

Prototyping i naturfag

“Det er ikke en bro, hvis det ikke ligner en bro”

Af Stine Ejsing-Duun, Lasse Stege Bredgaard
Hansen, Maria Damlund, Peter Wied Stenkilde &
Anne Gottlieb

Korrekt citering af denne artikel efter APA-systemet
(American Psychological Association System, 7th Edition):
Ejsing-Duun, S., Hansen, L. S. B., Damlund, M. Stenkilde, P. W. & Gottlieb, A.
(2024). Prototyping i naturfag. ”Det er ikke en bro, hvis det ikke ligner en bro”.
Learning Tech - Tidsskrift for læremidler, didaktik og teknologi, (15), 76-113. DOI:
10.7146/lt.v10i15.145166

Abstract

Denne artikel undersøger, hvordan prototyping kan anvendes i naturfagsundervisningen til at fremme elevers undersøgelses- og modelleringskompetencer gennem en designproces, hvor undersøgelse gennem digitale og analoge teknologier spiller en rolle. Artiklen baserer sig på tre cases fra to danske folkeskoler, hvor elever igennem en engineering tilgang arbejder med at skabe prototyper af broer. Prototyping fungerer både som måder at undersøge og manifestere deres designidéer. Casestudiet viser, at prototyping ikke kun fremmer læring gennem hands-on tilgang, men også styrker elevernes evne til kritisk at vælge og anvende analoge og digitale ressourcer i overensstemmelse med at understøtte deres undersøgelse samt udtrykke deres designidé og æstetiske ambitioner. Resultaterne fremhæver yderligt vigtigheden af lærerens rolle i at støtte en fleksibel anvendelse af både analoge og digitale teknologier, med henblik på at skabe meningsfuldt samspil mellem teknologivalg, æstetik og designbaseret undervisning i naturfagsundervisningen.

This article examines how prototyping can be used in science education to promote students' inquiry and modeling skills through a design process where inquiry through digital and analogue technologies plays a role. The article is based on three cases from Danish elementary schools, where students work to create prototypes that function both as ways to investigate filters and manifest manifestations of their design ideas. The case study shows that prototyping not only promotes learning through a hands-on approach, but also strengthens the students' ability to critically choose and use materials in accordance with supporting their research objectives/ as well as express their design idea and aesthetic ambitions. The results further highlight the importance of the teacher's role in supporting and flexible use of both analogue and digital technologies, to create meaningful interaction between technology choice, aesthetics and design-based teaching in science education.

Prototyping i naturfag

“Det er ikke en bro, hvis det ikke ligner en bro”

Indledning

Der er begrænset plads til undersøgelser og kreativ problemløsning i naturfagsundervisningen, det konkluderer forskerne bag SCOPE-projektet i 2023 i udgivelsen *Børn og unges science-kapital – Baseline-rapport* (Pedersen et al., 2023). Undersøgelsen er baseret på dels en spørgeskemaundersøgelse blandt knap 20.000 elever, 5.000 forældre og 1.000 lærere, dels en omfattende kvalitativ dataindsamling blandt elever og familier. Lærerne har ifølge forskerne et større fokus på fagligt indhold, der ofte foregår ved, “...at en lærer gennemgår noget fagligt indhold efterfulgt af opgaver, eleverne skal løse, og en fælles gennemgang til sidst.” (Pedersen et al., 2023, s. 54). Rapporten citerer elever, der oplever denne form som dominerende og kedelig. Omvendt oplever eleverne ifølge rapporten også nogle gange en mere levende undervisning, hvor naturfaget løfter sig fra arket og forbinder sig med verden omkring dem.

Engineering er et eksempel på en tilgang, der sigter mod at sætte naturfaglig viden i en autentisk kontekst (Nielsen & Sørensen, 2019; Daugbjerg et al., 2021; Auner et al., 2022), samt at opnå en differentiering, der inddrager og motiverer en bred elevgruppe (Auner, 2021). Engineering kræver kompetencer inden for problemløsning og design (Bybee, 2010, Auner et al., 2022) samt udvikling af teknologisk forståelse (Auner et al., 2022.; Nielsen, et al., 2023). Med udbredelse af engineering har prototyping sneget sig ind i den danske grundskoles hverdag, særligt siden 2017 hvor projektet Engineering i skolen (EiS) tog sin begyndelse (Engineerthefuture.dk, 2023). Begrebet prototyping har ikke fundet vej til de Forenklede Fælles Mål (FFM) for fagene, men nævnes hyppigt i læseplanen for forsøgsfaget Teknologiforståelse (Undervisningsministeriet, 2018) og ligeledes i afsnittene om Innovation og entreprenørskab samt Engineering i faghæfterne for fysik/kemi, biologi og geografi (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019). Men vores¹ erfaring er, at design og specifikt prototyping ikke er en kompe-

1 Omfatter de af artiklens forfattere, der er uddannede naturfagslærere.

Stine Ejning-Duun, Institut for Planlægning og Bæredygtighed, Aalborg Universitet, Lasse Stege Bredgaard Hansen, Kildegård Privatskole, Peter Wied Stenkilde, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet, Maria Damlund, Danmarks Tekniske Museum, Anne Gottlieb, Tranegårdsskolen

tence, som naturfagslærerne har med fra læreruddannelsen. Eleverne har heller ikke nødvendigvis kompetencer til at udtrykke sig og undersøge igennem digital og analog prototyping. Endelig er der også forskel på hvilke digitale og analoge materialer og redskaber skolerne har til rådighed samt hvilke kompetencer lærer og elever har med digital og analog modellering.

Prototyping i naturfag: En tur på flagermusloftet

Forskningsprojektet er blevet til i et samarbejde mellem en forsker og fire studerende på *Kandidatuddannelsen i STEM-undervisning*, der i kurset *De teknologisk innovative videnskaber* arbejdede med prototyping i naturfag. Alle fire studerende er uddannede naturfagslærere og deres erfaring var, at elevernes prototypefokus ofte er lagt på uvæsentlige detaljer frem for essensen af den faglighed. Et sigende og konkret eksempel stammer fra et undervisningsforløb i en 6. klasse, hvor formålet var at designe en prototype ud fra udfordringen: “Skab mere biodiversitet på din skole”. Her havde en gruppe lavet en prototype af et loft, hvorpå der sad skilt, hvor der stod: “Vi har lavet et hus, der skal tiltrække flagermus oppe på loftet. Vi vil tiltrække flagermus, fordi de kan bestøve, og det har vi brug for.”

Figur 1.

Prototype af flagermusloftet (tv.), med fokus på det detaljerede udtryk af et hjem(th.).



Gruppen havde lavet en model af et hus i pap (figur 1), hvor de havde lavet et lille loft med flagermus og spindelvæv for at vise deres idé. Størstedelen af den samlede prototype var dog underetagen, hvor de havde hygget sig med at skabe et detaljeret udtryk af et hjem. Havde skiltet ikke været der, havde vi haft svært ved at gennemskue prototypen, fordi prototypen var fuld af detaljer, som ikke havde med deres undersøgelse af, hvordan man "tiltrækker" flagermus at gøre. Modellens fokus var skæv, da den ikke undersøgte eller formidlede det naturfaglige problem.

Forskningsspørgsmålet

Prototyping er en aktivitet og kompetence, der vinder frem, og med engineering særligt i naturfag. Vi ønsker at undersøge netop hvordan prototyping med digitale og analoge ressourcer kan hjælpe med at understøtte undersøgelser og kreativ problemløsning i naturfagsundervisningen. Forskningsspørgsmålet for denne artikel er derfor:

Hvordan kan elevers prototyping igennem digitale og analoge ressourcer, herunder deres valg af og arbejde med disse ressourcer, hjælpe dem med at udtrykke og få større forståelse af naturfaglige fænomener?



Vi har belyst dette igennem en designbaseret forskningstilgang (Christensen et al., 2012), hvorigennem vi på baggrund af den i artiklen præsenterede teori har udviklet et naturfagligt forløb, der har til formål at styrke elevernes kompetencer i at arbejde med digitale og analoge prototyper i naturfag i 7. og 8. klasse. Eleverne skulle i dette forløb designe en prototype af en hydraulisk bro med indbygget automatisering for at øge sikkerheden. De blev opfordret til at indtænke analoge og digitale teknologier for at bygge en prototype, der netop lod dem stille skarpt på automatisering og sikkerhed.

Modellerings- og undersøgelseskompetencer

Hensigten med vores undervisningsforløb er, at eleverne får kompetencer til at kunne frembringe og bruge prototyper som et relevant led i naturfagligt arbejde.

I FFM relaterer det at kunne frembringe en relevant prototype sig til den naturfaglige modelleringskompetence, kendt fra faghæfterne i fysik-kemi, biologi og geografi. Her defineres modelleringskompeten-

cen som “evnen til at bruge, vurdere og udarbejde modeller.” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019, s. 19) og:

” En elev med modelleringskompetence vil kunne bruge naturfaglige modeller til at forstå, forklare eller forudsige fænomener og systemers opførsel, kunne diskutere og forholde sig kritisk til modeller samt kunne revidere/konstruere modeller med afsæt i egne undersøgelser eller som en del af problemløsning. (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019, s. 22)

Her kan arbejdet med prototyper ses som et eksempel på en konstruktion af en konkret model, som led i en problemløsning.

Det at kunne bruge en prototype i forbindelse med at undersøge et fænomen er en vigtig del af den didaktiske ramme fra *EiS*. Den naturvidenskabelige undersøgelseskompetence beskrives fra læseplanen som mangfoldige og omfatter både “praktiske hands-on undersøgelser, observationer, feltstudier, virtuelle og interaktive undersøgelser og afsøgninger af eksterne datasæt i fx statistiske databaser”(Børne- og Undervisningsministeriet, 2019, s. 22).

Teoretisk afsæt

Det teoretiske afsæt for vores design af undervisningsforløb, der lader os undersøge, hvordan prototyping igennem digitale og analoge materialer kan bruges meningsfuldt i naturfag omfatter: Prototyping som modellerings- og undersøgelsesproces (som ting at tænke og udtrykke sig med); og i forlængelse heraf analoge og digitale ressourcer i prototyping (forudsætninger for og udfordringer ved skabe prototyperne igennem forskellige ressourcer).

Prototyping som modellerings- og undersøgelsesproces

I det danske *EiS*-projekt bliver begrebet prototype defineret meget bredt: “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” (Auner et al., 2022, s. 16). Her kan prototypen gøre designeren klogere på det fremtidige produkt, som prototypen repræsenterer. Vi har dog valgt et smallere fokus på prototyping, der afgrænser sig til dens potentiale

i forhold til at undersøge og modellere et givent fænomen. I en undervisningssammenhæng skal prototyping gøre eleverne klogere på et givent emne og på deres idéer til håndtering af en problemstilling. I eksemplet med flagermuseloftet (figur 1), er elevernes fokus gået fra at undersøge flagermus' habitat og bruge den viden til at skabe et 'flagermuseloft' over til boligindretning. Æstetikken har taget over, kunne man argumentere.

