

Fra digitalt design til fysisk udtryk – anvendelse af 3-d-printere og NAO-robotter i folkeskolen



Gunver Majgaard, Syddansk Universitet



Jens Jørgen Hansen, Syddansk Universitet



Lykke Bertel, DTI/AAU



Anders Pagh, Insero Science Academy

Abstract: Artiklen bidrager med et vejledende eksempel på anvendelse af NAO-robotter og 3-d-printere i undervisningen i folkeskolen. Ca. 20 klasser og deres lærere har arbejdet med at forvandle digitalt design til fysisk udtryk. Der er bl.a. designet etuier til mobiler og geometriske figurer, og robotter har deklameret digte om fremtiden. Der er gennemført workshops for lærerne i brug af teknologien og didaktisk planlægning. I de forløb som lærerne oplevede som de mest udbytterige og brugbare, arbejdede børnene med faglige mål der lå ud over at lære teknologien at kende. Igennem eksemplerne fremhæves potentialerne og faldgruberne i forbindelse med teknologiunderstøttet undervisning.

Indledning

I denne artikel beskriver vi hvordan man kan anvende NAO-robotter og 3-d-printere som berigende undervisningsværktøjer i skolen, og hvad der kræves af underviserne i form af forberedelse og didaktisk planlægning. Eksperimenter som beskrives i denne artikel, er en del af forskningsprojektet Fremtidens Teknologier (Fremtek, 2014). Artiklen bidrager med et vejledende eksempel på hvordan man kan anvende disse teknologier i undervisningen.

Både NAO-robotter og 3-d-printere har deres baggrund i industriel teknologi. Gen-

nem børnenes arbejde med teknologien får de en begyndende indsigt og færdighed i forholdet mellem digitalt design og produktion, altså oversættelse mellem på den ene side symbolsk kodning og diagrammering og på den anden side fysisk udtryk og processer. Digitalt design er det der kodes eller tegnes på computeren og forvandles til fysiske udtryk i form af robotgestik eller prototyper fra 3-d-printeren. Denne indsigt og færdighed vil vi hævde er et af de bærende elementer i børnenes digitale dannelse. Det har ikke kun betydning for deres forståelse af industrielle processer, men også deres forståelse af teknologi i det hele taget. Ifølge Resnick (2009b) indebærer digital dannelse et kreativt skabende forhold til digital teknologi. Blikstein (2013) mener endda at digital dannelse og fabrikation kan have en demokratiserende effekt fordi børn kommer til at afprøve en teknologi som tidligere kun beherskedes af eksperter.

20 skoleklasser fra 3. klasse til gymnasieniveau har prøvet kræfter med teknologierne i korte forløb. Lærerne var indledningsvis på et todages intensivt introduktionskursus i teknologien og IT-didaktisk design. Som resultat af kurset skulle de have en gennemførlig undervisningsplan klar. Derefter gennemførte lærerne eksperimentelle undervisningsforløb på 8-20 timer.

Vores forskningsspørgsmål er som følger: Hvordan kan NAO-robotter og 3-d-printere konkret understøtte børns læringsmiljø? Og hvad stiller det af krav til didaktisk planlægning og forberedelse?

For at kunne besvare forskningsspørgsmålene har vi samlet undervisningsplaner og evalueringer samt observationer og in situ-interviews fra workshops og den efterfølgende klasseundervisning. Denne empiri danner grundlag for eksemplerne og diskussionerne i denne artikel. Vores forskningsmetode er baseret på design-based research, som er en forskningsmetode der egner sig til undersøgelser af hvordan teknologi og undervisningsdesign kan understøtte læring i klasserummet (Majgaard, 2011b).

Artiklen er opbygget som følger: Først introduceres teknologierne. Dernæst er der et teoretisk afsnit om konstruktionisme som udgør det teoretiske grundlag for dette projekt, og som man ofte vil kunne finde eksempler på i teknologistøttet undervisning (Papert, 1993; Resnick, 2009b). Derefter introduceres IT-didaktisk design-metode (Hansen, 2013). Efterfølgende fremhæves foreløbige erfaringer i form af illustrative eksempler. Disse relateres til teorien, bl.a. konstruktionisme. Til sidst i hvert eksempel er der udpluk af undervisernes evalueringer.

Præsentation af de udvalgte teknologier: 3-d-printere og robotter

NAO-robotten er en 58 cm høj humanoid, dvs. en menneskelignende robot, udviklet af den franske virksomhed Aldebaran Robotics (Aldebaran Robotics, 2014). Se figur

la herunder. Den opfatter omverdenen igennem sensorer, fx mikrofon, kamera og taktile tryksensorer. Og den kommunikerer med omverdenen ved hjælp af effektorer, fx bevægelse af arme og ben vha. elektriske motorer, lyd og LED-lys. Robotten er programmerbar gennem et grafisk blokprogrammeringssprog, Choregraphe, som er relativt hurtigt at beherske for nybegyndere. Erfarne programmører kan desuden udvikle programmer til NAO i C++ eller Python. Robotten er udviklet til brug i uddannelses- og forskningssammenhænge og er rundtom i verden brugt særligt på tekniske videregående uddannelser og i forskningsprojekter. Eksempelvis er NAO i øjeblikket populær inden for forskningsområdet human-robot interaction (HRI), som er et relativt nyt forskningsfelt der omhandler hvordan robotter succesfuldt kan bringes til at kommunikere naturligt med mennesker (Human-Robot Interaction, 2014). Her arbejdes under den forudsætning at robotter er på vej ind i vores hverdagsmiljø, vores hjem, skoler og hospitaler.

Pædagogisk er menneskelignende robotter indtil videre primært blevet brugt som terapeutiske redskaber for børn med særlige behov til udvikling af sociale kompetencer (Dautenhahn, 1999). Et populært eksempel er Keepon (Kozima, 2007) som har været anvendt terapeutisk til autistiske børn. Børnene træner grundlæggende sociale kompetencer såsom øjenkontakt og såkaldt joint attention, dvs. fælles opmærksomhed. Forskning viser her at sådanne sociale robotter kan virke motiverende ved at skabe nye relationer og tilbyde børnene nye roller, fx som "den mere kompetente anden" (Bertel & Rasmussen, 2013). Robotter har også været brugt til undervisning i robotteknologi og datalogi på universiteterne. Studerende og forskergrupper har fx udviklet interaktiv fodboldspilleradfærd i NAO-robotter og indskrevet dem i særlige RoboCup-turneringer hvis mål er at et hold af fuldt autonome humanoide robotter skal kunne slå de regerende verdensmestre inden år 2050 (RoboCup, 2010).

