstyret, men den didaktiske tilgang: Elever lærer gennem skabende autentiske handlinger, samarbejde og refleksion fx gennem iterationer.

Altså er et makerspace et kreativt og elevcentreret læringsmiljø, hvor der tages udgangspunkt i løsning af konkrete problemer. Problemet, elevernes kreativitet og (engineering) designprocessen skaber rammer for prototypeudvikling, hvor adgang til en bred palet af materialer og teknologier giver mulighed for reflekterede til- og fravalg i designprocessen.

Et makerspace kan give rum for, at elever kan eksperimentere og designe med alt fra simple materialer som pap, lim og snor til digitale makerteknologier som 3D-printere, laser- og folieskærere. Udvikling af både værksteds- og håndværksfærdigheder samt færdigheder i at kode og programmere er ligeledes et centralt for elevernes udbytte af makerspace. I et makerspace kan sådanne færdigheder fylde og trænes gennem forskellige tilgange, men fælles i denne kontekst er, at det opleves autentisk og meningsfuldt for elever – fx ved konkret anvendelse til udvikling af en prototype. Engineering som didaktik bidrager til makerspace med en designproces, der er skabende og kreativ, hvor de syv delprocesser på forskellig vis åbner muligheden for inddragelse af teknologi og håndværk til at udvikle både analoge og digitale prototyper/produkter.

I engineering designprocesser er det vigtigt at overveje, hvor og hvordan et makerspace inddrages. Makerspaces kan skabe merværdi i alle syv delprocesser, men det er værd at overveje, hvor det bidrager til processen i det specifikke forløb. I nogle forløb kan det bidrage til en konkret delproces, men i andre vil det være mere forstyrrende at være omgivet af makerteknologier. Hvis eleverne er et sted i deres designproces, hvor de har brug for at afprøve og forbedre deres ideer, kan det være, at de skal laserskære enkeltdele og benytte pap og malertape til andre elementer, fremfor at vente til deres ideer kan 3D-printes. En central læring med engineering og makerspaces er derfor også at kunne bryde ideer op i delkomponenter og afprøve og forbedre dele, inden den samlede prototype udvikles. Den læring kan blandt andet stilladseres ved at overveje, hvilke teknologier eleverne skal have adgang til hvornår, eller ved at stilladser aktiviteter, hvor eleverne identificerer nøglekomponenter i deres ideer til løsninger. Det kan være med til at drive designprocessen fremad og undgå, at teknologierne bliver et benspænd.

Fordi engineering tager udgangspunkt i konkrete udfordringer, skaber engineering designprocessen, særligt i delprocesserne *undersøge* og *forbedre*, rammer for at holde fokus på materialeforståelse, -valg samt -bearbejdning. Engineering designprocessen holder på den måde fokus på arbejdet med problemløsning, prototypeudvikling og materialeforståelse. De teknologier, der er til rådighed i et makerspace, bliver et middel, der kan understøtte designprocessen, og ikke et mål i sig selv. Det er derfor også vigtigt, at læreren udvælger teknologier, som både kan være digitale og analoge. På den måde kan eleverne erfare, at de ved at benytte forskellige materialer og teknologier på forskellige tidspunkter i engineering designprocessen og til forskellige dele af deres prototyper kan udvikle bedre prototyper.

Makerspaces og praksisfaglig engineering-undervisning

Som beskrevet rummer et makerspace flere dimensioner, der matcher engineering som praksisfaglig didaktik. Makerspaces muliggør en kropslig, anvendelsesorienteret tilgang til læring, hvor elever gennem brug af rummet og dets værktøjer skaber fysiske produkter, der kobler teori og praksis. For eksempel kan genbrugsmaterialer bruges til bæredygtige designprojekter, hvor elever lærer at kombinere æstetik med funktionalitet. Når elever i et makerspace designer løsninger på baggrund af en engineering-udfordring, vil de undervejs i designprocessen både konstruere, teste og forbedre deres prototyper. Eleverne opnår indsigt i forskellige materialer, værktøjer og teknologier i en meningsfuld kontekst. De samarbejder, tænker højt, retter til og lærer af deres fejl. I makerspaces arbejder de iterativt og reflektivt, samtidig med at de kan sammenligne forskellige teknologiers anvendelsesmuligheder i engineering designprocesser.

Makerspaces kan tilbyde adgang til materialer som træ, akryl, pap, tekstiler, genbrugsmaterialer og elektronik. Teknologier som laserskærere, folieskærere, CNC-fræsere, 3D-printere, mikrocontrollere og værktøjer til robotprogrammering kan skabe muligheder for hurtig forarbejdning og avanceret udvikling af prototyper.



Samtidig kan faglighed fra fx matematik, natur/teknologi og dansk blive anvendt i konkrete projekter koblet med, at eleverne kan arbejde med autentiske materialer og værktøjer, som ofte anvendes i professionelle sammenhænge. Dette giver en realistisk oplevelse af design- og produktionsprocesser, hvilket øger forståelsen for ingeniør- og håndværksmæssige principper.

Mange steder bliver makerspaces skabt som udviklingsrum på skolen. Et makerspace er et sted, hvor der eksperimenteres med forskellige læringsprocesser og undervisningstilgange, særligt inden for læring med og om digitale teknologier. Dog er digitale teknologier ikke en forudsætning for at etablere et makerspace – fokus ligger snarere på at skabe rammer for udvikling af læring gennem kreativitet, samarbejde og praktisk udforskning.

Sådanne dynamiske læringsmiljøer bør give eleverne adgang til en bred vifte af materialer og teknologier, der understøtter hands-on-læring og problemløsning. Rummet og dets artefakter – såsom værktøj, genbrugsmaterialer og avancerede teknologier – kan skabe unikke muligheder for praksisfaglig undervisning, hvor elever kan engagere sig aktivt i iterative processer og samarbejde om at omsætte ideer til handling.

Det kræver didaktiske overvejelser omkring både indretning af lokaler, og hvilke teknologier der stilles til rådighed for eleverne i den givne designproces. Her sikrer lærerens stilladsering og valg af frihedsgrader, at eleverne bliver fortrolige med de materialer og teknikker der er relevante for det arbejde de er i gang med.

Jo større kendskab eleverne har til forskellige materialer og teknikker, jo bedre kan de træffe til- og fravalg mellem de mange muligheder. Eksempelvis kan eleverne i delprocessen *konkretisere* lave deres første udkast til en komponent på laserskæreren. Efterfølgende undersøger de, om den fungerer som forventet, og i delprocesserne *undersøge* og *forbedre* laver de iterationer, hvor de med analoge teknikker, fx en fil eller et håndbor, justerer og tilpasser komponenten.

Makerspaces er mulighedernes rum, hvor elever opfordres til at tænke ud af boksen og eksperimentere med teknologier og materialer. Her kan genbrugte cykeldele blive til robotlamper, eller tekstiler og sensorer kan kombineres til interaktive vægtæpper, der reagerer på berøring. Eleverne kan udforske alt fra bioplast til pap og skabe bæredygtige møbler eller kinetiske skulpturer, der bevæger sig med programmerede motorer. Makerspaces tilbyder således et læringsmiljø, hvor kreativitet, innovation og praksisfaglige færdigheder kan udvikles.