Det at skitsere eller skabe prototyper giver mulighed for at kommunikere idéer til sig selv og andre (Rusmann & Ejsing-Duun, 2022). Når processen er rettet mod egen erkendelse, gør eksternalisering en idé tilgængelig for undersøgelser og kan facilitere en visuel og rumlig organisering af information om en given problemstilling (Rusmann & Ejsing-Duun, 2022). Når en idé formidles til andre, omfatter det overvejelser om såvel dens visuelle og tekniske aspekter med formålet med at formidle sin idé. Formidling til andre, giver fx mulighed for at få feedback på idéer og at forhandle forståelse af problemstillingen, som idéerne søger at afhjælpe (Rusmann & Ejsing-Duun, 2022). Ydermere muliggør repræsentationer af en idé, at andre kan videreudvikle på idéen. Det at "prototype" eller at modellere kræver, at eleven kan konstruere, forbedre og forstå repræsentationer af idéer og information (Rusmann & Ejsing-Duun, 2022). Lad os se nærmere på teorien bag at lære gennem sanserne – igennem prototyping. Først redegør vi for vores forståelse af prototyping og dernæst på processens potentiale for at lære gennem sanserne.

Prototypens modalitet

Vi har fokus på, hvordan eleverne arbejder argumenterende og målrettet i forbindelse med deres egne prototyper. Undervisningsforløbet er derfor opbygget omkring Lim et al.'s (2008) arbejde vedrørende prototypers anatomi. Her arbejdes med to begreber, hhv. prototyper som filtre og prototyper som manifestationer af designidéer.

En prototype er et filter, idet den har fokus på udvalgte dele, som tydeligt manifesteres på bekostning af andre. Designerne (i vores tilfælde eleverne) bør aktivt vælge hvilke aspekter de medtager og udelader, i forhold til hvad de ønsker at undersøge igennem prototyping (Lim et al., 2008). Det indbefatter valg i forhold til udseende (broens størrelse, farve, hårdhed m.v.), data (fx hvordan registreres aktivitet på broen), funktionalitet (fx hvordan åbner og lukker broen), interaktivitet (hvordan formidles behovet for at hæve broen og hvordan giver den besked herom) og rumlig struktur (broens konstruktion i havnens forløb). En lignende filtrering ses også i arbejdet med modellering i naturfag. Men hvor modellering også kan handle om at beskrive et aspekt af den virkelige verden (Christiansen, 2020), fokuserer proto-

typing som modellering på at undersøge et aspekt af det problem, som man ønsker at løse.

En prototype er også en manifestation af ens idéer. Her spiller valg af materiale, detaljeringsgrad og omfang en væsentlig rolle. Materialevalg vil ifølge Lim et al. (2008) afhænge af, hvordan produktet opleves i det givne materiale, men også af materialernes tilgængelighed. Lim et al. (2008) understreger, at prototyper omfatter såvel konkrete fysiske som digitale manifestationer. Detaljeringsgraden handler om graden af detaljer i prototypen. Omfang handler om, hvor stor en del af produktet der søges undersøgt på én gang. Hele tiden må man holde sig filtreringen for øje, når de tre valg i manifestationen skal gøres (Lim et al., 2008). Valget af materiale vil fx være forskelligt, hvis man ønsker at teste styrken af en bro i forhold til, om det er udseendet, der skal undersøges. Valg i relation til filtrering og manifestation spiller altså en central rolle for elevernes valg af digitale og/eller analoge teknologier i arbejdet med prototyper.

Lim et al. (2008), beskriver skitsearbejde som en central del af prototypearbejdet, der særligt kommer til udtryk under manifestation af designidé. De pointerer her, at skitser er en tidlig og ofte grov (eller ufærdig) form for eksternalisering, hvor prototyper er mere forfinede og skabt med det formål at udforske bestemte aspekter af designet. Når der arbejdes med manifestation af designidé, indgår også tanker om materialevalg, detaljeringsgrad og omfang, disse er overvejelser, der rækker ud over, hvad skitser kan tilbyde. Da vores fokus var på elevernes arbejde med frembringelsen af prototyper, har vi i case-ne valgt også at inddrage det tidlige arbejde i designprocessen, som omfatter deres skitsearbejde. Vi anser skitserne for at være en essentiel del af prototypeprocessen og betragter dem som en tidlig form for manifestation af designideen, der indgår i prototypernes anatomi (Lim et al., 2008). I vores caseanalyser har vi derfor brugt betydelig tid på at analysere elevernes skitsearbejde på lige fod med resten af deres prototypearbejde, som en integreret del af prototypeprocessen.

Prototyping: at lære naturfag gennem sanserne

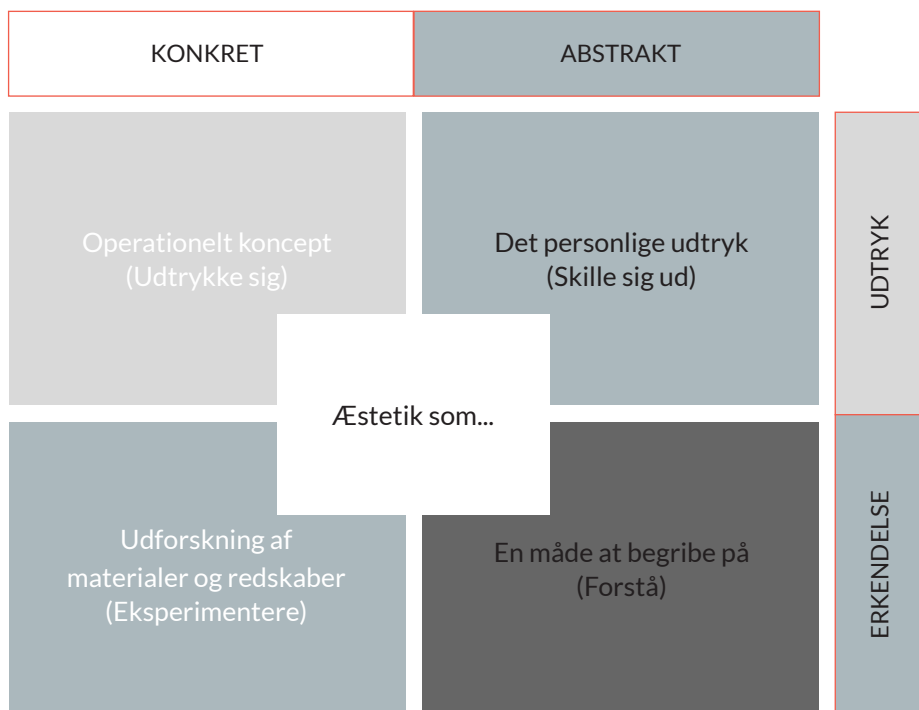
Når eleverne skaber skitser og prototyper, indgår de i en dialog med medier og materialer, hvorigennem de undersøger og udtrykker deres idéer. I denne dialog taler materialerne og situationen så at sige tilbage til eleven (Goldsmidt, 2003). Den dialogiske proces med materialer og situation er en æstetisk proces. Æstetik refererer det græske ord 'aisthētikos' betyder 'at sanse', 'at føle', og det er den tyske filosof Baumgarten, som i 1700-tallet artikulerer æstetikken som en videnskab omkring sanseerfaring (Guyer, 2016). I prototyping er der fire måder, hvorved eleverne lærer gennem æstetiske designprocesser, som hver især omfatter en undersøgelse (Ejsing-Duun og Tosca, 2017).

Vi kan se æstetik og dermed prototyping i naturfag som en måde eleverne undersøger:

- Faggenre/Operationelt koncept: Måder at udtrykke sig på om det naturfaglige
- Personligt udtryk: Gennem arbejdet med udtrykket, undersøger eleverne hvordan de kan opnå et udtryk, der skiller sig ud
- Materialer og redskaber: Konkret undersøger eleverne, hvad en ressource kan igennem eksperimenteren
- Naturfaglige fænomener: Ved at bygge søger eleverne mod at begribe givne fænomener

Figur 2.

Fire former for æstetiske undersøgelser, hvorved elever lærer gennem deres sanser på (Ejsing-Duun og Tosca, 2017, 102).



Det varierer, hvad der fylder hos eleverne. Eleverne, der har bygget flagermuseloftet, har tilsyneladende været mest investerede i at bygge en model, de synes, er flot (*det personlige udtryk*). Undervejs i processen kan de godt have været fokuserede på, hvordan man bygger en skalamodel, så det faktisk ligner og fungerer som en skalamodel (*det operationelle koncept*) eller hvordan limpistol, pap og evt. Micro:bits fungerer (*udforskning af materialer og redskaber*). Der er ingen tvivl om, at der har været en motivation for dem i at fordybe sig i udtrykket og det på bekostning af at bruge konstruktionsprocessen til få bedre greb om og forstå flagermus levebetingelser (*en måde at begribe på*).

Ved at være opmærksom på, hvad eleverne undersøger igennem deres prototyping, kan læreren i undervisningsforløbet netop understøtte, at den tjener elevernes læring.

Analoge og digitale ressourcer i prototyping

Der er ifølge Smith et al. (2016) både udfordringer og muligheder ved at integrere analoge og digitale ressourcer i designprocesser inden for uddannelsesområdet. Forfatterne fremhæver tre centrale udfordringer: 1) Manglende kompetencer hos læreren; 2) behov for større repertoire af arbejdsmetoder med digitale ressourcer; 3) lukkede tilgange til undervisning og teknologier.

Kompetenceudfordring hos læreren

Mange lærere står over for udfordringer i at støtte elever i overgangen fra anvendelse af analoge materialer i designprocessen til anvendelsen af digitale materialer (Smith et al., 2016). Her oplever lærerne i Smith et al.'s (2016) undersøgelse en manglende kompetence til at vejlede eleverne i at transformere deres idéer og materialer til relevante designkoncepter. Dette kan ifølge forfatterne resultere i, at eleverne enten fokuserer for meget på brugen af digitale eller analoge ressourcer, og får derfor ikke kombineret disse på en meningsfuld måde.

Behov for et større repertoire af arbejdsmetoder med ressourcer

En anden udfordring ses ved at lærere har et begrænset repertoire, når det handler om arbejdet med forskellige materialer (Smith et al., 2016). Forfatterne argumenterer for/viser, at hvis lærerne får øget deres repertoire på dette område, kan det forbedre deres evne til at strukturere og håndtere mere komplekse designprocesser. Forskerne argumenterer for, at hvis lærerne udviklede en større forståelse for

både de analoge og digitale materialer, og samtidig blev mere fortrolige med at anvende en diversitet af disse, vil de være bedre rustet til at vejlede eleverne gennem en designproces, hvor balancen mellem digitale og analoge materialer bliver meningsfuld for eleverne (Smith et al., 2016).

