

Submitted to the Faculty of Educational Sciences at Linköping University in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctorate of Philosophy

Studies in Science and Technology Education No 17

Från Novis till Expert: Förtrogenhetskunskap i kognitiv och didaktisk belysning.

Lars-Erik Björklund

**Nationella forskarskolan i
naturvetenskapernas och teknikens didaktik**

fontD



Linköpings universitet
UTBILDNINGSVETENSKAP

Linköpings universitet, Institutionen för samhälls- och välfärdsstudier,
Norrköping 2008

Studies in Science and Technology Education (FontD)

The Swedish National Graduate School in Science and Technology Education, FontD, <http://www.isv.liu.se/fontd>, is hosted by the Department of Social and Welfare Studies and the Faculty of Educational Sciences (OSU) at Linköping University in collaboration with the Universities of Umeå, Karlstad, Stockholm, Linköping (host) and the University of Colleges of Malmö, Kristianstad, Kalmar and Mälardalen. FontD publishes the series *Studies in Science and Technology Education*.

Distributed by:

The Swedish National Graduate School in Science and Technology Education, FontD,
Department of Social and Welfare Studies
Linköping University
S-601 74 Norrköping
Sweden

Lars-Erik Björklund (2008)

Från Novis till Expert: Förtrogenhetskunskap i kognitiv och didaktisk belysning.

ISSN 1652-5051

ISBN: 978-91-7393-894-5

Copyright: Lars-Erik Björklund

Printed by: LiU-Tryck, Linköping University, Linköping, Sweden

INNEHÅLL

Förord.....	iv
1 Inledning	1
Vetenskap och beprövad erfarenhet.....	1
Professionsutbildningar.....	2
Experten - den förtrogne praktikern.....	3
Avhandlingens mål	5
Syfte.....	5
Forskningsfrågor.....	5
Avhandlingens struktur.....	6
2 Val av metod.....	9
Forskningsansats.....	9
Kvalitet på källor och data	10
Analysverktyg.....	13
Repertory Grid Technique	17
Forskningsetisk analys av Repertory Grid - studien.....	18
Källor: Databaser och tidskrifter.....	19
3 Experter och expertis	23
Forskning på experter och expertis.....	23
Experters egenskaper och förmågor.....	24
Dreyfus: Hur Novisen blir Expert.....	26
Steg 1: Novisen.....	28
Steg 2: Avancerad nybörjare.....	28
Steg 3: Kompetent.....	30
Steg 4: Den skicklige	32
Steg 5: Experten.....	33
Debatt om bröderna Dreyfus och deras beskrivning av Experter.....	36
Teori och Praktik.....	37
Tacit Knowledge.....	38
Förtrogenhetskunskap.....	42
Sammanfattning	42
4 Kreativitet, skapande och pedagogisk bedömning i skolan.....	45
Skapande verksamhet i skolans teknikämne.....	45
Teknik och Design.....	46
Designprocessen: Funktion till struktur.....	46
Nya modeller för undervisning om design och skapande.....	50
Portföljvärdering av elevers skapande arbete i bild.....	51
Produktkriterier.....	51
Processkriterier	53
Sammanfattning	58
5 Problemlösning, allmänt och i teknikens värld.....	59
Teorier och modeller kring problemlösning.....	59

Artefaktens funktion och struktur.....	62
Structure-Behaviour-Function	67
Designprocessen	69
Skillnad i Novisers och Experters problemlösningsprocess	71
Komplexitet i stora tekniska system	76
Sammanfattning	79
6 Implicit lärande och implicita minnen	81
Två kognitiva system	82
Explicita minnen	82
Implicit inläring och minnen.....	83
Neurofysiologisk förståelse av det implicita systemet.....	88
Studier av implicita minnens aktivitet	90
Sammanfattning och slutsatser	92
7 Förmågor beroende av Implicita system.....	95
Inledning	95
Kognitiv teoretisk modell med tolkningar	95
Förmågan att se och upptäcka.....	98
Det explicita systemet ser på världen.....	98
Det implicita systemet ser på världen	99
Studier som visar på två olika sätt att se	101
Att se med hjälp av tidigare lagrade mönster.....	103
Att se sekvenser och att förutsäga framtiden	105
Två sätt att kategorisera	105
Amygdala påverkar observationsförmågan	106
Ett parallellt, implicit synsinne	107
Oförmåga att se	108
Att bedöma och att ta beslut.....	109
Exempel på studier av bedömningsförmåga	111
Att bedöma skapande arbete, en Repertory Grid-studie	114
Att ställa en medicinsk diagnos	118
Att ta beslut under press.....	120
Att träna beslutsfattande	122
Att agera.....	123
Behaviorismen och de implicita systemen.....	123
Att agera under stress.....	123
Automation och simultankapacitet	125
Idrottsutövning under explicit eller implicit kontroll.....	126
Sammanfattning, syntes och slutsatser	129
8 Diskussion och implikationer	131
En modell för förtrogenhetskunskap.....	131
Tidigare forskning om tyst kunskap i ny belysning.....	132
Tacit knowledge enligt Polanyi	132
Utveckling av expertis enligt Dreyfus	133
Beprövad erfarenhet.....	134
Didaktisk diskussion och implikationer.....	136
Minnen av kontext och situation.....	136