Makerteknologi til engineering

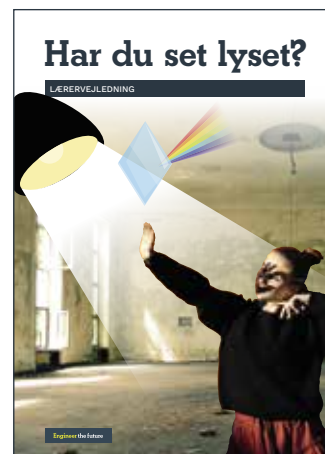
Eleverne behøver ikke være teknologiekspert for at komme i gang. Det vigtigste er at give plads til nysgerrighed, skaben og refleksion. Makerspaces viser, at faglighed også kan være noget, man bygger, tester og forbedrer – sammen.

Ligesom engineering i skolen er en didaktiseret version af ingeniørers arbejdsmetoder, er elevernes arbejde med makerteknologier også en didaktiseret version af brugen af lignende teknologier i virksomheder og erhvervsliv. Engineering-didaktik skaber en ramme for at inddrage forskellige fabrikationsteknologier og for, at elever kan forholde sig til fordele og ulemper ved hhv. analoge og digitale teknologier. Derudover kan den gode engineering-udfordring skabe rammer for at sammenligne og vurdere, hvornår de forskellige teknologier, der er til rådighed i et makerspace, bedst benyttes. Særligt i delprocesserne *forbedre* og *konkretisere* er der mulighed for at stilladsere disse overvejelser.

I forløbet "Har du set lyset?" skal eleverne udvikle lamper, der kan tilpasses til forskellige situationer. I designprocessen kan forskellige teknologier bidrage på forskellig vis. Selvom eleverne måske ender med at lave en 3D-printet løsning, kan det give mening at benytte andre teknologier under udviklingen. Det er fx ofte hurtigere at skære dele med laserskærer end at printe dem på en 3D-printer, så selvom den endelige prototype 3D-printes, kan overflader skæres i 2D, og lysgennemstrømningen kan testes.

Derudover kan der laves iterationer over forskellige versioner af lampeskærme ved at lukke huller med tape eller limpistol og derved udvikle på dele af prototypen. Ved at give adgang til forskellige forarbejdningsmetoder kan makerspaces bidrage til, at eleverne får lavet konkrete undersøgelser og iterationer, og derved kvalificere dele af engineering designprocessen, som det med andre materialer eller forarbejdningsmetoder kan være svært at nå. Fx kan der i forløbet ”Har du set lyset?” konstrueres kasser på baggrund af eksisterende digitale modeller, som laserskæres i træ eller pap, og eleverne har hurtigt en basislampe, som de kan designe videre på, og er på kort tid i gang med delprocesserne *få ideer* eller *forbedre*.

På den måde kan makerspaces kvalificere engineering designprocesser, og engineering-forløb kan skabe rammer for arbejdet med makerteknologier og teknologiforståelse.



Hvilke makerteknologier kan bruges i engineering?

Som beskrevet tidligere vil det være hensigtsmæssigt, at eleverne ikke kun har adgang til digitale makerteknologier, når de arbejder med engineering. Klassiske værktøjer som sav, hammer, hobbyknive, sakse, symaskiner og lignende vil være nødvendige sammen med adgang til tape, lim, søm, skruer og andre materialer til at lave samlinger. De kan være vigtige til iterationer i løbet af engineering designprocessen og kan være med til at øge autenticiteten i elevernes arbejde.

I engineering-forløb er det prototypeudviklingen, der er det centrale. Makerspaces bruges derfor bedst, når fokus ikke er på produktionsteknologien, men på, hvilke materialer og teknologier der giver den bedste løsning på problemet.

Herunder er der eksempler på, hvordan de mest almindelige makerteknologier kan benyttes i engineering designprocesser.

1. **Laserskærere:** Præcisionsværktøj til at fremstille dele, der kræver nøjagtige udskæringer. Ideelt til komplekse konstruktioner som modeller af fysiske artefakter.
2. **Folieskærere:** Et alsidigt værktøj til at skære vinyl, papir og tynde materialer. Disse materialer kan bruges til at tilføje dekorative eller funktionelle elementer til prototyper, såsom grafik eller detaljerede konstruktioner.
3. **3D-printere:** Ideelle til at fremstille komplekse komponenter eller små dele, der kræver høj præcision i design. Eksempelvis kan elever printe komponenter til mekaniske systemer.
4. **Mikrocontrollere:** Teknologier som Micro:bit, Hummingbird, littleBits og Arduino kan bruges til at tilføje interaktivitet til prototyper, fx programmering af sensorer i en bæredygtig vandingsløsning.
5. **Robotteknologi:** Programmerbare robotter som LEGO SPIKE kan eksempelvis introducere elever til industriel teknologi og til robotter i samfundet generelt. Kan bruges i mange sammenhænge til at skabe digitale artefakter.
6. **Makedo:** Et simpelt værktøjssæt med særlige skruer, der gør det muligt at bygge og eksperimentere med pap. Det er særligt velegnet til hurtige prototyper og designprojekter, hvor genbrugsmaterialer indgår, og det understøtter kreative, bæredygtige løsninger.
7. **”Klassisk” værktøj:** Teknologier som tape, skruer, håndsave, sakse, hobbyknive og boremaskiner kan i mange situationer være tilstrækkelige til, at eleverne kan konstruere og lave iterationer i løbet af deres engineering designproces.

Makerspaces og engineering-didaktik udgør tilsammen en stærk ramme for praksisfaglig undervisning. Gennem skabende processer, teknologisk udforskning og materialeforståelse får eleverne mulighed for at lære med hænderne, tænke kreativt og arbejde problemløsende – alt sammen i et autentisk og meningsfuldt læringsmiljø.



Kapitel 13. Skolevirksomhedssamarbejde gennem engineering

Her udfoldes, hvordan skolevirksomhedssamarbejde har et særligt praksisfagligt potentiale i engineering-undervisning i forhold til autenticitet og udvikling af konkrete praksisfaglige kundskaber i mødet med virksomheder. Desuden bidrager kapitlet med eksempler på forskellige skolevirksomhedsaktiviteter samt med en model til at finde relevante virksomheder til et engineering-forløb.

Skolevirksomhedssamarbejde gennem engineering

Danmark har brug for, at flere unge bevarer interessen og motivationen for STEM-fagene under og efter deres 10 år i grundskolen. Evalueringer viser, at når undervisningen bliver praksisnær og koblet til virkelige problemstillinger, oplever eleverne, at undervisningen giver mening. Samarbejde mellem skoler og virksomheder har derfor potentialet til at give eleverne autentiske indblik i, hvordan viden omsættes i praksis. Men alt for få elever kan se koblingen til virkeligheden i undervisningen.

Samarbejde mellem skole og virksomheder har dog historisk været vanskeligt i praksis, da det ofte opfattes som besværligt at planlægge og afvikle, og fordi relevansen i forhold til skolens fag ikke fremstår tydeligt.

En løsning er at styrke anvendelses- og problembaseret undervisning, fx gennem en kobling mellem engineering og skolevirksomhedssamarbejde.

I forbindelse med et engineering-forløb vil netop et skolevirksomhedssamarbejde være kvalificerende for elevernes udbytte, da både problemfeltet, der arbejdes med, og det fag- og tværfaglige indhold bliver udfoldet på nye, anderledes og meningsgivende måder.

Kapitlet her har fokus på, hvor skolevirksomhedssamarbejde kan kobles til engineering som praksisfaglig didaktik, og hvordan det konkret kan udfoldes i et engineering-forløb.

HVAD ER SAMARBEJDE MED VIRKSOMHEDER?