Digitale og analoge teknologier som fleksible elementer i designprocessen

Studiet påviser en tredje udfordring, som er, at lærere ofte har foruddefinerede læringsmål og lukkede teknologier, når de underviser i designprocesser (Smith et al., 2016). Hvis lærerens derimod betragter teknologier og designmaterialer som fleksible elementer, vil dette åbne forståelsen for materialernes forskellige egenskaber og muligheder i designprocessen. Dette tillader en mere fleksibel undervisningsmetode, hvor undervisningen tilpasses designprocessens forskellige faser og udnytter de unikke fordele ved både analoge og digitale teknologier (Smith et al., 2016). Denne tilgang understøtter ifølge forskerne en mere undersøgende læringsproces, hvor eleverne opfordres til at udforske og integrere med et bredere spektrum af analoge og digitale materialer i deres designprojekter.

Opsummering

Den skitserede problemstilling og det teoretiske afsnit danner grundlag for design af undervisningsforløbet (se præsentation i metodeafsnittet). Her opsummerer vi det teoretiske afsæt for forløbet: Vi forstår prototyping som en undersøgelsesproces, der dels undersøger noget, der ikke er; dels tillader eleverne at udtrykke deres idéer; men også som ting at tænke med. Prototyperne kan være bygget i og med analoge eller digitale ressourcer. Dette afhænger af formålet og hensigten med læringsforløbet, men også af ressourcernes tilgængelighed og lærerens kompetencer.

På baggrund af ovenstående forskelligartede definitioner og beskrivelser, ser vi den relevante prototype i naturfag defineret som en konkretisering af en designidé, der har et bestemt formål. Denne konkretisering støtter eleverne i at undersøge og forstå det pågældende naturfaglige problemfelt, idet den fremhæver elementer i designet, der er særligt vigtige. I denne proces er valget af modalitet (analog/digital) til at understøtte manifestationen centralt i forhold til at undersøge og udtrykke det, der er i fokus.

Metode

Artiklen beskæftiger sig med, hvordan prototyping igennem digitale og analoge materialer forstået som undersøgelsesform og en måde at udtrykke sig på, kan bruges meningsfuldt i naturfagsundervisningen i grundskolen. Artiklens skrives på baggrund af et undervisningsforløb, der følger den didaktiske ramme fra EiS, med det formål at kvalificere grundskoleelevers arbejde med prototyper i naturfag, med fokus på at skærpe deres forståelse af og arbejde med prototyper. Forståelsen af prototyper tager det teoretiske afsæt beskrevet ovenfor.

Metodisk tager vi afsæt i informationsorienteret udvalgte cases, hvor cases udvælges på baggrund af forventninger til deres informationsindhold (Flyvbjerg, 2010). Vi har således udvalgt cases, der kan bidrage mest til at belyse vores forskningsspørgsmål. Dahler-Larsen (2010) nævner som en væsentlig del af definitionen på kvalitativ forskning, "at de væsentligste kategorier ikke er fastlagt af forskeren på forhånd" (s. 18). Vi har ikke bestemt os for, hvad vi ville kigge efter, men har udvalgt cases med indhold, vi vurderer som interessante i forbindelse med udvikling og forståelse af egen praksis. Vores udvælgelse bliver i den forstand pragmatisk, da vi følger det, der er interessant for os i forbindelse med vores undersøgelse. Vores kriterier har været at se på cases, hvor: A) Prototypen bruges til at undersøge med;

B) Eleverne bevæger sig mellem forskellige undersøgelsesfoki i arbejdsprocessen; C) digitale og analoge materialer og redskaber træder frem eller fravælges tydeligt.

Artiklens empiriske datagrundlag baserer sig på observationer, samt 84 elevlogbøger. Data er indsamlet på tre skoler, fordelt på fire forskellige udskolingsklasser, to 7.-klasser og to 8.-klasser. De fire af forfatterne (lærerne) fungerede som observatører af de klasser, hvori de også varetog undervisningen. Vores observationer kan bedst beskrives som semistrukturerede, hvor vores observationsrolle placerer sig et sted mellem aktiv og komplet deltager (Savin-Baden & Major, 2013). Vi er opmærksom på egen bias i forbindelse med deltagerobservation, da vi både var i klasseværelset som lærer og observatør.

Vi havde besluttet os for at tage noter undervejs, eller efter endt undervisningsgang, enten skrevne eller talte, hvor vores fokus var på elevernes ræsonnementer. Når der i analysen henvises til overordnede observationer af forløbet, er det således både baseret på vores noter, hukommelse og løbende refleksioner over forløbet. Elevlogbøgerne var individuelle logbøger lavet i Google Slides. Vi havde adgang til alle elevernes logbøger under hele forløbet.

Vi har udvalgt tre cases; to af dem baserer sig primært på grupper-

nes logbøger, og en baseres primært på lærerens observationer af en elevs proces. Alle tre tilfælde behandles og analyseres som et casestudie, med udgangspunkt i at skabe forståelse for og udvikle praksis.

Intervention: Beskrivelse af undervisningsforløbet

Igennem undervisningsforløbet ønsker vi at undersøge ,hvordan prototyping igennem digitale og analoge ressourcer kan hjælpe eleverne med at udtrykke og få større forståelse af naturfaglige fænomener. Undervisningsforløbet bygger på et ønske om at skabe mere plads til undersøgelser og kreativ problemløsning igennem prototyping. Undervisningsdesignet har altså til formål at styrke elevernes kompetencer i at arbejde med prototyper i naturfag, herunder at understøtte elevernes undersøgelses- og modelleringskompetencer i forbindelse med elevernes prototyping.

Som vi tidligere nævnt, valgte vi, at det didaktiske afsæt for undervisningsforløbet skulle være engineering og den endelige udfordring for eleverne kom til at lyde således:

I skal designe en prototype af en bro, som kan åbne/lukke vha. hydraulik. Broen skal være automatiseret, således at der ikke opstår unødigt ventetid for skibsfarten, som til enhver tid har forsteret til brug af sejltrenden. Desuden skal broen konstrueres, så der tages højde for både sikkerhed og æstetisk udtryk.

I udfordringen indlagde vi små benspænd for eleverne, som gjorde, at de ikke bare kunne bygge en hvilken som helst bro, men derimod en bro, hvor der skulle tages højde for automatisering i forhold til, hvordan broen skal aktiveres og sikkerhed således, at der ikke opstår uheldige situationer for hverken fodgængere eller både.

Tabel 1. er en beskrivelse af det tilrettelagte undervisningsforløb og giver et overblik over hvilke aktiviteter og formål, vi knyttede til EiS' faser for arbejde med engineering. Vi har for overskuelighedens skyld beskrevet faserne som adskilte, men i praksis har eleverne bevæget sig mellem dem, og har i hver fase arbejdet med afprøvninger - af deres forståelse, af funktioner, af deres idéer mv. Disse processer har været forskellige fra gruppe til gruppe og er repræsenteret igennem præsentation af deres forløb.

Tabel 1.

Oversigt over forløbets indhold og formål i relation til engineering-faserne.

Faser	Beskrivelser	Formål
Forstå udfordringen	Eleverne oplever et havneområde, de kender, som mangler en bro. Eleverne besvarer en række spørgsmål med udgangspunkt i den konkrete oplevelse, der omhandler deres individuelle forståelse af udfordringen.	Intentionen med spørgsmålene var at igangsætte refleksioner omkring funktionen af broen, som havde det formål, at de hele tiden skulle overveje ordlyden af udfordringen, og argumentere for deres valg/fravalg.
Undersøge	To obligatoriske undersøgelser (analyse af prototyper og undersøgelse af bevægelse med hydraulik, jf. figur 3) som stilladserende elementer.	Vi ville gerne være sikre på, at eleverne undervejs undersøgte både prototyper og teori vedrørende hydraulik.
Få idéer	Herefter skulle eleverne lave en skitse af den bro, som de selv forestillede sig at lave, uden at have undersøgt hvordan og hvorledes man eventuelt kan lave sådan en.	Dette skulle give eleverne mulighed for at konkretisere deres egne tankemodeller, så disse kunne formidles til resten af gruppen.
Forberede	Herefter fik de adgang til en side med små animationer af forskellige brotyper, som de blev bedt om at analysere. Dette skulle ende ud i gruppens fælles skitse, som eleverne uploadede i logbogen.	Vi ville gerne inspirere eleverne til at bygge andre brotyper end dem vi på forhånd antog, ville være de gængse. Og samtidig give dem mulighed for at udvide deres perspektiv på måder at designe prototyper på.
Konkretisere	Eleverne begyndte herefter at bygge deres prototype-broer.	Her kunne eleverne undersøge og afprøve forskellige materialer i forbindelse med deres prototypekonstruktion.
Præsentere	Afslutningsvis skulle eleverne præsentere deres løsninger i form af små video-præsentationer.	Eleverne skulle her fremvise deres prototype med udgangspunkt i selve deres designproces, med fokus på til- og fravalg.

Figur 3.

De to obligatoriske undersøgelser (analyse af prototyper og undersøgelse af bevægelse med hydraulik), fra elevlogbøgerne.



Det udleverede materiale var pap, lim, sprøjter (hydrauliske stempler) og tape, men eleverne måtte gerne anvende andet, hvis de havde behov for dette. Af digitale teknologier, havde to af skolerne adgang til Micro:bit, hvor undervisningen på den ene af de skoler foregik i et makerspace, hvori mange forskellige analoge og digitale ressourcer var tilgængelige.

Eleverne skulle forholde sig til deres arbejdsgang gennem den tildelte elevlogbog, til dette fik de undervisningens sidste par minutter. Afslutningsvis skulle eleverne præsentere deres løsninger i form af små video-præsentationer.

Analyse: Casestudie

Casestudiet vil særligt fokusere på, hvordan elever vælger og arbejder med digitale og analoge ressourcer i deres undersøgelser igennem og udvikling af en prototype af en bro. Casestudiet er struktureret således, at der først analyseres på gruppernes æstetiske intention med prototypen, derefter fokuseres der på prototypens modaliteter og afslutningsvis fokuseres på de analoge og digitale ressourcer i undervisningsrummet – herunder hvordan disse ses i relation til elevernes kompetencer, og arbejdsmetoder.

CASE 1: Den teknologiske prototype med et personligt udtryk

Denne case udfolder sig i en 8. klasse, hvor eleverne har adgang til et makerspace. Elevernes lærer har erfaringer med at bruge diverse digitale teknologier til undervisning, og har kompetencerne til at støtte eleverne i brugen af dem. Det er med andre ord en lærer, der har et repertoire og en forståelse for, hvordan digitale og analoge teknologier kan anvendes i designprocessen (Smith et al., 2016).

