

Kapitel 12. Engineering og makerspaces

Næsten sideløbende med at engineering blev udviklet og introduceret som didaktik i grundskolen (EIS1, 2017), opstod de første initiativer omkring makerspaces som et læringsmiljø i Danmark. Særligt erfaringer fra de kommuner, som har fået kompetenceudviklet lærerne i engineering, har vist, at didaktikken efterfølgende anvendes systematisk af lærerne til at samarbejde og udnytte potentialet i kommunernes etablerede makerspaces. I kapitlet redegøres for, hvorfor kombinationen af netop makerspaces og engineering er oplagt både ift. elevers læring og motivation, og hvorfor det bidrager til at understøtte praksisfaglige dimensioner både i fag og i tværfaglige sammenhænge.

Engineering som didaktik i læringsrummet makerspace

Makerspace har i Danmark, siden fagligheden digital teknologiforståelse blev introduceret som forsøgsfag i 2018, ofte været tæt koblet til digital teknologi, herunder digital fabrikation og design af digitale artefakter. Den kobling har både været nødvendig og fagligt meningsfuld for at kunne hæve kompetenceniveauet 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:

Et makerspace er 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.

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.

Et makerspace skal give rum for, at elever kan eksperimentere og designe med alt fra simple materialer som pap, lim og snor til komponenter, der er fremstillet med digitale

makerteknologier som 3D-printere, laserskærere og folieskærere. Udvikling af både værksteds- og håndværksfærdigheder samt færdigheder i at kode og programmere er ligeledes et centralt omdrejningspunkt for elevernes mulige udbytte af makerspace som læringsrum i en engineering-kontekst. 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 i en designproces til udvikling af en prototype.

Engineering som didaktik bidrager til makerspace som læringsrum med en designproces, der er skabende og kreativ, og hvor de syv delprocesser på forskellig vis åbner muligheden for inddragelse af teknologi og håndværk undervejs til at udvikle både analoge og digitale prototyper/produkter.

Fordi engineering tager udgangspunkt i konkrete udfordringer, skaber engineering designprocessen, særligt i delprocesserne *undersøge* og *forbedre*, rammer for at holde fokus på materialeforståelse og materialevalg og derefter på materialebearbejdning. Engineering 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 der i et makerspace er adgang til mange forskellige teknologier, både 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:

- 1. Eleverne lærer gennem handling:** Når elever designer løsninger på baggrund af en engineering-udfordring, vil de undervejs i designprocessen både konstruere, teste og forbedre deres prototyper. Det er hands-on, som kobler teori med praksis, hvilket både er motiverende og giver mulighed for en dybere læring af den faglighed, som er i fokus.
- 2. Faglig viden bruges i praksis:** Faglighed fra fx matematik, natur/teknologi og dansk bliver anvendt i konkrete projekter.
- 3. Opgaverne er virkelighedsnære:** Eleverne arbejder med udfordringer, der ligner dem, man møder uden for skolen.
- 4. Materialer og teknikker er i spil:** Eleverne opnår indsigt i forskellige materialer, værktøjer og teknologier.
- 5. De skaber noget selv:** Der er fokus på kreativitet, æstetik og formgivning – eleverne udtrykker sig gennem det, de konstruerer.
- 6. Der arbejdes i processer:** Eleverne samarbejder, tænker højt, retter til og lærer af deres fejl. De arbejder iterativt og reflektivt.

