3 SITUEREDE OG KROPSLIGE ROBOTTER SOM GRUNDLAG FOR ROBOTLÆREMIDLER

Dette afsnit handler om, hvad robotsystemer er, hvilke krav man bør stille til robotter for, at de kan anvendes til undervisningsbrug - og i det hele taget, hvilken type af robotter der egner sig til brug i undervisning.

Der vil ikke blive fokuseret på robotagenten alene, men derimod på den situerede robotagent som en del af et system, som desuden består af omgivelserne og robotagentens adfærd. Med denne vinkel er det muligt at fokusere på de processer, der foregår i samspillet mellem robotagent og menneske. Teoretisk underbygges denne systemtankegang af Hallams og Brooks perspektiv på samspillet mellem robot, omgivelser og adfærd (Hallam, 2006; Brooks, 1992).

De konkrete spørgsmål, som besvares er: Hvad er et robotsystem? – hvilke slags robotsystemer egner sig til brug i undervisning?

Kapitlet er inddelt i følgende dele:

1. **Model for robotter.** De først afsnit omhandler robotsystemet og dets bestanddele med udgangspunkt i Hallams struktur for robotsystemer (Hallam, 2006). Hallam forsker i situerede mobile robotter og kunstig intelligens.

2. **Historisk gennemgang.** Derefter vil der være en gennemgang at de vigtigste stadier i robottens historie. Herunder er der en kronologisk oversigt over stadier eller paradigmer inden for robotteknologi, som gennemgås i kapitlet:
   - Fase 1. Robotter fra mytologi og science fiction.
     Robotter fra mytologien (Asimov, 1950) og science fiction har en særlig fascinationskraft , som kan gøre brug af robotter i forbindelse med undervisning motiverende i sig selv (Fogg, 2007).

   - Fase 2. Industrirobotten
     Industrirobottens indtog scenen i 1961 med Unimaten (Engelberger, 1989). Industrirobotterne afspiller traditionelt et forud fastlagt program. Denne type robotter forholder sig ikke til sine omgivelser, hverken hvordan de ser ud, eller hvad der konkret forgår. Denne type robotter fungerer i såkaldt strukturerede og statiske omgivelser.

   - Fase 3. Den situerede og kropslige robot
     Den situerede og kropsligt intelligente robot gjorde sit indtog i slutningen af 1980'erne, hvor Brooks introducerede dette nye paradigme (Brooks, , 19861990, 1991, 1994). Brooks forsker i situerede robotter og var den første, som righoldigt beskrev dette nye paradigme. Denne type robot forholder sig dynamiske til de aktuelle omgivelser, og fungerer i ustrukturerede omgivelser, hvor f.eks. tings placering ændrer sig over tid. Denne type robot opfatter ved hjælp af sensorer en del af det, der foregår i omgivelser. Denne situerede robot forholder sig på den måde dynamisk til tid og rum. At robotten bliver situeret, gør, at den kan programmeres til at fungere i samme omgivelser som mennesker med sik-

kerhed for, at robotten f.eks. ikke skader mennesker eller omgivelser i øvrigt. Pfeifer og andre har siden udfoldet begrebet om kropslig intelligens (Pfeifer, 1999 og 2006).

3. **Human Robotic Interaction.** Derefter introduceres Human Robotic Interaction (HRI), som har fokus på interaktion mellem menneske og robot. Som konsekvens af, at robotter bliver situerede og kropsligt intelligente, bliver der grobund for forskning i kropslig interaktion. Der er f.eks. forskning i humanuider, sociale og terapeutiske robotter (Ishiguro, 2001) (Dillmann, 1998) (Shibata, 1999)(Breazeal, 2003). Forskning i robotter til brug i undervisning bygger ligele des på HRI.

4. **Modulære robotter.** Dernæst introduceres modulært sammenkoblede robotter (Nielsen, 2008)(Lund, 2009)(Støy, 2002). Morfologi og distribution er nogle af de særlige mål i modulær robotteknologi (Pfeifer, 2007:229). Modulær robotteknologi bygger ligeledes på situerethed og kropsliggørelse (embodiment). Denne type robotter danner grundlag for de to eksperimentelle case i denne afhandling.

5. **Krav til robotter i undervisning og sammenhæng mellem kompleksitet i robotagent , omgivelser og adfærd.** Til slut samles der op på, hvilke krav man kan stille til robotter til brug i undervisningen og hvilken kompleksitet de bør besidde.

Men allerførst redegøres der for, hvad et robotsystem er.

3.1 HVAD ER EN ROBOT?

I dette afsnit introduceres to modeller, som repræsenterer robotsystemer. Formålet med modellerne er ikke at beskrive teknologiske enheder og algoritmer i detaljer, men derimod at introducere perspektiver på robotter, som passer til denne afhandlings formål. Det vil sige modeller, som beskriver, hvad en robotagent er for en størrelse, hvordan den fungerer i samspil med dens omgivelser. For at kunne arbejde med robotter i en undervisningssammenhæng er det nødvendigt at fokusere på robottens omgivelser, idet den lærende og klasserummet vil være en del af robottens omgivelser.

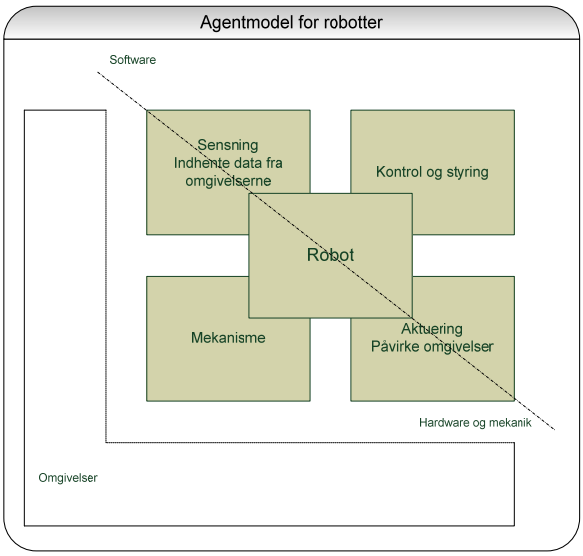
De to modeller er:

- Den robot-centrerede model (Hallam, 2006)
- Den applikationscentrerede systemmodel (Hallam, 2006)

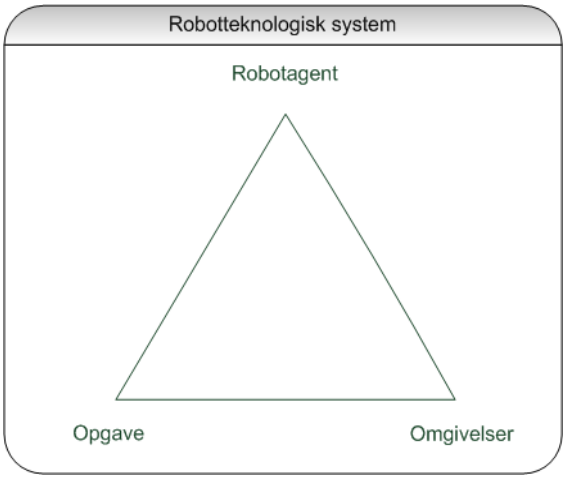
På FIGUR 11 introduceres den robot-centrerede model, der forestiller en robot-agent, som er en integration af mekanisk hardware, hardware-sensorer og hardware-aktuatorer (Hallam, 2006). En sensor kan f.eks. opfange bevægelse, temperatur, tryk eller lys. En aktuator er robottens måde at respondere på i form af f.eks. bevægelse, lyd eller lys. Bevægelse kan f.eks. skabes ved hjælp af en elektrisk motor, en aksel og et hjul. Hardwarekomponenterne styres af softwaredrivere, og information fra driverne processeres og danner grundlag for styringen af robottens handlinger. Robotagentens handlinger igangsættes ved at aktivere aktuatorerne. Robotten opsamler stimuli og ændringer i omgivelserne ved hjælp af input fra sensorerne. Kontrolsoftware styrer, hvordan robotten konkret skal reagerer på

stimuli. Den robot-centredede model fokuserer primært på robotagenten, men i forbindelse med brugssituationer er det vigtig at have fokus på opgaven, som skal udføres, og fokus på det miljø robotten skal arbejde i samspil med(Hallam, 2006).

Figur 12 introducerer det applikations-centrerede eller system-centrerede syn på robotteknologi, som supplerer den foregående figur. Med dette perspektiv bliver det klart, at succesen af en robotagent ikke er en egenskab ved agenten selv, men er bestemt af, (i) hvordan robotten opfører sig, og altså hvordan den udfører sin opgave, og (ii) det miljø eller omgivelser, som denne opgave skal udføres i (Hallam, 2006). Et vellykket robotsystemdomæne omfatter en delmængde af den afbildede trekant. I nogle tilfælde er det selve robotagenten, der bidrager mest til systemets succes. I andre systemer er det miljøet, der er vigtigst. Og i en tredje type systemer er opgaven den afgørende faktor (Hallam, 2006).



FIGUR 11 AGENT MODEL FOR ROBOTTER, ET ROBOT-CENTRERET FOKUS



FIGUR 12 ROBOTTEKNOLOGISK SYSTEM

Opgaven beskriver den adfærd, robotagen udviser, og som omfatter omfang, præcision og udstrækning i tid og rum. Hvis der f.eks. er tale om en robot til brug ved tele-operationer, er præcision og konsekvenser af handlinger vigtige. I en sådan type robotagenter er præcision i adfærd et centralt element.

Miljøet omfatter robottens kontekstrum. Det er afgørende, om omgivelserne er statiske eller dynamiske. Hvis robotten skal kunne agere i foranderlige omgivelser, stiller det særlige krav til designet af robotagenten. Og i designet af en sådan type robot vil der være et særligt fokus fortolkning på omgivelserne.

For at en robot skal kunne egne sig til brug i undervisning, skal den kunne fungere i dynamiske omgivelser. I en undervisningssituation vil der ofte være to niveauer af omgivelser: de statiske omgivelser, f.eks. klasserummet, og de dynamiske omgivelser i form af lærere og elever. Lærer og elever skal kunne indgå i en intelligent og dynamisk interaktion med robotten. Klasserummet sætter derimod de ydre rammer og giver en statisk form for feedback til robotten. Man kan desuden forestille sig, at der er andre intelligente artefakter i klasserummet, som kan interagere med robotagenten, f.eks. smartboards,

RFID-tags og mobiltelefoner. På den måde vil de statiske omgivelser forvandle sig til at være dynamiske eller semidynamiske medspillere. I et læringsperspektiv er omgivelserne identiske med kontekster i Batesonsk forstand. Dog er der i denne model fokus på robotagentens kontekst og ikke den lærendes kontekst.

3.2 STADIER I ROBOTTENS HISTORIE FRA MYTE TIL INTERAKTIV SITUERET KROPSLIG INTELLIGENT ROBOT

Når vi som lægmænd tænker på robotter, vil vi ofte forestille os robotter, som de ser ud i en science fiction- verden. Og denne science fiction-robot vil ofte overgå mennesker - f.eks. i fysisk styrke. Grunden til, at science fiction-robotten medtages i denne afhandling er, at for nogle lærende vil teknologi og science fiction have en særlig motivationskraft. Fogg beskriver, hvordan man med overtalelse og persuasion kan få en målgruppe til at ændre adfærd (Fogg, 2003). Alene det, at en robot er part i en undervisningssituation, vil kunne overbevise nogle grupper af lærende om, at netop dette emne er interessant.

Fase 1: Science fiction – robotten som overgår mennesket

I den græske mytologi berettes der om Talos, som var den første autonome robot. Han var en slags krigsrobot, som kunne kaste sten efter fjendtlige skibe omkring Kreta. Talos var en gave fra Zeus til hans elskerinde eller kone Europa, som var dronning af Kreta (Wikipedia, Talos). Selve ordet robot stammer fra tjekkisk og betyder slave og blev anvendt første gang i 1920 (Pfeifer, 2007:10) Historisk har robotter og science fiction-film været tæt forbundne, i begyndelsen med filmen Metropolis og siden med f.eks. Star Wars, Star Trek, Blade Runner, Terminator etc.

Isaac Asimov var science fiction-forfatter og den første, som brugte ordet robotics (Asimov, 1950), som i dag anvendes i tekniske og videnskabelige sammenhænge og dækker teknisk forskning om robotter og design af disse. Derudover introducerede han i 1943 tre grundlæggende love for robotter (Asimov, 1950):

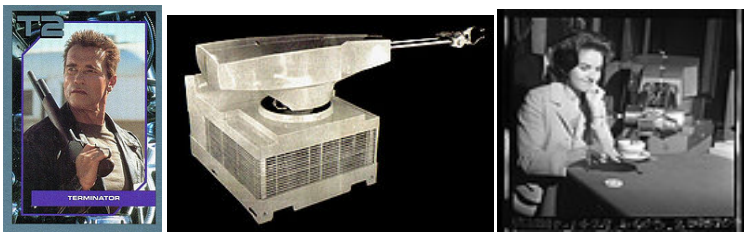
1. En robot må ikke gøre et menneske fortræd, eller, ved ikke at gøre noget, lade et menneske komme til skade
2. En robot skal adlyde ordrer givet af mennesker, så længe disse ikke er i konflikt med første lov
3. En robot skal beskytte sin egen eksistens, så længe dette ikke er i konflikt med første eller anden lov. (Asimov, 1950: 37),

De tre love fungerer hierarkisk, f.eks. kan en robot ikke beordres til at dræbe en person, fordi den første lov er vigtigere end den anden. Men den kan beordres til at selvdestruere, idet den tredje lov er lavere en den anden. Dette ses f.eks. i Terminator 2, hvor robotten Terminator, i skikkelse af Arnold Schwarzenegger, til sidst beder om at blive sænket ned i smeltet stål for at redde menneskeheden, se Figur 13a. De tre love er grundstene i nyere robot science fiction, de har dog intet med med virkelighedens verden at gøre.

I science fiction om robotter og kunstig intelligens handler det som regel om at designe et kunstigt menneske, som er mennesket overlegent på forskellige vis, det vil sige hurtigere, større, stærkere eller

super intelligent på en computeragtig måde. Denne robot bliver så i et plot konfronteret med mennesker, hvorpå menneskers og robotters egenskaber bliver sat på prøve.

I praksis er der et stykke vej endnu inden robotter, når menneskers evne til at tilpasse sig og fungere i komplekse og dynamiske sammenhænge. Men til at udføre simple opgaver kan robotter være mennesker overlegne, f.eks. robotter som bruges i industrien.



FIGUR 13. A) ROBOTTEN TERMINATOR (FLICKR, TERMINATOR). B) OG C) UNIMATE DEN FØRSTE TYPE INDUSTRIROBOT (FLICKR, UNIMATE)

Fase 2: Den først industrirobot, som foretog simple opgaver i beskyttede omgivelser

Industrirobotten er medtaget for at eksemplificere robotagenter i statiske og strukturerede omgivelserne. Disse omgivelser er netop modpol til de dynamiske og ustrukturerede omgivelser, som robotter til brug i undervisning forventes at kunne navigere i.

I 1950'erne tog robotterne en rejse fra fantasiens verden til virkelighedens verden. Joseph Engelburger og George Devol byggede de første robotter, som skulle arbejde i industriens tjeneste (Engelberger, 1989). Deres første robot hed Unimate og blev anvendt industrielt i støbeprocesser og til punktsvejsning. Disse robotter overtog arbejdsopgaver, som var farlige for mennesker. Herover er et billede at Unimate, hvor den hælder kaffe op, se Figur 13b og c.

I relation til robotsystemmodellen, se Figur 12, udførte disse robotter simple opgaver i strukturerede og statiske omgivelser. Et fællestræk for industrirobotter er netop, at de arbejder i strukturerede og statiske omgivelser, det vil sige, at omgivelserne er tilpasset robottens virkemåde, og at omgivelserne ikke ændrer sig på en for robotten uventet måde. Efterhånden udvikledes industrirobotter, som kunne klare mere og mere komplekse opgaver, men stadig i strukturerede og statiske omgivelser.

Fordeling mellem opgave, omgivelser og robotagent: Simpel-medium opgave, simpel-medium robotagent, Simple og strukturerede omgivelser.

Industrirobottens opgave kan være specialiseret og for det meste tilpasset bearbejdning af et specifikt objekt. Opgaven kan typisk beskrives som simpel eller medium i kompleksitetsgrad, idet robotten typisk skal følge et forud programmeret opgaveforløb indeholdende redskabsbrug i forhold til objektet.

Unimat-robotagenten var simpel i kompleksitetsgrad i den forstand, at den består af en arm uden flere led og er monteret med et specifikt redskab. Moderne robotagenter er mere komplekse både i fysisk og intelligensmæssigt.