Et skolevirksomhedssamarbejde kan se ud på mange forskellige måder og have forskellige karakteristika, alt efter hvilket samarbejde, der indgås. I forskningen inden for området anvender man denne definition:

Skolevirksomhedssamarbejde er, når skoler og virksomheder deler ressourcer og aktiviteter for i fællesskab at opnå resultater, der ville have været vanskelige eller umulige at opnå for én part alene. (Mathilde Hjerrild Carlsen, Naturvidenskabernes Hus)

Definitionen illustrerer, hvor vigtigt det er at forventningsafstemme undervejs, da alle parter bidrager med ressourcer og ligeledes har ønsker om, hvad samarbejdet kan bidrage med i de to meget forskellige hverdage, der udspiller sig i hhv. skolen og virksomheden.

Et vellykket skolevirksomhedssamarbejde kan ikke sættes på formel, men ved at lave et grundigt forarbejde og anvende nogle af de ressourcer og den viden, der er på området, er det en overkommelig opgave, der kan give værdifulde perspektiver på skolens faglige temaer.

Engineering og skolevirksomhedssamarbejde i et praksisfagligt perspektiv

I det nye kvalitetsprogram for folkeskolen er et af målene at fremme elevernes engagement, kundskaber og myndiggørelse. Et samarbejde med erhvervslivet spiller en central rolle i denne udvikling og involverer hele den didaktiske treklang. Overordnet set kan man sige, at et sådant samarbejde binder skolen sammen med den virkelighed, som de fleste elever vil møde og skulle agere i senere i livet. Et virksomhedssamarbejde i et undervisningsforløb er dog kun et udsnit af denne virkelighed. Ikke desto mindre giver det eleverne vigtige perspektiver på verden og åbner deres øjne for de muligheder, de kan møde i fremtiden.

Når elever møder virksomheder, bliver det tydeligt, at den fagopdeling, der findes i skolen, ikke altid afspejler virkeligheden i erhvervslivet. I en virksomhed kombineres forskellige færdigheder, viden og kompetencer i en meningsfuld kontekst. Det, som eleverne i skolen kan have svært ved at finde mening i, fx elektriske kredsløb eller symmetri, bliver i virksomheden pludselig relevant og anvendeligt. Virksomheden viser, hvordan faglig viden kan bruges på konkrete og nyttige måder, hvilket kan skabe motivation og dermed fremme den enkelte elevs engagement.

Myndiggørelse handler om at give eleverne mulighed for at tage kontrol over deres eget liv gennem refleksion og velovervejede valg. Et samarbejde med virksomheder gør det muligt for eleverne at møde nye fagligheder og rollemodeller. Det giver dem konkrete mentale billeder af, hvad de kan opnå og hvilke muligheder de har – og dermed opbygges et stærkere fundament for at træffe beslutninger om fremtiden.

Når vi taler om udvikling af kundskaber, omfatter det både færdigheder og viden. I et hands-on-samarbejde med en virksomhed, hvor eleverne for eksempel samler en lampefatning, opbygger de ikke kun praktiske færdigheder, der kan anvendes i deres daglige liv, men også erhvervsrettede kompetencer. Samtidig får de teoretisk viden om strømførende materialer og isolering, hvilket gør læringen både relevant og anvendelig.

Skolevirksomhedssamarbejde rummer flere dimensioner, der matcher engineering som praksisfaglig didaktik. Hvis der fx tages udgangspunkt i en udfordring fra en virksomhed, kobles engineering direkte til et autentisk problem. Det kan fx være ved at udvikle prototyper, der benytter restprodukter fra en industriel produktion, så eleverne er med til at reducere virksomhedens ressourcspild. Gennem skolevirksomhedssamarbejde kan faglig viden og faglige metoder blive konkrete og sættes ind i en autentisk kontekst uden for fagene selv. Skolevirksomhedssamarbejdet kan også give eleverne adgang til andre produktionsteknologier eller til medarbejdere, der arbejder med designprocesser i deres arbejdsliv.



Skolevirksomhedssamarbejde i engineering designprocessen

I det følgende er beskrevet konkrete eksempler på, hvordan skolevirksomhedssamarbejde på forskellig vis kan bidrage til elevernes arbejde med de syv delprocesser.

Der findes mange måder at anvende skolevirksomhedssamarbejde på i et engineering-forløb, men for at tydeliggøre koblingen udfoldes sammenhængen med et konkret engineering-forløb, så eksemplerne er derfor ikke udtømmende.

PRAKSISEKSEMPEL

BETON TIL TIDEN

Udvikling af sproglige og praksisfaglige kompetencer på byggepladsen.

Den virkelighed, eleverne møder på et virksomhedsbesøg, kan i nogle tilfælde være meget tæt på deres egen hverdag, og processer, produkter og faglige termer kan være lette at forstå og relatere til. Andre gange ligger de to verdener langt fra hinanden, og der skal arbejdes grundigt med at etablere transfer af bl.a. viden og sprog.

I et samarbejde mellem en skoleklasse, en entreprenørvirksomhed og en erhvervsskole blev der skabt mulighed for at udvikle og afprøve skolefaglige pointer. Et arbejde som anlægsstruktør kan virke som en fjern mulighed for de fleste elever, men de løsninger og produkter, som netop anlægsstruktøren fremstiller, er velkendte for alle, nemlig bygninger, belægninger og andre ting, som vi benytter os af i hverdagen.

Som optakt til forløbet beder virksomheden om elevernes hjælp til at formidle viden om erhvervsuddannelser til andre elever og deres forældre. Midlet til at gøre det vil være et engineering-forløb, hvor eleverne udvikler og konstruerer en bæk til skolens udearealer. Undervejs indgår besøg både på en byggeplads og på en erhvervsskole. Disse besøg bidrager til, at eleverne opbygger en god forståelse for både de materialer og de teknikker, der anvendes i branchen, samt de faglige termer, der knytter sig til håndværksfaget.

Eleverne arbejder på skolen med at modellere støbning af beton. De idegenererer og skitserer modeller af bænke, som skal kunne leve op til bestemte kriterier, og som skal kunne bruges på skolens udeområde. Modellerne støbes i gips, og der eksperimenteres med at lave forskellige former for armering, så konstruktionerne bliver stærke. Elevernes viden om støbning og armering har de fået under besøget på byggepladsen, og deres erfaringer med egne konstruktioner bliver evalueret med fagpersoner på det efterfølgende besøg på erhvervsskolen. På erhvervsskolen bygger eleverne en bæk i fuld skala, som efterfølgende placeres på skolens udeareal.

Forstå udfordringen: Første gang, eleverne møder virksomheden, er ofte i delprocessen *forstå udfordringen*. Her udfoldes problemfeltet, som udfordringen indgår i, og som er en forudsætning for at kunne arbejde videre med at løse problemet med en prototype.

Når engineering-udfordringen præsenteres i et skolevirksomhedssamarbejde, opbygges en autentisk fortælling, der hjælper med at motivere eleverne til at indgå i relationen til virksomheden, hvilket kan skabe et fælles ejerskab af processen.

Det er vigtigt, at virksomheden er klædt godt på, så de har en forståelse af elevernes faglige ballast, og hvilket kendskab de har til det fagsprog, der anvendes på netop deres virksomhed.

Her kan bruges forskellige metoder, bl.a.:

- Klassen besøger virksomheden og præsenteres for eksisterende produkter og den udfordring, som virksomheden vil stille eleverne. Her er der god mulighed for at stille uddybende spørgsmål og få indsigt i, hvilke materialer der typisk anvendes til fremstillingen. Krav, muligheder og begrænsninger belyses, så eleverne føler sig rustede til at gå i gang med opgaven.
- En medarbejder fra virksomheden besøger klassen og medbringer evt. et af virksomhedens produkter.
- Eleverne laver en online undersøgelse af virksomheden og deres produkter og ydelser. Herefter formuleres en række spørgsmål, som eleverne stiller på et online møde.