Det utsagda och självklara	136
Problemlösningsförmåga	137
Hur skapas implicita minnen	139
Förtrogenhet som färdighet att se och urskilja.....	140
Reflektionens roll för implicita minnen	142
Förtrogenhet i att bedöma	143
Att använda sina implicita minnen	144
Att våga lita på sin intuition.....	144
Implikationer för skolans teknikämne	145
Design och konstruktion	145
Att se och förstå komplexa system	146
Begreppsförståelse och Conceptual change.....	147
Implicita minnens betydelse för våra forskningsmetoder.....	148
Intervjuteknik, experter kan mer än de kan berätta om	148
Repertory Grid lyfter experters tysta kunskap	150
Analys, att skapa mening i en observation.....	151
Vetenskap och beprövad erfarenhet.....	151
Slutord.....	152
English summary	153
From Novice to Expert:	153
Intuition in a Cognitive and Educational Perspective.....	153
The Intuitive Practitioner:	157
Referenser	167
Bilaga 1 The Repertory Grid Technique.....	186

3 Experter och expertis

Forskning på experter och expertis

När forskningen kring experter och utveckling av expertis tog fart för ungefär 100 år sedan studerade man exceptionellt duktiga individer, genier. Det kunde röra sig om uppfinnare, kompositörer, vetenskapsmän, författare och andra med allmänt erkända verk och gjorda upptäckter. Man sökte efter medfödda orsaker eller speciella miljöer som kunde förklara deras excellens. Längre trodde man på en samvariation mellan generell intelligens och kreativitet men något stöd för detta var svårt att finna (Chi, 2006). Två resultat av denna tidiga forskning var att utvecklingen av expertis alltid tar lång tid, i många fall tio år eller mer, och att experten äger en stor kunskap inom sitt speciella område samt att den är väl organiserad och strukturerad (Gobet, 2005).

Den nutida forskningen har mer fokuserat på den utveckling av expertis som vanliga människor genomgår, den har en mer relativ syn på expertis. Man studerar vad som skiljer noviser från experter, jämför deras färdigheter och förmågor inom ett specifikt område. En hypotes som tidigt framkastades för att förklara de skillnader man kan iaktta är att experten tänker djupare, snabbare och mer abstrakt.

Forskning inom detta paradigm pågår kontinuerligt och resultat från ett stort antal praktiker presenterades senast i en 900-sidig antologi (Ericsson, 2006a). Man kategoriserar individers kompetens utefter en skala som bygger på bland annat tid i yrket men även den status och anseende de åtnjuter av sina kollegor. Hoffman (1998) använder följande kategorier:

Naïve, Novice, Initiate, Apprentice, Journeyman, Expert and Master.

Den naive är någon som är helt okunnig inom ett område, sedan sker en kontinuerlig utveckling av kompetens fram till experten som är en mycket kompetent, briljant yrkesman, högt värderad av sina likar. Expertens omdöme är osedvanligt gott och han kan hantera även komplicerade och ovanliga problem med stor färdighet och utan synbart besvär. Dessa förmågor har han fått genom en lång och intensiv erfarenhet inom ett specifikt fält. En *Master* är experternas expert, den som fungerar som lärare och den som sätter standard och ideal inom en profession.

En annorlunda modell av kompetensutveckling som både beskriver utvecklingen från novis till expert och försöker förklara orsakerna därtill ges av Herbert och Stuart Dreyfus i boken *Mind over Machine* (1986). Bröderna Dreyfus beskriver utvecklingen i fem steg:

Novice, Advanced, Beginner, Competence, Proficiency and Expert

De menar att utvecklingen sker som ett resultat av dels inläring av kontext och situationsrelaterad kunskap, dels motivation och ett stort personligt engagemang. Deras modell har använts för att beskriva och förklara beteendet inom många olika professioner: sjuksköterskor, lärare, piloter, officerare med flera.