En del skoler har anvendt robotteknologi i form af LEGO Mindstorms hvor børn selv bygger og programmerer robotter, fx robotbiler som kan køre efter en optegnet streg. Her anvender vi en færdigbygget robot som ligner et menneske. Dette giver et nyt og anderledes perspektiv som ikke tidligere har været undersøgt i skolesammenhæng med normalt fungerende børn. Måske motiverer en menneskelignende robot til læring og samarbejde på en anderledes måde? Måske kan den give anledning til etiske diskussioner om robotters rolle i fremtidens samfund?



Figur 1. a) NAO-robotter. b) 3-d-printer.

3-d-printteknikken blev oprindeligt udviklet i 1980'erne. I begyndelsen tog fabriktionsprocessen 1-2 måneder, og resultatet var ofte ikke helt perfekt (Gross, 2014). Teknikken der primært anvendes i undervisningssammenhæng til printning, er typisk fused deposition modeling (FDM). Det vil sige at smeltet plastik aflejres på den position hvor printfilen angiver det (Gross, 2014). Man konstruerer således håndgribelige produkter eller prototyper på baggrund af noget der er tegnet i en fil. Et mindre printjob kan i dag udføres på mindre end et par timer. Man skal forestille sig processen som når man anvender "pølseteknik" til at bygge en keramikskål. Her er det blot smeltet plastik med en meget lille diameter, fx mindre end en mm, der pølses med. 3-d-print anvendes i dag inden for en række områder som fx arkitektur, industrielt design, medicin og smykkedesign (Horizon Report, 2013).

Der findes i dag 3-d-printere til hobbybrug som koster fra få tusind kroner, og professionelle maskiner til flere hundrede tusind kroner. Markedet for 3-d-printere er præget af en enorm udvikling i forholdet mellem pris og ydelse. I Fremtektekprojektet er der anvendt tre Stratasys Mojo-printere (Stratasys, 2014). Se figur 1b herover. Det er en professionel printertype som har vist sig at være nem at betjene og meget driftssikker. Tegneprogrammet vi anvender, hedder 123D Design og er et enkelt og ikke særlig stort tegneprogram (123D Design, 2014).

Pædagogisk har 3-d-printere i nogle år været anvendt på ingeniørskolerne i forbindelse med undervisning og projektarbejde i digitale fabriktionsdesignprocesser. I øjeblikket er teknologierne på vej til grundskolerne og ungdomsuddannelserne. Stanford University har således i 2008 påbegyndt et initiativ for grundskoler og ungdomsuddannelser med det formål at forbedre undervisningen i science, technology, engineering og mathematics (STEM) på skolerne (Blikstein, 2013). Målet i dette projekt er at give børn mulighed for at gennemføre digitale fabriktionsprocesser. I 2012-13 blev der gennemført et mindre projekt i Storbritannien for Ministeriet for Uddannelse

hvor en række skoler anvendte 3-d-printere, og hvor man undersøgte hvordan teknologien kunne berige undervisningen i STEM- og designfag (Department for Education, okt. 2013). Rapporten forklarer bl.a. at teknologien har et betydeligt potentiale som undervisningsressource, og at teknologien kan have en positiv effekt på børnenes engagement og læring. Mange af underviserne var passionerede i deres anvendelse af 3-d-print i undervisningen. De anvendte deres egen tid til at udvikle deres fag og udforske printeren. Det kan konkluderes at nogle af udfordringerne er at udvikle undervisningsmateriale, efteruddannelse af lærere og teknisk support. Fremtek har søgt at imødegå disse udfordringer ved at gennemføre efteruddannelse af lærerne og ved at vælge særlige brugervenlige printere.

Læringsteori – konstruktionisme og praksislæring med teknologi

Hvordan kan læring stimuleres med fysisk interaktive læremidler såsom robotter og 3-d-printere som støtte i undervisning? For at kunne undersøge dette nærmere har vi kigget tilbage i historien på Paperts (1993) begreb om konstruktionisme. Papert var en af de første som kombinerede fysisk interaktive læremidler og læringsteori. Hans tanker bygger videre på Piagets begreber om konstruktion af kognitive skemaer på baggrund af individets interaktion med omgivelserne. Ifølge Piaget tilpasser man hele tiden sin viden til det man oplever. Papert mener at menneskers læring går igennem ydre konstruktioner, fx når man bygger et tårn med klodser. Læring og dermed tilpassning af ny viden sker i Paperts forståelse når man udvikler fysiske eller virtuelle produktioner, det være sig konstruktionen af en robots adfærd, et print af en 3-d-tegning eller noget tredje. Papert fremhæver desuden at lettilgængelige programmeringssprog kan være et såkaldt "object to think with", dvs. at man løbende får feedback og en form for sparring. Papert udviklede selv en særlig robotskildpadde som blev programmeret med programmeringssproget Logo. Denne skildpadde trak et spor efter sig afhængigt af hvordan den blev programmeret. Børnene som programmerede robotten, fik løbende feedback fra skildpadden i form af det spor den trak. Børnene konstruerede geometriske figurer, fx cirkler og huse. Kommandoerne der blev brugt, var typisk gå frem 100 enheder, drej til venstre 90 grader osv. Papert fremhæver også at læring foregår igennem problemløsning og udvikling af en eksperimenterende tilgang til designprocesser. LEGO Mindstorms er inspireret af Papert, og faktisk hedder Paperts hovedværk *Mindstorms* (Papert, 1993; Resnickb, 2009). Paperts tilgang understøtter en tavs udvikling af viden i stil med begrebet om tavs viden hvor man lærer igennem interaktion med materialet uden nødvendigvis at have en artikuleret dialog om det faglige indhold (Nonaka, 1995). Der vil dog ofte i skolesammenhæng være brug for at kunne artikulere sin viden. Derfor kan Paperts læringssyn ikke stå alene. Det vil være nyttigt at kombinere undervisningen med aktiv artikuleret refleksion over det man

lærer, fx igennem evaluering i klassen efter interaktive eksperimenter. Teori som understøtter dette, kunne være Batesons læringstaksonomi (Bateson, 2000). Derudover er samtaler i børnegruppen i forbindelse med brug af teknologien også af betydning.