I alle tilfælde kan der arbejdes ud fra, enten at virksomheden stiller en konkret engineering-udfordring, som eleverne forsøger at løse, eller at mødet med virksomheden udfolder problemfeltet og inspirerer den videre proces.

Undersøge: Delprocessen *undersøge* lægger op til, at faglige undersøgelser kan indgå i engineering designprocessen. I et skolevirksomhedssamarbejde kan koblingen mellem metoder og viden fra fagene og fra praksis med fordel tydeliggøres, da det potentielt er muligt at afdække sammenhænge mellem materialer, teknikker, løsninger osv. i samarbejde med fagpersoner uden for skolen.

I et skolevirksomhedssamarbejde kan undersøgelserne tage udgangspunkt i forskellige elementer af det samlede forløb, fx:

- Eleverne undersøger, hvilke teknologiske løsninger der allerede findes på markedet – både hos samarbejdsvirksomheden og hos andre leverandører. Undersøgelserne kan have fokus på materialer, fremstillingsteknologier eller færdige teknologiske produkter.
- En undersøgelse af virksomhedens målgruppe giver en bedre forståelse for, hvad løsningen skal indeholde, og om den fx kan være forskellig fra person til person eller i forhold til forskellige måder at anvende den på i forskellige situationer.
- En reverse engineeringproces, hvor eleverne skiller produkter ad for at undersøge komponenter og virkemåder, kan give en dybere indsigt i tekniske løsninger og muligheder.

I eksemplet "Beton til tiden" er eleverne på besøg på en byggeplads. Her får de indblik i betonarmering, ved at de sammen med en medarbejder i grupper undersøger, hvordan jern kan forstærke betonelementer, når de støbes. Ved det efterfølgende arbejde i klassen kan det gøre det lettere at forstå, hvorfor deres støbeforme til modeller også skulle forsynes med en form for armering.

Få ideer: Afhængigt af om engineering-udfordringen kommer fra virksomheden, eller om den er formuleret af eleverne selv eller af læreren, kan virksomheden konsulteres, ift. hvilke løsninger der vil være gangbare og dermed relevante at arbejde videre med for eleverne.

I eksemplet "Beton til tiden" skal eleverne på virksomhedens opfordring komme med ideer til, hvordan en bæk fremstillet i beton kan se ud. Ud fra en grundlæggende forståelse af, hvordan virksomheder anvender beton, og hvilke produkter der fremstilles, danner eleverne forestillinger om, hvordan et særligt design kan opfylde netop deres ønsker om en bæk fremstillet i beton.

For at udvide elevernes forestilling om mulige løsninger kan de fx undersøge:

- Andre virksomheders løsninger
- Alternative måder at anvende materialer på eller at erstatte traditionelle materialer med nye, der fx er mere bæredygtige.

Konkretisere: I delprocessen *konkretisere* vil elevernes eneste mulighed for sparring ofte være læreren, da de andre grupper af elever typisk ikke vil have faglig indsigt til at kunne vurdere, om processen er på rette vej. Ofte vil det heller ikke være muligt for læreren at give kvalificeret respons på elevernes forestillinger om materialevalg, funktion, produktionsmetode osv.

I et skolevirksomhedssamarbejde vil en dialog med virksomheden kunne afdække relevante spørgsmål. Ikke mindst i denne delproces er det vigtigt, at virksomhedens medarbejdere er opmærksomme på den sproglige barriere, der naturligt vil være, i form af fagudtryk, forståelse af kontekst osv.

Konstruere: Ofte foregår elevernes fremstilling af prototyper i skolens faglokaler med det materiale og det værktøj, der er tilgængeligt der. Når der samarbejdes med en virksomhed, kan der opstå mulighed for, at elevernes ideer og løsningsforslag kan fremstilles i samme kvalitet og med samme værktøj og materialer, som virksomheden anvender i egen praksis. Dette kan give en dybere forståelse for både muligheder og begrænsninger, når ideer skal omsættes til funktionelle løsninger.

I eksemplet "Beton til tiden" var der etableret et samarbejde med både en entreprenørvirksomhed og en erhvervsskole. På erhvervsskolen fik eleverne mulighed for at prøve kræfter med at konstruere betonelementer på præcis samme måde, som den professionelle håndværker ville gøre det. Denne praksisfaglige oplevelse gav en dybere forståelse for både de konstruktionsmæssige pointer omkring betonblandinger og armering og en mulighed for at reflektere over resultaterne af de modelleringer, som eleverne selv havde lavet på skolen.

Forbedre: Mange virksomheder, der udvikler og fremstiller produkter eller leverer services, har en procedure for at holde øje med kvaliteten. Et indblik i dette giver eleverne en forståelse for, at der under udviklingen af produkter og løsninger på virksomheden foretages mange iterative processer for at sikre, at et produkt lever op til specifikke designkrav i sin endelige form.

I et engineering-forløb kan en virksomhedsmedarbejder derfor give eksempler på hvordan de arbejder med kvalitetssikring i virksomheden og medarbejderen kan give eleverne feedback til forbedring undervejs i forløbet.

Præsentere: Et skolevirksomhedssamarbejde kan ofte skabe en optimal måde at præsenteres gruppens resultat på, særligt hvis der arrangeres et møde med virksomhedsrepræsentanter. En respektfuld dialog med fagfolk, der har været med til at inspirere og sparre på elevernes proces, giver typisk ekstra motivation til at være grundige og præcise i præsentationen, da målgruppen for deres budskab pludselig ikke "kun" er lærere, andre elever eller forældre.

Når engineering og virksomhed skal passe sammen

Der findes mange gode og relevante engineering-undervisningsforløb. I mange tilfælde kan det give god mening at lade dem indeholde et samarbejde med virksomheder. Og hvis man fx til engineering-forløbet "Har du set lyset?" ikke har en lampefabrik i lokalområdet, kan andre virksomheder stadig være relevante.

Nedenstående fremgangsmåde kan anvendes til at lokalisere, hvilke andre virksomheder der kunne være relevante at inddrage i allerede eksisterende forløb. I første kolonne noteres med udgangspunkt i problemfelt og engineering-udfordringen produkter, løsninger, materialer, teknikker eller andre centrale tematikker i forløbet. I et engineering-forløb med design af lamper kan lys, elektricitet og produktion være tematikker.

I anden kolonne noteres de mest oplagte virksomheder, der i stort omfang arbejder med samme omdrejningspunkter, som er indeholdt i forløbet. Det kan enten være navngivne eller unavngivne virksomheder, fx en lampefabrik.



I tredje kolonne fokuseres på mere specifikke faglige sammenhænge. Det overvejes, hvilke virksomheder/virksomhedstyper evt. håndværkere som er relevante i den specifikke faglighed. I lampeeksemplet kan en elektriker være relevant.

I sidste kolonne sættes fokus på sammenhænge med arbejdsmetoder og fremstillingsteknikker. Her kan der være behov for en højere grad af oversættelsesarbejde, da eleverne ikke nødvendigvis kan gennemskue sammenhængen mellem den designproces, de er i gang med, og processer hos en møbel-designer eller stoleproducent.