Omgivelser er struktureret således, at unimatrobotagenter kun forholder sig til målobjektet. Nogle moderne industrirobotter kan endvidere forholde sig til, at det specifikke målobjekt bevæger sig, f.eks. en bil på et langsomt førende samlebånd. Det vil ofte være farligt at nærme sig sådan en robot, når den er ved at udføre en opgave, idet det den ikke sanser ændringer i omgivelserne ud over de i forvejen planlagte.

Robotter af denne type egner sig ikke umiddelbart som læremidler, idet de kun kan fungere i omgivelser, som er struktureret på robottens præmisser. Robotten vil være insensitiv over for ændringer i læreprocessen og vil kun kunne give simpel og forudsigelig feedback til den lærende. Derfor er det i forhold til dette projekt mere interessant at undersøge robotter, som kan fungere i dynamiske ustrukturerede omgivelser og i en mere dynamisk interaktion med mennesker. I det efterfølgende introduceres et moderne syn på robotter, som beskriver egenskaber ved robotter, som kan fungere i ustrukturerede og dynamiske omgivelser.

Fase 3: Det nye paradigme, som bygger på situerethed, embodiment og adaptivitet

Dette afsnit beskriver kernebegreberne i moderne robotforskning. Disse begreber bygger på, at robotten forholder sig dynamisk til tid og rum, og robotten bliver hermed situeret. Derudover beskrives robotten som værende kropslig intelligent (embodied intelligence), hvilket vil sige, at robotten består af en slags krop, som forholder sig erkendende og adaptivt til sine omgivelser. Situerethed og embodiment er hjørnestene i det moderne robotparadigme. Og situerethed er en nødvendighed i forhold til brug af robotter i undervisningen. Og det særlige fokus på kropslighed og embodiment netop er det, der adskiller robotter fra almindelige computere.

I 80'erne flyttede nogle robotter så fra beskyttede og tilpassede omgivelser til ustrukturerede omgivelser, hvilket var en stor udfordring, idet ustrukturerede omgivelser er meget mere komplekse. At få robotter til at bevæge sig rundt i f.eks. kontoromgivelser bringer de faglige felter *computer vision*, *kunstig intelligens (AI)* og *robotics* i spil. Computer vision giver et to- eller tredimensionelt billede af omgivelserne. AI kan anvende disse billeder til at fortolke omgivelserne i forhold til de konkrete opgaver, robotten arbejder med. Robotics tager sig af den fysiske interaktion med verden, og robottens gesti udføres på baggrund af information fra AI-delen. F.eks. kan en sådan robot bevæge sig rundt uden utilsigtet at støde ind omgivelserne (Brooks, 1991).

Der defineredes en helt ny tilgang til robotter, hvor de blev beskrevet som værende situerede i verden, som den ser ud her og nu og ikke baseret på abstrakte beskrivelser (Brooks, 1991b). AI og robotforskeren Brooks er, som nævnt, den første, som definerer situerethed:

> *Situatedness: The robots are situated in the world—they do not deal with abstract descriptions, but with the "here" and "now" of the environment that directly influences the behavior of the system(Brooks, 1991b).*

Et eksempel på et intelligent system, som ikke er situeret i robotteknologisk forstand, er et flybilletbookingsystem. Bookingsystemet kan tilgås distribueret, det vil sige, at systemet kan tilgås fra forskellige netværksforbundne klienter samtidigt og tager ikke beslutninger på baggrund af konkrete fysiske omgivelser, men på baggrund af information, som ikke har noget med de konkret omgivelser at gøre –

altså ikke situeret interaktion mellem system og omgivelser. Et andet eksempel er en nutidig sprøjtemalerobot. Den har en robotkrop, den kører sine forprogrammerede sprøjtemalingsrutiner, men den forholder sig ikke til det objekt, den maler, og den har ikke nogen fornemmelse af, hvilken facon det har. Denne robot gør sig ingen kropslige erfaringer og er ikke i dialog med sine omgivelser (Brooks, 1991b).

Heroverfor er udviklet nye robotter, som ud over at være situeret også agerer kropsligt (embodied), det vil sige gør sig kropslige erfaringer. Robotten er i direkte interaktion med omgivelserne. Robotten fortolker dele af omgivelserne og reagerer på dem. Brooks og Pfeifer definerer embodiment herunder:

> *Embodiment: The robots have bodies and experience the world directly - their actions are part of a dynamic with the world, and the actions have immediate feedback on the robots' own sensations(Brooks, 1991b).*
>
> *By embodiment, we mean that intelligence always requires a body. Or more precisely, we ascribe intelligence only to agents that are embodied, i.e., real physical systems whose behavior can be observed as they interact with the environment. (Pfeifer, 2007:18)*

Brooks har fokus på dynamikken mellem robot og omverden, og hvordan robottens handlinger har betydning for dens egne sansninger. Pfeifer forbinder embodiment med intelligens. Han understreger, at intelligens kun kan forekomme, når der er en krop. Og at intelligensen kommer til udtryk i interaktion med omgivelserne. Intelligens kræver altså en krop, og det forhold kaldes embodiment eller oversat til dansk kropslighed eller legemliggørelse. Robotter er dermed potentielt intelligente, fordi de har en krop, hvormed de interagerer med omgivelserne. Et computerprogram er i følge Pfeifer ikke kropsligt intelligent med mindre, at man inddrager hver tast på keyboardet som sensorenheder og skærmen som effektor.

Embodiment er kernen i moderne robotics. Robotagenter opfatter deres omgivelser igennem sensorer, som sidder rundt omkring på robot-kroppen, og intelligensen kan registreres på baggrund af robottens handlinger, som udtrykkes via effektorer. Robottens krop bliver dermed essentiel for den perception og erkendelse, der kan forekomme i en robot. Dette er i modsætning til det mere konventionelle synspunkt nemlig, at kroppen kun er til for at bære hjernen rundt (Pfeifer, 2007:19).

Kropslig intelligens er altså forbundet med en type perception, hvorigennem omgivelserne erkendes via robottens sensoriske sanseapparat. Pfeifer sammenligner robottens perception med den berømte psykolog Jean Piagets begreber for assimilation og akkommodation (Peifer, 2007:71). Assimilation og akkommodation er begreber, som på forskellig vis redegør for adaptivitet, som er det tredje nøglebegreb i moderne robotforskning.

Piaget forbinder også intelligens, sensomotorik og situerethed (Piaget, 1947). Han uddyber og definerer intelligensbegrebet funktionalistisk fra et psykologisk og filosofisk synspunkt. Piaget beskriver interaktionen mellem mennesker og omgivelser som en intelligent proces, hvor mennesket dynamisk tilpasser sig omgivelser (Piaget, 1947). På netop samme vis kan man beskrive en robotagent. Menneskets interaktion med omgivelser er dog mere mangesidig og varieret.

Piaget definerer intelligens som værende en strukturel mekanisme, der foregår i en funktionel situation i et bestemt tidsrum og et bestemt sted. Han beskriver intelligens som logik i aktion og som tilpasning. Tilpasning handler om dynamisk ligevægt mellem organisme og omgivelser:

> *Intelligens konstituerer en tilstand af ligevægt mod hvilken alle tilpasninger af sensormotorisk og kognitiv natur mellem organisme og omgivelser justerer sig, i såvel som assimilerende og akkommoderende interaktion med omgivelserne (Piaget 1947:12)(frit oversat af red.).*

Ifølge Piaget er intelligens en kombination af kognitive processer og sensomotoriske processer. Og den kognitive proces indeholder både assimilation og akkommodation som resultat af kommunikation med omgivelserne. Piaget beskriver adaptivitet som en dynamisk ligevægt mellem assimilation og akkommodation. Assimilation skal her forstås som passiv tilpasning, mens akkommodation implicerer nyskabende ændringer i adfærd (Piaget 1947:9). I det forudgående kapitel så vi, hvordan Qvortrup netop forbandt Piagets begreber om assimilation og akkomodation med Batesons begreber om læring på niveau 2 og 3.

Selv om Piaget ikke har tænkt på robotter, da han beskrev koblingen mellem intelligens og sensomotorik, så har hans forståelse af intelligens inspireret robotforskningen. Både Pfeifer og Piaget har i deres intelligensbegreber fokus på: (1) sensomotorisk interaktion med omgivelserne, og (2) dynamisk tilpasning til opgivelserne.

Pfeifer har fokus på, at intelligens har en kropslig dimension eller er "embodied"(Pfeifer, 2007), ligeså sætter Piaget fokus på, at intelligens har en sensomotorisk dimension. Og det er igennem fysisk interaktion med omgivelserne, at intelligensen kommer til udtryk. Både den situerede robotagent og mennesket tilpasser sig dynamisk omgivelserne. Pfeifer beskriver tilpasningen som adaptiv og dynamisk, idet agenten tager bestik af aktuelle ændringer i omgivelserne.

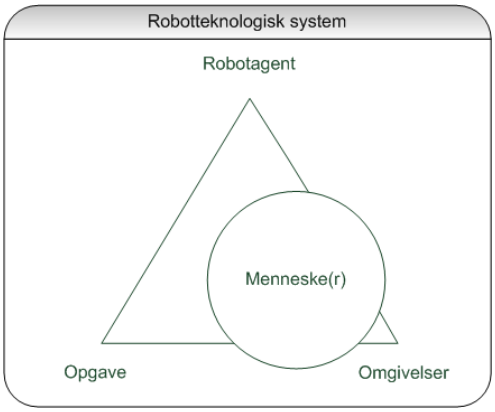
Det adaptive i forhold til omgivelserne udtrykker en form for læring, hvor robotagent eller menneske tilpasser sig omgivelserne på baggrund af tidligere erfaringer. Piaget udfolder denne adaptivitet ved at dele den op i en assimilerende del og en akkommoderende del, som beskrevet tidligere. Hvor den assimilative adaptivitet er af passiv og reaktiv natur, og den akkommoderende er nyskabende og proaktiv. Disse to former for adaptivitet kunne i forsimplet form bruges i forbindelse med design af robotagenter, når de grundlæggende interaktionsmønstre skal tænkes ind.

Situerethed, embodiment og adaptivitet er således tre nøglebegreber i moderne robotforskning. Og i forhold til design af robotlæremidler er det som tidligere beskrevet et krav, at robotten er situeret i tid og rum. Derudover har robotten en særlig kropslig perception af omgivelserne, som gør den vil have potentiale til at fungere i undervisningssituationer. Embodiment består i robottens fysiske sensoriske sanseapparat, som sikrer direkte feedback på baggrund af robottens egne sansninger. For at en robot kan fungere i en undervisningssituation, må den kunne besidde en form for dynamiske adaptiv adfærd.

3.3 HUMAN ROBOTIC INTERACTION

Med fremkomsten af den situerede, kropslige og adaptive robot bliver der grobund for at fokusere på menneske-robotinteraktion. Og det gælder i særlig grad robotsystemer til brug i undervisning.

Forskningsfeltet, som omhandler interaktion med robotagenter, benævnes Human Robotic Interaction HRI (Breazeal, 2003). HRI kan integreres i Hallams applikationsorienterede model for robotsystemer, se figuren herunder. Mennesker, som interagerer med robotten, bliver i modellen en del af robottens omgivelser. HRI har sit udspring i Human Computer Interaction (HCI), som beskæftiger sig især med menneskelige erkendelsesprocesser i relation til interaktion med computere, og designprocesser for grafiske brugergrænseflader, som bygger på inddragelse af brugere (Sharp, 2007).



FIGUR 14 MENNESKET DEN LÆRENDE ER EN DEL AF ROBOTAGENTS OMGIVELSER

Den type interaktion, den lærende har med robotagenter, adskiller sig fra den type interaktion, man har med standardiserede computere, idet den er mere fysisk og mindre virtuel.

I relation til læringsteori er interaktionsvinklen interessant, idet de læringsteorier, som blev analyseret i forrige kapitel, tog afsæt i netop interaktion. Læring er en adfærdsændring, som kan iagttages gennem et ændret interaktionsmønster. Derudover har Bateson særlig fokus på omgivelserne, som danner kontekster, f.eks. når han definerer niveau 2 læring som det succesfuldt at anvende sine erfaringer i nye kontekster.

I det efterfølgende introduceres tre typer af moderne interaktive robotter, som ikke i udgangspunktet er tænkt til undervisningsbrug, men som er situerede, kropslige og intelligente i forskellige grader. Det drejer sig om humanuider, sociale og terapeutiske robotter.

Vurdering af humanuiders egnethed til undervisning

At bygge humanuider har været et tilbagevendende tema i science fiction fra genrens begyndelse med Frankenstein. Opbygningen af positroniske hjerner har rejst moralske dilemmaer, og Asimovs tre love kan ses som forsøg på at håndtere disse. I virkelighedens verden har der været en eksplicit antagelse om, at det ultimative mål for AI og robotics var at bygge en humanuid (Brooks, 1994). Visionerne har været og er stadigvæk båret frem af drømmen om at skabe en naturlig konversationspartner. Og allerede i 1950 beskrev Turing i artiklen "Computing Machinery and Intelligence" komplikationerne ved drømmen om den tænkende maskine (Turing, 1950).

I praksis har der været en række eksempler på eksperimentelt byggede humanuider, som kunne fungere som selskab eller hjælpere for mennesker. Et særligt mål i forskningen om HRI og humanuider er

at få en bedre forståelse af menneskelig kognition. Der er særligt to retninger inden for udviklingen af humanuider, de telestyrende og de autonome.

Til de telestyrende humanuider hører Ishiguros kopi af sig selv, den såkaldte geminoid, som understøtter 43 ansigtsmuskler[1]. Han bruger robotten til forskning i Human Robotic Interaction (HRI), hvor han blandt andet undersøger, om den fysiske gemanoids tilstedeværelse bliver opfattet som personlig (Ogawa, 2009). Han har f.eks. placeret kopien af sig selv i en café og videooptaget gæsternes interaktion med og accept af robotten. Ishiguro har i øvrigt iagttaget, at teleoperatøren oplever androiden som en forlængelse af sig selv, som når man f.eks. bruger en hammer. Aalborg universitet er ved at etablere et center for geminoidforskning, hvor de har indkøbt en kopi fra Japan af forskningslederen Henrik Scharfe (Aalborg universitet, Geminoid laboratorium). Formålet med forskningen er at undersøge den følelsesmæssige forankring i interaktionen mellem menneske og robot, 'blandet tilstedeværelse' (blended presence) i forbindelse med en fjernstyret geminoid og kulturelle forskelle i synet på mennesker og robotter mellem Asien og Europa. Ishiguros geminoid har i øvrigt dannet grundlag for sciencefictionfilmen Surrogates, se Figur 15a. Filmen handler om, hvordan alle mennesker, som er noget, har en kopi af sig selv, og det er kopien, som anvendes i dagliglivet på arbejdspladsen og i det offentlige rum. Samfundet bliver på den måde sikkert, idet at hvis "man" er involveret i et trafikuheld, så er det kun kopien, der kommer til skade.

FIGUR 15 A) SURROGATES MED BRUCE WILLIS I HOVEDROLLEN (WIKIPEDIA, SURROGATES), B)TELEPRESENCE TELENOID (ROBOTPODCAST, TELENOID)

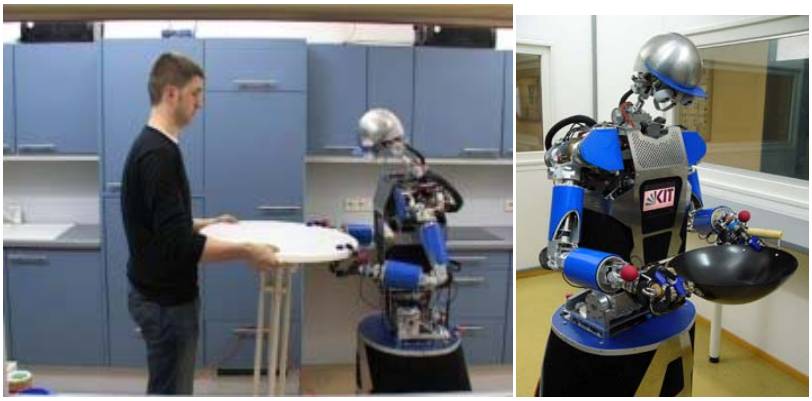
Pt. arbejder Ishiguro på Telenoider[2], som er upersonlige humanuider og kan bruges til at give langdistancetelefonopkald krop og udtryk, se Figur 15b.

Ishiguros robotter kan bruges til f.eks. fjernundervisning, hvor man kan have geminoiden siddende og snakke på en stol uden brug af arme eller ben. Hvis det drejer sig om telenoiden, kan den lave gestik med armstumperne. Dette vil give en anden type interaktion end en skærmbaseret løsning. Her er der fokus på mimik og fysiske gesti.