Resnick (2009a) har taget stafetten og arbejdet videre med kreativ programmering og har udviklet et sprog ved navn Scratch som er en slags blokprogrammering som er inspireret af filosofien i LEGO-klodser. Resnick (2009b) mener at alle skal lære at kode, og at det hører med til at være digitalt dannet og uddannet. Han medgiver at børn og unge i dag, idet de ofte benævnes som digitalt indfødte, er eksperter i at SMS'e og spille computerspil, men er samtidig kritisk over for dette udelukkende forbrugende forhold til vores moderne hverdagsteknologi. Han mener i stedet at børn bør kunne forholde sig mere skabende til teknologien, og han benytter i den sammenhæng analogien med at læse og skrive: Det ville være for ensidigt hvis vi kun lærte at læse. Det er først når vi lærer at skrive, vi kan forholde os skabende til vores omgivelser. At anvende computerspil og masseproducerede programmer er i den sammenhæng at sammenligne med at læse. Det er altså ifølge Resnick først når vi fx kan lave et interaktivt fødselsdagskort eller en lille simulation, at vi mestrer den digitale verden.

I Letland og Storbritannien er kreativ programmering på vej ind i de nationale fællesmål. Det er kompetencer som digital dannelse, designforståelse, problemløsning og en dybere forståelse af samtidens hverdagsteknologi som nævnes i denne forbindelse (gov.uk, 2014).

I vores projekt har vi valgt at fordybe os i robotter og 3-d-printere som baserer sig på kreativ programmering og egenproduktioner. Det er altså værktøjer som umiddelbart skulle kunne anvendes i en udvidet konstruktionistisk undervisningssammenhæng.

Didaktisk design og udviklingsprocessen

I projektet anvender vi som tidligere nævnt design-based research som er velegnet til udvikling af didaktiske design som understøttes med teknologi (Majgaard, 2011; van den Akker, 2006). Herunder beskrives udviklingsprocessen og hvordan vi igennem didaktisk design fremmer lærerig undervisning med disse teknologier.

Didaktisk design

For at realisere potentialerne ved teknologierne skal lærerne realisere et præcist didaktisk design. Det er vigtigt for underviserne i deres didaktiske design at udnytte potentialerne i teknologien, fx fremme konstruktionistiske aktiviteter, allerede i planlægningen. Det er ikke teknologierne som sådan der alene bærer gevinsterne i sig, men derimod deres tilknytning til et didaktisk design.

Der er særligt tre udfordringer som underviserne skal være opmærksomme på i de didaktiske design:

- 1. *Nyt og ukendt læremiddel:* Der er en risiko for at det “nye” bliver et selvstændigt fokus som tager tiden fra det faglige arbejde i klassen. Styrken ved det nye er at det kan være det motiverende, og svagheden kan være at undervisningen ledes på vildveje. Et didaktisk middel til håndtering af dette kan være præcision af faglige mål og virkemidler.
- 2. *Fysisk og eksperimenterende undervisning:* Underviseren skal være opmærksom på at fysisk eksperimenteren stiller særlige krav til organisering af undervisningen. Styrken ved denne type undervisning er det aktive og eksperimenterende element. Der er dog en risiko for uro og kaos i klassen. Et didaktisk middel til håndtering af dette er præcisering af organisering og strukturering af undervisningen i den didaktiske plan.
- 3. *Høst af refleksionsgevinster:* Når man eksperimenterer med robotadfærd og tegner 3-d-figurer, vil læringen ofte være tavs og uarticuleret. Børnene eksperimenterer og løser problemer uden at de forklarer sig. Styrken er at børnene får en fysisk og konkret erfaring. Der er dog en risiko for at den nye viden forbliver uarticuleret. I den didaktiske plan kan man løse dette ved at indflette refleksionsaktiviteter og særlige mål om at børnene forklarer deres løsninger.

Vidensdesign			Læringsdesign			Undervisningsdesign		
Mål	Fagligt tema	Fagligt stof	Aktiviteter	Opgaver	Produkter	Strukturering	Differentiering	Evaluering
Hvad skal børnene lære?	Hvilke faglige temaer drejer undervisningen sig om?	Hvordan repræsenteres det faglige stof af semantiske, didaktiske og funktionelle læremidler?	Hvordan arbejdes der med stoffet: oplevelse, bearbejdning, samarbejde, produktion, præsentation?	Hvilke opgaver indgår der?	Hvilke produkter kommer børnenes læring til udtryk i?	Hvordan skal undervisningen struktureres i tid og rum, og hvilke læremidler indgår der?	Hvordan differentieres undervisningen i forhold til mål, stof og aktiviteter?	Hvordan evalueres barnets læring – formativt og summativt?

Tabel 1. Didaktisk planlægningsmodel.

Fremtekprojektet præsenterede lærerne for en didaktisk model som understøttede disse forhold – den designdidaktiske planlægningsmodel (Hansen, 2012).

Didaktiske modeller fungerer generelt som et planlægnings-, strukturerings- og refleksionsværktøj. Den designdidaktiske planlægningsmodel udpeger følgende didaktiske kriterier og refleksionsspørgsmål: *vidensdesignet* (hvad skal børnene lære?), *læringsdesignet* (hvordan skal børnene lære?) og *undervisningsdesignet* (hvordan skal læreren organisere undervisningen?) (Hansen, 2012).

Den didaktiske planlægningsmodel anvendes af underviserne på den intensive workshop.

Udviklingsproces

Med afsæt i forskningsprojektet Fremtek og metoden design-based research udvikledes og gennemførtes den teknologistøttede undervisning.

Strukturelt opdeltes forløbet i tre runder hen over et år:

- To dages workshop for undervisere. Dag 1: hands-on med teknologien. Her deltog også et par børn fra hver klasse. Dag 2 var helliget planlægning af undervisning og eventuel afprøvning af elevaktiviteter.
- Undervisning i klassen i 8-20 lektioner. Her var forskerne stikprøvevis til stede som observatører.
- Lærerne udfyldte et spørgeskema som evaluering af undervisningen.

I hver runde deltog seks-syv klasser med enten NAO eller 3-d-printere. Plan for workshopen, undervisningsplaner og evalueringer kan ses på Fremteks wikiside (Fremteks wikiside, 2014). Lærerne havde også adgang til hinandens undervisningsplaner og evalueringer via denne wikiside.

Spørgsmålene i den skriftlige evaluering var som følger: Hvad har dit mål med forløbet været? Fortæl om dine tanker med forløbet og hvilke idéer du har haft med at inddrage teknologien i undervisningen. Hvad kan teknologien i en undervisningssammenhæng som en bog ikke kan? Giv nogle eksempler på at teknologien og børnenes brug af den har haft nogle særlige pædagogiske muligheder. Hvad synes du fungerede godt i forløbet? Giv nogle eksempler på undervisning som har fungeret særlig godt. Hvad vil du gøre anderledes en anden gang? Giv nogle eksempler på at du vil planlægge og gennemføre undervisning på en anden måde. Hvad synes du børnene har lært? Giv eksempler på i hvilket omfang og hvordan børnene har tilegnet sig forløbets faglige mål. Har forløbet også bidraget til andre læringsaspekter, fx høj grad af aktivitet, inklusion af fagligt svage eller stærke børn eller udvikling af samarbejde og sociale kompetencer? Hvilke anbefalinger vil du give til andre undervisere som skal anvende denne teknologi?