Eksempler på sammenhænge mellem eksisterende engineering-forløb og forskellige virksomheder:

Faglige tematikker	Oplagte virksomheder	Specifikke faglige sammenhænge	Fælles arbejdsmetoder og fremstillingsteknikker
Eleverne udvikler og producerer lamper. Faglige temaer: produktion, lys, elektricitet	Lampeproducent	Elektriker Indretningsarkitekt	Møbeldesigner Møbelsnedker
Beton og udendørsmøbler Faglige temaer: jordbundsforhold, støbning, armering, stabilitet, bæredygtighed, formgivning, kemi	Betonelementfabrik, betonproducent	Entreprenør Havearkitekt Virksomhed, der laver legepladser	Murer Arkitekt Kemiker
Uld Faglige temaer: naturressourcer, isolering, materialeegenskaber, forarbejdning	Fåreavler Uldspinderi	Garnbutik Strikkeklub Stofbutik Tekstilvirksomhed	Tagtækker Savværk

En rollemodel, som kommer på besøg i klassen kan være med til at øge autenticiteten og give eleverne dybere forståelse for det de skal arbejde med. På bookenekspert.dk kan du finde mange forskellige rollemodeller, som gratis kan besøge dig og din klasse med aktiviteter, der både kan handle om deres fag, arbejdsliv og karrierevej og om, hvordan de arbejder med at løse konkrete udfordringer på deres arbejdspladser.

Didaktiske refleksioner, når nye virksomheder skal integreres i eksisterende engineering-forløb:

- Giver samarbejdet nye muligheder for eleverne?
- Er der behov for at tilpasse det faglige indhold i forløbet, fx tilføje en undersøgelse?
- Er der behov for at inddrage andre metodiske tilgange i forløbet, så det matcher dem, virksomheden fx arbejder med?

Når virksomheden stiller en engineering-udfordring

Et samarbejde med en virksomhed og/eller håndværker kan også bestå i, at de formidler et autentisk problemfelt indeholdende en eller flere konkrete udfordringer. Dette kræver mere af samarbejdet og en dedikeret indsats fra begge parter, men åbner for mange mulige koblinger mellem undervisningen på skolen og virkeligheden på virksomheden.

I eksemplet, hvor virksomheden stiller udfordringen, anvendes engineering designprocessen til efterfølgende at udvælge aktiviteter, der stilladserer elevernes designproces. Det kunne eksempelvis være en undersøgelse af læder, både af læderets egenskaber, fx styrke og formbarhed, og hvordan forskellige syninger kan give læder forskellige udtryk og egenskaber.

EKSEMPEL FRA EN MØBELPOLSTRER

UPCYCLING AF RESTPRODUKTER

Denne møbelpolstrer bruger overvejende sin tid på at istandsætte møbler inden for klassisk dansk design. Hans kunder forventer et produkt i høj kvalitet, og det stiller krav til materialerne. I dette tilfælde bruger han læder, og når han lægger et koskind op på bordet, kan der måske bruges stykker til 2-3 sæder. Resten af skindet har småfejl, som ikke harmonerer med et produkt af højeste kvalitet. Fejlene i skindet er naturlige, da koens hud udsættes for lidt af hvert gennem et helt liv.

Under virksomhedsbesøget forklarer virksomhedsejeren problemfeltet og opstiller ud fra spørgsmålet: 'Hvad kan restskindet bruges til?' en konkret engineering-udfordring: Udnyt restskindet for at undgå ressourcespild.

Eleverne får på virksomheden mulighed for at se, opleve og forstå produktionen samt virksomhedens målgruppe, produktionsteknikker og -krav. Besøget på virksomheden giver desuden eleverne en kontekst at se udfordringen ind i. Det kan bidrage til dybere forståelse af designkrav, ligesom affektive læringsprocesser sættes i spil, når eleverne oplever en naturlig og ægte kobling mellem engineering-udfordringen og det personlige møde med virksomhedsejeren og/eller medarbejderne.

En vejledning til godt samarbejde

Når man skal lave et samarbejde med en virksomhed, er der en række forhold, som det kan være vigtigt at overveje for at udnytte potentialet i samarbejdet.

Niveau for samarbejde

Virksomhedssamarbejde forstås i praksis på mange måder. Til højre vises en model for forskellige niveauer af samarbejde:

Den blå trekant illustrerer, hvor høj grad af samarbejde der er tale om. Niveauet Fagligt besøg og op kendetegnes ved, at det kan integreres i engineering designprocesser, hvor samarbejdet både kan give mening ift. elevernes arbejde med engineering-udfordringen og i de enkelte delprocesser. Det kan eksempelvis være faglige inputs som forudsætninger for elevundersøgelser, men også hele udfordringer. Rundvisning bidrager begrænset til konkrete delprocesser, da den er kendetegnet ved, at eleverne godt nok ser virksomheden, men derudover er de ikke koblet til elevernes øvrige opgave. En virksomhedscase kendetegnes ved, at en virksomhed stiller en case, eller at en virksomhed er omdrejningspunkt for en case. Den kan være relevant for eleverne og have både faglighed og en god engineering-udfordring, men nødvendiggør ikke i sig selv et samarbejde.

Forberedelse er essentielt for elevernes udbytte af et virksomhedssamarbejde. Eleverne bør som minimum have kendskab til virksomheden, vide, hvad den laver, og måske endda, hvilke faggrupper der arbejder der. Indsigter i kerneprodukter og principperne bag kerneprodukter giver eleverne forudsætninger for at stille spørgsmål og bedre forstå svar.



Under besøget kan eleverne stille spørgsmål (gerne forberedt hjemmefra); det giver virksomheden en fornemmelse for, hvad eleverne er interesserede i, og et grundlag for at tilpasse det faglige indhold til deres niveau. Det kan ligeledes give mening at bede eleverne om at holde øje med bestemte ting, fx hvilke jobs medarbejderne har. Efterbehandlingen af besøget er også vigtig. Det kan være en god idé at få alle elevernes indtryk frem i lyset, da oplevelsen helt sikkert vil være forskellig fra elev til elev.

Fagsprog på virksomheden

På virksomheden møder man eksperter i netop denne virksomhed og dens arbejdsformer og produkter. Det kan være en fantastisk hjælp til fx elevernes undersøgelser, men virksomheden er ikke eksperter i undervisning og formidling, ligesom de ikke kender elevernes faglige niveau. Der kan derfor være behov for, at læreren hjælper med spørgsmål undervejs og hjælpe eleverne med at koble det, som de ser, hører og oplever, med den delproces, de er i gang med. Et eksempel herpå er begrebet tværfaglighed. For læreren kan det betyde, at dansk og naturfag samarbejder, mens det for en entreprenør kunne betyde, at tømrer, elektriker og murer arbejder sammen.

Hvis samarbejdet indeholder et besøg på virksomheden

Virksomheder er ofte vant til at have kunder på besøg, men en skoleklasse kan ikke sammenlignes med en kunde. Virksomheden har derfor ofte brug for at blive guidet i, om det er inspiration til idéer, faglig viden til elevernes løsninger eller kontekstforståelse, der er grundlaget for besøget. Det er heller ikke sikkert, at alle elever er fuldstændigt afklaret med, hvad de vil have ud af et besøg, eller hvordan det skal bruges i deres videre arbejde. For at eleverne inspireres mest muligt og har en positiv krog at hænge besøget, oplevelserne, den nye viden og inspirationen op på, bør et virksomhedsbesøg indeholde tre elementer:

- En rundvisning – her får eleverne mulighed for at se virksomheden med egne øjne. Ofte kan både produkter og produktionslinjer være for abstrakte at forstå uden visuel hjælp. Spørgsmål er også lettere at stille, hvis man kan se og pege, særligt hvis man ikke kender virksomhedens fagbegreber. Virksomheden får gennem rundvisningen mulighed for at præsentere sig selv.
- Hands-on – elevernes forståelse styrkes af at have noget i hænderne. Det kan være mere eller mindre direkte eksempler, som kan bruges i deres engineering-udfordring. Det kan også omhandle værktøj og teknikker, som kan skabe nye forståelser for eleverne. Andre gange kan hands-on-øvelserne ikke bruges til løsning af elevernes engineering-udfordring, men løfte deres generelle oplevelse af besøget.
- Møde en rollemodel – elevernes udbytte af et besøg afhænger også af at møde medarbejdere, de kan spejle sig i. Spørg derfor gerne, om virksomheden fx har lærlinge eller andre ansatte der, set med et elevperspektiv, er spændende rollemodeller.