Intention med prototyping i forhold til de fire former for æstetik

Eleven i denne case valgte en tilgang, der i høj grad baserede sig på digital teknologi, idet han designede sin bro, så alle delene kunne skæres ud af træ med lasercutter og derefter samles fysisk. Denne beslutning var drevet af elevens intention om at skabe et særligt udtryk. Han havde ikke meget erfaring med lasercutteren, men fik fortalt, at han kunne tegne sine brodele i GeoGebra for sidenhen at få det skåret ud. Elevens hensigt med at anvende den digitale teknologi udsprang af ønsket om, at broen skulle se godt ud, og ikke have flossede og skæve kanter (undersøge sit personlige udtryk jf. Ejsing-Duun og Tosca, 2017). Da eleven har erfaring med GeoGebra, men ikke med lasercutter er en del af hans proces også en *udforskning af materialer og redskaber* (Ejsing-Duun og Tosca, 2017), hvorved han approprierer nye måder at manifestere broen på.

Prototypens modalitet

Eleven har gjort et bevidst valg i forhold til filtrering og manifestation af design idéer (Lim et al., 2008). Hans valg fokuserer på at undersøge prototypens æstetiske *udtryk*, hvilket indebærer, at funktionaliteten måske ikke blev prioriteret lige så højt fra starten. Dette er en vigtig del af filtreringsprocessen, hvor eleven målrettet vælger at undersøge teknologiens og materialets udtryksmæssige kvaliteter, frem for eksempelvis broens åbne- og lukkemekanisme.

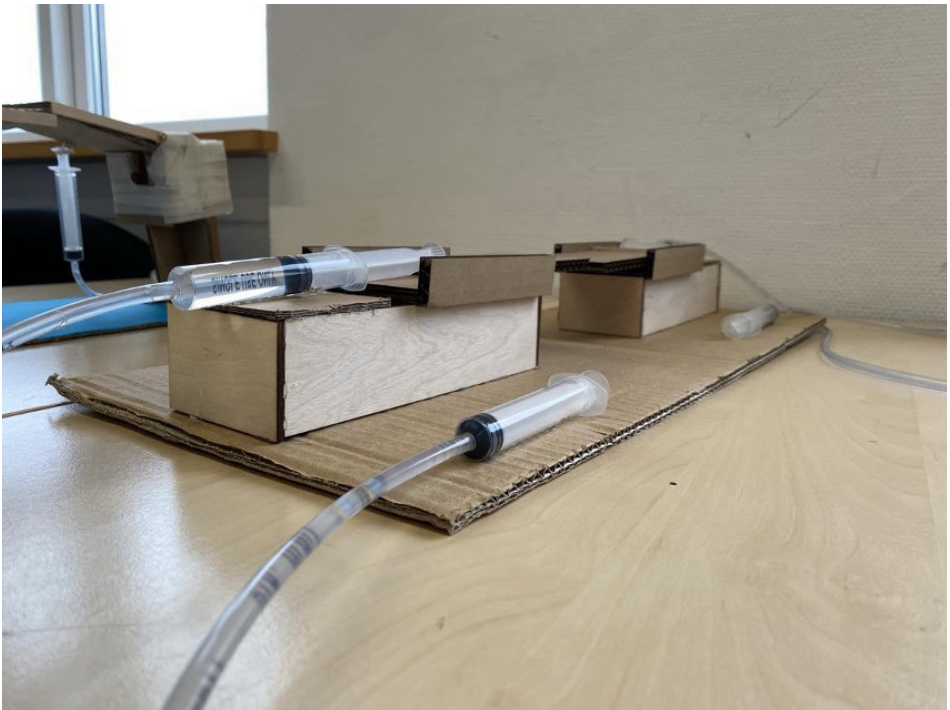
Grundet elevens valg af fokus, kom hans erfaring med (fysisk) hands-on arbejde og den praksisfaglige læring sent i prototypeprocessen. Først, da han begyndte at samle broen, stiftede han bekendtskab med de fysiske aspekter af konstruktionen, da broen gik fra en manifestation i GeoGebra til en konkret manifestation i de analoge ressourcer. Denne del af processen var mindre fremtrædende i hans tilgang, fordi hans designmetode med udgangspunkt i de digitale ressourcer ikke krævede fysisk hands-on undersøgelse i de tidlige faser.

Analoge og digitale ressourcer i undervisningsrummet

Elevens evne til at anvende forskellige materialer (analoge og digitale) samt at integrere dem i sin prototype, er et eksempel på, hvordan modelleringskompetencen kan udvikles gennem praksis. I faghæfterne

opfordres der til, at eleverne udvikler fortrolighed med mange forskellige modeltyper og at gennemføre undersøgelser med fokus på *forskellige* modeller, for at kunne konstruerer og reviderer disse (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019). Elevens designproces viser, hvordan han har kunnet anvende sin forståelse for digitale og analoge modelleringsværktøjer til at skabe en prototype med et særligt udtryk. Dette indikerer udvikling af en modelleringskompetence i overensstemmelse med faghæfternes mål.

Figur 4.
Prototype af elevens bro.



En del af hans æstetiske undersøgelse har været styret af materialer og teknikker i prototypeprocessen. Hans tilgang til at udforske prototypens design og muligheder var derfor hovedsageligt gennem digitale ressourcer frem for arbejde med analoge materialer, som mange af hans klassekammerater foretrak.

Elevens valg af digital teknologi var formentligt ikke kun påvirket af ønsket om et specifikt udtryk. Det afspejlede også hans kompetencer og interesse for teknologien. At bruge GeoGebra til at tegne i, var nemlig ikke nyt for eleven, så det var et oplagt valg, da dette lå inde for hans kompetencer og samtidig muliggjorde lasercutterne det udtryk, som eleven ønskede samtidig med, at han fik nye kompetencer ved at bruge den.

Dette valg viste, at eleven havde en idé og forventning om, hvordan en konkret digital teknologi kan anvendes til at opnå specifikke designmål, samtidig med at det åbnede op for æstetiske muligheder, som eleven ikke oplevede ved de analoge designprocesser. Eleven brugte den digitale teknologi undersøgende for at finde ud af hvad teknologien kunne og for at realisere et konkret udtryk.

Elevens praktiske erfaring overvejende positiv, da han skulle samle broen. Her beskrives han af læreren som helt 'høj' over, hvor godt de forskellige elementer af broen passede sammen. Vi ser her, hvordan eleven bevæger sig i flere aspekter af den naturfaglige undersøgelseskompetence gennem virtuelle, interaktive og praktiske hands-on undersøgelser (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019). Det er også værd at bemærke, at elevens arbejdstegning/skitse (lavet i GeoGebra), var meget præcis, hvor de andre elever, kunne siges at sjusse sig mere frem til størrelsesforholdene på de forskellige broelementer (se skitser i de næste to cases). I dette tilfælde med lasercutteren, kræver skitsearbejdet en helt anden nøjagtighed end et skitsearbejde i en ren analog tilgang. Hvor skitse i den analoge tilgang, ofte har været at komme fra tankemodell til konkret idé/model, som kan bygges videre på (Auner et al., 2022), blev skitsearbejdet i denne case, helt centralt for hvor godt resten af designprocessen lykkedes.

Dette aspekt af casestudiet retter fokus mod balancen mellem valg af digitale og analoge ressourcer i designprocessen. Ved at integrere digitale ressourcer i designprocessen åbnes der op for nye æstetiske muligheder, som eleven ellers ikke ville have oplevet med traditionelle, analoge processer. Eleven bliver optaget af at skabe sit eget personlige udtryk, men også at appropriere en for ham ny teknologi igennem æstetiske undersøgelser af analoge og digitale ressourcer. Gennem undersøgelse af digitale muligheder, udforsker eleven de specifikke designmål, han har sat sig. Læreren tilgang til digitale og analoge materialer som fleksible elementer har muligvis haft en understøttende effekt på elevens undersøgende læringsproces (Smith et al., 2016).

Her bliver prototyping ikke blot et middel til realisering af et fysisk produkt, men også som en metode til dybere forståelse af materialets og teknologiens potentiale.

CASE 2: Modelleringskompetencen som hands-on-aktivitet

Gruppen består af tre piger fra 8. klasse, og er udvalgt da gruppen havde en forholdsvis udfyldt logbog og derfor giver et godt indblik i deres arbejdsproces. Eleverne havde adgang til et makerspace og havde erfaring med programmering.

Intention med prototyping i forhold til de fire former for æstetik

Gruppen har i deres designproces gennem hele skitsearbejdet haft fokus på det operationelle udtryk (Ejsing-Duun & Tosca, 2017) altså at bygge en bro, der fungerer som en bro. Initialt vil de konstruere en bro, der åbner udad, men da de bliver introduceret for en øvelse, hvor de via engangssprøjter eksperimenterer med tre forskellige åbnemekanismer (jf. figur 3.), ændres det æstetiske udtryk gennem udforskning af materialer og redskaber (Ejsing-Duun & Tosca, 2017). I gruppens logbøger og videopræsentation begrundes de skift af brotype. Elev 2 skriver: "Vores oprindelige [bro] skulle åbne udefra og efter vi lavede en øvelse med forskellige eksempler på hvordan man kunne gøre, så valgte vi mulighed nr. 1, hvor broen åbner frem og tilbage". Elev 2 har lagt et billede af denne løsning ind i logbogen (figur 5). I videopræsentationen siger de yderligere, at den første løsning ville være "besværlig" og at de igennem øvelserne fandt en løsning der var "smartest."

Figur 5.

Billede af løsning 1 fra hydraulikundersøgelsen, fra elev 2's logbog.



Prototypens modaliteter

Tidligt i deres proces beskriver eleverne en digital løsning i forhold til automatiseringen og sikkerheden på broen: “Man kunne lave en sensor eller Micro:bit der sidder på broen, så hvis der ikke er nogle både, så er [broen] nede, men hvis der er en båd fra på omkring 100 meter, så åbner broen og sætter nogle bomme ned så man ikke går over” (Elev 2). I videopræsentationen af den færdige prototype, har eleverne fastholdt og aktualiseret deres Micro:bit, omend funktionen er forsimplet i forhold til deres første beskrivelse. Eleverne har programmeret en Micro:bit til, ved tryk, at signalere et rødt x, efter noget tid viser den et grønt, der indikerer, at broen nu er sikker at færdes på igen

Om end forsimplet kan dette tolkes som en succesfuld undersøgelse-

se af digitale ressourcers potentiale i designprocessen. Om begrænsningen skyldes manglende kompetencer, tid eller vejledning vides ikke. Eleverne havde ikke motorer til Micro:bit til stede i klasseværelset, men havde fået at vide, at de ville blive indkøbt, hvis der var behov. De kunne således ikke undersøge automatisering æstetisk (gennem hænderne) på stedet. Eleverne i casen endte med at simplificere brugen af Micro:bit, hvilket kan skyldes en undervisningspraksis, hvor digitale teknologier ikke nødvendigvis ses som fleksible elementer, der kan undersøges og tilpasses efter behov i designprocessen. Dette understøtter Smith et al.'s (2016) pointer om vigtigheden af at betragte både analoge og digitale materialer som fleksible elementer i designprocessen, hvilket tillader eleverne at undersøge forskellige designmuligheder mere frit og kreativt.