Erfaringer med læremiddelværktøjet og workshoppen

På dag 1 i workshoppen deltog et par børn fra hver skole. Dette gjorde at der på hver skole var et par tekniske superbrugere. Derudover kunne lærerne se hvordan børnene tog teknologien til sig, hvilket de implicit kunne bruge i deres undervisningsplanlægning. På dag 2 i den didaktiske workshop blev underviserne præsenteret for den didaktiske planlægningsmodel. I løbet af dagen skulle de så planlægge deres teknologistøttede undervisning bl.a. ved at udfylde skabelonen (se tabel 1) og sparre med resten af holdet om deres idéer.

I første runde fandt flere af underviserne det vanskeligt at formulere faglige mål ud over at eksperimentere med teknologien i forbindelse med anvendelse af NAO-robotten. Vi justerede de efterfølgende workshops en smule. Fx præsenterede de mest succesfulde undervisningsforløb fra første runde deres erfaringer. Og vi henviste til opstartsopgaver med NAO'en på wikisiden. Dette medvirkede til at underviserne i anden runde kastede sig ud i at formulere mål og aktiviteter med en større selvfølgelighed. Der blev formuleret mål som: *“Engelsk: at eleverne snakker i/bruger hele sætninger. Fokus på mundtlig engelsk. Kropssprog som understøttelse af mening. Kropssprog som hjælp hvis man ikke kan huske ord på engelsk.”* Det blev i undervisning bl.a. omsat til arbejde med “tongue twisters” hvor robotten med kropssprog skulle understøtte indholdet. Tongue twisters kan på dansk fx være “Rødgrød med fløde” og på engelsk “She sells sea shells” hvor børnene træner deres udtale ved at fremsige drilske sætninger. I matematik blev der formuleret mål som: *“Matematik: fokus på mundtlig matematik. Programmering”*. Og der blev formuleret etiske læringsmål: *“Møde og forholde sig til forskellige etiske problemstillinger der vedrører brug af robotter i hverdagen.”* Læringsmål i grundlæggende elektronik: *“Forståelse for kredsløb, komponenter, programmering på nørdsniveau.”*

Den didaktiske planlægning i forbindelse med brug af 3-d-printerne var fra begyndelsen nemmere for underviserne at gå til. De formulerede mål som havde en stærk kobling til industrielt design og produktion: *“Lave en reklamefilm for USB-cover af eget design.”* *“At eleverne får indsigt i og kan anvende ny teknologi og hvordan teknologien medvirker til produktion af nye produkter, samt hvordan teknologien kan indgå i samfundet.”* I forbindelse med matematik var det også nemt for underviserne at formulere mål: *“Geometri: bruge IT til tegning, undersøgelser, beregninger og ræsonnementer vedrørende geometriske figurer. Modellers beskrivelse af virkeligheden. Målestoksforhold.”*

De undervisere som gik fra workshoppen og skulle påbegynde undervisning den følgende uge, virkede som om de var klædt på. På workshoppen var der en tendens til at underviserne i første omgang formulerede aktiviteter og derefter formulerede mål. Det kan måske være en måde for underviseren at reflektere over hvad målene med aktiviteten er, og om de flugter med fællesmål mv.

Eksempel på undervisningsforløb understøttet af NAO

Forløbet omhandlede 24 børn fra 7. klasse der i fem uger arbejdede i ca. 2-4 timer pr. uge med NAO-robotten. De kørte to forløb med to undervisere. Den ene underviser havde børnene i fysik, og den anden i dansk. Den første del af forløbet gennemførtes alene af fysiklæreren og omhandlede grundlæggende viden om og færdigheder i NAO-robotten (se nedenfor). Den anden del af forløbet, som byggede oven på den første del, var tværfaglig og kombinerede teknologi og dansk. Forløbet afsluttedes med en opvisning hvor robotterne fremsagde og analyserede digte skrevet af børnene under temaet "fremtiden".

I introduktionsforløbet til NAO-robotten gennemførtes en række tekniske opgaver i programmeringsmiljøet Choregraphe hvor børnene skulle få den virtuelle robot til at stå, danse, sige selvvalgte ord i simulationstilstanden osv. Derefter skulle børnene overføre deres programmer til den fysiske robot og gennemføre de samme opgaver igen blot i den fysiske verden. Derefter gennemførte de aktiviteter hvor de fik robotten til at gå ind i tilstødende lokaler, undgå forhindringer og slå sine motorer fra når den havde gennemført sine aktiviteter. I forløbet arbejdede børnene med robotens muligheder for fysisk animation vha. taktil programmering, tale og billedgenkendelse.

I det danskfaglige forløb skulle børnene i firemandsgrupper arbejde med digte om fremtiden. De skulle dels arbejde med forståelse af hvad digte er, herunder egenskaber, analyse, oplæsning og udvikling af egne digte. Til forberedelse af den afsluttende robotpræsentation fik de følgende krav: Grupperne skulle gennemføre tre former for fremlæggelse ved hjælp af robotten: (1) præsentation af selvproduceret digt hvor der refereredes til et konkret selvvalgt billede, (2) selvvalgt digt hvor der refereredes til konkrete billeder eller fotos, (3) analyse af det selvvalgte digt og (4) analyse af det selvproducerede digt. Teknisk var der krav om at robotten skulle gå hen til et billede og pege på det når det passede ind i digtfremlæggelsen.

Under hele forløbet havde to teknisk interesserede børn (som også havde deltaget i workshoppen) et særligt ansvar for robotterne. Andre børn havde ansvar for computere, forlængerledninger osv.

I casen var der fire gennemgående iagttagelser:

1. *Cykliske gentagelser og læringsdybde.* I et efterfølgende interview med dansklæreren fremhævede hun at børnene dykkede ned i digtet en ekstra gang efter at have skrevet det for at få robotten til at fremføre digtet i overensstemmelse med deres idéer. De gennemhørte egne og andres digte flere gange. Efterhånden som de indkodede digtet i robotten, justerede og videreudviklede de digtet. Læreren beskriver det således: "*de kom dybere ned*". I Paperts terminologi er robotten blevet "an object to think with" idet børnene programmerer en adfærd ind i robotten hvorefter de ser hvordan robotten reagerer. Herefter justeres og videreudvikles adfærden.