Alt det praktiske

Når man samarbejder med en virksomhed, er det vigtigt at forventningsafstemme. Indholdet i besøget skal selvfølgelig planlægges, men husk også det praktiske: Hvor mødes vi? Betyder ”mødes kl. 9”, at eleverne samles på parkeringspladsen kl. 9, eller sidder de klar i et lokale kl. 9? Hvor skal elevernes tasker være? Skal man have sikkerhedssko på? Skal der være en pause undervejs? Må virksomheden tage billeder af eleverne? Må eleverne tage billeder?

Når de praktiske forhold er afstemt, skabes det bedst mulige grundlag for, at både virksomhed og elever får et godt besøg og et godt samarbejde.





Kapitel 14. Motivation og lige deltagelsesmuligheder

I dette kapitel præsenteres fem forskellige former for elevmotivation. Derefter gives en række eksempler på, hvordan engineering kan udvikle de forskellige motivationsformer hos elever. I anden del af kapitlet beskrives, hvordan kulturelle fortællinger kan skabe barrierer for forskellige elever, og hvordan disse kan udfordres gennem didaktiske greb i engineering designprocesser.

Motivation og lige deltagelsesmuligheder

Engineering-undervisning rummer et bredt spektrum af motivationsmuligheder, som kan aktiveres hos elever med forskellige interesser og erfaringer. En af styrkerne ligger i undervisningens praksisnære og problemløsende tilgang, hvor elever arbejder med virkelighedsnære udfordringer, ofte i grupper og med fokus på iterative designprocesser. Samtidig kan engineering, blandt andet ved at introducere andre processer i undervisningen, udfordre kulturelle fortællinger om skolens fag, og hvem der "passer ind" i dem.

Forskellige former for motivation og engineering

I en engineering-kontekst arbejder vi med en forståelse af motivation som foranderlig, noget, der kan udvikles eller hæmmes. Motivation handler ikke om, at elever enten er umotiverede eller motiverede, men om at blive motiverede for noget eller motiveret af noget. Man kan som lærer som en del af forberedelsen og under gennemførelsen af engineering-forløb overveje, hvordan man skaber motivation hos eleverne. Elever motiveres forskelligt i forskellige situationer og fag, og elever motiveres ikke på samme måde eller i samme tempo. Center for Ungdomsforskning peger på fem motivationstyper, som elever kan motiveres gennem:

- **Viden** – motiveres af at opnå ny viden om fag og emner, som de er interesserede i
- **Mestring** – motiveres ved at mestre en læringssituation
- **Involvering** – motiveres af at blive involveret og være medskabere af læringssituationen
- **Præstation** – motiveres af at klare sig godt og leve op til læringssituationens krav
- **Relation** – motiveres gennem sociale relationer.

Nedenfor beskrives eksempler på, hvordan det i engineering-undervisning er muligt at motivere elever med de fem forskellige motivationstyper.

Viden

Engineering-designprocessen indeholder undersøgelser, afprøvninger og refleksioner. Elever får dermed mulighed for at fordybe sig i faglige problemstillinger, og de lærer gennem iterative afprøvninger og fejl. Denne tilgang kan understøtte elever, der motiveres af at forstå sammenhænge og få indsigt i, hvordan og hvorfor ting virker. Når elever får tid og rum til at eksperimentere, stille spørgsmål og finde svar, kan det styrke deres motivation. Denne type motivation tilgodeses ved at tydeliggøre, når eleverne opnår ny viden, fx når de har lavet undersøgelser og analyseret deres resultater – og at de oplever, at denne viden kan anvendes til en konkret løsning på en udfordring.

Mestring

Engineering-aktiviteter giver elever mange muligheder for at udvikle og vise deres faglige kompetencer – både teoretisk og praktisk. Når elever arbejder med design og problemløsning, kan de opleve succes og anerkendelse for deres forskellige bidrag. Det kan være gennem en konkret delproces, en prototype eller en præsentation. Ved at synliggøre individuelle og gruppebaserede præstationer styrkes elevernes oplevelse af at kunne noget og blive værdsat for det. Engineering-undervisning kan være løsere struktureret end andre undervisningssituationer. Derfor kan det være vigtigt at differentiere og tænke progression ind i udfordringer og krav, så alle elever kan opnå følelse af mestring. Den didaktiske opgave er derfor også at tydeliggøre de steder, eleverne mestrer og udvikler sig.

Involvering

Engineering kan give elever en høj grad af autonomi ift. egne løsninger, både mht. hvilken ide de arbejder med, og hvordan der arbejdes processuelt. Det kan i løbet af engineering designprocesser være nødvendigt at hjælpe eleverne med at balancere frihedsgraden, så de stadig oplever progression gennem designprocessen. Samtidig kan engineering-forløb skabe rammerne for, at elever træner at planlægge og gennemføre processer, hvilket understøtter at de også fremadrettet kan være medskabere af læringssituationer.

Præstation

Nogle elever motiveres af at præstere. Det kan både være i forhold til at leve op til de krav, der er sat i en engineering-udfordring, ved at vinde konkurrencer eller ved at klare sig godt i forhold til fx klasse-kammerater.

Engineering-opgaver kan kobles til konkrete mål, men i den gode engineering-udfordring vil der være mange forskellige måder at løse udfordringen på, og det kan derfor være svært for eleverne at sammenligne sig med andre. Elever, der motiveres af præstationer i engineering-forløb, kan dog stilladeres fx ved at tydeliggøre mål og krav i forløbet. Motivationen kan også opstå, hvis eleverne oplever forløbet som relevant for deres videre uddannelse, eller at de kan se, at deres indsats påvirker fx karakterer i en positiv retning. Det er desuden muligt at motivere nogle elever ved at tilføje konkurrenceelementer. Dette kan dog føre til, at de i mindre grad deler erfaringer, og kan desuden modarbejde, at der udvikles en positiv fejlkultur, hvor man lærer af og deler sine udfordringer.

Relation

Engineering-undervisning foregår ofte i grupper, hvor samarbejde og fælles problemløsning er centralt. Eleverne får mulighed for at indgå i sociale fællesskaber, hvor de bidrager med forskellige roller og kompetencer. Det styrker den sociale motivation, fordi eleverne oplever, at deres deltagelse har betydning for gruppens samlede arbejde. Samtidig kan fællesskabet skabe tryghed og trivsel, som er afgørende for deltagelse – især for elever, der ellers kan føle sig marginaliserede.

Her er lærerens rolle at hjælpe eleverne til at afstemme forventninger samt styrke deres viden om og kompetencer i gruppearbejde. Refleksioner over sammensætningen af grupper og stilladsering af elevernes arbejdsprocesser er vigtige for at denne form for motivation opstår.

Med udgangspunkt i engineering-didaktik kan undervisningen tilrettelægges, så alle fem motivationstyper kan komme i spil. Derved øges sandsynligheden for, at flere og forskellige elever oplever undervisningen som meningsfuld og relevant.