Dessa två nutida traditioner inom expertforskning använder delvis termer på olika sätt och det är viktigt att förstå i vilket sammanhang man befinner sig när man läser om noviser och experter. Förutom dessa två vetenskapliga diskurser kring expertis finns dessutom en mer vardaglig syn på expertis där någon definieras som expert om de kan svara på svåra frågor.

Experters egenskaper och förmågor

Den amerikanske pedagogen och forskaren David Berliner använder Dreyfus modell när han söker *The wonders of exemplary performance in teaching*. Med resultat från ett flertal studier uppmärksammar han ett antal egenskaper och förmågor hos duktiga lärare och påstår (Berliner, 1986, 1994a, 2001) att en lärare som blivit expert i jämförelse med novisen:

- är expert enbart inom sitt eget ämne och speciella kontext
- utvecklar ett automatiskt beteende för de handlingar som återkommer ofta i verksamheten
- är mer flexibel och utnyttjar bättre uppkomna situationer i undervisningen
- är socialt mer känslig för det som krävs när de löser ett problem
- beskriver och uppfattar problem på ett kvalitativt annorlunda sätt
- känner snabbare och mer korrekt igen kritiska situationer i klassrummet
- använder längre tid i början när de löser problem men har en rikare uppsättning verktyg med sig för att lösa problemen.

En liknande lista över experters generella förmågor och egenskaper har presenterats av Chi och andra forskare vid studier av experter inom många andra professioner:

- Experter genererar de snabbaste och bästa lösningarna till problem, det bästa draget i schack, den bästa designlösningen etc. Speciellt utmärker experterna sig i komplexa miljöer och under tidspress (Chi, 2006; De Groot, 1965).
- Experter ser och upptäcker detaljer och fenomen som noviser inte kan se. De ser subtila mönster i en röntgenbild och hittar ledtrådar där andra inte ser någonting. De upptäcker dessutom *the deep structure of a problem or situation* (Chi, 2006).
- Experter organiserar kunskap kring ett specifikt problemområde (De Jong & Ferguson-Hessler, 1986).
- Experter ser abstrakta principer i ett problem och kan med hjälp av dessa angripa och lösa t.ex. ett fysikaliskt problem (Chi et al., 1981).
- Experter använder *forward reasoning* medan noviser använder *backward reasoning* (Dhillon, 1998; Priest, 1992).
- Experter löser problem utan att behöva reducera det till mindre delar, har förmåga att se och beskriva komplicerade system där olinjäritet och slump styr. Noviser har ett beteende som på dessa punkter är det rakt motsatta (Jacobson, 2001).
- Experter undersöker ett problem noga och länge innan de försöker sig på en lösning och de är hela tiden beredda att ändra sitt arbetssätt om situationen så kräver (Middleton, 2002).

Den ursprungliga tanken om att experten äger generella, kontextfria förmågor som kanske till och med är nedärvda har övergetts. I stället anses de ha skaffat sig specifika ämnesanknutna kunskaper och färdigheter som inte låter sig transfereras till andra sammanhang. Som David Perkins skriver i en artikel:

-Thinking at its most effective depends on specific, context-bound skills and units of knowledge that have little application to other domains. To the extent that transfer does take place, it is highly specific and must be cued, primed and guided; it seldom occurs spontaneously. The case for generalizable, context-independent skills and strategies that can be trained in one context and transferred to other domains has proven to be

more a matter of wishful thinking than hard empirical evidence (Perkins & Salomon, 1989).

Även om experter är experter inom sina egna specifika fält och deras problemlösande förmåga inte tycks kunna överföras till andra områden så kan man urskilja ett antal gemensamma beteenden och förhållningssätt hos experter:

- De ser mer och urskiljer bättre vad som är relevant.
- De har alla en mer utvecklad bedömningsförmåga.
- De gör bättre val och gör säkrare bedömningar.
- De agerar snabbare och mer flexibelt.
- De löser problem på ett mer direkt sätt.
- De kan inte berätta om vad de kan.

Man kan naturligtvis förklara dessa egenskaper hos experterna med att deras kunskap är av högre kvalitet, är djupare, mer organiserad och så vidare. Men om vi vill påverka den här utvecklingen, snabba på den eller förfina den genom förändringar i utbildningssystemet behöver vi veta mer om vad som egentligen sker i dessa individer som yttrar sig på detta sätt. Bröderna Dreyfus gjorde redan för 40 år sedan ett sådant försök.