For mange af de autonome robotsystemer er målet, at de skal lære af deres kropslige erfaringer for at kunne klare stadig mere abstrakte opgaver (Brooks, 1994). Der foregår en række eksperimenter af den type f.eks. design af humanuiden ARMAR (Dillmann, 1998), som skal hjælpe mennesker i deres dagligliv med at tømme opvaskemaskine, gøre rent og dække bord, se Figur 16. Denne type robotter er komplekse, og der arbejdes med at udvikle gribe- og bevægelsesteknik blandt andet ved hjælp af komplekse vision- og følealgoritmer(Dillmann, 1998 og Morales, 2005). Eksperimenterne foregår i et

[1] Presentation on "International Conference on Playware and Robotics" September 9th 2010 http://www.playware.dk/conference/index.html senest lokaliseret 100910
[2] Ibid forrige

køkken, hvor robotten kører runder og flytter på service, åbner og lukker køleskabe og opvaskemaskiner. Omgivelserne er normale, og der er ikke ekstra intelligens i rummet, som gør det nemmere for robotten at bevæge sig rundt og finde sit mål.



FIGUR 16 MENNESKE ROBOTINTERAKTION OG MANIPULATION (UNIVERSITÄT KARLSRUHE, HUMANOIDSGROUP)

Denne type robot forholder sig i langt højere grad til rummets kompleksitet end f.eks. en støvsugerrobot eller Ishiguros humanuider. Der er en korrelation mellem komplekse fysisk betonede opgaver og avanceret fortolkning af omgivelserne. For en robot er det en kompleks fysisk betonet opgave at flytte en kop fra en tilfældig lokation til en anden. Den kræver en veludviklet hånd-øje-koordination. I menneskelig målestok er en sådan opgave simpel: få øje på et objekt, gribe og flytte det. Et menneske er måske ikke engang bevidst om, at hun f.eks. løfter tekruset fra bordet til munden. Derudover er der med ARMAR et særligt fokus på menneske-robotinteraktion og fælles manipulation med hverdagsting, se Figur 16, hvor et menneske og en robot sammen flytter et bord.

Robotter, som fungerer i ustrukturerede omgivelser, er interessante som redskaber i forbindelse med undervisning. Denne type robotter kan forholde sig til deres omgivelser i tid og rum og er uskadelige for mennesker. Robotten reagerer her og nu på omgivelserne eller ændringer i disse. Til en undervisningssammenhæng vil robottens opgave skulle tilpasses de konkrete læringsmål. Og der vil sandsynligvis være opgaver, som robotten ikke egner sig til. ARMARs intelligens er en kropslig intelligens, som går på at kunne bruge brugene arme og hænder på samme måde som mennesker. Denne type intelligens vil kunne indgå i en undervisningssammenhæng, men vil næppe kunne stå alene.

Sociale og terapeutiske robotters egnethed til undervisning

I fremtiden vil man kunne forestille sig, at robotter til brug i undervisningen vil kunne afkode menneskelig gestik. På baggrund af disse gesti vil robotten kunne tilpasse sin opgave. Breazeal (Adams 2000) arbejder med socialitet hos robotter, f.eks. at robotter skal kunne opfatte gesti som at nikke, have øjenkontakt, se Figur 17. Robotten skal kunne fortolke og reagere på disse gesti. Dette vil forbedre interaktionen mellem menneske og robot. Robotten ved navn Leonardo på Figur 17a bliver brugt til forskning og er en humanuid, som er særlig designet til social interaktion. Den kan ikke tale, men bruger tydelige ansigtsudtryk og kan f.eks. nikke og række ud efter ting. Leonardo kan genkende og forstå ord og lære ny adfærd. Leonardo er altså en kognitiv og interaktiv humanuid. I denne type

forskning er der fokus på regulering af sociale dynamikker, fælles opmærksomhed, vokale tonefald og robottens læring igennem imitation. Fælles opmærksomhed er, når robot og menneske begge retter deres opmærksomhed mod et objekt som følge af, at mennesket ser eller peger i en bestemt retning. Der udvikles i dette felt robotter, som lærer igennem imitation, og hvor man f.eks. kan lære sin robot at lege (Brooks 2004). [3]

FIGUR 17 A) LEONARDO ER DESIGNET TIL SOCIAL INTERAKTION HERUNDER FOROLKNING AF PEGEGESTI. B) TOFU MINI ROBOT (MIT, TOFU)

Omgivelserne er strukturerede i den forstand, at mennesker i omgivelserne skal gøre noget bestemt for, at Leonardo skal lære noget nyt. Omgivelserne er hermed underlagt nogle regler, som udgør en struktur for den mulige interaktion.

Robotten er kompleks, idet den skal kunne fortolke omgivelserne med visions-algoritmer, og den skal have en kognitiv algoritme, som muliggør, at robotten lærer nyt. Derudover skal den kunne bevæge arme, hoved og udtrykke ansigtsmimik.

I en undervisningssammenhæng vil en socialt forstående robot være unik, idet robotten vil kunne tilpasse læreprocessen efter det konkrete menneske. Ikke blot give feedback på baggrund af faglig formåen, men også kunne tilpasse sig den lærendes læringsfacon. Desuden vil der kunne udvikles læremidler, som reagerer på gesti, som f.eks. at pege, eller fortolkning af den lærendes ansigtsudtryk.

Breazeal arbejder i dag også med billige robotter til undervisningsbrug, og i den forbindelse arbejder hun med historiefortælling og historiegenerering i indskolingen[4], se Figur 17b. Hendes læringsgrundlag bygger på, at børnene skal være aktive, deltagende, kollaborative, medskabende og kreative.

PARO er en terapeutisk robot som er udviklet af Shibata (Shibata, 1999). Den skal illudere en grønlandsk babysæl, og er designet til at være sød, have en beroligende virkning på og fremkalde følelsesmæssige reaktioner hos demente på sygehuse og plejehjem, se Figur 18.

[3] Leonardo på video http://www.youtube.com/watch?v=GHIlFrL7dKM, http://www.youtube.com/watch?v=ilmDN2e_Flc

[4] Ibid 1

FIGUR 18 PARO (WIKIPEDIA, PARO)

Robotten har taktile sensorer og reagerer på berøring. Som resultat vil PARO bevæge sin hale, nakke, åbne og lukke øjnene. PARO vejer 2,7 kg og har dermed samme størrelse som en nyfødt baby. PARO har en mikrofon i panden, som gør, at den reagerer på lyd, f.eks. at man taler sødt til den. Den har desuden en lyssensor i næsen, som sikrer, at PARO er aktiv i løbet af dagen og går på vågeblus om natten. Derudover kan PARO kan sige lyde som en rigtig babysæl. PAROs designer Shibata udtrykker, at PARO fungerer på tværs af kulturer, fordi den appellerer til vores omsorgsinstinkt[5]. Shibata har tidligere udviklet en lodden robotkat. En kat har et stort repertoire af gesti og måder at være til på. Omgivelserne havde for store forventninger til robotten, robottens var for simple og ikke overbevisende nok. Derfor valgte Shibata at udvikle en babysæl-robot, som kun få har konkret kendskab til.

Interaktion stimulerer menneskerog motiverer ændringer af adfærd (Shibata, 1999). PARO skal ved hjælp af sin autonome interaktive adfærd skabe en følelsesmæssig tilknytning til brugeren. Shibata mener endvidere, at en maskine med en fysisk krop har større indflydelse på menneskers følelser end en virtuel skabning, og at menneske og robot får en følelsesmæssig kobling som følge af interaktionen (Shibata, 1999). Shibata har f.eks. gjort forsøg, hvor PARO anvendes til afledning af demente med angstanfald. I disse forsøg har PARO en beroligende effekt på den demente og støtter den demente i at indgå i interaktion med personalet på plejehjemmet. PARO fungerer i den forbindelse som et lille socialt væsen, som får den ældre demente til at være til stede i situationen og snakke med PARO. Der kører for tiden forsøg i Danmark, hvor Danmarks Teknologiske Institut og en række plejehjem anvender PARO i praksis på plejehjem, og hvor personalet anvender robotten som en del at behandlingen af de ældre demente (DTI, PARO).

Robottens opgave er fra et teknologisk perspektiv temmelig simpel. Den skal på baggrund af bestemte stimuli (berøring og lyd) sige nogle lyde og bevæge hovedet lidt mm. Robotten opgave fra et brugerperspektiv er dog temmelig kompleks, idet PARO igennem interaktion med mennesket skal fremkalde en følelsesmæssig kobling med mennesket, som f.eks. skal gøre mennesket mere tryg.

Omgivelserne for robotten består af mennesker, som enten aer og snakker. Robotten sanser dermed omgivelser igennem to typer af sanser. Dette stiller krav til omgivelser om at stimulere robotten igennem disse sensorer.

Robotten i sig selv er simpel, den består at nogle tryk- og lydfølsomme sensorer. Øjne, der kan blinke, lyd og bevægelse af halen og halsen alt afhængigt af hvordan der bliver stimuleret.

[5] Ibid forrige

Det er svært at forstille sig PARO i sin nuværende form som en del af undervisningen f.eks. i folkeskolen. Den er ikke designet til læring, det vil sige, den udfordrer eller "forstyrrer" ikke brugerens måde at tænke på - snarere omvendt, den beroliger. Men konceptet, som PARO er bygget op efter, kan anvendes i forbindelse med design af læremidler.

1. Robotagenten er simpel: få sensorer, aktuatorer og ikke så komplekse algoritmer.
2. Opgaven er kompleks fra et brugerperspektiv: terapeutisk behandling, eller hvis det var et læremiddel: konkrete læringsmål.
3. Mennesker i omgivelserne skal stimulere robotagenten på en særlig måde for at få robotten til at reagere på den ønskede måde.

Denne diskussion af forholdet mellem kompleksitet af robotagent, omgivelser og robottens adfærd vil blive uddybet i afsnit 3.5. Det er vigtig at forholde sig til, om der er særlige krav til robotagenten for, at den kan udvise en passende kompleks adfærd i interaktionen med mennesker, særligt i læringssituationer.

Opsamling

HRI er et bredt forskningsfelt, hvor interaktionen mellem menneske og robot er i fokus. Fra et teknologisk perspektiv er mennesker en del af robottens omgivelser, og fra et humanistisk perspektiv er robotten en del af menneskerne omgivelser. Det drejer sig om et tværfagligt forskningsfelt, som er under etablering.

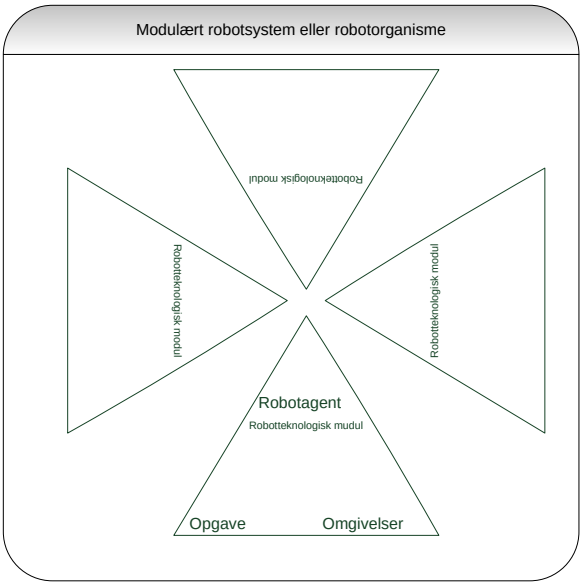
Der blev gennemgået eksempler med humanuider, sociale og terapeutiske robotter, som er meget forskellige både i kompleksitet og anvendelse. Humanuider kan måske i fremtiden bruges i undervisning til en afart af fjernundervisning. Sociale robotter ville kunne være nyttige, til f.eks. tolkning af den lærendes gesti. Den terapeutiske robot sætter fokus på, at simple robotter kan udføre komplekse opgaver, hvilket vil kunne udnyttes i design af robotter til læring.

Robotter til brug i undervisning ligger i dette HRI felt, idet læreprocesserne foregår i et interaktivt samspil mellem den lærende og robotten. I det næste afsnit sættes der fokus på den konkrete HRI robotplatform, som danner grundlag for de eksperimentelle cases i denne afhandling.

3.4 MODULÆRE ROBOTTER

Modulære robotter er en særlig type robotsystem, som bygger på grundlaget af situerethed og embodiment. At en robot er modulær betyder, at robotsystemet består af flere selvstændige robotter som kommunikerer med hinanden og omgivelserne. Det giver anledning til en særlig grad af kompleks adfærd. På nedenstående figur ses en model af et sådant modulært robotsystem. På figuren ses fire robotteknologiske systemer, jævnfør afsnit 3.1 som forklarer hvad et robotteknologisk system er. Hver system består af en robotagent, som udfører en given opgave i nogle konkrete omgivelser. De fire robotsystemer er hver især er selvstændige robotter, men til sammen udgør et modulært robotsystem. Bringes de fire systemer sammen, vil deres adfærd påvirke hinanden og de ydre omgivelser.

Omgivelser vil opleve de fire systemer som en samlet robotorganisme med en mere kompleks adfærd, end de enkelte systemer har hver for sig.



FIGUR 19 MODEL AF MODULÆRT ROBOTSYSTEM

De eksperimentelle cases i denne afhandling er baseret på modulær robotteknologi. I kapitel 6 og 7 gennemgås disse eksperimentelle cases. I næste kapitel gennemgås flere konkrete eksempler på læremidler, som er modulære af natur. Herunder introduceres de særlige egenskaber, som modulære robotter besidder.

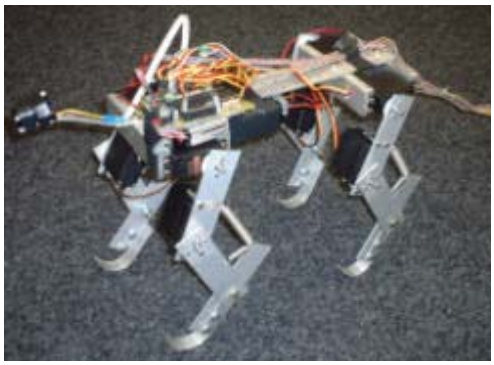
Udover at robotterne blev situerede og kropslige (embodied) i slutningen af 80'erne, blev nogle af robotterne også distribuerede i den forstand, at intelligensen blev fordelt i moduler, f.eks. opdelt efter virkemåde og funktioner. De enkelte enheder arbejdede sammen og skabte udadtil en stadig mere kompleks adfærd (Brooks, 1990).

I sådanne systemer skal der tages stilling til, om styringen skal forgå centralt eller decentralt (Brooks, 1991a). Derfor er der et særligt fokus på morfologisk informationsbearbejdning, som indgår i relationen mellem krop, hjerne og omgivelser (Pfeifer, 2005).

> *By "morphological computation" we mean that certain processes are performed by the body that otherwise would be performed by the brain (Pfeifer, 2007:97)*
>
> *...morphological computation which can be characterized as performing a kind of "task distribution" between the brain (neural system), or the controller in a robot, the morphology of the agent (shape, sensors, actuators, materials), and the environment (Pfeifer, 2005).*

Morfologisk informationsbearbejdning omhandler arbejdsfordelingen mellem, hvad der skal foregå centralt, og hvad der skal forgå distribueret i de modulere robotter. Det kan være hensigtsmæssigt i forbindelse med design af mobile robotter at kunne distribuere opgaver ud til de enkelte robotdele. Hvis man f.eks. designer en robothund, som skal kunne gå op og ned af trapper, så skal hvert ben kunne fortolke og tilpasse sig underlaget. Dette giver en mere sikker bevægelse. Hvis al bevægelse

styres centralt, bliver robotagenten sværere at styre. Nedenstående figur viser et eksempel på et distribueret bevægelsesapparat, som lever op til ideen om morfologisk informationsbearbejdning.



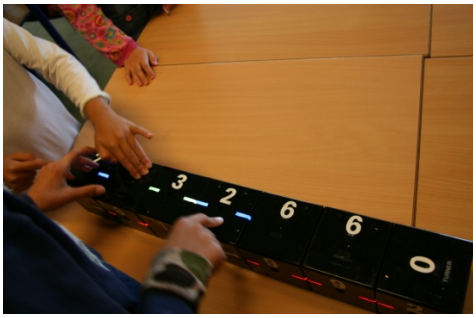
FIGUR 20 PATTEDYRS HVALP (PFEIFER, 2005)

Kollektiv intelligens optræder, når flere autonome robotagenter kommunikerer med hinanden og omgivelserne. Agenterne udgør tilsammen en syntetisk organisme, som kan mere og andet end, når de enkelte agenter handler hver for sig.