Kulturelle fortællinger

Skolen er historisk og kulturelt præget af bestemte fortællinger om, hvem der "hører til" i forskellige fag, og hvad det vil sige at være 'en god elev'. Samtidig kan der være forskellige kulturelle fortællinger om fag, fx kan der være fortællinger om, at matematik og naturfag handler om at finde et rigtigt svar, og at fagene ikke er kreative. Disse fortællinger eksisterer og formes både af skolen, mellem elever og i bredere samfundsmæssige rammer, fx i film, serier og på sociale medier. De kulturelle fortællinger kan både være med til at skabe barrierer og muligheder for forskellige elever, alt efter kontekst.

For at sikre elevernes alsidige udvikling og for at "skabe rammer for oplevelse, fordybelse og virkelyst, så eleverne udvikler erkendelse og fantasi og får tillid til egne muligheder", som det er beskrevet i § 1 i folkeskolens formål, er det nødvendigt at arbejde med, hvordan begrænsninger og barrierer, der opstår på baggrund af disse fortællinger, kan fjernes eller mindskes. Fortællingerne spiller ofte sammen med sociale kategorier, som fx køn, etnicitet, socioøkonomi, seksualitet eller religiøse tilhørsforhold, hvor disse bruges som forklaringsrammer for interesser eller adfærd. Samtidig med at disse kategoriseringer kan skabe grundlag for unødige barrierer i skolen, bruges nogle af dem som en del af elevers identitetsdannelse. Det er derfor vigtigt, at de ikke ignoreres, og det er en balancegang som lærer at være bevidst om deres betydning uden at de bliver basis for forkerte forventninger.



Elever, der ikke ser sig selv repræsenteret, eller som ikke ser sig selv som en del af de kategorier, der forbindes med et fag, kan miste motivationen eller opleve, at faget ikke er for dem. De kan opleve, at deres erfaringer og perspektiver ikke afspejles i undervisningen. På den måde risikeres det, at de ikke engageres i undervisningen og derved ikke realiserer deres potentialer i fagene.

I tekstboksen ses et eksempel på, hvordan kulturelle fortællinger kan se ud, med udgangspunkt i køn i STEM-fag.

KØNNED E FORTÆLLINGER

I rapporten "Flere piger med science kapital og STEM-interesse", udarbejdet af konsulentbureauet Is it a Bird (Groes, 2020), peges der på en række fortællinger om køn i naturfag. Særligt tre fortællinger går igen i undersøgelsen:

- Dreng e har en iboende interesse for naturfag.
- Piger har en struktureret tilgang til naturfag, mens drenge har en undersøgende tilgang.
- Piger vil gerne, kan lide og er gode til at arbejde med mennesker.

Det er vigtigt at understrege, at dette er kulturelle fortællinger om samlede grupper, og at hverken drenge, piger eller elever fra samme socioøkonomiske baggrund tilhører homogene grupper, hvor der kan siges noget generelt, som vil gælde alle individer i gruppen. Hvis de kulturelle fortællinger direkte overføres til enkeltindivider, risikerer man at skabe selvopfyldende profetier, så nogle elever måske ikke udfordres på deres selvforståelse om, at naturfag ikke er for dem, eller at interesse eller manglende motivation overses. Det er derfor vigtigt at være opmærksom, hver gang en social kategori benyttes til at begrunde interesse eller adfærd. Da begrundelsen vil være afgørende for en eventuel handling, er det vigtigt at overveje, om begrundelsen bygger på en antagelse om eleven på baggrund af kategorisering, eller det er underbygget af andre faktorer.

Rosenthal-effekten viser, at lærerens forventninger påvirker elevernes selvforståelse og dermed deres mulighedsrum. Der er derfor god grund til at overveje, hvordan disse forventninger kommer til udtryk, og hvordan man som lærer kan udfordre dem. Samtidig bør det overvejes, hvordan elevernes forventninger til sig selv såvel som til andre elever får betydning for elevernes deltagelsesmuligheder og præstationer i undervisningen.

Kulturelle fortællinger kan udfordres med engineering

At arbejde med engineering i undervisningen modvirker (desværre) ikke af sig selv disse kulturelle fortællinger, men didaktikken indeholder forskellige potentialer og muligheder for at planlægge og gennemføre en undervisning, der kan udfordre og udvide de kulturelle fortællinger.

Når der arbejdes med designprocesser i naturfag og matematik, eller når der inddrages naturfaglige undersøgelser i håndværk og design, kan det være med til at udvide elevernes forestillinger om fagene. For nogle elever vil det også øge muligheden for, at de kan spejle sig i fagene og derved på sigt forestille sig, at fagene er noget for dem. Generelt kan aktiviteter, der bryder med elevernes forventninger til fag, åbne indgange for elever, der ellers ikke ser sig som en del af faget. Her er der gode muligheder i engineering-forløb, fx ved at arbejde med udfordringer inden for emner, som eleverne ikke nødvendigvis forbinder med et fag. Det kan fx være i forløbet "Kom og sæt dig", hvor eleverne skal finde løsninger til, hvordan man kan holde varmen, når man sidder på et koldt gulv. Her inddrages naturfaglige undersøgelser og naturfaglige begreber som ledningsevne og isolering i et forløb, hvor eleverne fx kan sy puder. Noget, som eleverne ofte vil forbinde med håndværk og design.

I engineering-undervisningen er der brug for mange forskellige evner. Her er det centralt, at der udvikles inkluderende læringsmiljøer, hvor der skabes mangfoldige deltagelsesmåder. Når eleverne arbejder i grupper, kan de hver især støtte hinandens læring, fx ved at bidrage med det, de mestrer, og derved være centrale for, at gruppen præsterer. En del af læringspotentialerne i engineering designprocesser er at lære af fejl og når tingene ikke går som forventet. Derfor er det også vigtigt at udvikle en klassekultur, hvor der er plads til at dele og diskutere når det ikke går som forventet.

METODEKORT	Kønsbevidst naturfagsundervisning
GRUPPEDANNELSE Introduktion Når eleverne arbejder med engineering, foregår det oftest i grupper. Det betyder, at lærerne skal overveje, hvor-danne grupperne skal sammensættes og ud fra hvilke principper. Arbejdet med engineering designprocessen kan styrkes, hvis følgende fem roller er til stede i hver gruppe (de fleste elever mister flere roller). Demokratisk leder: Fokus på at inddrage alle i arbejdet og rammesætte processen, så alle får talletid og lytter til hinanden. Facilitator: Fokus på at styre processen og drive arbejdet videre inden for rammen af delprocesserne i designmodellen. Håndværker: Fokus på at inddrage viden om tekniske og praktiske færdigheder i forbindelse med værktøj og materialer. Idegenerator: Fokus på at tænke ud af boksen og igangsætte kreative ideer og tilgange. Systematikker: Fokus på systematikken i gruppens arbejde samt at dokumentere og føre protokol over arbejdet. Formål Køn bruges ofte som organiseringsprincip, når der dannes grupper. Dette metodekort har til hensigt at rette fokus mod et organiseringsprincip, hvor det i stedet er elevernes kompetencer der danner udgangspunkt for sammensætning af grupper. Med afsæt i de fem roller kan læreren sammensætte grupper efter model 1 eller model 2. Model 1: Model 1: De beskrevne roller kan danne grundlag for lærerens sammensætning af grupper med henblik på at danne grupper der repræsenterer en mangfoldighed af kompetencer. Her indgår rollerne overvejende i lærerens planlægning og drøftes ikke med eleverne. Model 2: Læreren sammensætter grupperne, så forskellige roller er repræsenteret. Eleverne tildeles eksplicit en rolle hver, som de forventes at udfylde. Rollerne fordeles på baggrund af elevernes forudsætninger. Det er vigtigt, at rollerne ses som dynamiske og at der er variation i, hvilke roller eleverne tildeles. Til tider skal de også udfordres og tildeles roller de umiddelbart ikke er tilbøjelige til at vælge.	
15 Kønsbevidst naturfagsundervisning Metodekort	

METODEKORT

Kønsbevidst naturfagsundervisning

Valg af model

Beskriv hvilke fordele og ulemper, der er forbundet med henholdsvis model 1 og model 2, og vælg hvilken model du/l vil bruge til jeres kommende engineering-forløb.