Dreyfus: Hur Novisen blir Expert

Under de senaste 40 åren har människans förmåga som problemlösare uppmärksamats av forskning inom flera discipliner. Efter *Sputnikchocken* på 1950 talet uppstod i Amerika ett stort intresse för möjligheten att använda datorer för att skapa Artificiell Intelligens, AI. Försvarsmakten satsade stora resurser och resultat lät inte vänta på sig. Inom några få år menade forskare som Herbert Simon att man hade löst gåtan och att man kunde efterlikna människans problemlösande förmåga och beteende med en dator. Program togs fram som kunde lösa matematiska problem, lägga pussel och till och med spela schack. AI-forskningen var tänkt att användas för att kontrollera flygplan, styra företags affärsstrategier men framför allt för att få ett idiotsäkert effektivt och snabbt försvar. Vid tecken på fara skulle snabba rationella beslut kunna tas och motåtgärder automatiskt sättas in. Just det senare scenariot bekymrade en vetenskapsfilosof och psykolog, Hubert Dreyfus, som började skärskåda AI-forskningens påstådda framsteg, bl.a. på uppdrag av RAND-Corporation, ett företag som

satsade stora pengar inom området. Tillsammans med sin bror Stuart, en datorprogrammerare, publicerade de sina resultat i boken *Mind over Machine* (1986). I denna skrift kritiseras AI-forskarna för uppblåsta och vilseledande resultat och framför allt för att inte vidkännas sina problem och misslyckanden. Det som idag gör texten värd att läsa är att författarna identifierar och beskriver den typ av problem som människan tycks vara bättre på att utföra och hur denna förmåga utvecklas i olika steg från Novis till Expert. Dreyfus återkommer i *What computers still cant do* (Dreyfus, 1992) till ämnet och fördjupar där sin beskrivning av människan som problemlösare.

AI-forskningen överlevde kritiken även om speciellt förhoppningarna att samla experters kunskap i databaser, så kallade expertsystem tonades ned något. Allmänt antogs att experter inte ville dela med sig av sin kunskap. Dreyfus däremot lutade sig mot filosofer som Heidegger, Merleau-Ponty och Wittgenstein och förklarade att orsaken var att experternas kunskap var dold eller tyst, *a tacit knowledge*, enligt den beskrivning Michael Polanyi gjort redan 1965. Dreyfus mest intressanta bidrag till expertforskningen är en beskrivning av hur en individ utvecklar en färdighet i en viss praktik i fem distinkta steg, *the five stages of skill acquisition*, från att vara novis till att bli expert. I senare arbeten tillför Hubert Dreyfus två ytterligare steg i sin beskrivning, där framför allt förmågan att kunna tala om sin kunskap utvecklas, något som sker när experter arbetar som lärare. De steg bröderna Dreyfus definierar är:

Novice, advanced beginner, competent, proficient, and expert.

Jag har valt att i tolkningen av detta arbete och den översättning som nu följer ge dem svenska namn. De kursiverade avsnitten bygger på Dreyfus originaltext översatt till svenska av mig. Bröderna Dreyfus modell används av relativt få forskare och författare i Sverige men undantag finns, speciellt då inom Arbetslivscentrum och gruppen kring Bo Göranson, exempelvis i *Dialogue, skill and tacit knowledge* (Göranson, 2006). Hänvisningar till Dreyfus finns hos svenska forskare som studerar t.ex. sjuksköterskor (Göransson et al., 2007) och lärare (Colnerud, 1995) i deras yrkesroll.

Steg 1: Novisen

Novisen bygger sin förståelse och sin behandling av de problem han ställs inför på objektiva kontextfria kännetecken, fakta och regler. Dessa är oberoende av omgivning och situationen. Behandlingen av dylika otvetydiga element sker med hjälp av väl definierade regler och kallas "information processing", informations- eller databehandling. Om man känner igen bokstaven E på förhållandet och placeringen av tre horisontella och en längre vertikal linje använder man sig av informationsbehandling. Om man å andra sidan känner igen ett E för att den upplevda bilden matchar något man tidigare sett många gånger och lärt sig att kalla bokstaven E använder man istället en holistisk mönsterigenkänning (holistic template matching).