2. *Orkestrering af robotbevægelser og digt.* Sideløbende med at de indkodede digtet i robotten, kobled de fysiske bevægelser på. De tog aktivt stilling til hvordan robotten skulle fremsige digtet, og digtets indhold. Under selve fremlæggelsen af digtene havde børnene programmeret deres robot til at slå ud med armene og pege på et billede. Nogle havde robotten til at sidde og fremføre sit digt, og andre eksperimenterede med at få robotten til igennem bevægelse og gestik at understøtte fremsigelsen af digtet.
3. *Mange digitale værktøjer i spil – det moderne klasserum.* Klassen havde mange digitale værktøjer i spil på én gang, eksempelvis lærerens PowerPoint-præsentationer med teori om digte, skema og opgaveformulering som børnene løbende konsulterede igennem dobbeltlektionerne. Læreren henviste også af og til børnene til PowerPointen hvis de skulle fordybe sig i fx begreber som strofer, vers, alvidende fortæller eller digtets jeg.
Børnene anvendte desuden deres mobiler til at søge efter musik og billeder som skulle anvendes i samspil med digtet. Nogle børn skrev også første version af digtet på mobilen.
Derudover anvendte de computere til at programmere robotten, og sluttelig brugte de også selve robotten.
4. *Faglige krav førte til synergi mellem teknologisk og danskfaglig fordybelse.* Efter at børnene havde eksperimenteret med robotten og lært de mest grundlæggende kommandoer, skulle de have en opgave som satte gang i deres kreativitet og virketrang. Der blev etableret en faglig og kreativ spillebane i form af krav til den afsluttende præsentation. De klare krav til og mål for projektet gav børnene en spillebane at udfolde sig på. Igennem observation erfarede vi at børnene havde gang i mange hjørner af programmeringen. Fx anvendte de den digitale animation.
I eksemplet hvor børnene skriver digte og lader robotten præsentere disse, havde børnene nogle rammer at udfolde sig inden for, lidt på samme måde som dogmereglerne for de danske filminstruktører som medvirkede til at skærpe kreativitet og virketrang (Dogme, 1995). På nogle skoler oplevede børnene efter at have lært de grundlæggende kommandoer en meget åben opgave – en opgave som de så enten gennemførte hurtigt eller kørte fast i, eller som flød ud. Artikulerede mål og krav som i dette lyrik- og programmeringseksempel fik børnene til at udfolde sig fagligt.

Udpluk fra undervisernes evalueringer af NAO

I det efterfølgende præsenteres udpluk fra undervisernes evaluering af den gennemførte undervisning med NAO-robotterne. Teksten i kursiv er udpluk fra undervisernes besvarelser.

Motivation, eksperimenteren og "an object to think with"

Underviserne blev bedt om at formulere hvad NAO-teknologien kan i en undervisningssammenhæng som en bog ikke kan. De mente gennemgående at robotten i sig selv var motiverende i begyndelsen af forløbet. *"Robotterne er i sig selv meget motiverende for læringen. Fanger også nogle børn der måske ikke altid er "meget" optaget af skolearbejde. Kunsten er at finde opgaver der udfordrer eleverne til at opsøge noget "faglig" viden."*

Derudover fremhævede underviserne robotens muligheder for at understøtte børns aktive eksperimenter idet den giver umiddelbar feedback. *"Den giver mulighed for at eksperimentere. Men nogle elever synes at de måske er mere primitive end de havde forestillet sig ... Den "svarer" med det samme på om det man har lavet, virker, om det er som man havde tænkt."*

"Den direkte kommunikation og tilbagemelding/svar på fx engelsk tale var super."

"... eleverne virker meget motiverede til at udnytte dens muligheder mht. bevægelser, tale, talegenkendelse mv." Dette kan sammenlignes med Paperts beskrivelse af "an object to think with" som er en af styrkerne ved konstruktionistisk læring.

Dernæst udtrykte underviserne hvad de syntes fungerede godt i deres undervisning med NAO-robotter. De fremhæver særligt at eleverne hurtigt blev selvkørende, og at der var en god faglig dialog i klassen og på skolen: *"Eleverne blev hurtigt "selvkørende". Det var gode samtaler elev/elev og elever/lærer imellem. Nysgerrigheden blev igangsat både hos elever, implicerede lærere og andre kolleger på skolen. Anderledes undervisningsform. Læring frem for undervisning."* Denne selvkørehed kan også være et resultat af børnenes sparring med robotten i forbindelse med udviklingen af robotens adfærd, dvs. et aspekt ved konstruktionismens idé om "an object to think with".

Dansk, engelsk, etik og programmering som faglige temaer

Derudover fremhævede flere at der var en god kobling mellem henholdsvis dansk, engelsk og programmering af NAO-adfærd, herunder dens kropssprog: *"Elevernes programmering af engelske tongue twisters virkede rigtig godt. De skulle lave kropssprog der passede til det NAO fortalte om."*

Endelig kunne NAO også sætte fokus på etiske dilemmaer og real life-eksperimenter med robotten. En underviser formulerer det således:

"De etiske dilemmaer virkede rigtig godt, og eleverne syntes at diskussionerne var spændende, og vi oplevede en høj grad af refleksion mht. robotters indflydelse på vores fremtidige samfundsudvikling. En gruppe havde NAO med hos den lokale købmand for at se hvordan andre mennesker reagerer på tilstedeværelsen af en robot, og om det var muligt at få en dialog i gang mellem robotten og kunder i butikken. Denne gruppe elever bevarede motivationen for arbejdet gennem hele perioden og havde gerne fortsat arbejdet med robotter der interagerer med andre mennesker."

Underviserne forholdt sig desuden til hvad de syntes børnene lærte. De fremhævede programmerings- og robotteknologikompetencer:

“De har selvfølgelig lært at programmere.” “Eleverne har fået en større forståelse for robotteknologiens virkemåde og anvendelse og samtidig forholdt dette til de mange dilemmaer vi i fremtiden vil stå over for i takt med at teknologien bliver bedre.”

Derudover fremhæver de dansk- og engelskfaglige kompetencer med en spirende forståelse af understøttende kropssprog i forbindelse med formidling: *“Jeg tror de danskfaglige udtryk og begreber har rodfæstet sig bedre hos eleverne.”*

“Eleverne blev rigtig opmærksomme på brug og understøttelse af kropssprog.” “Øvelserne med at svare i hele sætninger virkede fint, men ikke i så overbevisende et omfang som det med kropssprog.”