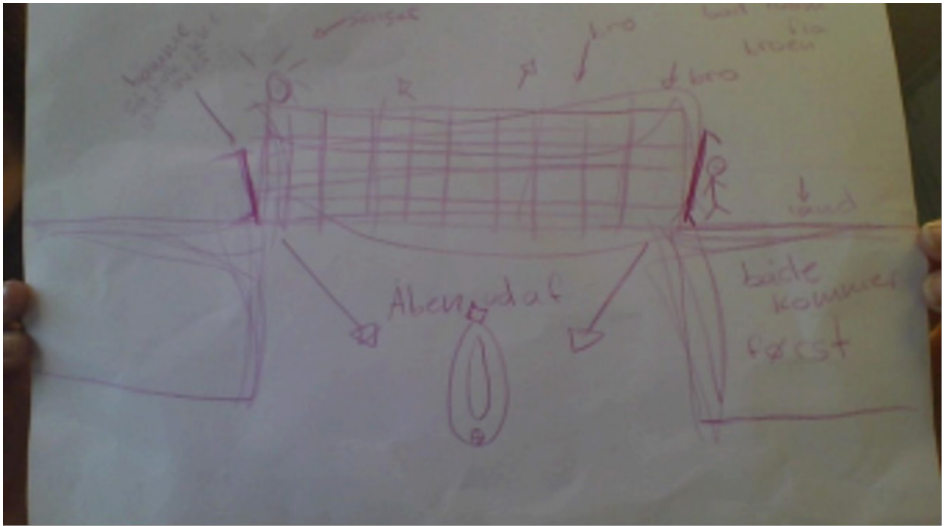
Den endelige løsning, hvor eleverne bruger Micro:bit til signalgivning, viser en filtrering, der stadig formår at integrere en form for digital ressource i deres prototype på en meningsfuld måde, selvom det ikke var som oprindeligt beskrevet. Dette vidner om, at elevernes valg af filtrering og manifestation er afgørende faktorer i deres beslutning om at anvende digitale og/eller analoge ressourcer til deres prototypearbejde.

Gennem gruppens designproces ser vi mange ændringer i deres manifestationer af designidé, men med forskellig effekt. Den indlagte prototyping-øvelse, med fokus på filtrering (Lim et al., 2008) af et enkelt element, hvor eleverne undersøger hvad et materiale eller redskab kan (Ejsing-Duun og Tosca, 2017), skabte mere refleksion over deres designvalg, end deres skitser gjorde.

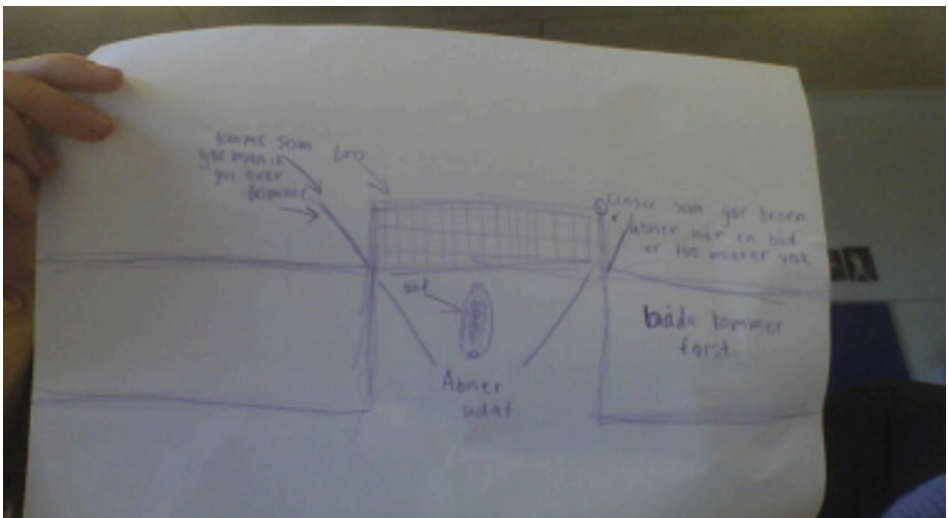
Analoge og digitale ressourcer i undervisningsrummet

Elev 2 og 3 har fra start, og i de individuelle refleksionsopgaver arbejdet tæt sammen. Eleverne har troligt fulgt hvert trin i undervisningsforløbet og hver især lavet en håndtegnet skitse, men de individuelle dele af processen har ikke åbnet for den divergens, der var intenderet. De har hver især udfyldt deres logbøger, men ordlyden er stort set identisk. Ligeledes er deres skitser identiske, ned til de mindste detaljer (figur 6 og 7).

Figur 6.
Broskitse 1, elev 3.



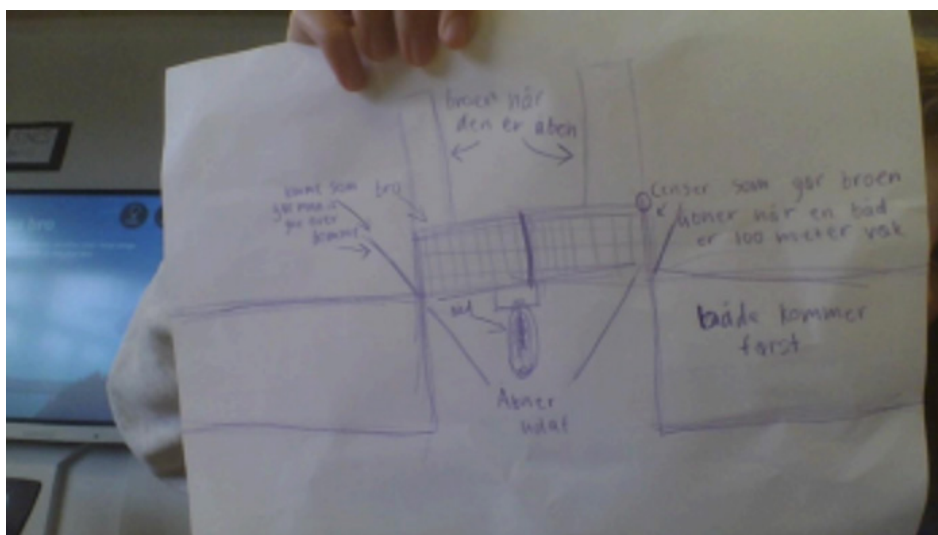
Figur 7.
Broskitse 1, elev 2.



Ved anden skitse (figur 8) har de droppet elev 3's skitse og tegnet videre på elev 2's skitse, som derved er blevet deres fællesskitse og udgangspunkt for designprocessen.

Figur 8.

Både elev 2 og 3 uploader denne skitse som skitse 2.



Når vi ser nærmere på deres arbejde med skitser og beskrivelser, kan vi blive usikre på, hvordan de egentlig skal forstås. Det er svært at afgøre, om der ses lodret ned på broen eller, om der ses vandret ind på broen. Selve broens forløb, samt manden på skitsen, taler for at den ses fra siden, mens båden og broen i åben tilstand taler for en synsvinkel oppefra. Det er ligeledes uklart, hvordan broen tænkes at åbne, da der på tegningen og i logbogen beskrives, at broen åbner "ud af" og "til siden", mens begge elever beskriver deres ændring fra skitse et til to, så broen nu "åbner op af og ikke ned af", hvilket vil være i overensstemmelse med et vandret perspektiv.

Denne situation kalder på tre ting:

1. Gruppens måde at arbejde med skitserne på, hvor den ene i realiteten skaber en kopi af den andens skitse, frarøver dem muligheden for at undersøge forskellige forståelser af deres idé til løsninger (måder at begribe på) samt at skabe et personligt udtryk tidligt i designprocessen (Ejsing-Duun & Tosca, 2017). Havde de talt om broens design og funktionalitet og alligevel have lavet hver sin tegning, ville de have haft muligheden at få feedback på deres individuelle idéer og forståelse af problemstillingen (Rusmann & Ejsing-Duun, 2022) og derved opdage, at der er mere end én måde at tegne broen på. Dette ville muligvis have fået dem til at indse, at der er noget galt med skitserne. I FFM er en væsentlig del af undersøgelseskompetencen, at elever lærer at arbejde med deres egne iagttagelser og undersøgelser med det formål at udvikle nysgerrighed og interesse for naturfagene (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019). Der er risiko for, at den ene elev har givet afkald på det, der kunne gøre designprocessen meningsfuld for hende.
2. Eleverne mangler tilsyneladende kompetencer i at tegne perspektiver. Her bliver elevernes finmotoriske og matematiske kompetencer således sat på prøve. Det er samtidig vigtigt at understrege, at der også er tale om den naturfaglige modelleringskompetence, da det handler om oversættelsen fra virkelighed til model og kommunikationskompetencen, hvor eleverne skal kunne formidle naturfaglige forhold præcist og klart, både skriftligt og gennem visuelle repræsentationer (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019). Det tyder på, at eleverne har haft en udfordring med at anvende deres skitser til at formidle en klar og entydig repræsentation af deres designidé.
3. Eleverne bliver tilsyneladende snydt af deres egen tegning, når de skal beskrive ændringen fra skitse et til to. Der er således et sammenstød mellem den designidé, de ønsker at skitsere, og det de efterfølgende opfatter, når de ser på deres egen tegning. Clark skriver: "...the iterated process of externalizing and re-perceiving is integral to the process of artistic cognition itself" (refereret i Lim, Stolterman & Tenenbergs, 2008, s. 7-9). Når man tegner det, man forestiller sig, bliver man konfronteret med det på en anden måde, end når det blot befinder sig inde i hovedet. Man bliver tvunget til at forstå sin egen skitse og får derigennem en bedre forståelse af, hvad man egentlig forestiller sig. Her ser vi altså en begrænsning i elevernes kompetencer, der opstår i mødet med de analoge ressourcer.

Når eleverne anvender deres undersøgelseskompetence, opnår de en dybere forståelse end det, deres modelleringskompetencer alene kunne give dem. Dette gjorde det muligt for eleverne at kommunikere

klart og tydeligt om deres ønskede prototypedesign. Dette understreger vigtigheden af, at eleverne får mulighed for at bringe forskellige kompetencer i spil under arbejdet med prototyper, for at fremme deres læring og forståelse.

CASE 3: Fra skitse til konstruktion

Gruppen består af fire piger fra 7. klasse, de er udvalgt, da de har en proces, der bærer præg af, at de har en plan og en skitse, som de holder sig til. Eleverne havde adgang til Micro:bit, men havde ingen eller begrænset erfaring med brugen af dem. Deres lærer havde ligeledes ikke erfaring med Micro:bit. Det har ikke været muligt at bruge billedmateriale fra elev 3's logbog.