Exempel på detta beteende finner man hos en individ som börjar lära sig att köra bil. Tidpunkten för när man ska byta växel bestäms av bilens hastighet som är en kontextfri egenskap hos bilen, avståndet som ska hållas till en framförvarande bil likaså. En nybörjare i schack lär sig att sätta ett poängtal på pjäserna oberoende var dom står på brädet och i vilken situation man befinner sig. Han/hon lär sig att följa regeln: om summan av värdet av tagna pjäser överskrider egna förlorade så skall ett drag utföras. Den nyutbildade sjuksköterskan har lärt sig att mäta temperatur, blodtryck och mycket annat och att jämföra dessa värden med max och min värden för att kunna ta beslut.

En novis strävar efter att utföra ett gott arbete men då han/hon ännu inte har en sammanhängande förståelse av hela problemsituationen bedömer han/hon sitt arbete efter hur väl han/hon följer inlärd regler.

En novis är alltså inte okunnig, han/hon befinner sig på den nivå vi som utbildare lämnar honom/henne efter genomgången examen. Förhoppningsvis är studenten då full av explicit kunskap och förståelse. Novisens beroende av fast struktur och tydliga regler och metoder har visats i många undersökningar.

Steg 2: Avancerad nybörjare

Prestationsförmågan ökar vartefter novisen får erfarenhet av verkliga situationer och uppnår så småningom en acceptabel nivå. Detta ökar hans/hennes kunskap med fler kontextfria fakta och mer avancerade och sofistikerade regler, men möten med den ofta komplicerade verkligheten ger novisen också en medvetenhet om att vissa fenomen inte kan beskrivas i en

kontextfri rationalitet. Likheten mellan aktuella element och tidigare upplevda uppmärksammar honom/henne på nya meningsskapande element. Dessa kallas situerade, (situational). Regler för att styra beteendet kan nu hänföras till såväl kontextfria som situerade kunskapskomponenter. En hundägare kan lära sig känna igen sin hunds skall utan att kunna beskriva varför eller hur. De skillnader i ljudets egenskaper som man med teknisk utrustning skulle kunna mäta upp har hundägaren inte medveten tillgång till. På samma sätt används inte fakta och kännetecken för att identifiera smaken av kaffe. Den avancerade nybörjaren använder situerad kunskap om motorns ljud för att välja växel. En schackspelare börjar kunna ana och kunna undvika överlastade situationer, se starka och svaga strukturer på brädet. En sköterska lär sig av erfarenhet att skilja andningsljudet från en patient med ödem eller lunginflammation. Den avancerade nybörjaren börjar se och bedöma den här typen av kunskaper som viktiga och användbara, trots att de i många fall inte lätt låter sig göras explicita och verbaliserbara.

Den nya situerade kunskapen som Dreyfus här beskriver har mycket gemensamt med Polanyi's *Tacit knowledge* men känns även igen i modernare texter av t.ex. Johannesen (1999) som skriver, i Wittgensteinsk anda, att nästan alla känner igen en klarinetts klang men att experter som kompositörer och instrumentmakare har ett mycket finare öra för olika kvaliteter hos instrumentet. Han skriver också om saker som *står fast*, där vi inte behöver fundera eller tänka utan att vi bara *känner* vad som är rätt. Detta är en av den pragmatiska filosofins starkaste argument för att vi inte styrs av en kognitiv mental process. Vi behöver inte tänka för att känna empati med ett ledset barn, inte fundera över riskstatistik för att låta bli att hoppa ut över ett stup (Johannesen, 1999).

Den senare Wittgenstein menar att vi inte styrs av regler utan av det vi lärt oss, den erfarenhet vi skaffar oss, i praxis. De i skolans tidiga år numera bekanta 10-kamraterna ($1+9=10$, $2+8=10$... $5+5=10$) infördes i matematikundervisningen då det visade sig att elever i högre årskurser räknade fel på dessa uppgifter, däremot inte $5+5$ (Neuman, 1989). Detta var ju det problem som vanligen presenterades i undervisningen och som gav resultatet 10. Idag drillas 8 åringar i alla kombinationer av tal där summan blir 10.

Det är möjligt att utbildningsväsendet kan föra studenter till en avancerad nybörjares nivå. Det krävs då att utbildningen innehåller många exempel på praktik och fallstudier, verksamhetsförlagd utbildning mm så att den erfarenhetsbaserade situerade kunskapen också

kan läras in. Berliner menar dock att denna utveckling sker först efter ett eller två år i läraryrket (Berliner, 1986, 1994a, 1994b, 2001). Lärare med egen erfarenhet kan som många forskare menar överföra delar av sina ”tysta kunskap” i berättelser och anekdoter i kollegierummet.