Makerspace og engineering designprocesser

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. For mange muligheder kan vanskeliggøre en god designproces, og manglende adgang eller kendskab til forskellige produktionsteknologier kan begrænse elevernes muligheder for at gennemføre en god engineering designproces. Gennem lærerens stilladsering skabes de rammer, der gør eleverne fortrolige med bestemte materialer og teknikker og sikrer, at der er tilpas mange frihedsgrader. 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 til deres prototype på laserskæreren. Efterfølgende undersøger de, om den fungerer som forventet, og i delprocesserne *undersøge* og *forbedre* laver de iterationer, hvor de med analoge teknikker justerer og tilpasser komponenten. For at holde fokus på engineering designprocessen er det vigtigt, at der, når der laves engineering i makerspaces, er adgang til en lang række forskellige teknologier, så eleverne lærer at vælge den rette teknologi til der hvor de er i deres engineering designproces:

- 1. Materialer og teknologi:** Makerspaces tilbyder adgang til materialer som træ, akryl, pap, tekstiler, genbrugsmaterialer og elektronik. Teknologier som laserskærere, folieskærere, CNC-fræsere, 3D-printere, mikrocontrollere og værktøjer til robotprogrammering skaber muligheder for hurtig forarbejdning og avanceret udvikling af prototyper.
- 2. Stemning og samarbejde:** Makerspaces fremmer en kultur præget af eksperimenteren og åbenhed, hvor elever kan lære gennem fejl, reflektere over deres design og forbedre det gennem iteration. Rummet understøtter samarbejde og samskabelse, hvor eleverne deler ressourcer og ideer.
- 3. Praksisfaglighed og artefakter:** 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.

- 4. Autenticitet og praksis:** Eleverne arbejder med autentiske materialer og værktøjer, som ofte anvendes i professionelle sammenhænge. Dette giver dem en realistisk oplevelse af design- og produktionsprocesser, hvilket øger deres forståelse for ingeniør- og håndværksmæssige principper.

Kreativ frihed og mulighedernes rum i makerspaces: Makerspaces er mulighedernes rum, hvor elever opfordres til at tænke ud af boksen og eksperimentere med både traditionelle og alternative 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 alt fra bæredygtige møbler til kinetiske skulpturer, der bevæger sig med programmerede motorer. Makerspaces tilbyder således et læringsmiljø, hvor kreativitet, innovation og praksisfaglige færdigheder kan udvikles.

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, i stedet for at skulle vente nogle timer eller til næste undervisningsgang, inden 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 en stopklods frem for en hjælp.

Makerteknologi til engineering

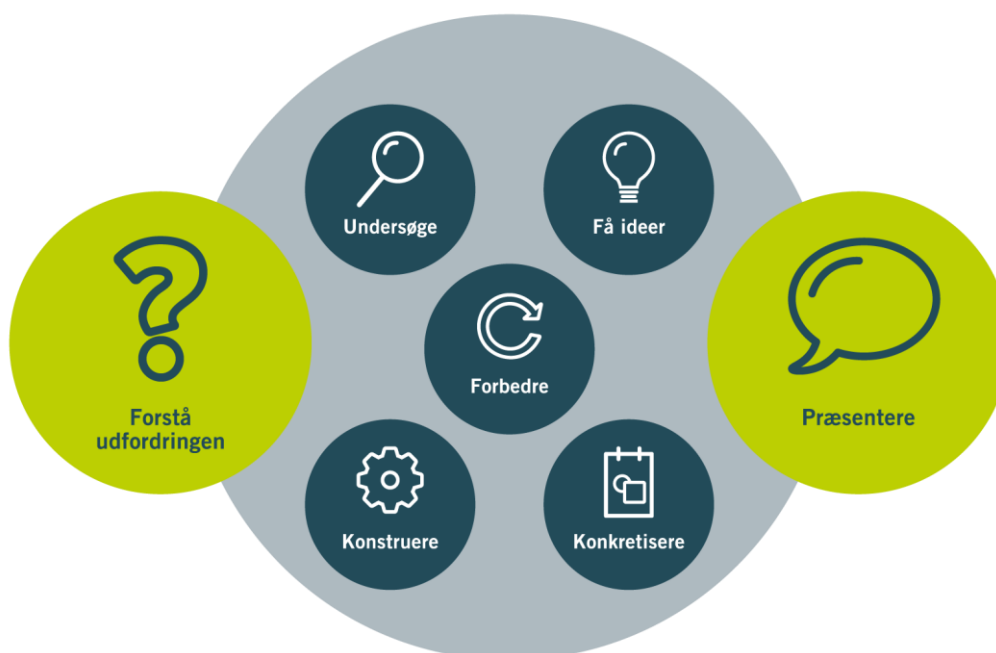
Du behøver ikke være teknologiekspert for at komme i gang. Det vigtigste er at give plads til nysgerrighed, skaben og refleksion. Makerspace viser, at faglighed også kan være noget, man bygger, tester og forbedrer – sammen.