Intention med prototyping i forhold til de fire former for æstetik

Gruppen havde en intention om at skabe en prototype med vægt på både det operationelle og det personlige udtryk (Ejsing-Duun & Tosca, 2017). De var optaget af at udvikle en prototype, der nøjagtigt afspejlede deres tanker, ideer og skitser, så disse kunne fungere som et aktivt værktøj til at nå målet.

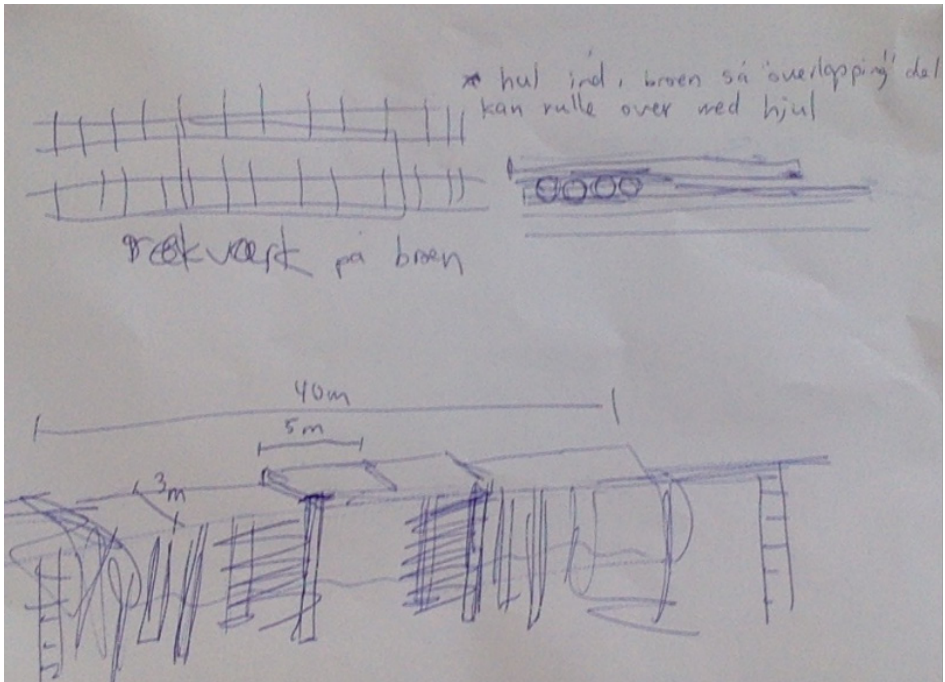
Gruppen havde ligeledes en intention om at inkorporere digitale materialer i forbindelse med broens sikkerhed.

I forbindelse med sikkerhedsforanstaltningerne beskriver eleverne i deres logbog: "Et hegn så man ikke falder i vandet. En bum der går ned når et skib kommer. En højtaler/sirene, der giver besked om, at broen bevæger sig" (Elev 4). Under videopræsentationen fremhæver gruppen yderligere en sensor placeret på broens underside, der har til formål at registrere når høje skibe skal forbi, og broen derfor har behov for at åbne. Hvad angår bevægelsessensor på elevernes prototype, beskriver eleverne i deres videopræsentation, at de havde tænkt at bruge Micro:bit til formålet, men at de opgav, da det blev for svært for dem og de følte ikke, at de havde tid til at sætte sig ordentligt ind i det.

Prototypens modaliteter

Elevernes designproces synes at være et eksempel på at undersøge dele af broen igennem prototyping. I forhold til sikkerhed er tilføjjelsen af rækværk, der tegnes adskilt fra den øvrige bro på elev 1's skitse 2 (figur 9), et eksempel på dette. Hvis intentionen med at tegne rækværket var et æstetisk udtryk, ville det give bedre mening at tegne det direkte på broen. Det tyder altså på at være en undersøgelse af en sikkerhedsforanstaltning. Man kan derfor med udgangspunkt i Lim et al. (2008) argumentere for, at eleven i deres manifestation af designidéen har begrænset omfanget til enten at handle om rækværket, eller selve broen.

Figur 9.
Elev 1's broskitse 2.



Eleverne deler skitsen op i to dele, for at kunne fokusere på det væsentlige på hver af delene, hver for sig, og undgår dermed, at den nederste skitse på figur 9 bliver for gnidret at se på.

Eleverne har arbejdet med forskellige filtre (Lim et al., 2008) i deres skitser. Elev 1 og 4 har lavet skitser med fokus på broens funktion (figur 11 og 13.), hvor elev 2's skitse 1 (figur 12.) har mere fokus på broens udseende. Dette understøttes af eleven selv, da hun til spørgsmålet "Skriv hvad du har ændret fra skitse 1 til 2, og hvorfor?" svarer: "Jeg har fokuseret mere på mekanismen end på layout. Så jeg har fjernet rækværket" (Elev 2). Dette kan muligvis skyldes den hjemmeside² med inspiration til brodesign, der blev præsenteret for eleverne.

² <https://www.core77.com/posts/53351/12-Different-Designs-for-Movable-Bridges-Animated-For-Your-Pleasure?ref=bklyner.com>

Denne hjemmeside prioriterer funktion over udseende, hvilket kan have påvirket elevernes valg. En yderligere ændring er, at elev 2 har tilføjet pile på broen (figur 10), der giver os en bedre forståelse af broens åbningsmekanisme. Denne filtrering viser en elev med modelleringskompetence, der forholder sig kritisk til egne modeller og reviderer disse på baggrund af undersøgelser (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019)

Figur 10.
Elev 2's broskitse 2.

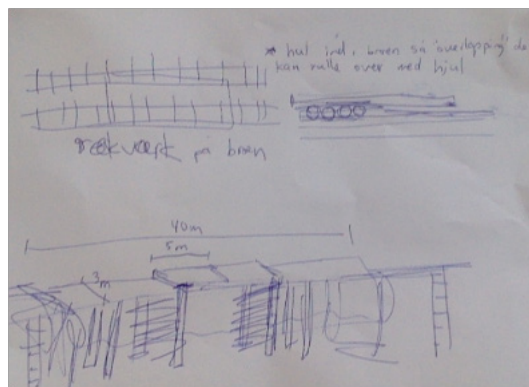
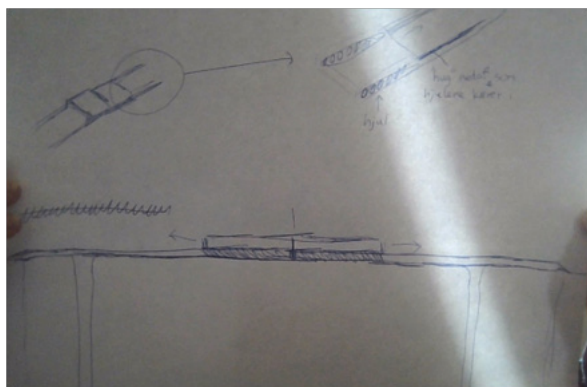


Gruppens filtrering i prototypearbejdet kommer ligeledes til udtryk i den måde de arbejder med de konstruktionsproblemer, som de mødte undervejs, og som de brugte meget tid på at præcisere. Det gruppen arbejder med her, er en filtrering af det interaktive, hvor de ikke er tilfreds med broens output i forhold til deres input (Lim et al., 2008). En anden måde at anskue det på kunne være, at eleverne var optaget af æstetik som operationelt koncept (Ejsing-Duun & Tosca, 2017). Eleverne har et bevidst fokus på deres designs betydning. De oplever det som værdifuldt at tilføje ekstra detaljer, som forbedrer den visuelle oplevelse af deres prototype: Det er ikke en bro, hvis det ikke ligner og fungerer som en bro.

Analoge og digitale ressourcer i undervisningsrummet

Elevernes skitseprocesser er interessante at kigge på, da denne var en af de eneste grupper, der endte ud med to skitser (figur 11, 12, 13) fra hvert gruppemedlem, inden deres fælles skitse blev valgt. Vi ser elever, der vellykket bringer flere af de naturfaglige kompetencer i spil, da de både mestrer at oversætte fra virkelighed til model og samtidig formidle naturfaglige forhold præcist gennem visuel repræsentation. (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019). Dog viser skitserne den samme brotype (kyssebro), hvilket kunne tyde på, at gruppen havde talt om en type bro på forhånd, men hver især stadig sad med deres egne personlige udtryk (Ejsing-Duun & Tosca, 2017), da de skulle nedfælde denne på papir.

Figur 11.
Elev 1's broskitse 1 og 2.

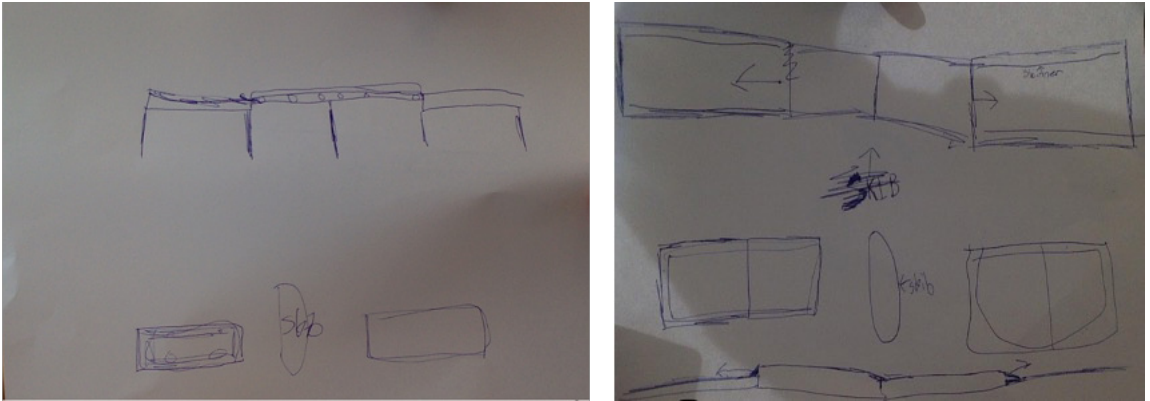


Figur 12.
Elev 2's broskitse 1 og 2.



Figur 13.