Steg 3: Kompetent

Vartefter den avancerade nybörjaren lär sig att känna igen allt fler situerade och även fler kontextfria element i sin praktik blir till slut den totala mängden av fakta ohanterlig. Det behövs en förmåga att koncentrera sig på de viktigaste delarna. Att lära sig sortera och prioritera.

Den avancerade nybörjaren lär sig så småningom att använda en hierarkisk beslutsprocess. Först väljs en plan för att organisera problemsituationen och genom att koncentrera sig på en mindre del, på de viktigaste faktorerna enligt den valda planen, förenklas och förbättras prestationen. En kompetent aktör tolkar en problemsituation utifrån en uppsättning fakta. Vikten, värderingen av dessa fakta är beroende av närvaron av andra saker. Han/hon har lärt sig att när just denna konstellation uppträder skall en bestämd slutsats dras, ett visst beslut fattas eller kan ett visst fenomen förväntas och bör undersökas.

En kompetent bilförare följer inte längre enbart de regler som gör körningen säker och lagenlig utan ser målet för körningen som huvudsaken. Är målet att hinna till en viss plats inom en viss tid väljer den kompetente en vägsträcka som är lämpligast, ignorerar vackra vyer, kör närmare andra bilar än normalt, gör djärvare omkörningar och kan tom begå lagöverträdelser. Den kompetente schackspelaren kan bestämma sig, efter att ha övervägt olika alternativ att gå till attack mot motståndarens kung. Han ignorerar då novisens regler, tar risker och offerar egna spelare för att uppnå det överskuggande målet. Stuart Dreyfus bidrar med en berättelse om sin egen utveckling till kompetent schackspelare och förklarar hur hans egen fokusering på den analytiska delen av schackspelet som många matematiker fascinerats av också utgör en begränsning av hans utveckling till denna, den kompetentes nivå. För att komma vidare mot stormästarnivån krävs att man engagerar sig i dels studie av gamla mästars partier, dels att man börjar spela snabbchack.

I en intervju med en stormästare menar bröderna att de får en förklaring till varför kvinnor sällan blir stormästare; *de saknar intuition!* Förklaringen till detta paradoxala uttalande var

just att de kvinnor som var engagerade i schack ofta var matematiker som ville utveckla sin analytiska förmåga, och därför stannade på den kompetenta nivån. Som stöd för denna tes refereras till ett uttalande av en ovanligt skicklig 15-årig ungersk kvinnlig stormästarinna som spelat sedan 4-årsåldern: *I play Chess by instinct.*

Att bestämma sig för en handlingsplan är besvärligt. Novisen lutar sig på igenkänning av kontextfria fakta, den avancerade nybörjaren använder speciella situerade element först då de uppträder i ett stort antal och blir uppenbara. De lär sig alltså att känna igen inlärd komponenter och särdrag. De tillämpar sedan inlärd regler och procedurer. Om handlingen misslyckas upplevs ansvaret ligga i felaktiga regler och aktören känner inget personligt ansvar. Den kompetente som måste planera sin verksamhet utifrån ett urval av indata får ett mycket större eget ansvar och ett känslomässigt engagemang för utgången/resultatet. Trots att både förståelsen och beslutsprocessen bygger på objektiv information blir han/hon djupt involverad i vad som händer därefter. Ett lyckat resultat liksom ett misslyckat ger djupa och starka spår och minnen kopplade till den plan som hade valts och det perspektiv på problemet som valts.

Detta är den nivå av kompetens som många psykologer, kognitionsvetare och AI-forskare studerar och beskriver då de söker en modell för den gode problemlösaren. Den mycket kände AI-forskaren och nobelpristagaren Herbert Simon försökte förstå hur vi väljer planer, mål och strategier och hur problemsituationer kan omvandlas till mer eller mindre regelstyrda procedurer som leder fram till en lösning av problemet. Hans resultat visade att vi agerar som mer eller mindre kompetenta när vi löser pussel, spelar enklare spel eller löser andra okända eller ovanliga problem.

Hubert Dreyfus däremot kritiserar synen att allt intellektuellt beteende utgår från att vi alltid fattar regelbaserade beslut. Han menar att vi ofta, för att inte säga i de flesta situationer, inte tar medvetna beslut, grundade på regler eller med en medveten planering. När vi går, cyklar, känner igen ett ansikte, använder vårt sunda förnuft, samtalar eller i övrigt agerar i vardagens många bestyr, är vi då inte intelligenta? Hur bedömer vi och hur känner vi igen problem som borde lösas, är de också möjliga att upptäcka med hjälp av regler och procedurer? Det senare problemet brottades redan Platon med. Jag kommer att senare beröra George Ryles argumentering kring samma problem. Polanyi menar, som jag återkommer till, att det är vår

intuitiva kunskap som gör oss uppmärksamma på ett problem och också leder oss framåt i en undersökande process.