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 'Fantastiske faskiner' skal eleverne udvikle faskiner, der kan opsamle store mængder vand. I designprocessen kan de 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 gennemstrømningen kan testes. Derudover kan der laves iterationer over forskellige versioner af riste 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.



EKSEMPEL*”Den vandrette have”*

Elever designer og bygger en vandret have, der kombinerer æstetik, funktionalitet og bæredygtighed. De anvender laserskærere til at fremstille konstruktionens komponenter og arbejder med mikrocontrollere og sensorer for at automatisere vandingsprocessen og optimere planternes vækstbetingelser.

Eleverne starter med at undersøge forskellige typer haver og deres funktioner, herunder hvordan vandrette haver kan bidrage til bæredygtighed og biodiversitet. Gennem brainstorming og skitsering udvikler de ideer til, hvordan deres have kan se ud og fungere. Eksempler kunne være haver med integrerede sensorbaserede vandingsystemer, plantekasser med lysstyring eller designs, der fremhæver pladsoptimering.

Herefter går eleverne i gang med at bygge prototyper af deres haver. De bruger laserskærere til at fremstille første version af plantekasser, rammer og andre strukturelle elementer i pap. Derudover programmerer de mikrocontrollere og sensorer til at overvåge jordfugtighed og styre vanding automatisk. Eleverne justerer deres prototyper med hobbyknive, sakse og tape, de eksperimenterer med forskellige materialer og designløsninger, hvilket giver dem mulighed for at iterere på deres ideer og løbende forbedre deres prototyper. Efter afprøvninger og forbedringer af deres oprindelige ide, laserskæres deres endelige prototype i træ og akryl.

Forløbet afsluttes med en fremvisning, hvor eleverne præsenterer deres vandrette haver, forklarer deres designproces og demonstrerer, hvordan teknologi og design arbejder sammen for at skabe en funktionel og bæredygtig løsning.

Dette projekt kombinerer praksisfaglige elementer som konstruktion og teknologisk udvikling med kreative og bæredygtige overvejelser. Eleverne får mulighed for at anvende deres teknologiske forståelse i praksis og udvikler samtidig innovative løsninger til fremtidens grønne områder.

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 og lignende vil være nødvendige sammen med adgang til tape, lim, søm, skruer, symaskiner og andre materialer til at lave samlinger kan være vigtige til iterationer i løbet af engineering designprocessen. Sammen med nedenstående teknologier kan de 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.

Nedenfor 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 finere og meget detaljerede konstruktioner.
3. **3D-printere:** Ideelle til at fremstille komplekse komponenter eller små dele, der kræver høj præcision og fleksibilitet i design. Eksempelvis kan elever printe beslag eller komponenter til mekaniske systemer.
4. **Mikrocontrollere:** Teknologier som eksempelvis 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 og børnevenligt 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.

Lærers rolle i makerspace

Læreren fungerer som facilitator og stilladserer elevernes arbejde med materialer og teknologi. Læreren spiller en afgørende rolle i at udnytte makerspaces optimalt. Ved at introducere eleverne til rummets muligheder og hjælpe dem med at kombinere materialer og teknologi kan læreren støtte elevernes læring og styrke deres praksisfaglige færdigheder. Løbende feedback og spørgsmål som "Hvordan kan dette forbedres?" eller "Hvilke materialer kunne fungere bedre?" hjælper eleverne med at tænke kritisk og eksperimentere.

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.