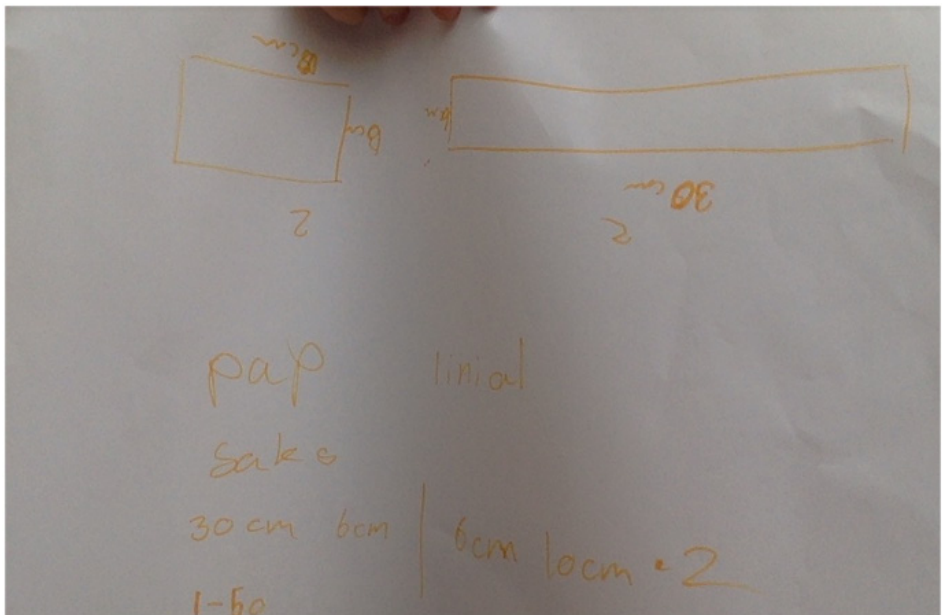
Elev 4's broskitse 1 og 2.



Gruppens arbejde med at oversætte fra tegning til model er særligt interessant at følge. I hele translationsprocessen ser vi såvel faglige undersøgelser som arbejde med undersøgelser af modaliteter.

I elevernes arbejde med modellen har de tænkt målestoksforhold ift. deres skitse 2. De har lavet en form for afledt model (Auner et al., 2022), der skal hjælpe dem med at forstå målestoksforholdet (figur 14), for den faste del af broen og den bevægelige del. De udvikler altså ting at tænke med og fastholder dem igennem en materialisering.

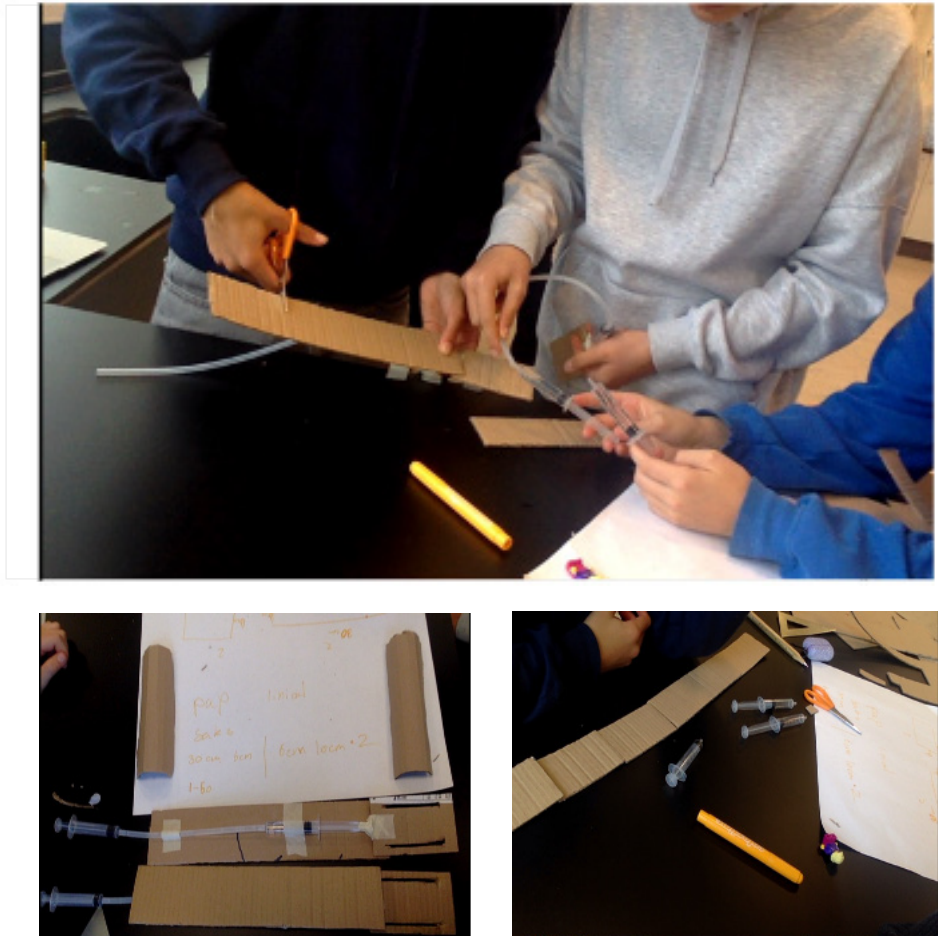
Figur 14.
Skitse med målestoksforhold.



Eleverne har været gode til at dokumentere deres arbejde, der har været præget af hands-on arbejde med analoge materialer.

Figur 15.

Billedokumentation fra elev 4's logbog (undervisningsgang 1).



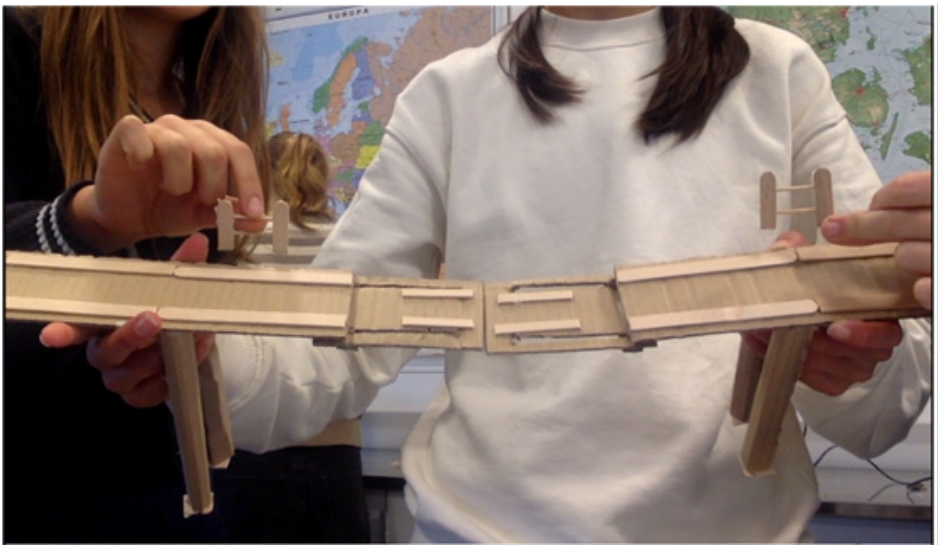
Efter hver konstruktionsgang beder vi eleverne om at beskrive hvad, der har været frustrerende eller problematisk. Det, gruppen fandt frustrerende, var deres konstruktionsproblemer, hvilket har at gøre med de analoge materialer. Gruppen beskriver problemer med at få deres konstruktion til at virke, som de havde tænkt det. Det fylder meget for dem, og det tager deres tid. 7 gange nævnes konstruktionsproblemer i deres logbøger. Et af de konstruktionsproblemer, der fyldte mest, er beskrevet af alle tilstedeværende gruppemedlemmer og tog gruppens

fokus henover over to konstruktionsgange. Elev 1 beskriver sin frustration sådan: “Delen [den bevægelige brodel] der rykker sig bliver ved med at gå op ad” (gang 1) og “Vi skulle fikse at den bevægelige del af broen der rykker sig op når [den] er helt ude, vi har gjort det bedre men den gør det stadig en gang i mellem” (Gang 2).

Konkret drejede det sig om de to bevægelige dele af broen, der ikke mødte hinanden lige på, da den ene side havde tendens til at løfte sig en anelse (figur 16).

Figur 16.

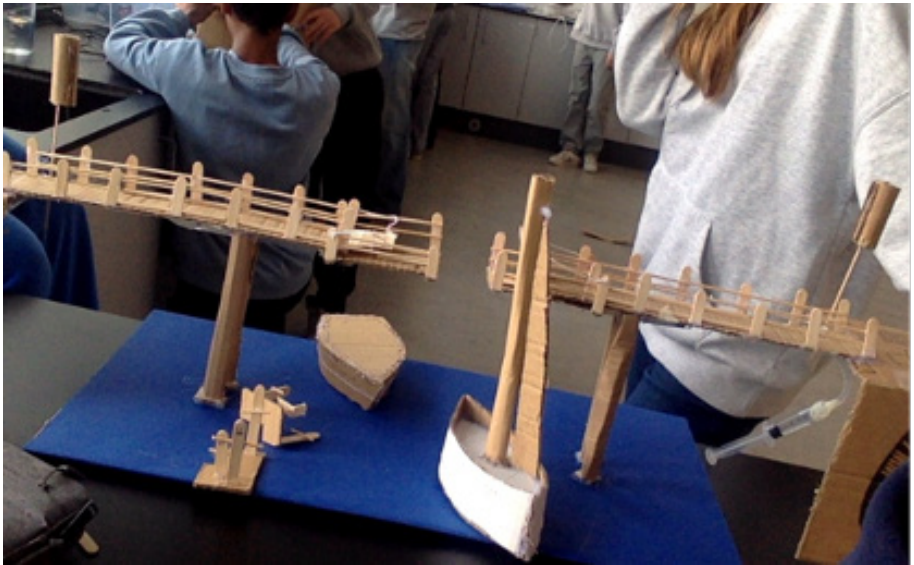
Billedokumentation fra elev 1's logbog efter konstruktionsproblemet var løst (undervisningsgang 3)



I forbindelse med ideen om inkorporering af Micro:bit ser vi, hvordan lærerens kompetenceudfordringer (Smith et al., 2016) påvirker og begrænser elevernes valg af inddragelse af digitale ressourcer i designprocessen. Hvis læreren havde haft et bredere repertoire og fra start af fremhævet både analoge og digitale ressourcer som fleksible elementer i elevernes designproces, kunne gruppen muligvis have haft både tid og muligheder for at udvikle de nødvendige kompetencer til at realisere deres designidé. Det personlige udtryk var vigtigt for gruppen, og da de gennem udforskning af de analoge ressourcer og redskaber kunne designe en bro med de ønskede udtryk og funktioner, blev dette prioriteret. Grundet manglende kompetencer, hos lærer og elev, inde for digitale ressourcer, samt en tilfredshed ved de analoge materialers muligheder, forblev inkorporering af digitale ressourcer på tegnebrættet.

Når vi sammenligner gruppens fælles skitse med deres færdige produkt (figur 18), ses den største forskel i de sikkerhedsforanstaltninger, som gruppen har indtænkt. Disse var tanker, gruppen ikke havde beskrevet eller argumenteret for i skitserne, men som blev muliggjort og konkrete for gruppen gennem analoge undersøgelser af og med materialet og hands-on-aktiviteter. Det, at konkretisere broen fysisk, har således haft betydning for elevernes erkendelse, idet de derigennem har kunnet se broen i hele dens perspektiv og få inkluderet udfordringens kriterier.

Figur 17.
Gruppens færdige prototype.