Undervisernes anbefalinger: klare mål med undervisningen ud over at lære robotterne at kende

Herunder er et udpluk af undervisernes anbefalinger. De fremhæver i særlig grad at man skal have klare mål med undervisningen ud over at lære robotterne at kende. Derudover nævnes det at der kan være tekniske problemer, og at man som underviser skal være fortrolig med programmeringen af robotten. Underviserne udtrykte det således: *“Sørg for at bygge emnet op omkring mere end robotterne.” “Det er vigtigt at læreren er fortrolig med programmeringen af robotterne. Jeg synes at det sværeste var at få robotterne til at kobles på [nettet]. Det brugte vi lidt tid på at få til at virke. Der var lidt netværksproblemer.”*

Opstart med NAO-robotten fungerer bedre i udskolingen: *“Tidsaspektet spiller helt klart en rolle. Der er en lang opstart, specielt på 4.5. klasse. Men motivationen gør til gengæld at de timer efter opstarten kan være supereffektive i forhold til udbyttet. (Lavede et lille forløb med 7. klasse i ITVALGHOLD hvor opstarten helt tydeligt gik meget hurtigere, og hvor man hurtigt kom “ind til benet”).”*

“Vi har arbejdet med NAO i 9.-10. klasse, og vores inddragelse af det samfundsmæssige og etiske aspekt har gjort projektet spændende og lærerigt for alle elever.”

Eksempel med 3-d-print: Life is plastic. It's fantastic.

Eksemplet omhandler to 7.- og to 8.-klasser der arbejdede med plast i 4-6 lektioner pr. uge i 5 uger. Forløbet var tværfagligt og inddrog hovedsageligt fysik/kemi, matematik og biologi. Overskriften for forløbet var “Life is plastic. It's fantastic.”. Børnene blev introduceret teoretisk til plast, herunder typer, råvarer, polymerer, miljøvenlig plastik og produktion. De fremstillede hvid plast af minimælk og lavede eksperimenter med forskellige plasttypers egenskaber og genanvendelig PVC, og endelig fremstillede de 3-d-filer som de printede. I biologi arbejdede de med etik i forbindelse med print af

organer. Fordelingen var ca. 10 lektioner på plast, 10 lektioner på 3-d-print og 5 lektioner på at forberede og gennemføre præsentation af forløbet. Børnene skulle føre logbog via Google Docs, og der skulle være en afsluttende udstilling hvor forældre og kolleger blev inviteret.

Læringsmålene i fysik omhandlede: plastteknologi, molekyleform og plastics opbygning og egenskaber. Læringsmålene i matematik omhandlede: modellers beskrivelse af virkeligheden, målestoksforhold og IT som hjælpemiddel. Derudover omhandlede læringsmålene undersøgelse, konstruktion og beregninger af rumlige figurer.

Forløbet indledtes med øvelser i konstruktion af figurer i 123D-programmet i klasse- og træningsrummet. I den første klasse blev det lagt frit ud hvad de skulle konstruere, men det viste sig hurtigt at børnene gerne ville have en konkret opgave, så de fik besked på at konstruere et hus hvis de ikke havde bedre idéer selv. Dette fik gang i brugen af tegneprogrammet. Undervejs var der knas når nettet var nede.

Efterfølgende skulle børnene i grupper bringes ind i værksteds- og projektrummet idet de skulle designe et produkt som kan sælges, fx et USB-etui, en nøglering eller individuelle mobiltelefonholdere. Der blev lavet mange produkter. Læreren udtrykker det således: *“Mange er færdige med deres tegninger og er faktisk ret stolte over de print de får lavet.”* Ud over at designe produktet skulle de også udarbejde en planche som beskrev idéen og produktets nytteværdi. Ifølge underviseren har design af egne produkter stor værdi for børnene: *“Eleverne er helt vilde med at få et produkt ud i hænderne. Det giver dem virkelig ejerskab.”*

Udvikling af 3-d-print kan samles i følgende faser – se nedenstående tabel.

Udviklingsfaser for 3-d-printfabrikationsprojekter

1. *Teknisk foranalyse.* Introduktionseksperimenter med 123D-programmet og det første printjob.
2. *Idéudvikling.* Idégenerering og konceptudvikling af eget produkt som en del af værksteds- og projektrummet.
3. *Design.* Design i 3-d-programmet, print af job, test af produkt. Denne fase skal måske gentages flere gange, fx hvis væggene i produktet er blevet for tynde, eller produktet på anden måde skal justeres.
4. *Afrunding og evaluering.* Børnene udarbejdede plancher og gennemførte en udstilling.

Tabel 2. Udviklingsfaser for teknologiske design og fabrikationsprojekter.

Ovennævnte faser vil under en eller anden form indgå i forbindelse med 3-d-printprojekter hvor børn udvikler idéer og realiserer dem i praksis. I den tekniske foranalysefase eksperimenterer børnene med teknologien og finder ud af hvordan program og printer fungerer. Læringen i denne fase er konstruktionisme i praksis og desuden en form for trial and error-læring hvor børnene lidt tilfældigt forsøger sig frem i det for dem nye IT-program. I den forbindelse udnytter og udvikler børnene deres eksperimenterende kompetencer. I Batesons læringstaksonomi vil dette svare til grundlæggende læring af første orden (Bateson, 2000).

Idéudvikling, design og afrunding er knyttet til projektarbejdet efter det tekniske forarbejde. Idégenerering er en form for brainstorm hvor børnene finder frem til deres idé. Efterfølgende beslutter de så i flere detaljer hvordan produktet skal udformes.

Designfasen er iterativ, dvs. at den ofte bliver gentaget flere gange. Først laver de simple prototyper som så forfines i efterfølgende forsøg. Den læring som finder sted på dette niveau, er en dybere form for andenordenslæring hvor børnene raffinerer både deres viden og produkt. Printet og tegneprogrammet indgår i en vekselvirkende konstruktionistisk feedbackproces hvor produktet gradvist optimeres.

I forbindelse med afrunding og evaluering vender klassen hvad der gik godt og skidt. Dette projekt afsluttedes med en udstilling hvor børnene udstillede deres resultater. I forbindelse med evaluering vil retrospektive refleksioner over en produktion og hvad man kan gøre anderledes næste gang, ligge lidt uden for den praktiske og hands-on konstruktionistiske tænkning. En sådan evaluering vil snarere kunne kategoriseres som tredjeordenslæring (Bateson, 2000), og den beriger i høj grad den konstruktionistiske læring.

Alt i alt vil der i en sådan teknologisk designproces være potentiale til at kombinere mange former for læreprocesser som tilsammen styrker og understøtter den faglige læring.

Koblingen mellem fysik/kemi, 3-d-print og plastikforsøgene var vellykket. Læreren udtrykker det på denne måde: *"Samspillet imellem fysik/kemi og teknologien var helt vildt god. Det har været fedt at inddrage flere plastikforsøg og understøtte historisk osv."* På denne måde blev 3-d-produktionerne en integreret del af undervisningen, og det kunne understøtte det fysik/kemi-faglige.