Kollektiv intelligens eller syntetiske organismer er inspireret af naturen. Et andet eksempel på kollektiv intelligens er myretuer, hvor hver myre kan forstås som en agent. Tilsammen fungerer de som et system, der finder mad, formerer sig og overlever om vinteren. Biologiske celler har også været inspirationskilde for kollektiv intelligens. Celler kan isoleret set være simple, men som kollektive systemer kan de konstituere komplekse organismer. Fascinationen af kollektiv intelligens udspringer fra de kollektive bevægelsesmønstre, som finder sted i interaktionen mellem agenterne og i deres interaktion med omgivelserne. Og de kollektive bevægelsesmønstre er forskellige fra de bevægelsesmønstre, som den enkelte agent frembyder (Pfeifer, 2006:216). I sådanne syntetiske organismer er der høj grad af selvorganisering.

Modulært sammenkoblede robotter kan til forskel fra singulære ofte forvandle sig. De enkelte moduler kan grupperes på forskellige måder i relation til hinanden. Ikke nok med at gruppestørrelsen kan variere, så kan gruppens formation også ændres. Formation skal forstås som måden, hvorpå den definerer og dannersig som enhed . Et konkret eksempel er Kasper Støys modulære slange, som efter man har delt den over på midten, fortsætter med at sno sig. I stedet for en slange er der nu to slanger. Princippet kan sammenlignes med en regnorm, der skæres over på midten (Støy, 2002 og Pfeifer, 2006:213). Dette implicerer, at adaptivitetsniveauet for modulært sammenkoblede robotter er udstrakt og komplekst.

Modulært sammenkoblede robotter er anvendelige i undervisning, idet systemets effektorer opfører sig forskelligt afhængigt af, hvordan modulerne er koblede. Derudover betyder deres distribuerede organisering, at de har en rigere form for adaptivitet, idet de kan forbindes på forskellig vis. Som eksempel på modulære robotsystemer, som er anvendelige i en undervisningssammenhæng, kan nævnes modulære interaktive fliser eller I-BLOCKs, se nærmere i afsnit 4.4, hvor disse platforme vil blive introduceret. Herunder se I-BLOCKs Figur 21.



FIGUR 21. MODULÆRE I-BLOCKS

Den lærende konstruerer ved at sætte de enkelte robotdele sammen og former dermed adfærden i det samlede robotsystem. De lærende får en forståelse af virkemåden i de enkelte moduler og det samlede system.

Et grundtræk er, at agenterne hver især har en enkel og gennemskuelig adfærd, men at de kan udvise en kompleks og uventet adfærd, når de sættes sammen. Dette kan forhold kan udnyttes i en undervisningssammenhæng, hvilket uddybes i kapitel 6 *Case 1: Design af Fraction Battle et robotteknologisk læremiddel* og 7 *Case 2: Design af robotteknologisk læremiddel Number Blocks*.

3.5 LÆRING, INTERAKTION OG KOMPLEKSITET

Undervisningssammmenhænge er komplekse ogdynamiske. Spørgsmålet er, om robotagenter også behøver at være komplekse for at kunne indgå understøttende i undervisning? Skal robotlæremidler bestå af hyperkomplekse agenter for at kunne give lærende et passende modspil i læreprocessen?

Herunder besvares spørgsmålet, dels teoretisk med udgangspunkt i Brooks og dels ved at vurdere de interaktive robotter, som er blevet gennemgået i dette kapitel.

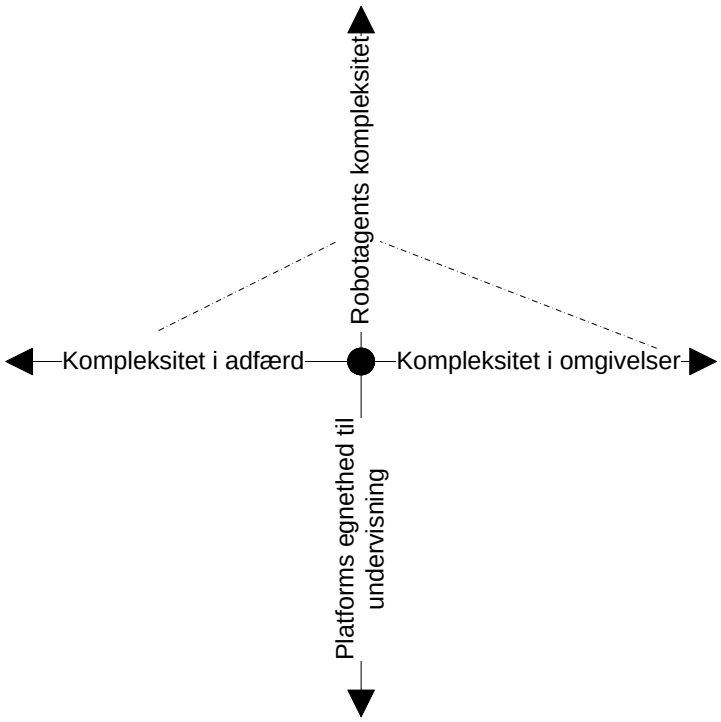
Som grundlag for diskussionen antages det, at en kompleks og meningsfuld interaktion mellem robot og menneske fremmer læreprocessen. Robottens adfærd og adfærd forventes derfor at skulle være kompleks for at egne sig til brug i en undervisningssammenhæng.

Fra Brooks' synspunkt er der imidlertid ikke en sammenhæng mellem, at en robot skal være ekstremt kompleks for at udvise en kompleks adfærd og dermed egne sig til sig til undervisning. En robot kan derimod være simpel, men forekomme kompleks, idet omsgivelserne opfører sig komplekst. Brooks beskriver forholdet mellem nyttig robotadfærd, et komplekst robotsystem og komplekse omgivelser således:

> *Complex (and useful) behavior need not necessarily be a product of an extremely complex control system. Rather, complex behavior may simply be the reflection of a complex environment. It may be an observer who ascribes complexity to an organism-not necessarily its designer (Brooks, 1986:15)*

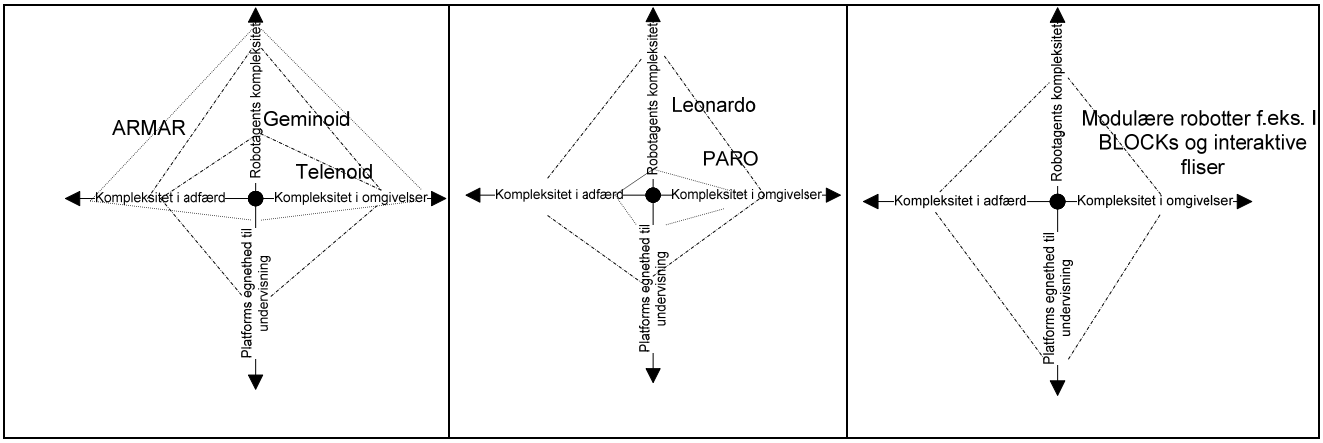
Når det gælder robotlæremidler, vil disse befinde sig i komplekse omgivelser, idet f.eks. børn og deres lærer opfører sig komplekst, når de interagerer med deres omgivelser, som kunne være et robotsystem. Et simpelt robotsystem vil dermed i samspil med kompleks børneinteraktion kunne udvise en

kompleks adfærd. For at kunne illustrere denne kompleksitetssammenhæng, indfører jeg nedenstående figur: Den viser et diagram over en simpel robotagent (pilen opad), som fungerer i komplekse omgivelser(pil mod højre). Hvilket får robotten til at udvise en kompleks adfærd (Pil mod venstre). Pilen til venstre udtrykker dermed robottens adfærd og ikke mindst, hvordan læringsopgaven kommer til udtryk . Pilen, der peger ned ad, skal illustrere et givent robotsystem egnethed som læremiddel, dette udfoldes konkret i det efterfølgende.



FIGUR 22 MODEL TIL VURDERING AF SAMMENHÆNG MELLEM ADFÆRD, ROBOTAGENT, OMGIVELSER OG EGNETHED TIL UNDERVISNING

For at komme nærmere på hvilken type robotsystemer der egner sig til undervisningsbrug, blev en række systemer introduceret: humanuider, sociale robotter, terapeutiske robotter og modulære robotter. Herunder (Figur 23) vises de konkrete robotters relation mellem kompleksitet af robotagent, omgivelser og adfærd. Desuden vises en oversigt over robotterne egnethed som læremidler.



FIGUR 23. OVERSIGT OVER INTERALTIVE, SITUEREDE ROBOTTER OG DERES ANVENDLIGHED I UNDERVISNING

De telestyrede humanuider kunne anvendes som læremidler, idet de kunne fungere som sparrings-partner eller mere præcist som medie mellem to individer. F.eks. er geminoiden en temmelig simpel robotagent med en kompleks adfærd, som fungerer i komplekse omgivelser. De telestyrede humanuider er at sammenligne med en fysisk version af Skype, hvor robotten med sit fysiske nærvær udtrykker ord og gestik, fra den fjernstyrende interaktionspartner. Dermed kan man forestille sig en undervisningssituation, hvor Geminoiden eller Telenoiden, f.eks. er placeret ved klassens kateter, og hvorfra den udfører undervisning. Det kunne være en slags moderne version af fjernundervisning, derfor slår denne type robotsystem særligt ud på aksen for egnethed til undervisning, se ovenstående figur til venstre.

Den sociale robot var også egnet til undervisningsbrug, idet den reagerede på menneskelige gesti, som f.eks. pegen. Og der bliver i øjeblikket arbejdet på at udvikle simple sociale robotter, som kan bruges i en undervisningssammenhæng (MIT, Tofu). Det bliver spændende at følge, hvordan den sociale robots gestik kan indgå i en undervisningssammenhæng.

PARO er et eksempel på en simpel robotagent, som fungerer i komplekse omgivelser og udviser en kompleks dyreunge adfærd. Men den er uegnet til brug i en undervisningssammenhæng, se ovenstående figur i midten.

Modulære robotter består af en række robotagenter, hvor hver enkelt robotagent er kendetegnet ved at temmelig simpel, men når disse robotagenter kommunikerer med hinanden og komplekse omgivelser, så udviser de en kompleks adfærd. Modulariteten gør desuden modulære robotagenter egnede som robotlæremidler, idet den lærende vil kunne forbinde modulerne og opleve en respons fra robotsystemer som konsekvens af nye forbindelser. Ovenstående figur til højre viser de modulære robotters potentialer i undervisningssammenhæng som værende med gode. I kapitel 6 og 7, designes og vurderes to typer af moduleres robotter i en konkret undervisningssammenhæng.

Ud fra Figur 23 er det svært at se en entydig sammenhæng mellem kompleksitet af robotagent, omgivelser og adfærd. Både simple og komplekse robotagenter kan ifølge figuren udvise kompleks adfærd i komplekse omgivelser. Det er heller ikke entydigt forståelse af, hvad kompleks eller simpel adfærd er. F.eks. kan det, at tømme opvaskemaskine og sætte på plads fra et menneskelig perspektiv syntes som en simpel opgave, men for en robot er det uhyre komplekst. Men en konklusion er, at robotagenter uanset kompleksitet vil kunne udvise kompleks adfærd i komplekse omgivelser. Derfor er det ikke et krav, at robotagenter skal være komplekse for at egne sig til undervisningsbrug.

Jævnfør de kvalitetsparametre for læring, som blev opstillet i sidste kapitel, skal robotlæremidler understøtte, at den lærende er aktiv handlende i et fællesskab, og også at den lærende skal kunne anvende robotlæremidlet i medskabende og reflekterende læreprocesser. Det skal undersøges i de næste kapitel om der er robotlæremidler på markedet, som understøtter dette.

3.6 OPSAMLING

Intentionen med kapitlet var at besvare følgende spørgsmål: Hvad er et robotsystem er? – hvilke slags robotsystemer egner sig til brug i undervisning?

Robotsystemet og dets bestanddele blev beskrevet med udgangspunkt i Hallams model for robotsystemer (Hallam, 2006). Strukturen bestod af robotagent, omgivelser og teknologisk opgave. Modellen betyder, at vi ikke ensidigt fokuserer på selve den fysise robotagent og dennes egenskaber, men på interaktionen mellem agent og omgivelser i løsningen af bestemte opgaver. Netop dette perspektiv er egnet til en undersøgelse af robotsystemers brug i undervisning, hvor interaktionen netop er grundlaget for læring (jævnfør sidste kapitel).

Derefter var der en kort historisk gennemgang af, hvordan robotter i begyndelsen var myter, og først i 1961 blev til rigtige industrirobotter (Engelberger, 1989)(Asimov, 1950). Robottens fascinationskraft som myte og science fiction-figur kan virke som en særlig motivationsfaktor for de lærende, dette underbyggedes teoretisk med persuation designteori (Fogg, 2007).

Robotten blev i slutningen af 1980'erne situeret, det vil sige, at den kunne forholde sig til ændringer i tid og rum (Brooks, 1990, 1991, 1994). Der kom fokus på situerethed, embodiment og adaptivitet. Dette blev et nyt og særligt paradigme, som dannede grobund for human robotic interaction. I forbindelse med HRI blev der sat fokus på mennesket som en del af robottens omgivelser og vise versa. Der blev i den forbindelse introduceret eksempler på interaktive robotter, som f.eks. telestyrede humanuider, sociale og terapeutiske robotter.

Desuden blev modulære robotter introduceret som koncept, og i praksis er der en del robotlæremidler, som er modulære. Modulære robotter er meget anvendelige som læremidler, idet de enkelte robotmodulers virkemåde er enkel og overskuelig. Når de forbindes opstår en mere kompleks sammenhæng, som kan udnyttes i undervisning. De særlige egenskaber ved modulære robotter i en undervisningssammenhæng vil blive udfoldet og eksemplificeret i næste kapitel og i forbindelse med de eksperimentelle cases.

Til slut i kapitlet var der en diskussion om sammenhængen mellem kompleksitet i robotagent, omgivelser, adfærd og egnethed som robotlæremiddel. Konklusion var her, at robotagenter uanset hvor simpel eller kompleks de er teknologisk, så kan de udvise kompleks adfærd i komplekse omgivelser. Det er derfor ikke noget designkrav om, at robotagenter skal være komplekse for at egne sig til undervisningsbrug. I denne forbindelse antages det, at lærerprocesser i samspil med robotter er mere succesfuld, hvis robotten udviser en kompleks adfærd.

4 EKSEMPLER PÅ ROBOTSYSTEMER TIL BRUG I UNDERVISNING

I det efterfølgende introduceres konkrete læremidler, som baserer sig på singulære eller modulære robotsystemer. Jeg bruger gennemgangen af robotsystemerne til at arbejde mig frem mod en forståelse af robotteknologi til læring. Desuden giver disse eksempler en for-forståelse for robotlæremidler, som kan anvendes som grundlag for de to eksperimentelle cases i kapitel 6 og 7.

Robotsystemerne vil alle kunne fungere i ustrukturede omgivelser og være interaktive, situerede og kropsligt intelligente, hvilket er de generelle krav vi må stille til robotlæremidler, jævnfør forrige kapitel. Eksemplerne er valgt med udgangspunkt i, at den lærende skal være socialt deltagende, medskabende og reflekterende i læreprocessen, se evt. min læringsanalysemodel i afsnit 2.6.

Først beskrives eksempler med singulære robotter til undervisningsbrug, derefter modulære:

Singulære robotlæremidler

(1) Paperts skildpadder (Papert 1980), fordi dette system grundlagde et ny syn på, hvordan digitale læremidler i den fysiske verden kunne støtte læreprocesser.
(2) PicoCrickets, som er medtaget på grund af deres alternative tilgang til robotteknologi, og LEGO Mindstorm er medtaget på grund af deres udbredelse. Både LEGO Mindstorm og PicoCricks er medtaget, fordi de lærende ofte vil være kreativt skabende og aktivt deltagende i læreprocessen (Resnick og Rusk 2008).
(3) Digitale legepladser til leg, læring og bevægelse. Disse legepladser er baseret på robotteknologi, og er medtaget, fordi den eksperimentelle case i kapitel 6 baseret på en teknologisk platform fra en digital legeplads.