Diskussion

Da vi første stødte på *Flagermuseloftet* var vores umiddelbare vurdering, at elevernes fokus på at skabe et flot interiør var problematisk, fordi de fortabte sig i dens udtryk frem for at bruge den til at undersøge og modellere et naturfagligt fænomen. Vi var derfor også tøvende i forhold til at medtage 'æstetik' som et kriterie i vores udfordring til eleverne. Vi medtog det alligevel og valgte at være nysgerrige på elevernes optagethed i processerne. Vi ser på tværs af de tre cases (og i det hele taget), at æstetikken (forstået som det personlige udtryk) er yderst vigtig i deres arbejde. De finder stor motivation i at opnå bestemte udtryk. Omvendt ser vi også, at de bruger forholdsmæssigt lidt krudt på argumentation i forhold til valg af teknikker, materialer og fokus i deres undersøgelser. Her er filtrering et centralt aspekt, men også fokus på at understøtte elevernes analoge og digitale modelleringskompetencer. Smith et al. (2016) plæderer for at lærerne igennem større forståelse for og fortrolighed med analoge og digitale ressourcer vil kunne vejlede eleverne bedre. Vores analyse viser, at et

fokus på elevernes intentioner i den æstetiske proces samt på filtrering og manifestation vil kunne hjælpe lærerne i denne henseende.

Smith et al. (2016) argumenterer for, at der er behov for større repertoire af arbejdsmetoder med digitale ressourcer. Vi kan tilføje at der også mangler understøttelse af de analoge designprocesser, hvor eleverne kæmpede med fx perspektivtegning og håndtering af de analoge materialer. Der er dermed et potentiale i at understøtte elevernes brug af de æstetiske processer til såvel erkendelse som udtryksform.

I forhold til filtrering ser vi meget lidt af det i elevernes egen proces. Eleverne vælger i Case 3 at isolere stakittet på deres skitse. I case 2 indgår eleverne i en konstrueret øvelse, hvor filtrering er foretaget: De skal bygge en prototype, hvor de undersøger åbne- og lukkemekanismerne på broen. Denne æstetiske erkendelsesbaserede undersøgelse fører i case 2 til et nyt bro-design. Når eleverne har materialerne ved og i hånden, indgår de i dialog med disse materialer og bliver klogere på aspekter ved broen. En forbedring af forløbet kunne derfor være at indlægge flere filtrerende prototyping-forløb, der kunne tjene til at informere elevernes designbeslutninger, fx at undersøge en automatisering af lukningen igennem mekanik og digital styring (som jo så kræver at teknologien er tilgængelige), det kunne også være at undersøge forskellige modaliteter til at signalere hændelser til fodgængere og andre trafikanter. Ved at tænke de specifikke typer af filtre (udsende, data, funktionalitet, interaktivitet og rumlig struktur) igennem, kan lærerne bedre facilitere forskellige undersøgelser af elementer af broens design og sørge for at have de nødvendige ressourcer tilgængelige samt gøre valgene afhængige af disse undersøgelser.

Lærer og elevs foregående kompetencer spiller ind i forhold til, hvad der lykkes/vælges – på bekostning af overvejelser om, hvorfor de skal modellere bestemte aspekter (filtre). Som det fremgår af vores teori, står lærerne over for en kompetenceudfordring med hensyn til at anvende og inkorporere digitale teknologier i designprocesser. Denne udfordring afspejles i elevernes beslutninger i vores casestudie. Specifikt kom de elever, der valgte at integrere digitale teknologier i deres design, alle fra samme skole under vejledning af den samme lærer. Denne lærer understreger muligheden for at vælge digitale løsninger og har erfaring og de nødvendige ressourcer til rådighed. Når eleverne får frit valg, tenderer de mod at anvende de materialer, de er mest fortrolige med, oftest de analoge. Dog vidner casene, at der kan opstå situationer, hvor deres specifikke ønsker i forhold til design kun kan indfries med digitale teknologier, hvilket motiverer dem til at udfordre sig selv og undersøge disse teknologiers muligheder.

Materialevalg vil ifølge Lim et al. (2008) både afhænge af, og bunde i hvordan produktet opleves i det givne materiale, men også af omkostningerne eller tilgængeligheden af materialerne. – men også af deres

kompetencer kan vi se i analysen. Kompetencerne er elevernes økonomi, som vi ser i case 1, hvor eleven har erfaringer med GeoGebra, der kan trækkes på. Hvor meget eleverne kan trække på, eller udvikle kompetencer i løbet af designprocessen, spiller en afgørende rolle i valget af materialer og teknologier. Det kan virke banalt, men det, at eleverne kan se og undersøge digitale teknologier, har en betydning for deres valg af inkorporering af disse i deres designproces. At de af lærerne bliver gjort opmærksomme på de digitale teknologiers eksistens eller at det var muligt at hente dem hjem, hvis de havde behov, har lille betydning for digitale nybegyndere, der ikke havde erfaring med teknologiernes muligheder. På baggrund af vores analyse vil vi argumentere for, at det undersøgende element af teknologier skal gribes, når lysten og idéen opstår, så ideen kan videreudvikles sideløbende med at ideen undersøges. Materialesynlighed spiller en stor rolle i elevernes valg, altså hvilke materialer der er *forhåndenværende*, spiller en afgørende rolle i deres designproces.

Konklusion

Vores analyser understreger vigtigheden af prototyping i uddannelsesmæssige kontekster, hvor eleverne gennem en iterativ og hands-on tilgang kan opnå både materiel og konceptuel forståelse. I det store billede bidrager prototyping ikke kun til teknisk og praktisk læring, men også til en bredere forståelse af, hvordan designidéer konkretiseres på forskellige måder, alt efter ønske, formål og valg af materiale. Vi ser, at såvel digitale som analoge ressourcer skal være tilgængelige for udforskningen. Det kræver kompetencer, uanset om det er analoge eller digitale prototyping processer, der anvendes. Analysen viser også at prototyping som filtre kan tænkes ind i stilladsering af undersøgelses- og modelleringsprocesser. Digital og analog prototyping, der giver plads til undersøgelser igennem hånd og sanser, kan således understøtte elevernes udvikling af de naturfaglige modellerings- og undersøgelseskompetencer.

Referencer

- Auner, S.** (2021). *Engineering med talentfulde elever*. Lokaliseret [8. januar 2024] på: https://astra.dk/wp-content/uploads/2022/04/st_talentantologi_a4_100s_web_2021.pdf
- Auner, S., Daugbjerg, P., Nielsen, K., Sillasen, M. K., Rebsdorf, S. O. & Sørensen, M. J.** (2022). *Engineering i skolen: hvad, hvordan, hvorfor*. Engineer the Future.
- Bybee, R. W.** (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and engineering teacher*, 70(1), 30.
- Børne- og Undervisningsministeriet** (2019). *Fysik/kemi Faghæfte 2019*. Lokaliseret [8. april 2024] på: https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/Gsk_fagh%C3%A6fte_fysikkemi.pdf
- Christensen, O., Gynther, K. & Petersen, T. B.** (2012). Design-Based Research – introduktion til en forskningsmetode i udvikling af nye E-læringskoncepter og didaktisk design medieret af digitale teknologier. *Læring og medier (LOM)* 5(9). <https://doi.org/10.7146/lom.v5i9.6140>
- Christiansen, J. L.** (2020). Modeller og modellering i grundskolens naturfag. *MONA-Matematik-og Naturfagsdidaktik, 2020(3)*, 7-26.
- Dahler-Larsen, P.** (2010). *At fremstille kvalitative data*. 2. udgave. Odense: Syddansk Universitetsforlag.
- Daugbjerg, P., Krogh, L. B., Nielsen, K. & Sillasen, M. K.** (2021). *Engineering i Gymnasiet: Vidensgrundlag*. Lokaliseret [15. januar 2024] på: https://engineerthefuture.dk/media/nyrnitz/engineering_i_gymnasiet_vidensgrundlag.pdf
- Ejsing-Duun, S. & Tosca, S.** (2017). Betydning af æstetik i elevproduktioner. I: Sørensen, B. H., Levinsen, K. T. & Skovbjerg, H. M. (red), *I Digital produktion: Deltagelse og Læring* (s. 99-114). Dafolo Forlag A/S.
- Engineer the Future (n.d.)**. *Engineer the future*. Lokaliseret [30. april 2024] på: <https://engineerthefuture.dk/>
- Flyvbjerg, B.** (2010). Fem misforståelser om casestudiet. I: Brinkmann, S. & Tanggaard, L. (red), *Kvalitative metoder* (s. 463-487.) Hans Reitzels Forlag.
- Goldschmidt, G.** (2003). The backtalk of self-generated sketches. *Design issues*, 19(1), 72-88. <https://doi.org/10.1162/074793603762667728>
- Guyer, P.** (2016). *18th Century German Aesthetics*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed), Lokaliseret [28. juni 2017] på: <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/aesthetics-18th-german/>
- Lim, Y., Stolterman, E. & Tenenberg, J.** (2008). The anatomy of prototypes: Prototypes as filters, prototypes as manifestations of design ideas. *ACM Transactions of Computer-Human Interaction*. 15(2), 1-27. <https://doi.org/10.1145/1375761.1375762>
- Nielsen, K. & Sørensen, L. B.** (2019). Hvorfor undervise i engineering i grundskolen? *Liv i Skolen*, 21(2), s. 20-29.
- Nielsen, K., Bertel, L., & Sillasen, M. K.** (2023). Behov for et tydeligt teknologibegreb: om teknologi og teknologisk dannelse i STEM. *MONA-Matematik-og Naturfagsdidaktik*, 4, 95-115.

- Pedersen, H. S., Hindsholm, M., Mikkelsen, M. F., Holmegaard, H. T., Nielsen, K. B., Ulriksen, L., Vixø, K., Blomgreen, C. B., Friis-Hansen, M., Nielsen, S. S., Christiansen, N. M. & Jakobsen, L. S. (2023).** *Børn og unges science-kapital – baselinerapport*. VIVE.
- Rusmann, A. & Ejsing-Duun, S. (2022).** When design thinking goes to school: A literature review of design competences for the K-12 level. *International Journal of Technology and Design Education* 32, 2063-2091.
- Savin-Baden, M. & Major, C. (2013).** Observation. I: Savin-Baden, M. & Major, C. (red.), *Qualitative research: The essential guide to theory and practice*. (s. 391-402). Routledge.
- Smith, R. C., Hjorth, M., Loi, D., Iversen, O. S. & Christensen, K. S. (2016).** Educating the reflective educator: Design processes and digital fabrication for the classroom. I: *Proceedings of the 6th Annual Conference on Creativity and Fabrication in Education* (s. 26-33).
- Undervisningsministeriet. (2018).** *Læseplan for forsøgsfaget teknologiforståelse*. Lokaliseret på: <https://emu.dk/sites/default/files/2019-02/GSK.%20L%C3%A6seplan.Tilg%C3%A6ngelig.%20Teknologiforst%C3%A5else.%20pdf.pdf>