De följande två nivåerna i bröderna Dreyfus beskrivning av kompetensutveckling karakteriseras av ett snabbt, ledigt och engagerat beteende som inte liknar det långsamma och rationella resonerande som kännetecknar den kompetente problemlösande experten.

Steg 4: Den skicklige

Upp till denna nivå ägnar sig aktören åt reflekterande, medvetna och genomtänkta val av såväl mål, planer och beslut. Dreyfus liknar det vid Hamlets vanda i "att vara eller inte vara". Denna form av val eller beslutsfattande anses i psykologisk litteratur som det vanliga och normala. Dreyfus menar dock att empirin från studiet av vårt vardagliga beteende pekar på att detta är ett undantag snarare än regel.

Den skicklige är starkt involverad i sin verksamhet och upplever densamma från ett perspektiv färgat av sina tidigare upplevelser. Vissa särdrag kommer på grund av detta att bli starkt framträdande medan andra hamnar ur fokus och nedprioriteras. Nya händelser och situationer förändrar dessa detaljers absoluta och relativa vikt, liksom planer och förväntningar modifieras och ändras.

Detta är inte ett medvetet val eller resultatet av en objektiv process utan händer därför att den skicklige har erfårit liknande situationer tidigare och minnen av dessa "triggar" planer som tidigare har fungerat och förväntningar av resultat som tidigare uppnåtts.

Vi upplever och bedömer inte en situations möjligheter genom att medvetet relatera olika fakta och element i densamma. Den skicklige boxaren börjar sin attack, inte genom att använda regler för var hans egen och motståndarens kroppar befinner sig i förhållande till varandra. Det är när hans upplevelse av den totala visuella bilden framför honom och hans upplevelse av den egna kroppens situation matchar minnet av en tidigare upplevd liknande situation som framgångsrikt ledde till seger som han attackerar. Denna intuitiva förmåga att känna igen ett mönster utan att behöva dela upp dem i enskilda faktorer kallar vi för holistisk mönsterigenkänning (holistic similarity recognition).

Intuition och ”know-how” bygger alltså på en förmåga att känna igen sig i tidigare erfarenheter. Dreyfus använder dessa båda termer på samma sätt och skiljer inte på kognitiva eller praktiska färdigheter. Deras användning av termen holistisk ska ses som en motsats till reduktionism, uppdelning i specifika detaljer. De fortsätter:

Intuition är resultatet av ett djupt engagemang och upplevelse av likhet och får inte tolkas som irrationalitet, gissningar eller någon övernaturlig inspiration. Den är en förmåga vi alla kan använda för att hantera vardagens återkommande problem på ett intelligent och effektivt sätt. Intressant är hur i vår tradition intuitionen har tillskrivits kvinnor och bedömts mindre värd än den manliga rationaliteten. Den skicklige aktören organiserar och förstår sitt värv med hjälp av tidigare erfarenhet, intuition, men analys och värdering av dessa faktorer och planering och beslut fattas medvetet enligt regler som upplevs som meningsfulla.

En skicklig bilförare som närmar sig en kurva på en regnvåt väg upplever intuitivt att bilen går för fort. En medveten process startar där alternativ som att bromsa, lätta på gasen eller kanske välja ett speciellt vägval i kurvan utvärderas och ett val sker. Den skicklige schackspelaren känner utan ansträngning igen ett stort antal lägen i spelet. Före varje drag dyker intuitiva möjligheter upp som utvärderas och omformas till en plan. Han vet intuitivt att en attack är möjlig men väljer medvetet den bästa planen och strategin.

Den skicklige läraren uppmärksammar intuitivt att klassen eller vissa elever inte hänger med i en genomgång och gör ett medvetet val av alternativa förklaringsmodeller eller handlingsätt (Johansson & Kroksmark, 1998). Kanske väljer han att med utgångspunkt från ett konstruktivistiskt perspektiv testa elevernas begreppsförståelse för att planera sitt undervisningsinnehåll så att det anpassas bättre. Möjligen funderar han i sociokulturella termer om hur elevens lärande påverkas av den tid han får tillsammans med läraren eller någon annan mer kompetent person och planerar sin tid för att uppnå detta. Vanligen undgår det honom hur och varför och med vilken skicklighet han kunde upptäcka problemet i första rummet.