Modulære robotlæremidler

(1) Nielsens I-BLOCKs (Nielsen 2008), som er en platform, som danner grundlag for designet af Number Blocks i Kapitel 7. Se i øvrigt artiklen om I-BLOCKs forvandling til Number Blocks i bilag 8 (Majgaard, Misfeldt og Nielsen 2010).
(2) Design af læringsspil ved hjælp af robotteknologiske fliser (Majgaard, 2009). Eksemplet er baseret på en konkret case, hvor mine ingeniørstuderende udviklede ny spil til platformen. Platformen er udviklet af Henrik Hautop Lund (Lund, 2007).
(3) Systemer, der understøtter læring inden for matematik og fysik, idet det er det domæne, hvor mine egne udviklingscases ligger. Det drejer sig om systemer, der er udviklet af Zuckerman (2007) og Piper og Ishii (2002). Men der er udviklet lignende eksperimentelle og kommercielle produkter til andre domæner, f.eks. musikforståelse (Nielsen, 2008), historiefortælling og narrativitet (Stanton, 2001), fysisk programmering (Fernaeus, 2005; Nielsen, 2008) og molekylær biologi (Gillet, 2005).

De enkelte robotlæremidler vil blive introduceret, herefter vil de hver især blive vurderet med udgangspunkt i akserne på *Figur 22 Model til vurdering af sammenhæng mellem adfærd, robotagent, omgivelser og egnethed til undervisning.* I forhold til adfærd vil robottens læringsopgave blive beskrevet, herunder en kort summering af undervisningsmål, og hvordan robotagenten opfører sig med henblip på at nå disse mål. Med hensyn til robotagenten vil dens forholdsvise kompleksitet blive beskrevet, og med hensyn til omgivelserne vil der blive redegjort for, hvordan den lærende og robot-

læremidlet interagerer. For at kunne redegøre for læremidlets egnethed til undervisning vurderes det med udgangspunkt i analysemodellen fra afsnit 2.6 *Analysemodel for medskabende, reflekterende og innovative læreprocesser*.

Om eksemplerne kan det generelt siges, at robotagenterne er relativt simple eller semikomplekse, at læremidlet skal anvende i komplekse omgivelser, og at deres adfærd er relativt kompleks. Kompleksitet i robotadfærd og omgivelser vil som regel følges ad. I afsnit 3.5 *Læring, interaktion og kompleksitet* underbygges dette teoretisk med udgangspunkt i Brooks (1986), som sandsynliggør, at en robots komplekse adfærd oftest er en afspejling af robottens interaktion med komplekse omgivelser. Dette kan illustreres som på *Figur 22 Model til vurdering af sammenhæng mellem adfærd, robotagent, omgivelser og egnethed til undervisning.*

4.1 SINGULÆRE ROBOTSYSTEMLÆREMIDLER: PAPERTS ROBOTSKILDPADDE

Det første eksempel er Seymour Papert's skildpadder, se Figur 24. Paperts ærinde er at bruge teknologi til at hjælpe børn og voksne med at lære ved at gøre ting, som er meningsfulde og motiverende (Papert, 1980). Papert mener, at teknologi skal bruges til at løse "real life" problemer snarere end til opøvelse af udenadslære og basale færdigheder. For ham er teknologi interessant, fordi den gør det muligt at tænke på læring på en ny måde.

Paperts robotskildpadde havde hjul og kunne køre i forskellige retninger alt efter, hvordan den vendte. Når den kørte trak den et spor efter sig. Skildpadden findes også i en virtuel udgave, som lignede den fysiske, men blot trak et lysende spor efter sig på skærmen. Skildpadden kunne programmeres i skildpaddesprog, som er baseret på LOGO. Eleverne kunne ved hjælp af dette sprog kommandere skildpadden til gå frem, tilbage eller dreje sig (Papert, 1980:11).

Skildpadden brugtes til at introducere geometri, og eleverne konstruerede geometriske figurer ved at kommandere med skildpadden. En geometrisk figur kan f.eks. være et kvadrat, som er konstrueret ved, at eleven har kommanderet: FREM 100, DREJ HØJRE 90, FREM 100, DREJ HØJRE 90, FREM 100, DREJ HØJRE 90, FREM 100. Skildpadden går efter denne kommando 100 "skridt" frem, drejer sig 90 grader til højre etc.

FIGUR 24 VISER ORIGINAL SKILDPADDEROBOT FRA "THE CHILDREN'S MACHINE," SEYMOUR PAPERT, HARPERCOLLINS, 1993.

Jeg har selv i slutningen af 1990'erne brugt Paperts skildpadde-ide i forbindelse med grundlæggende programmeringsundervisning af datamatikerstuderende på Lyngby Uddannelsescenter. Mine studerende kendte udmærket til geometri, men de var til gengæld novicer i programmering. Disse studerende brugte skildpadder til at komme i gang med at anvende kontrolstrukturer, som f.eks. at programmet gentager afviklingen af dele af koden uden, at programmøren selv behøver at skrive det gentagne gange. Dette gør koden mere kompakt og optimal. Firkanten kan f.eks. tegnes med ved hjælp af en kontrolstruktur, som populært kaldes "for-løkken", som i dette tilfælde skal gentage koden FREM 100, DREJ HØJRE 90 fire gange: for (int i=0; i<4; i++) { frem(100); drej(højre, 90)}, som resulterer i, at der tegnes et kvadrat på skærmen uden, at man selv behøver at gentage frem og drej til højre fire gange. Ideen til min undervisning kom dengang fra Caspersen (Caspersen, 2000), som argumenterede for, at skildpadder gav en intuitiv forståelse for programmeringskonceptet.

Paperts læringssyn er inspireret af Piagets begreber assimilation og akkommodation. Papert kalder assimilation for debugging, altså fejlretning (Papert, 1993:xiii). Det skal forstås som, at den lærende sjældent forstår (eller gør noget helt korrekt) ved første forsøg. Den lærende forsøger sig frem og justerer sin løsning, indtil den fungerer. F.eks. bruger programmører på alle niveauer meget af deres tid på at debugge deres programkode, dels så programmet kan køres og dels for at få det til at gøre som man gerne vil. I denne debugning ligger en korrektiv tilpasning, hvor programmet bringes til at fungere inden for en given kontekst. Udvides denne tilpasning til også at omfatte en omfortolkning og nyorientering af programmet og dets kontekst, er der tale om akkomodation. Ved at arbejde med skilpadde-geometri blev børnene altså en slags geometri-programmører med mulighed for både en assimilerende og akkomoderende læring (i følge Qvortrup svarende til læring 2 og 3 i Batesons læringstaksonomi).

Sammenhæng mellem robotlæremidlets adfærd, robotagent, omgivelser og læringspotentialer

Robottens adfærd skal fremme, at børnene får en intuitiv forståelse af geometriske figurer. Skildpaddens rolle er i den forbindelse et "objekt-to-think-with", forstået på den måde, at den lærende tænker og arbejder i geometriske baner sammen med skildpadden. Papert beskriver skildpaddegeometrien som værende computeragtig, idet den lærende får en programmeringsvinkel på geometri (Papert, 1980:55). Den lærende skaber sine geometriske konstruktioner ved at kommandere rundt med skildpadden. Geometrien gøres konkret idet skildpadden vender på en bestemt måde og trækker sit spor afhængigt af, hvordan den vender. Den lærende får dermed en fysisk forståelse af gradtal i forhold til positition og længder.

Robotagenten er simpel, idet den løbende forudprogrammeres af børnene og ikke forholder sig til tid og rum på en situeret måde. Den kan på baggrund af det kørende program bevæge sig rundt og samtidig trække en streg. Robotagenten brugtes både i en virtuel og fysisk version.

Omgivelserne: De lærende er en del af omgivelserne, og de interagerer med skildpadden ved hjælp af et programmeringsinterface. Oversættelsen mellem den lærendes ideer og planer, som er nedfældet i kode, er netop det, som teknologien bidrager med. Når den lærende ser resultaterne af sin programmering i de fysiske omgivelser, kan han tilpasse og videreudvikle sine ideer. På den måde bliver skildpaddens fysiske omgivelser og programmeringsinterfacet spillebanen for læreprocessen. Den lærende skal være aktiv og skabende for, at skildpadden kan blive det.

Læringspotentiale i forhold til min analysemodel
Hvad er læringspotentialet i skildpadder set i lyset af min analysemodel?

Socialitet og praksisfællesskaber – man kan for så vidt arbejde med skildpadder alene eller sammen med andre. Det kommer helt an på den didaktiske ramme, der bliver lagt for læreprocesser med skildpadder.

Deltagelse og medskaben – Medskaben og konstruktion er den virkelige styrke i skildpadder. Resultatet af den lærendes forståelse af skildpadden kommer umiddelbart til udtryk i de figurer, som dannes. Den lærende kan eksperimentere med former og konstruktioner og samtidig få en fornemmelse af geometri og programmering.

Refleksion – Arbejdet med skilpadderne indebærer som nævnt mulighed for både assimilerende og akkomoderende læring. Debugprocessen er assimilerende og kan sammenlignes med, det der sker på Batesons niveau 2, hvor den lærende optimerer sine handlinger på baggrund af sine erfaringer indtil han får det ønskede resultat. Det kan også sammenlignes med Schöns refleksion-i-handling, hvor den studerende i situationen optimerer og forbedrer sine konstruktioner. Når eleven opnår er mere begrebslig forståelse af geometrien, får han mulighed for at anvende og programmere skilpadden mere frit og til nye typer af opgaver. Her bliver læringen akkomoderende og kan modsvare læring 3 i Batesons taksonomi, hvis eleven gør dette ud fra en bevidst valgt læringsstrategi.

Innovation, fantasi og kreativitet – skildpadder er et værktøj, som kan bruges med stor variation og kreativitet af underviserne. Der er ikke nogen didaktisk spændetrøje, som gør, at man kun kan programmere skildpadder i nogle få konstruktioner.

For den lærende er der også frit slag til at kunne bruge skildpadder ligesom en blyant, der kan lave uendelig mange slags figurer, landskaber mv.

Kontekster – man kan betragte programmeringssproget og det virtuelle miljø som en programmeringskontekst. Derudover kan man betragte den skildpadden's bevægelser og spor som den fysiske kontekst. Når den lærende eksekverer sit program, forbindes disse kontekster, og de forestillede handlinger i programmeringskonteksten udføres i den fysiske kontekst. Oversættelsen mellem den lærendes ideer og planer, som er nedfældet i kode og fysiske verden, er netop det, som teknologien bidrager med. Når den lærende ser de fysiske resultater af sin programmering, kan han tilpasse og videreudvikle sine ideer.

Eksemplet viser desuden at koncepter kan anvendes både til børn og voksne, omend at det er noget forskelligt de lærer.

4.2 SINGULÆRE ROBOTSYSTEMLÆREMIDLER: KONSTRUKTION AF UNIKKE ROBOTTER

Papert ideer har i høj grad dannet skolet for robotlæremidler, og det kan f.eks. tydeligt ses i LEGO MINDSTORM og PicoCricket. Disse produkter kombinerer også fysisk interaktion, programmering, konstruktion, kreativitet og udforsken. Konstruktion består dog her ikke kun i, at robotten trækkeret

spor. Her skal de lærende selv bygge robotter efter for godtbefindende eller på baggrund af opskrifter. Programmeringsdelen er den samme, men mere varieret, fordi der er en række sensorer og aktuatorer, der skal bringes til at fungere på den måde, man ønsker det. Læringsopgaven er her mere kompleks end hos Papert, idet der ud over programmeringsarbejdet også skal bygges en passende robot. Disse produkter stiller særlige krav til underviseren om at have udtænkt og afgrænset en særlig opgave.

PicoCrickets præsenteres herunder.

PicoCricket med temaer som kombinerer kunst og robotteknologi

Med PicoCrickets kan man konstruere robotter i feltet mellem teknologi og kunsthåndværk, som kan give den lærende en dybere forståelse af robotteknologi, interaktivitet og programmering. Resnick og Rusk (Resnick et al, 2008) har introduceret denne strategi til undervisning af elever i robotteknologi, se Figur 25.

FIGUR 25: PICOCRICKETSÆT

Beskrivelse af teknologien. PicoCricket består af flere robotteknologiske dele, som kan placeres i fysiske artefakter f.eks. bamser eller noget, der skabes undervejs. Effektorerne i et sæt PicoCrickets er en motor, lysdioder, display og højtaler. Sensorer i PicoCricket er lys-, berørings- og lydsensorer. Derudover er der en programmerbar controller. Programmering udføres med et programmeringssprog, der er udformet som puslespilsbrikker. Således forstået, at man visuelt kan se og bestemme, hvilke funktioner man kan kombinere. Når de digitale "brikker" passer sammen, kan programmet fungere.

PicoCrickets er beslægtet med LEGO Mindstorm, og begge er skabt i samarbejde med blandt andet Massachusetts Institute of Technology. LEGO Mindstorm har dannet grundlag for mange konkurrencer rundt om i verden og bliver desuden brugt i mange folkeskoler og på videregående uddannelser i Danmark, herunder blandt andet på folkeskoler i Odense, Middelfart og Fredericia og i forbindelse med AI kurser på Syddansk universitet.

*Didaktisk sammenhæng.*Resnick og Rusk (Resnick et al, 2008) argumenterer for nødvendigheden i at præsentere flere mulige indfaldsvinkler, når man introducerer robotteknologi. Igennem årene er der tilrettelagt og afholdt mange konkurrencer med LEGO, hvor børn og unge har kunnet konkurrere om, hvem der kunne bygge den hurtigste robotbil. Konkurrence er en effektiv læringsstrategi, men den appellerer ikke til alle unge. Flere er mere interesserede i kunsthåndværk eller musik, og for denne

målgruppe passer PicoCrickets måske bedre. Temaer for udvikling af PicoCrikets kan f.eks. være interaktive haver, fødselsdagstemaer og historiefortælling.

Sammenhæng mellem robotlæremidlets adfærd, robotagent, omgivelser og læringspotentialer

Robotlæremidlets adfærd er kompleks, idet børnene undervejs i læreprocesen skal få forståelse for udvikling af robotagenter, herunder virkemåde af sensorer, effektorer, controller og programmering. Det er en fornyelse at forbinde kunsthåndværk og teknologi, og det giver børn og unge en bedre forståelse for vores teknologiske hverdag.

Robotagenten er simpel, idet der er få og simple sensorer og effektorer.

Omgivelserne: De lærende er en del af omgivelserne, og de konstruerer robotten undervejs i læreprocessen, derudover interagerer de med robotten vha. et programmeringsinterface og ved at stimulere sensorerne.

Læringspotentiale i PicoCrickets og Lego

Socialitet og praksisfællesskaber – det er op til underviseren at forme en didaktisk sammenhæng, hvor eleverne arbejder i et praksisfællesskab. Men at udføre en hold-konkurrence eller en udstilling med et fælles tema lægger om til samarbejde.

Deltagelse og medskaben – Drivkraften for børnene er den umiddelbare interaktive feedback, de får igennem udviklingsprocessen af robotten. Denne interaktive feedback fra robotten vil ændre sig efterhånden, som børnene udvikler robottens adfærd. Børnene er i høj grad skabende i processen, og det er denne medskaben der driver læreprocessen.

Refleksion – Børnene optimerer igennem gentagende runder af programmering og test virkemåden for deres kunstneriske robot. Denne optimerende læreproces giver en god og dyb læring. Børnene optimerer selv robotten samtidig med, at deres egen forståelse af robotteknologi bliver udvikles. I forhold til Bateson giver det læring op til niveua 3.

Innovation, fantasi og kreativitet - Kombination er robotteknologi og kunst giver børn mulighed for med simple midler at skabe noget unikt og fantasifuldt. Man kan forestille sig sådanne temaer afviklet i folkeskolen i samarbejde mellem håndarbejde, billedkunst, matematik, natur og teknik og fysik.

Resnick og Rusk forslår følgende temaer:

1) Fokus på temaer såsom interaktive haver med interaktive blomster og insekter eller fødselsdagstemaer, hvor der bliver udviklet interaktive lagkager.
2) Kombinationer af kunst og teknologi, hvori materialer til håndarbejde og kunsthåndværk bliver sat sammen med både mekaniske og programmerbare robotteknologiske enheder.
3) Konstruktioner og gåder. Børn kan bygge med klodser, løse gåder og lægge puslespil.
4) Historiefortælling gennem rollespil, hvor legetøj stimulerer børns sociale interaktion. Ved at fokusere på historiefortælling i robotaktiviteterne, bliver det muligt at nå en større kreds af børn.