Roller:

Er de fem roller dækkende for elevernes arbejde med engineering-designprocessen i det forløb, du/l arbejder med? Ser du/l behov for andre roller?

Gruppeoversigt

Skiftet hvordan grupperne i klassen ser ud, hvis du organiserer dem efter de beskrevne roller. Noter mulige udfordringer og succeser, som du tror grupperne vil møde i deres samarbejde med hinanden.

Engineer the future

16

Kønsbevidst naturfagsundervisning
Metodekort

De kulturelle forventninger til eleverne og elevernes egne forventninger på baggrund af sociale kategorier kan begrænse dem i, hvilke opgaver de går til. Det kan derfor være nødvendigt at planlægge forløb på måder, så alle elever arbejder med den samme type opgave samtidig, så de ikke kun søger derhen, hvor fx kønnede forventninger peger dem hen. En anden mulighed er, at hver elev kan tildeles en specifik rolle i de forskellige delprocesser, så de lærer kompetencer, som udfordrer de kulturelle fortællinger, og så de lærer, at de kan overskride kulturelle forventninger til, hvem der har eller kan lære hvilke kompetencer.

Særligt oplever en del elever, at delprocessen *præsentere* kan være en udfordring. Det stiller krav til læreren om også at stilladsere denne delproces, så eleverne udvikler deres kompetencer og får tiltro til egne evner og til, at de har noget at bidrage med i faget. Dette kan med fordel gøres med åbne spørgsmål, som lægger op til refleksion, fx "hvad ville I gøre anderledes, hvis I havde haft mere tid?" eller "hvilke andre materialer ville I gerne have haft til rådighed og hvorfor?". Derudover kan det overvejes, hvordan præsentationerne gennemføres, og hvordan eleverne løbende gennem designprocessen deler ideer og erfaringer.

Ved at aktivere forskellige motivationstyper og udfordre kulturelle fortællinger kan engineering-undervisning bidrage til, at alle elever kan opleve sig som kompetente, engagerede og betydningsfulde deltagere. Praksisfaglig engineering-undervisning har derfor potentiale til at fremme lige deltagemuligheder for alle elever i undervisningen.





Kapitel 15. Engineering og andre undervisningstilgange

Her præsenteres forskelle og ligheder mellem engineering og problembaseret læring, design-baseret undervisning, socio-scientific issues, innovation og entreprenørskab, inquiry-baseret matematik- og naturfagsundervisning samt tinkering.

Engineer the future

Engineering og andre undervisningstilgange

For at afklare forholdet mellem engineering og andre tilgange til praksisfaglig og/eller undersøgelsesbaseret undervisning, sammenligner vi i dette kapitel engineering med seks andre tilgange til undervisning. I slutningen af kapitlet findes en oversigt over forskelle og ligheder mellem de nye tilgange.

Udgangspunktet er, at flere af de andre tilgange 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 det 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. Design er et nyttigt ord til beskrivelse af bestemte menneskelige aktiviteter, og i undervisningssammenhæng bruges det typisk i forbindelse med innovationsfremmende undervisning eller engineering-designprocesser.

Vi har udvalgt seks udbredte tilgange til undervisning, som på forskellig vis indgår i fx kommunale naturfagsstrategier, i efteruddannelse eller i fondsstøttede projekter.

- Engineering
- Problembaseret læring (PBL)
- Designbaseret undervisning
- Social Scientific Issues (SSI)
- Innovation
- Inquiry Based Science & Math Education (IBSME)
- Iværksætteri/entreprenørskab.
- Tinkering

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 – også er et teknologisk produkt.

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.

Designbaseret undervisning

Et meget velbeskrevet og målrettet eksempel på designbaseret undervisning er Learning by Design (LBD), en specifik tilgang til undervisning i naturfagene, som blev udviklet i USA i 1960'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 da undersøgelser viste, at elever i udskoling var glade for at arbejde aktivt og procesorienteret i problemløsende projekter, men det var dog ikke muligt at påvise, at arbejdet resulterede i bedre læring af det naturfaglige indhold i form af begreber og teorier.

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 fiskeri på baggrund 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.

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 artikler 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 findes 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 entreprenante personer muliggør skabelse af værdi for andre.

I dansk sammenhæng har der – i overensstemmelse med udmeldingerne fra EU – været stort politisk opmærksomhed på at indføre entreprenørskab i undervisningen. På tværs af grundskolens fag er innovation og entreprenørskab 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.

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.

Tinkering

Tinkering er en undersøgende arbejdsform, hvor elever eksperimenterer sig frem til forståelse gennem legende afprøvning. I stedet for at begynde med en struktureret plan, starter eleverne med materialer, idéer og nysgerrighed. De prøver sig frem, bygger, fejler, justerer og forsøger igen. Denne proces understøtter også en dyb læring, fordi eleverne selv opdager faglige og teknologiske sammenhænge og udvikler strategier undervejs.

I undervisningen giver tinkering mulighed for differentiering, da alle elever kan deltage på deres eget niveau. Opgaverne har ikke ét rigtigt svar, men mange mulige løsninger. Læreren fungerer som facilitator, der stilladserer, stiller åbne spørgsmål og skaber rammer, hvor fejl ses som værdifulde skridt i læringen. Det giver plads til kreativitet og fremmer både mod, vedholdenhed og problemløsning. Tinkering styrker samtidig elevernes teknologiforståelse. Gennem praktisk arbejde med materialer – analoge såvel som digitale – får de mulighed for at undersøge funktioner, systemer og årsag-virkningrelationer i praksis. Når eleverne bygger prototyper og tester deres idéer, udvikler de både tekniske færdigheder og en undersøgende tilgang til teknologi.

Oversigt med sammenligning af undervisningstilgange

I tabel 10.1 er de forskellige undervisningstilgange samlet og sat i forhold til hinanden med korte beskrivelser ud fra følgende fire temaer:

- **Primær begrundelse og mål:** Hvad er den didaktiske begrundelse for at arbejde med denne tilgang, og hvad skal ideelt set 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. Selvtændighed.	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. Entrepenørskab er svagt udfoldet ift. naturfag.	Anvendelse af en designproces til innovation. I naturfagene beskrevet meget lig engineering. Entrepenørskab er i naturfag ikke tilknyttet en procesmodel.

Forsættes →

Primær begrundelse og mål	Udfordring/Afsæt for undervisning	Kobling af proces til fag	Arbejdsmodel/proces
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.
Tinkering			
Faglig læring gennem udforskning, eksperimenter og nysgerrighed. Styrkelse af kreativitet.	Ofte arbejdes uden et klart defineret problem fra start. I stedet er udgangspunktet en ide eller konkrete materialer. Problemer anses dog som værdifuldt, da de kan drive processen fremad.	Gennem undersøgelser og eksperimenter får eleverne konkrete erfaringer med begreber, processer og kundskaber på tværs af fag.	Semistruktureret proces med udgangspunkt i egen undren, at prøve sig frem og lære af fejl.

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.