Udpluk af undervisernes evalueringer med 3-d-print

Herunder er nogle af undervisernes svar på hvad 3-d-printere kan i en undervisningssammenhæng som en bog ikke kan. Teksten i kursiv er citater fra undervisernes evalueringer.

Konstruktionisme: hands-on-oplevelser, digital og fysisk konstruktion af rumlige figurer

Underviserne fremhæver i særlig grad hands-on-oplevelser og konkrete fysiske resultater: *“Teknologien har givet en hands-on-oplevelse for eleverne. Her er det ikke længere et ‘fantasiprodukt’, men faktisk noget der ligner noget der ville kunne realiseres. Opgaven har været både boglig og praktisk, og de to elementer har understøttet hinanden.”*

Desuden kunne flere ikke så stærke elever bidrage til opgaven: *“Eleverne har arbejdet sammen om opgaverne med at skrive og tegne, og en del af de elever der ikke er så bogligt stærke, har kunnet bidrage bedre til opgaven da de har været gode til at bruge 123D Design.”*

Derudover beskrev underviserne hvad de syntes fungerede godt i deres undervisning med 3-d-printere. De fremhæver bl.a. koblingen mellem teori og praksis, og dette virkede motiverende på børnene: *“Opgaven har været både boglig og praktisk, og de to elementer har understøttet hinanden.”* *“Motivationen for hele opgaven har været høj blandt eleverne.”* *“Eleverne har, da de først fandt ud af hvad forløbet gik ud på, arbejdet godt og koncentreret. De blev tændt på tanken om at skabe deres eget produkt og arbejdede målrettet.”*

Matematik og teknologianvendelser som faglige temaer

Underviserne forholdt sig desuden til hvad de syntes børnene lærte. Fagligt kombinerede eleverne matematik og teknologianvendelser: *“De er blevet dus med programmet og anvender det også i andre fag, fx til matematikafleveringer.”* *“Eleverne har lært at 3-d er et redskab som man kan anvende ligesom PowerPoint, Word, Prezi, GeoGebra osv.”* *“Eleverne har anvendt matematiske kompetencer til udarbejdelse af USB-cover.”*

Derudover fremhævedes arbejdet med rumlige figurer og kreativitet: *“Det at kunne tegne i 3-d-programmet kan give eleverne en anden forståelse af de rumlige figurer som de arbejder med. Det giver nogle helt nye muligheder for kreativitet. Elevernes verden bliver større.”*

Undervisernes anbefalinger

Herunder er et udpluk af undervisernes anbefalinger som i høj grad handler om organisering af den eksperimenterende undervisningsform og om at have fokus på målet med undervisningen. Underviserne udtrykker at man er nødt til at give slip idet de alligevel ikke helt kan styre produktionsprocessen. En underviser udtrykker det således: *“Jeg har taget tingene meget som de kommer. Lukket eleverne fri, hvilket er meget nyt for mig. Jeg vil nok en anden gang have bygget mere på inden så vi ikke skulle stresse med at få tingene færdige imens vi havde udstyret.”*

Derudover gav introkurset underviseren et nødvendigt grundlag for at gennemføre undervisningen med 3-d-print. *“Kurset er en forudsætning for arbejdet.”* Underviserne

skal vide tilstrækkeligt om 123D Design til at kunne gøre børnene selvkørende. En underviser udtrykker det således: *“Selvom man som underviser ikke selv har helt styr på alt i programmet, så kan eleverne mere end man tror. Det er desuden nemt at printe, men det er bedst at det er læreren der står for dette.”*

Rent praktisk bør man forberede eleverne på at printene ikke er så store: *“Man skal forberede eleverne godt på at printene ikke er så store. Det var lige ved at bremse nogle at man ikke bare laver en pistol i naturlig størrelse.”*

Fokus bør være på at anvende teknologien som et nyttigt redskab. *“Det er vigtigt at holde fokus på selve forløbet og ikke på teknologien. Teknologien skal betragtes som et redskab til at nå målet og ikke være et mål i sig selv.”*

“Det skal være en lille, overskuelig, konkret opgave (man skal ikke både introducere 3-d og et nyt fagligt emne på samme tid).”

Desuden var det nyttigt at uddanne børn til superbrugere. En underviser udtrykker det således: *“Det der fungerede godt, var da superbrugerne underviste og var vejledere.”*

Gennemgående udtrykker underviserne at de en anden gang vil arbejde i mindre grupper og sætte mere tid af til at printe. En udtrykker det således: *“Måske ville jeg en anden gang lave mindre grupper, men har haft tre hold igennem, så det har også været noget med at nå at printe deres ting ud.”*

Opsamling og konklusion

I denne artikel har vi introduceret hvordan man kan anvende digitale teknologier i form af NAO-robotter og 3-d-printere som læremidler i skolen. Vi har undersøgt hvordan teknologien kan understøtte læringsmiljøet, og hvad der bør stilles af krav til didaktisk planlægning og forberedelse.

I forbindelse med NAO-robotten så vi at børnene både havde et fagligt og et teknologisk udbytte. Det er i høj grad den konstruktionistiske måde at lære på som er teknologiens styrke. Robotten blev “an object to think with” idet den umiddelbart gav feedback i forbindelse med udviklingen af programmerne. Robotten gav anledning til eksperimenterende og kreativ programmering af robotadfærd i forbindelse med dansk, engelsk, etik og teknologiundervisning hvor børnene i særlig grad udnyttede robotens tekst til tale- og gestik-egenskaber. Derudover skal man være forberedt på mindre tekniske problemer med fx netopkobling, og tre robotter til en hel klasse er et absolut minimum.

I forbindelse med 3-d-print så vi at børnene fik et særlig fagligt udbytte og konkret erfaring med udviklingsfaserne i forbindelse med digitale fabrikationsprocesser. Måden børnene lærte på, kan også beskrives som grundlæggende konstruktionistisk idet børnene lærte ved at realisere deres egne idéer først i det digitale tegneprogram og printe produktet i 3-d. 3-d-print understøttede i høj grad undervisningen i matema-

tik og fysik/kemi, og i det konkrete eksempel gav det endnu et perspektiv på temaet "plast". Man skal være opmærksom på at selve udprintningen er tidskrævende, og at produkter er fysisk små.

For at realisere potentialerne i teknologierne kræves en præcis didaktisk planlægning og praktisk erfaring med teknologierne. For at få mest ud af teknologien er det essentielt at understøtte konstruktionistiske aktiviteter i planlægningen af undervisningen. Anvendelse af det didaktiske planlægningsværktøj i kombination med workshopen viste sig at være et velegnet og tilstrækkeligt fundament.