5) Organiserede udstillinger, hvor robotteknologiske potentialer bliver indsat i kreative senarier, der inddrager børnene som aktører, fungerer bedre og henvender sig til flere end ligefremme og enkle konkurrencer i robotteknologi.

Kontekster – Kontekster for programmering og teknologi forbindes med kontekster for kunst og håndarbejde. At forbindes disse kontekster i børnenes verden er fornyede og er med til at udvikle børns forståelse af vores teknologiske hverdag.

4.3 SINGULÆRE ROBOTSYSTEMLÆREMIDLER: DIGITALE LEGEPLADSER TIL LEG, LÆRING OG BEVÆGELSE

Den tredje kategori af singulære robotter var de digitale legepladser til leg, læring og bevægelse. Mange vil nok ikke forbinde denne type installation med et robotsystem, men ud fra definition i afsnit 3.1 kan den digitale legeplads godt ligge inden for definitionen. Den digitale legeplads har sensorer, aktuatorer samt styrings- og kontrolfunktioner.

Den type legepladser kombinerer traditionel analog leg med digital leg (Majgaard, 2009). I den analoge leg bruger børnene legepladsen ligesom de har gjort i årtier med lege som f.eks. tagfat, fodbold eller akrobatisk klatring. I den digitale leg, er der udformet prædefinerede spil, som barnet eller den unge anden. Den digitale leg er spil kan virke igangsættende på leg og bevægelse, eller den digitale leg kan have visse konkret læringsmål indbygget. Den læring, som finder sted her, er som regel af den uformelle slags og foregår udenfor den normale undervisnings rammer.

Lappsets *SmartUs* er et simpelt robotsystem designet til udendørs brug på legepladsen. *SmartUs* er udviklet med henblik på at bringe bevægelse, leg og læring sammen, således at børn kan lære et fagligt indhold, mens de løber omkring og leger, se Figur 26.

FIGUR 26 SMARTUS (A) IGRID SPILLEBANE (B) IPOST (C) IPOST SPILLEBANE (LAPPSET SMARTUS)

SmartUs har to typer af spillebaner:

(1) Et iGrid, som er en bane med f.eks. 9 fliser, hvor hver flise er trykfølsom, se Figur 26(a).
(2) En iPostbane, som består af f.eks. 10 iPosts, som placeres med 3 - 5 meters mellemrum, se Figur 26(c). Hver iPost indeholder en digital kortlæser, hvor spilleren kan registre sit kort som en del af spillet, se Figur 26(b). Banerne er hver især forbundet med en pc, som indeholder et display, og hvorfra spillet kan igangsættes.

Et konkret legeeksempel fra iPost-spillebanen på Rosengårdskolen i Odense er, at den centrale computer stiller en multiplikationsopgave, der handler om at finde summen 15. Eleverne skal så finde de iPosts, som har tal, der tilsammen giver 15. De kan vælge at løbe hen til iPosts med henholdsvis 10 og 5, 9 og 6 eller 8 og 7. Tallene på iPosts ændrer sig ikke, kun opgaven fra den centrale computer. I den forstand lærer børnene efter en tid, hvilke tal, bogstaver og tegn de forskellige satellitter er udstyret med. Et andet legeeksempel er at stave til et ord. I de mindre klasser kan de løbe mellem satellitterne og finde bogstaverne til f.eks. ordet hus.

SmartUs indeholder desuden en række spil, som ikke fokuserer på formel læring. Eksempelvis kan den centrale computer opstille en løbebane ved hjælp af satellitterne. Og efter spillet er blevet sat i gang, så løber børnene fra iPost til iPost, mens de stryger deres plastikkort henover iPosten for at registrere, hvor langt de er nået på banen. Den elev, som tilbagelægger distancen hurtigst, har vundet. Her er det selvfølgelig muligt at spille mod sig selv for at forbedre sin personlige tid.

*SmartUs pladser forbundet på nettet.*De forskellige geografiske installationer af *SmartUs* er forbundet med hinanden via internettet. Herved kan elever via deres personlige plastikkort spille på *SmartUs* ligegyldigt, hvor de finder en bane. Endvidere bliver elevernes progression registreret på *SmartUs* hjemmesiden, hvor man kan vælge at vise sine resultater og sammenligne dem med andre elever. Således kan enkelte elever eller skoler konkurrere mod hinanden. Se, hvem der er bedst og hurtigst til at løse bestemte opgaver.

Programmering af SmartUs – skolelærerens redskab. Det tilhørende programmeringsværktøj gør det muligt at tilpasse indholdet af de eksisterende spil til den konkrete læringskontekst. Videre er det muligt at designe nye spil. På den vis kan undervisere selv definere det faglige indhold, de ønsker at eleverne skal lege sig til, og udforme selve den spilaktivitet, som det faglige indhold bliver formidlet igennem. De man med andre ord selv styre interaktionens indhold og den kontekst, dette indhold bliver formidlet igennem.

Værktøjet åbner endvidere mulighed for at undervise i spildesign. Elever kan derigennem selv være med til at designe spil, afprøve dem, reflektere og indføre rettelser, indtil de synes spillene er blevet sådan, som de havde forestillet sig. Disse spil kan bagefter distribueres til andre *SmartUs* installationer via den digitale kommunikationsplatform. På den vis kan både lærere og elever dele deres viden og samtidig hente andre spil og andet læringsindhold ned fra kommunikationsplatformen. Den digitale kommunikationsplatform skaber herigennem mulighed for udveksling af digitalt indhold og produkter (spildesigns).

Sammenhæng mellem robotlæremidlets adfærd, robotagent, omgivelser og læringspotentialer

Robotlæremidlets adfærd. På iGrid er der er prædefinerede opgaver i f.eks. stavning og matematik. Disse opgaver er enkle. Det kan dreje sig om at forbinde et billede af en and med ordet "and". Der kan dog udvikles opgaver og spil efter fri fantasi med iGrid og iPost som platform. Det er en kompleks opgave, selv om der følger et brugervenligt udviklingsværktøj med. Større børn vil her kunne lære grundideen i programmering.

Robotagenten er semi-kompleks, fordi den er knyttet til en udviklingsplatform.

Omgivelserne: iGrid og iPost kommunikerer med omgivelser ved hjælp af trykfølsomme sensorer i fliserne eller en digital kortlæser. Derudover er der et grafisk brugerinterface med nogle få knapper og en skærm.

Læringspotentiale for Lappsets læringsspil

Socialitet og praksisfællesskaber – Størrelsen af den udendørs digitale legeplads ligger op til at der leges og motioneres sammen med andre. Spillene lægger også op til kollaboration, konkurrence og bevægelse.

Deltagelse og medskaben – Børn og unge kan designe deres egne spil til banen på en pc med det specielle Lappset udviklingsværktøj . Spildesignfladen giver mulighed for at udvikle nye spil og ændre det allerede eksisterende indhold. Der er dog ikke pt. projekter på skolen, som udnytter denne dimension.

Når børnene anvender de eksisterende spil, er interaktionen mest reaktiv karakter. De skal placere sig det rigtige sted og aktivere systemets sensorer. Så der er ikke her tale om medskaben, men dog i høj grad deltagelse. Og det er fysisk bevægelse og aktivitet, som er det centrale i dette koncept.

Refleksion – I Lappsets læringsspil skal den lærende udføre opgaver, som er pakket ind i et spilformat med den hensigt at gøre læringen legende. Eleverne kan lære at blive bedre til at lægge tal sammen, mens de bevæger sig. Disse læringsspil placerer eleverne på et bestemt læringstrin uden hensyn til deres konkrete stade. Eleverne vil dog hurtigt blive bedre til at spille spillets struktur ved at placere sig mere hensigtsmæssigt på banen, så svarene kan afgives hurtigere. Dvs. at børnene optimerer deres bevægelsesmønster, hvilket svarer til læring 2. Man kan sætte spørgsmålstegn ved om optimering af bevægelsesmønster er det samme optimering af forståelse af det faglige indhold af læringsspillet. Desuden giver medskaben et højere refleksionsniveau, idet de unge selv har muligheden for konkret at tilrettelægge en læringsstrategi igennem udvikling at konkret læringsspil eller læringsscenarie. At skabe og tilrettelægge sine læringsstrategier svarer til Batesons niveau 3.

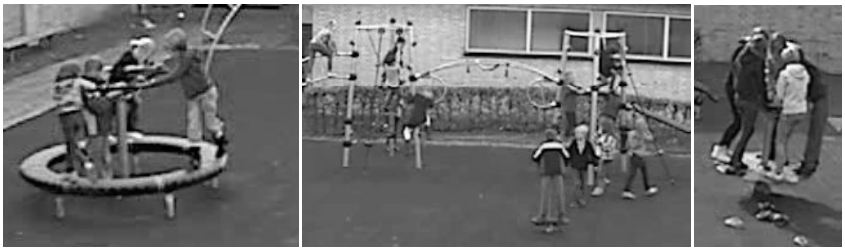
Innovation, fantasi og kreativitet – Hvis børnene kommer i gang med programmeringsdelen vil der være et godt potentiale for innovation, fantasi og kreativitet.

I brugen af de eksisterende spil, er børnene bundet til det regelsæt som udviklerne har bestemt, og der ligger selvfølgelig en begrænsning på det innovative potentiale.

Kontekster – At have en legeplads med digitalt læringsindhold er noget helt særligt. Og det er en ny måde at bringe leg, bevægelse og læring sammen på.

Andre platforme

Kompan har også en digital legeplads, som forbinder digital leg og spil med bevægelse. Hos Kompan er der mere fokus på at blande analog og digital leg (Majgaard og Jessen, 2009), det vil sige, at børnene kan veksle mellem at lege deres egne lege og så bruge de indbyggede digitale spil, se Figur 27. F.eks. kan børnene klatre og svinge sig rundt som en del af de digitale spil i klatrestativet, eller de kan selv finde på udfordringer. Hos Lappset er der fokus på de digitale spil, og der er ikke udfordringer på spillebanen med mindre, man bruger de digitale spil.



FIGUR 27 KOMPANS DIGITALE LEGEPLADS (MAJGAARD OG JESSEN, 2009)

Derudover har PlayAlive også en digital legeplads, som bygger på samme ide som Kompans legeplads, nemlig at kombinere analog og digital leg, se Figur 28. Hverken Kompan eller PlayAlive har dog i deres installationer særlig fokus på formel læring. De har mere fokus på den uformelle der sker undervejs i legen.

FIGUR 28 PLAYALIVES KLATRESTIV "EDDERKOPPEN" (PLAYALIVE)

Playalives edderkop danner grundlag for design "Fraction Battle", som er emnet for kapitel 6. Her pilles teknogien ud af edderkoppen og bringes med ind i klasseværelset, hvor det forvandles til et værktøj til støtte i matematiktimerne (Majgaard 2009).

4.4 MODULÆRE ROBOTSYSTEMLÆREMIDLER: I-BLOCKS

Traditionelt har modulære systemer til læring været analoge og har haft form af klodser, perler eller lignende. Der foregår i disse år et skred fra analoge til digitale systemer også inden for dette felt. Der udvikles interaktive systemer, og disse har karakter af at være robotsystemer. De benævnes ofte f.eks. ”tangibles”, ”beads”, ”blocks” eller ”manipulatives”. Men i dag er der en række forskellige interaktive modulære systemer, som kan brugs til undervisning.

I dette og de to følgende afsnit vil forskellige modulære læremidler blive introduceret. To af platformene I-BLOCKs og interaktive fliser har jeg selv arbejdet med. De resterende prototyper og produkter er samlet i et afsnit, disse er mere summarisk beskrevet.

Interaktive modulære robotter har en særlig rolle i denne afhandling, idet to af de eksperimentelle cases tager udgangspunkt i en modulær platform, se kapitel 6 og 7. Casen i kapitel 7 omhandler netop I-BLOCKs, og hvordan de bruges til at understøtte børns læring inden for matematik, mere specifikt deres forståelse af positionssystemet, se Figur 29 (b). Lige her og nu gives et eksempel på brug af I-BLOCKs til udvikling af rytmisk musikforståelse gennem uformel leg, se Figur 29 (a).

Eksemplet på Figur 29 (a) om musikforståelse bygger på et testforløb i sommeren 2008, udført af Jacob Nielsen og Center for Playware (Nielsen, 2008a). Børnene er ca. 10-11 år. Forløbet foregår i en skolefritidsordning, hvor børn i firmandsgrupper eksperimenterer med at bygge musik kompositioner med I-BLOCKs.

FIGUR 29: I-BLOCKS (A) MUSIK APPLIKATION; (B) MATEMATIK APPLIKATION

Beskrivelse af platformen og musikapplikationen

I-BLOCKs er modulære robotagenter, som er udviklet gennem flere prototyper og anvendelser (Nielsen 2008a, Nielsen 2008b, Nielsen 2008c, Majgaard 2010). Systemet består af kubiske moduler, som fysisk forbindes ved hjælp af magneter. Kuberne er hver især selvstændige robotagenter, og når de er forbundet, kan de kommunikere med hinanden med infrarødt lys. I nogle tilfælde kommunikerer en master-klods med en computer via en radio (Zigbee). Derudover er der på hver kube fire RGB lysdioder, som kan lyse op i 4096 forskellige farver. I-BLOCKs hardware er indkapslet af en sort polyurethanskal, der har en blød gummi-lignende overflade. Derudover er der i top og bund monteret forskellige stik, sensorer og aktuatorer.

Hver I-BLOCK indeholder et 3D accelerometer, som detekterer dens orientering i rummet. Dette gør den i stand til at afgøre, hvilken side der vender opad. Måden, der kommer liv i interaktionen mellem menneske og robotagenter, er ved at vende og dreje kuberne og sætte dem sammen.

I-BLOCKs er robotter i den forstand, at de har sensorer, som gør at de kan orientere sig i forhold til hinandens placering, og hvordan de selv vender. I-BLOCKs kan også interagere med i hinanden uden menneskelige indgriben, dette er også en robotegenskab. En I-BLOCK er en atypisk robot i den forstand, at den ikke kan bevæge sig.

I-BLOCKs er specifikt udviklet som en generel platform, som kan tilrettes på forskellige formål. Man kan sige, at der er udviklet et operativsystem til kuberne, og at man kan udvikle forskellige applikationer til at køre på dette operativsystem. Klodserne er organiseret efter master og slave princippet, og det er den særlige masterklods, som forestår kommunikation med pc'en. Og det det er pc'en, som afspiller lydspor.

I dette eksempel er der udviklet en særlig musikapplikation til rytmisk musikforståelse (se Figur 29 (a)). Der var komponeret musik i forskellige stilarter såsom jazz, reggae og hiphop. De enkelte kuber var programmeret til at afspille hver sit instrumentspor, f.eks. trommer, bas eller vokal. Når man drejer en I-BLOCK vil der opstå en ny variation på det pågældende instrument. For at igangsætte musikapplikationen skal de enkelte klodser forbindes til en særlig masterklods. Hvis man blot forbinder én instrumentklods til masterklodsen, vil man for eksempel høre trommerne.

Det didaktiske forløb kan beskrives som udforskende, idet man ville undersøge, om klodserne kunne bruges til læringsformål, musikforståelse og kreativitet(Nielsen, 2008a).

Sammenhæng mellem robotlæremidlets adfærd, robotagent, omgivelser og læringspotentialer

Robotlæremidlets adfærd er relativt kompleks, idet kombinationsmulighederne mellem instrumentspor og stilarter er meget stor.

Børn og unge, som er målgruppen for musikversion af klodserne, kender klodser fra LEGO og andre systemer, og de ved derfor umiddelbart, hvordan man bygger med klodser. Det nye er her, at hver gang man forbinder en ny klods, så ændres lydbilledet. Læremidlet appellerer i høj grad til medskaben. Lydbilledet vil være forskelligt afhængigt af, hvordan klodserne sættes sammen, men ingen lydbilleder vil lyde dårligt eller forkert. Hver klods indeholder sit instrument, og hver gang man drejer klodsen afspilles instrumentet i en ny variation. Seks klodser med hver seks variationer giver 6*6*6*6*6*6 = 46.656 forskellige kombinationer. Da der er så mange forskellige kombinationsmuligheder, opleves det af den lærende, som om han komponerer musik. Og det giver den lærende en forståelse af de enkeltes instrumenters rolle i rytmisk musik.

Robotagenterne er semi-komplekse - og mere komplekse end f.eks. PicoCrickets. Det skyldes, at systemet består af flere robotagenter, som kan kunne kommunikerer med hinanden og omgivelserne.

Omgivelserne: I-BLOCKs sanser omgivelserne via ændringer i orientering og forbundethed. De lærende er en del af omgivelserne og kan ændre på orientering og forbundenhed. Hver enkelte robotagent forholder sig både til naborobotagenter, og til hvordan de er orienteret i rummet.

Læringspotentiale i I-blocks

Socialitet og praksisfællesskaber – Klodseren giver mange sociale samspilsmuligheder, men det er op til underviseren at tilrettelægge den didaktiske sammenhæng og vurdere, hvordan klodserne skal bruges. I dette eksempel eksperimenterede børnene sig kollaborativt frem til de enkelte klodsers virkemåde (Nielsen, 2008). Børnene skiftedes enten til at sætte klodser sammen, eller også supplerede de hinandens konstruktioner. Når der var blevet bygget en konstruktion med et hul i, kiggede de alle gennem hullet. Efterfølgende blev børnene i forsøgt opmuntret til at forme individuelle kompositioner, der viste at hvert barn lavede sin unikke komposition.

Deltagelse og medskaben – Børn kender klodser fra LEGO og andre systemer. De ved derfor umiddelbart, hvordan man bygger med klodser. Det ny er her, at hver gang man forbinder en ny klods, så ændres lydbilledet. Læremidlet appellerer i høj grad til medskaben. Man kan dog ikke kan sætte klodserne "forkert" sammen, det vil sige komponere disharmonisk og "grim" musik. Lydbilledet vil være forskelligt afhængigt af, hvordan klodserne sættes sammen, men ingen af lydbilleder vil lyde dårlige eller forkerte. Designeren har således indlagt et "æstetisk sikkerhedsnet".

Refleksion – Efterhånden som børnene i eksemplet blev mere erfarne, begyndte de at sætte klodserne sammen på en måde, der viste, at de gik efter et bestemt lydbillede, f.eks. ved starte trommen først for derefter at eksperimentere med rysteklodsen, som giver et guitarlydspor. Så det er oplagt, at børnene reflekterer undervejs i legen. For at få en egentlig bevidst musikforståelse, skal klodsers anvendes i en mere målrettet didaktisk sammenhæng.

Innovation, fantasi og kreativitet - Børnene bruger tiden med klodserne på at skabe musikvariationer og på at bygge fysiske konstruktioner. De fysiske konstruktioner var f.eks. tunneller og robotter.

Kontekster - Testrammerne for I-blocks er en skolefritidsordning, som for børnene er sted for leg. Derfor blev det at bygge med klodser hurtigt til defineret som leg.

I forsøget forbinder børnene en kontekst med klodser med en ny kontekst med musikkomposition. At bygge bro mellem kontekster giver ifølge Bateson en god dyb læring 2 (se evt. læringsafsnit i foreløbig version af afhandling (Majgaard 2011+)). Jeg mener klodserne fortjener at blive testet i en musikdidaktisk sammenhæng.

4.5 MODULÆRE ROBOTSYSTEMERLÆREMIDLER: INGENIØRSTUDERENDE BRUGER ROBOTTEKNOLOGISKE FLISER SOM PLATFORMFORM FOR DESIGN AF FYSISK INTERAKTIVE SPIL TIL BØRN

Det følgende eksempel bygger på et undervisningsforløb i game design, som afvikledes i efteråret 2008 for ingeniørstuderende på Syddansk univesitet. De studerende skulle tilegne sig en dybere forståelse af robotteknologi og spildesign. Undervisningsforløbet er også beskrevet i en populærvidenskabelig formidlingsartikel med titlen: "Eksempler på robotter i en læringssammenhæng" (Majgaard, 2009).

Eksemplet omhandler, hvordan IT-studerende udvikler digitale spil på en platform af robotteknologiske modulære fliser. Den robotteknologiske platorm er udarbejdet af Center for Playware, og de har igennem de seneste år været anvendt til blandt andet leg, genoptræning og motion (Lund, 2007). Aktiviteterne, som for det meste fungerer som en slags spil, kombinerer bevægelse med gameplay. De særlige spil, som de studerende udviklede, afvikledes på fliserne alene eller i en kombination af fliser og grafisk brugerinterface med eller uden lyd.

Målet med at inddrage fliserne i undervisningen var at udvide de studerendes forståelse af modulær robotteknologi og dets anvendelighed i forbindelse med game design. Det var også et mål at tænke fysisk bevægelse ind i spillet. Derudover er det vigtigt, at kommende ingeniører udvikler systemer til andet end standard-interfaces, f.eks. set i lyset voksende brug af pervasive teknologi.

Det forventedes desuden, at de studerende skulle overføre deres egne erfaringer med spil til de prototyper, de skabte. De studerende forventedes også at kunne overføre teori om design af computerspil til deres nye prototyper. Og endelig forventedes det, at de studerende skulle være udforskende og skabende i forbindelse med undervisningsforløbet.

Beskrivelse af agentsystemet

De modulære robotfliser er kvadratiske, og siderne er så store, at et voksent menneske kan træde på en flise af gangen. I fliserne er der indbygget tryksensorer, som detekterer, om der bliver trådt på dem eller ej. Fliserne kommunikerer med deres naboer vha. af infrarødt lys. Fra en af fliserne i bunken er der radioforbindelse til en pc. Flisernes effektorer er lys i form af 8 individuelt programmerbare rød-grøn-blå lysdioder(Lund, 2007). I hver flise er der desuden en processor, hukommelse og batteri, så fliserne kan fungere sammen eller hver for sig. Fliserne kan sættes sammen med indbyggede magneter.

Fliserne kan programmeres centraliseret eller distribueret. I den centraliserede tilstand afvikles et program, der styres via radiolinket til fliserne. Fliserne vil så kunne fortælle det centraliserede program om sin sensoriske status. Hovedprogrammet vil så via en specifikt konstrueret algoritme fortælle den individuelle flise, hvordan den skal reagere, om den skal tænde nogle at sine dioder og i hvilken rækkefølge og farve. Den centraliserede programmering forgår med programmeringssproget JAVA.

FIGUR 30: MODULÆRE ROBOTFLISER I AKTION

Beskrivelse af den didaktiske sammenhæng

De studerende skulle arbejde med at udforme spil, som var motiverende og medrivende, og som skal kunne anvendes af børn mellem 7 og 10 år. De studerende blev præsenteret for en teori om spil-design (Fullerton, 2008) og teorier om, hvordan der bevidst kunne arbejdes med motivation (Csikszentmihalyi, 2005 og Apter, 1991).

Dernæst skulle de studerende, som havde kendskab til JAVA og have en "hands on" forståelse af fliserne. Dette blev gjort igennem en programmeringsøvelse, hvor de studerende skulle tilpasse en eksisterende version af spillet "Colorrace". Colorrace er et flerbrugerspil, hvor spillerne konkurrerer om, hvem der kan hoppe flest gange på en given farve. Hver spiller vælger ved spilles begyndelse en farve, og efter ca. ti hop på en farve er spillet slut.

Dermed fik de studerende et grundlag for, at de vil kunne skabe spil til denne utraditionelle platform. Når de havde set, afprøvet og justeret et spil til fliserne, ville de være klar til at kunne skabe deres eget spil.

I en tredje fase skulle de studerende udvikle nyt og ikke eksisterende spil til fliserne. De måtte gerne inddrage lyd og billede, f.eks. ved at hænge en storskærm op bag fliserne.

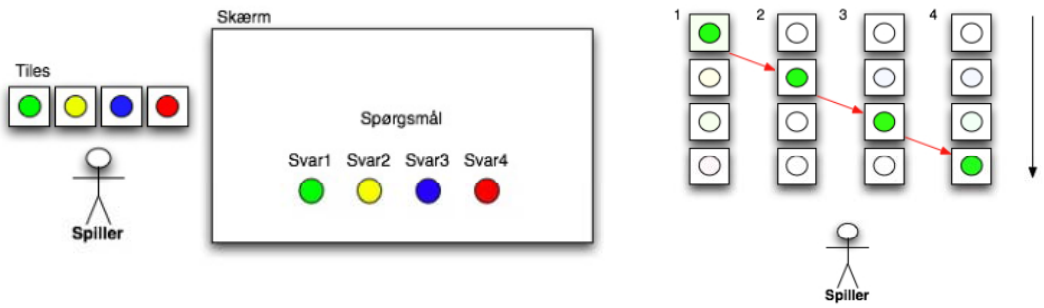
Det forventedes, at de studerende ret nemt vil kunne tilgå den nye platform, da de studerende i forvejen kender programmeringssproget. Det nye vil være at forstå det robotteknologiske felt.

Der ville også være nogle fysiske forhindringer, idet robotflisernes batterier skulle oplades, og der ind i mellem kunne være "tabte" pakker, således at fliserne ikke altid reagerede helt som forventet. Der ville sikkert også være studerende, som havde problemer med få udviklingsværktøjet til at fungere.

Erfaringer fra undervisningsforløbet

Nogle studerende valgte at arbejde rent med fliserne, og andre valgte at inddrage lyd og display i form af en projektor som skulle lyse op bag ved fliserne.

Når de studerende kombinerede fliser med en projektor, viste der sig særligt to måder at bruge fliserne på - enten som keyboard eller som egentlig spilleplade. Ved keyboardetfunktionen, skulle børnene trykke på den rigtige farve for at svare på et spørgsmål, se Figur 31 (a). Når fliserne brugt som spilleplade kunne lyspletterne dynamisk skifte position som del af et game play. Figur 31 (b) illustrerer, hvordan en lysplet flytter sig fra række til række og ideen er at børnene skal trykke på pletten inden den når nederste række. Figurerne stammer i øvrigt fra de studerendes rapporter.



FIGUR 31: (A)FLISER SOM KEYBOARD; (B)LYSPLETTER SOM BEVÆGER SIG (STUDENTERRAPPORT)

Af keyboardspil til fliserne blev der blandt andet udviklet et matematikspil, som skulle forbedre en 4. klasses børns forståelse af problemregning. Regneopgaverne var udarbejdet af 4. klasser til 4. klasser på Utterslev skole i 2005/2006. Et af spørgsmålene lød således "Jeg ville købe 10 undulater. Halvdelen kostede 100 kroner. Hvor meget skulle jeg betale?" eller " Jeg var engang ude og fiske. Jeg fangede 10 torsk. Jeg lagde en til side til min mormor og fik 4 af min kammerat. Hvor mange torsk fik jeg til mig selv?"

De grupper, som kombinerede fliser med display, havde typisk mere historiefortælling i deres spil. For eksempel var der en gruppe som udviklede et spil som hed OO-Bear (se nedenstående figur), som kædede bevidsthed om global opvarmning, madvaner og menneskehedens overlevelse sammen. Spillet var et enkelt-spiller adventurespil, som handlede om en isbjørn, som var på mission for at redde sin art. Det gjorde den ved at spise sund mad, så der kun er usund mad tilbage til menneskene på jorden. Dette førte til at menneskene blev for fede og derfor levede kortere. Det fungerede som et platformspil, som indeholdt ni fliser, hvor spilleren hoppede rundt på fliserne og fik hovedkarakteren, som vistes på projektoren til at bevæge sig på samme måde. På nedenstående figur ses Double-O-Bear, som hopper rundt og leder efter sund mad, alt imens han er forfulgt af en slikkepind.

FIGUR 32 OO-BEAR (STUDENTERRAPPORT)

Læringselementerne i OO-Bear er bygget ind i baggrundshistorien. Klimaspørgsmålet fremstillessom en del af præmissen for historien. Det med sund og usund mad ligger dels i præmissen, men bliver også integreret i spillet, f.eks. idet modstanderne i spillet er onde slikkepinde. Læringselementerne virker meget velintegrerede.

Der var også grupper, som prøvede at overføre traditionelle brætspil til fliserne. Der var for eksempel en gruppe, som ville have udviklet "4 på stribe". Det blev dog kun til 3 på stribe, fordi gruppen havde tekniske problemer med fliserne. Spillet "Memory" blev også overført. Og endelig var der grupper som prøve at overføre gamle mobil og pc spil til fliserne. Det drejede sig om "Snake".

Det intense forløb hen over efteråret 2008 gav dog ikke de studerende meget tid til at teste spillene på slutbrugere. Der var dog en gruppe, som fortsatte med at arbejde med fliserne i deres bachelorprojekt. Og i dette projekt nåede de ud til målgruppen flere gange.

Sammenhæng mellem robotlæremidlets adfærd, robotagent, omgivelser og læringspotentialer

Robotlæremidlets adfærd er relativt kompleks, idet de studerende skal udvikle spil og programmere for at opnå et læringsudbytte.

Robotagenterne er semi-komplekse på samme måde som I-BLOCKs, idet systemet bygger på den samme teknologiske platform. Fliserne er endda forløbere for I-BLOCKs og er udviklet i den samme forskninggruppe.

Omgivelserne: Fliserne sanser omgivelserne ved hjælp af trykfølsomme sensorer. Hver enkelte robotagent forholder sig både til naborobotagenter og til eventuelle tryk.

Læringspotentiale i robotteknologiske fliser

Socialitet og praksisfællesksab – Kontekser for leg, spil, spildesign og systemudvikling er temaer, som typisk udspiller sig i forskellige praksisfællesskaber. På universitetet foregår spildesign og systemudvikling dog i det samme praksisfællesskab. Legen med spil vil dog normalt foregå i andre praksisfællesskaber. At de studerende allerede har erfaring med spil fra et spillersynpunkt, giver dem en konkret viden og erfaring, som de kan bygge videre på i projektet.

De studerende var opdelt i mindre grupper på tre til fire studerende, og der blev lagt vægt på at at alle skulle bidrage til den konkrete kodning. Det vil ofte være sådan, at de studerende i grupper fordeler programmeringsarbejdet imellem sig eller at de sidder to og to og diskuterer, hvordan problemer nu skal løses. For at de studerende kan fordele arbejdet i mellem sig, er de nødt til designe det, der skal blive til kode, i nogle klumper. Disse klumper skal så gerne kunne spille sammen. Derfor er det vigtigt, at de studerende er gode til at formidler deres ideer til, hvordan kodens arkitektur skal være. Og den arkitektur skal desuden gerne afspejle deres spilideer.

Refleksion – deltagelse - medskaben Læringspotentialet i fliserne kan opdeles i tre niveauer: 1) Den læring, der sker når de studerende afprøver et (lærings)spil på fliserne. 2) Den læring, der sker undervejs i udviklingsprocessen af nye spil til fliserne. Og 3) den læring, der sker når spillet af prøves på slutbrugerne, hvor den studerende som observatør forholder sig til den interaktion, der udspiller sig på fliserne og med den protytype, der er skabt.

De studerende fik deres første erfaring med fliserne som brugere, og de spillede nogle eksisterende spil f.eks. "Color Race". Det næste perspektiv på fliserne var et oplæg og en teknisk manual, som skulle sætte dem i stand til at udvikle nye programmer til fliserne. Deres første opgave var at justere på et spil "Color Race", som var tilpasset særligt til lejligheden. Dette skulle sikre at de fik hul igennem til teknologien, hvilket svarer lidt til at skulle skrive "Hello World" i et nyt programmeringssprog første gang. Koden til spillet gav desuden de studerende et eksempel på, hvordan fliserne skulle programmeres, således at det ville blive nemmere for dem at overkomme at udvikle et helt nyt spil. Målet var at de studerende skulle bruge deres kræfter på at spildesigne og implementere interessante spil og ikke bruge så meget tid på at forstå flisernes teknologiske software arkitektur. Det var også meningen, at den første øvelse helst skulle være en succesoplevelse, således at de følte sig klar til at omsætte deres egne ideer til en ny platform.

Undervejs i udviklingen af spillene testede de studerende konkret resultaterne, det vil sige, at de løbende afviklede deres software prototyper i en såkaldt debugget proces. Papert beskriver en særlig type læring, der forgår i sådanne debugprocesser, hvor den lærende udvikler færdigheder i at isolere og rette fejl (Papert, 1980:23). Programmeringsmiljøet bliver et "object-to-think-with" for den lærende (Papert, 1980:23), som igennem debugprocessen får løbende feedback på, hvad der fungerer og ikke fungerer i hans program. Programmet bliver skabt sideløbede med debugprocessen. Den kombinerede udviklings og debugproces kan beskrives som "trial and error learning" (Bateson, 2000:287) kombineret med en adaptiv anden ordens læring. "Trial and error learning" er vigtig for at forsøge at finde nye løsninger f.eks. i nye kontekster. Læringen, der foregår, er også af mere adaptiv karakter, hvor der gradvist justeres på detaljer. Derudover kan den adaptive læring være test af om konkrete design ideer fungerer eller ej. Det betyder, at den lærende i denne læreproces er i en fordybet adaptiv proces, som foregår mellem menneske og maskine, hvor han gradvis får en forståelse af teknologien,

og af hvordan hans ideer skal omsættes, således at den endelige prototype kommer til at fungere, som den skal.