Derudover gav todelte undervisningsforløb som indledningsvis indeholdt elementer med fokus på at lære teknologien at kende, og efterfølgende faglige forløb med teknologien som løftestang for læringen de mest succesfulde forløb.

Man skal dog som underviser være parat til at bruge et par dage på at sætte sig ind i teknologien og planlægge et undervisningsforløb. Der findes endnu ikke færdigsyede forløb. Man kan dog på vores wikiside finde de konkrete undervisningsplaner og evalueringer fra de undersøgte forløb (Fremteks wikiside, 2014).

Referencer

- Bateson, G. (2000). *Steps to an Ecology of Mind: Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology*. Forlaget Chicago Press. ISBN 0-226-03906-4.
- Bertel, L.B. & Rasmussen, D.M. (2013). On Being a Peer: What Persuasive Technology for Teaching Can Gain from Social Robotics in Education. *International Journal of Conceptual Structures and Smart Applications (IJCSSA)*, 1(2), s. 58-68.
- Blikstein, P. (2013). Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention. I: J. Walter-Herrmann & C. Büching (red.), *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors*. Bielefeld: Transcript Publishers.
- Dautenhahn K. (1999). Robots as Social Actors: Aurora and the Case of Autism. I: *Proceedings Third Cognitive Technology Conference CT'99, august, San Francisco*.
- Department for Education. (2013). *3D Printers in Schools: Uses in the Curriculum. Enriching the Teaching of STEM and Design Subjects*. Crown 2013. Lokaliseret den 24. april 2014 på: <https://www.gov.uk/government/publications/3d-printers-in-schools-uses-in-the-curriculum>.
- Gross, B.C. (2014). Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology and the Chemical Sciences. *Analytical Chemistry*, 86(7), s. 3240-3253.
- Horizon Report. (2013). *2013 Higher Education Edition*. New Media Consortium, Austin, Texas. ISBN 978-0-9883762-6-7.
- Hansen, J. J. (2014). Innovative læremidler og den didaktiske vending. side 219-240. I Steen Beck og Dion Rüsselbæk Hansen (red.): Frihed og styring. En antologi om læringskulturer i forandring. Syddansk Universitetsforlag.
- Hansen, J.J. (2010). *Læremiddellandskabet. Fra læremiddel til undervisning*. Akademisk forlag.

- Hansen, J.J. (2012). *Dansk som undervisningsfag. Perspektiver på design og didaktik*. Dansk lærforeningens Forlag.
- Kozima, H. & Nakagawa, C. (2007). A Robot in a Playroom with Preschool Children: Longitudinal Field Practice. *Robot and Human Interactive Communication, 2007*, s. 1058-1059.
- Majgaard, G. & Bertel, L.B. (2014). Initial Phases of Design-Based Research into the Educational Potentials of NAO-Robots. *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, s. 238-239. <http://dx.doi.org/10.1145/2559636.2563690>.
- Majgaard, G. (2011a). *Læreprocesser og robotsystemer: Design af læremidler og læreprocesser med robotter som medier og børn som med-designere*. Ph.d.-afhandling.
- Majgaard, G., Misfeldt, M. & Nielsen, J. (2011b). *How Design-Based Research, Action Research and Interaction Design Contributes to the Development of Designs for Learning*.
- Majgaard, G. (2012). Brug af interaktive klodser i ingeniørandervisningen. *MONA, 2012(4)*, s. 24-40.
- Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford: Oxford University Press.
- Papert, S. (1993). *Mindstorms Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books.
- Piaget, J., 2001 (1947). *The Psychology of Intelligence*. Routledge Classics in 2001. ISBN 978-0-414-25401-4.
- Resnick, M. et al. (2009a). Scratch: Programming for All. *Communications of the ACM, november 2009, 52(11)*, s. 60-67.
- Resnick, M. et al. (2009b). *Growing up Programming: Democratizing the Creation of Dynamic Interactive Media*.
- Van den Akker, J. (2006). *Educational Design Research*. Routledge.

Links

- Aldebaran Robotics. (2014). www.aldebaran-robotics.com/en/. Senest downloadet 10.3.2014.
- Dogme. (1995). The Vow of Chastity. www.dogme95.dk/the-vow-of-chastity/. Senest downloadet 24.3.2014.
- Fablab. (2014). <http://fab.cba.mit.edu/about/faq/>. Senest downloadet 10.4.2014.
- Fremtek. (2014). Fremtidens Teknologier. <http://academy.insero.dk/fremtek/>. Senest downloadet 10.3.2014.
- Fremteks wikiside. (2014). <http://roboabwiki.sdu.dk/mediawiki/index.php/Fremtek>. Senest downloadet 10.3.2014.
- Human-Robot Interaction. (2014). <http://humanrobotinteraction.org/2014/>. Senest downloadet 10.4.2014.
- Gov.uk. (2014). National Curriculum in England: Computing Programmes of Study. <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study>. Senest downloadet 14.4.2014.
- Kickstarter Projects. (2014). <https://www.kickstarter.com/projects/1039674461/primo-teaching-programming-logic-to-children-age-4>. Senest downloadet 14.3.2014.

- RoboCup. (2010). "UK Robots Prepare for World Cup". New Technology. www.bbc.co.uk/news/technology-11618151. Senest downloadet 25.11.2013.
- Sifteo. (2014). <https://www.sifteo.com/home>. Senest downloadet 14.3.2014.
- Mojo. (2014). [http://web.stratasys.com/En_general_o30pro-PPC-LP.html?cid=70130000001stsN&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Search%20-%20Scandinavian%20-%20Brand&utm_ad=Mojo%20Printer\\$A2592&gclid=COeslJTG9rOCFesLcwodMVgArA](http://web.stratasys.com/En_general_o30pro-PPC-LP.html?cid=70130000001stsN&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Search%20-%20Scandinavian%20-%20Brand&utm_ad=Mojo%20Printer$A2592&gclid=COeslJTG9rOCFesLcwodMVgArA). Senest downloadet 14.3.2014.
- 123D Design. (2014). www.123dapp.com/design. Senest downloadet 14.4.2014.
- 3D-doodler. (2014). www.engadget.com/2013/12/08/3doodler-review/. Senest downloadet 14.4.2014.

English abstract

This paper describes examples of the use of NAO-robots and 3D-printers as educational tools in primary schools. Approximately 20 school classes and their teachers transformed digital designs into physical form. They designed accessories for mobile phones, geometric shapes and made the robots declaim poems about the future. We conducted workshops for teachers in didactical planning and the use of the technology. In the most successful settings, the schoolchildren worked with academic objectives beyond getting to know the technology. Through examples, we highlight the potential and the shortcomings in technology supported learning.