Kontekster og innovation - De studerende forbandt forskellige kontekster, når de udviklede nye spil til fliserne. De studerende kendte computerspil fra deres barndom, og dette kan beskrives som en spillerkontekst. Gennem undervisningen i gamedesign blev de bevidstgjort om spils formelle og dramaturgiske strukturer, hvilket gav dem en spirende fornemmelse for en spildesigne-konteskt. De studerende havde desuden på deres uddannelser som datateknologer eller IT-ingeniører en bred erfaring med systemudvikling. De studerende forbandt igennem fliseprojektet deres kontekstuelle erfaringer inden for leg med spil, design af spil og systemudvikling. Når tre så forskellige kontekster bliver spillebane for udvikling af nye spilproduktioner, er der grundlag for at skabe noget nyt og kreativt, som ikke er set før. Man kan sige at de studerende skabte ny platform. Scharmer beskriver netop, at ny trancenderende viden opstår i tværfaglige sammehænge, når den lærende er aktiv (Scharmer, 2001). Og de faglige kontekster som spildesign og systemudvikling kan netop forstås som tværfaglige sammenhænge, hvor innovation og måske endda transcende viden kan opstå.

4.6 MODULÆRE ROBOTSYSTEMLÆREMIDLER: TANGIBLES TIL MATEMATIK OG FYSIKUNDERVISNING

I fysikundervisning er der tradition for at have fysiske repræsentationer af abstrakte fysikbegreber (Piper, 2002). Og det fremhæves desuden at fysiske repræsentationer forbedrer forståelsen af abstrakte emner (Girouard, 2007) (Schweikardt, 2008) (Zuckerman, 2005a). Herunder er nogle forskelligartede eksempler, som kan anvendes i matematik og fysikundervisning.

RoBlocks (Schweikardt, 2008) er medtaget, idet de har samme fysiske design som I-BLOCKs. RoBlocks er modulære i den forstand at hver klods er en selvstændig agent med processor, sensorer og effektorer. Hvorimod processorer, sensorer og effektorer distribueret ud på de enkelte roBlocks, således at klodserne tilsammen udgør en robotagent, se Figur 33.

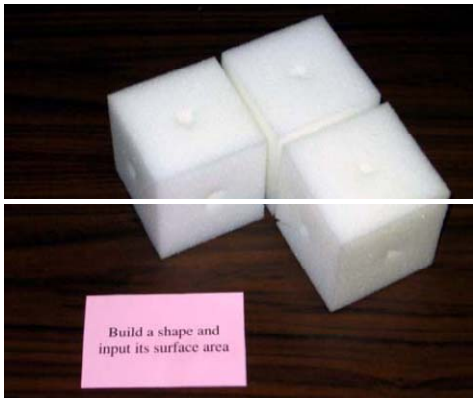
FIGUR 33 ROBLOCKS (MODROBOTICS ROBLOCKS)

RoBlocks kan anvendes i undervisning om kompleksitet. Globale fænomener opstår ofte som et resultat af lokal adfærd (Schweikardt, 2008). F.eks. når fem klodser interager med hinanden og omgivelserne bliver den samlede adfærd for systemet uforudsigelig og kompleks, medmindre man har rigtig godt styr på, hvordan de enkelte dele påvirker hinanden og dermed det samlede system.

Der er fire typer af roBlocks: (1) sensorklodser, som f.eks. indeholder lys, lyd, tryk eller bevægelsessensorer; (2) tænkeklodser, som håndterer sensorinput og actionoutput; (3) actionklodser som f.eks. motor, rotor, højtaler eller display; og (4)utilityklodser, som indeholder batteri og trådløs kommunikation til pc. Man kan f.eks. bygge en konstruktion, som bevæger sig væk fra lyset eller undergår at falde ved bevægelse (Schweikardt, 2008). Denne robottype adskiller sig fra I-BLOCKs ved, at klodserne er specialiserede.

Klodserne henvender sig til børn og unge. De lærer noget om kompleksitet og desuden noget om robotteknologi, idet de får en konkret erfaring med forskellige sensorer og effektorer. Dette var i øvrigt også tilfældet med LEGO Mindstorm og PicoCrickets. RoBlocks er i modsætning til I-BLOCKs et kommercielt produkt.

I samme kategori findes Smart Blocks, som er beregnet som supplement i matematikundervisning (Girouard, 2007). Her går læringsmålene i retning af at udforske overfladeareal og volumenen af tredimensionelle objekter, se Figur 34. Målgruppen er børn i alderen 5-12 år. Systemet er baseret på 3 terninger, forbindelsespinde og spørgekort. Teknologien er simpel og baseret på at RFID, som er en automatisk identificeringsmetode. Der er sat RFID-mærkater på klodser og spørgekort. Opgaverne udføres på en RFID-læser, som er kobler til en pc. På pc'en er et særligt program, som giver eleverne feedback. Den fysiske og virtuelle verden bliver på denne måde forbundet. Systemet er modulært, men er på kanten af at være robotteknologisk, jævnfør beskrivelsen af robotagenter i afsnit 3.1. Systemet er medtaget, fordi det illustrerer, hvordan forståelsen af abstrakte matematiske koncepter kan understøttes af tangibles og teknologi.

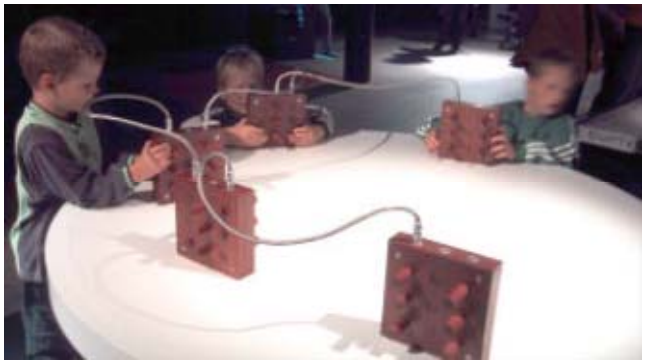


FIGUR 34 SMART BLOCKS (GIROUARD 2007)

Elever udvikler ofte en forkert forståelse af det læringsmæssige indhold, hvis de arbejder traditionelle klodser, idet underviseren ikke kan give eleverne feedback hele tiden (Girouard 2007). Teknologien her i form af RFID kan bremse disse misforståelser og sikre, at eleverne løbende får feedback.

Piper og Ishii demonstrer med Pegblocks, hvordan forholdet mellem kinetisk energi og elektricitet kan eksemplificeres med simple tangibles, se Figur 35. Dette arbejde er inspireret af Fröbels ideer fra det

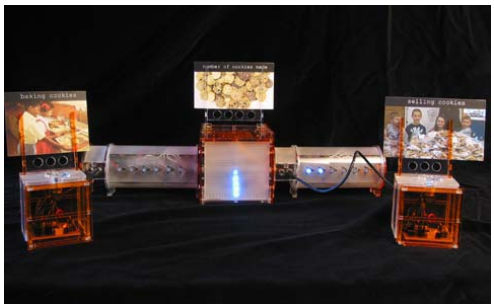
19. århundrede om at have fysiske objekter og fysisk aktivitet som kernen i undervisning af mindre børn (Piper, 2002).



FIGUR 35 PIPER OG ISHIIS FYSIK TANGIBLES

Et andet eksempel er System Blocks, som også er udviklet til undervisning af børn (se Figur 36 til venstre). Læringsmålet omhandler her dynamiske systemer til forståelse af komplekse systemers adfærd over tid. Hver af disse klodser har en forud programmeret adfærd, og når de sættes sammen, fungerer de som et komplekst system (Zuckerman, 2005a). Systemet er baseret på fysisk programmering, dvs. brikker skal ikke programmeres fra en computer, men programmeringen foregår direkte ved manipulation af klodserne. Et af eksemplerne handler om et "kage-lager": Inputprocessen er nye kager, som bliver bagt og ryger på kagelageret, se Figur 36 til venstre. Outputprocessen er salg af kager. Når der sælges flere kager end der bages, ryger lager beholdningen ned. De lærende kan med knapper på de modulære enheder skrue op og ned for kagebage- og salgsprocessen. Ideen er at børnene skal få en forståelse af lagerflowet. Dette og lignende eksempler er testet med en gruppe af børn i femte klasse. Forsøgene viste, at børnene kunne få en dybere forståelse for lager- og flowstrukturer.

På Figur 36 til højre ses en anden version af Zuckermans klodser (Zuckerman, 2005b), hvor det er ideen at børn skal have en "hands on" oplevelse af sandsynlighed, forgrening, loops og flow. Klodserne sættes sammen. Pilene angiver det spor som data vandrer. Når der er en forgrening, vil nogle data søge den ene vej og andre den anden afhængig af, hvordan der er drejet på fordelingsknappen.



FIGUR 36 SYSTEM BLOCKS (TIL VENSTRE) OG FLOWBLOKKE (TIL HØJRE)

Sammenhæng mellem robotlæremidlets adfærd, robotagent og omgivelser

Robotlæremidlets adfærd er kompleks og abstrakt, f.eks. formidler flowblocks dynamisk en opdatering af lagerstørrelse som funktion af indkomne og udgående varer. Desuden giver systemet dynamisk feedback på den lærendes handlinger.

Robotagenterne er simple eller semikomplekse, hvor f.eks. Smart Blocks er simple, og roBlocks er semikomplekse. Flow Blocks agenterne konfigures umiddelbart på samme måde i hvert forsøg, idet der er input-enheder, hvor brugeren f.eks. med en knap kan manipulere og påvirke simulationen.

Omgivelserne: Systemet sanser omgivelserne gennem ændringer i senorenhederne. De lærende er en del af omgivelserne og påvirker sensorerne. De lærende får en fysisk erfaring med et konkret matematisk eller fysisk emne. Og de får feedback fra systemet, alt afhængig af hvordan de konstruerer eller på anden måde påvirker systemet.

4.7 OPSAMLING PÅ ROBOTSYSTEMER TIL UNDERVISNING

Først er der en generel opsamling på robotlæremidler, derefter er der en mere specifik opsamling på singulære og modulære robotlæremidler

Generel opsamling

Robotlæremidler er særligt anvendelige til undervisning i abstrakte begreber og tredimensionel repræsentation (Marshall, 2007)(Zuckerman, 2005)og (Girouard, 2007). Man kan sige, at abstrakte kontekster bygger bro til fysisk og håndgribelige kontekster og vise versa. Netop Bateson har fokus på at læring bedst foregår, når kontekster krydses (Bateson, 1972).

Af mulige læringsmæssige fordele ved sådanne systemer fremhæves, at den sensoriske eller sanselige erkendemåde er tæt forbundet med den kognitive erkendemåde (Marshall, 2007)(Piaget, 1947). Den dynamiske og fysiske interaktion, der forgår med disse læremidler, vil også kunne understøtte læreprocessen, idet læring foregår netop igennem interaktion med omgivelserne (Bateson, 1972).

Derudover kan robotlæremidler virke motiverende og legende, og dette kan også understøtte læreprocessen (Nielsen, 2008). Da læremidlerne er håndgribelige, kan de understøtte kollaborativ læring i mindre grupper (Fernaeus, 2005 og Stanton, 2001).

Og endelig bygger flere af eksemplerne på, at den lærende er kreativ konstruerende og aktivt deltagende i læreprocessen (Papert, 1980)(Resnick og Rusk, 2008).

Af mulige ulemper ved robotlæremidler er, at det kræver noget ekstra af undervisere at anvende sådanne læremidler, og at mange af de nævnte læremidler er eksperimentelle prototyper.

De singulære robotlæremidler

Paperts ide var at kombinere fysisk interaktion, programmering, konstruktion, kreativitet og udforsken. Konceptet bygger bro over en abstrakt programmerings- eller matematikkontekst til en fysisk kontekst. I den fysiske kontekst bliver den lærendes ideer og faglige forståelse konkret omsat til fysisk konstruktioner. Den lærende kan med det samme se, om han fik konstrueret f.eks. en cirkel, eller om

han skal tilbage og justere koden. Koden tilpasses i en adaptiv proces mellem den lærende, robotsystemet og omgivelser.

Papert ideer har i høj grad dannet skolet for robotlæremidler, og det kan f.eks. tydeligt ses i LEGO MINDSTORM og PicoCricket. Disse produkter kombinerer også fysisk interaktion, programmering, konstruktion, kreativitet og udforsken. Konstruktion er dog her mere end, at robotten trækker et spor. Her skal de lærende selv bygge robotter efter for-godt-befindende eller på baggrund af opskrifter. Programmeringsdelen er den samme, men mere varieret her, fordi der er en række sensorer og aktuatorer, der skal bringes til at fungere på den måde, man ønsker det. Læringsopgaven går her mere kompleks end hos Papert, idet der ud over programmeringsarbejdet også skal bygges en passende robot. Disse produkter stiller særlige krav til underviseren om, at have udtænkt og afgrænset en særlig opgave.

Den tredje kategori af singulære robotter var de digitale legepladser til leg, læring og bevægelse. Lappset har udviklet type legeplads, hvor en lærer eller børn og unge selv kan udvikle nye spil til legepladsen. I legepladsen på Rosengårdskolen i Odense (jævnfør afsnit 4.3) er det dog først og fremmest lærere, som øver sig i at udvikle spil. Disse spil vil kunne bruges i undervisningen.

Samlet set har disse tre kategorier af singulære robotlæremidler en programmeringsfacet, som kombinerer abstrakt intellektuelt læring med en fysisk og håndgribelige læring. Læremidlerne bygger bro mellem en fysisk kontekst og en teoretisk kontekst. De tre kategorier bygger på konstruktion af programmering, spilelementer eller fysisk konstruktion.

De modulære robotlæremidler

I-BLOCKs og de robotteknologiske fliser er baseret på den samme ide og bygger på den samme type teknologi. Begge platforme er udviklet af den samme forskningsgruppe på Center for Playware. Platformene kan så tilpasses forskellige domæner som f.eks. sundhed, rehabilitering, leg eller læring.

Interaktionen med I-BLOCKs er baseret på, at man i læringssituationen vender, drejer eller ryster klodserne, og sætter dem sammen. De reagerer så med lys eller lyd. Fliser kan også sættes sammen i vilkårlige mønstre. I den konkrete aktivitet vil interaktionen bestå i, at brugeren hopper rundt på fliserne eller på anden måde aktiverer tryksensorerne. Den fysiske interaktion med klodserne er mere varieret til gengæld bevæger brugeren sig mere på fliserne.

I-BLOCKs og robotteknologiske fliser er interessante fra et undervisningsperspektiv med varierende målgrupper:

(1) Ingeniørstuderende, som udførte systemudvikling på fliseplatformen, hvilket var givende både med hensyn til programmeringsforståelse, robotteknologisk forståelse, erfaring med distribuerede systemer, spilforståelse etc.
(2) Børn i indskolingen, der vil kunne anvende kuberne til illustration af abstrakte emner, f.eks. matematik eller musikforståelse.

De øvrige tangibles til matematik og fysikundervisning er medtaget for at vise, hvad der findes af systemer, som er beslægtet med mine eksperimentelle designeksperimenter i kapitel 6 og 7.

Derudover har flere at disse tangibles virket som inspiration - det drejer sig særligt om roBlocks, System Blocks og Flow Blocks. RoBlocks fysiske design er sammenligneligt med I-BLOCKs, bortset fra I-BLOCKs består af en række identiske agenter, som kan sættes sammen, hvorimod hver enkelte roBlock har en dedikeret opgave, hvilket umiddelbart giver mere fastlåst brug. Undervisningsideen med flow Blocks og System Blocks virker spændende og inspirerende.

Robotagenterne til matematik og fysik var for de flestes vedkommende relativt simple, og der var et relativt lille fokus på at udvikle en kompleks robotagent. Læringsmålene er komplekse og ambitiøse, idet der ofte tages fat i temaer, som i forvejen er svære at forstå. Temaerne er ofte af abstrakt og ikke lineær karakter (Zuckerman, 2005a). Disse agenter er eksempler på, hvordan fysisk simulation ved hjælp af tangibles illustrerer abstrakte begreber og gør disse begreber fysiske og håndgribelige.

Samlet udviser de modulære robotsystemer en kompleksadfærd, fordi de både kommunikerer med hinanden og omverdenen. Dette giver nogle, særlige muligheder fra en designvinkel, til at gøre nogle komplekse abstrakte sammenhænge fysiske og konkrete i en undervisningssammenhæng.