Steg 5: Experten

När vi går, småpratar, kör bil eller lever våra normala sociala liv tar vi normalt inte några medvetna rationella beslut om hur eller varför vi agerar. Vi är dessa sammanhang experter och en expert vet vanligen vad och hur man ska handla baserat på en mogen och väl praktiserad erfarenhet. Experten funderar inte över vardagens alla små problem och hur de

ska lösas. Experten blir ett med sin bil och upplever inte ens att han/hon kör en bil utan att han/hon kör. På samma sätt som den gående upplever att hon går, inte att hon lyfter och manipulerar sina ben och fötter. Piloter flyger när de blivit experter medan nybörjare kontrollerar ett flygplans styrorgan. Stormästare i schack upplever inte att de manipulerar pjäser på ett bräde utan upplever sig delta i en värld av möjligheter, hot, styrkelägen, underlägen, hopp och fruktan. I ett snabbparti undviker de faror och attackerar på samma automatiska sätt som en tonåring som spelar ett dataspel eller som vi själva undviker välkända föremål på väg till telefonen. När kirurgen, sköterskan, läraren, direktören, advokaten och andra blivit experter är de totalt engagerade och uppvisar ett skickligt framförande av sina förmågor.

Experten löser inte problem eller fattar beslut, de gör bara vad som brukar fungera!

Flygkontrollanterna ser inte lysande fläckar på sina skärmar och använder regler för att styra och kontrollera trafiken. De befinner sig själva i luftrummet, ser flygplan och reagerar på vad de ser och känner igen risker och möjligheter.

Här varnar Hubert Dreyfus för de planer USA vid den tiden hade att utveckla ett helautomatiskt försvarssystem, "Star Wars", där ett datorprogramms regler, motsvarande en kompetent analytiker skulle ta beslut om åtgärder som gäller liv eller död för en hel nation. Han menar att inför sådana situationer behövs en erfaren mänsklig experts intuitiva förmåga att känna igen hot och fatta relevanta beslut.

Inom expertforskningen har vid flera tillfällen röntgenläkares diagnostiska förmåga studerats. Man har då kunnat visa att dessa efter ett antal år i yrket formar diagnostiska hypoteser och drar slutsatser med utgångspunkt från relevanta särdrag i röntgenbilden. Detta tyder på att de befinner sig på nivå 3, den kompetente problemlösaren. En expert borde dock kunna lära sig att känna igen mönster av mörka och ljusa regioner som triggar minnen av liknande upplevelser och därmed diagnoser. Någon reduktion eller uppdelning av bilden i speciella kännetecken och särdrag borde inte behövas (på samma sätt som vi inte känner igen ansikten på detta sätt). Inte heller behövs kriterier och regler för hur diagnosen skall göras.

Det verkar som om utvecklingen från kompetent till expert sker under stress, antingen för att tiden är knapp eller för att ett beslut måste tas trots att det inte finns fullständig information.

Dreyfus förutsägelse om läkares möjlighet att bli experter på detta sätt har visats i flera senare undersökningar och det verkar vara just individer som måste arbeta under tidsbrist som uppnår denna nivå (Schmidt & Boshuizen, 1993).

Stuart Dreyfus egen berättelse om hur hans snabbschackspelare kollegor utvecklades till schackmästare stöder också den här tesen.

Den praktiska expertis vi alla uppvisar kräver ofta snabb reaktion och omedelbara beslut. Slalomåkaren Ingemar Stenmark tog under en minut i backen ett nästan oändligt antal beslut för att kunna gå segrande över mållinjen. Hans kommentarer och svar på intervjufrågor avslöjar en egen förståelse av den process som givit honom hans expertis:

Mina ben tänker fortare än min hjärna!

Konstigt, ju mer jag tränar ju mer tur får jag!

De e bar å åk!

De går int å förklar för en som int begrip!

Den bild vi ger av en fulländad, allt behärskande expert kan få oss att tro att experten aldrig behöver tänka efter och alltid gör rätt. Det är naturligtvis inte sant, även om handlingarna i många fall är automatiska och oreflekterade stannar experten upp och tänker om tid finns eller situationen är kritisk.

Donald Schön beskriver erfarna arkitekter som reflekterande praktiker och menar att detta är ytterligare ett steg i kompetensutvecklingen (Schon, 1987). Kroksmark (1997) finner stöd för att den intuitive läraren både före och efter insatsen i *kritdammet* reflekterar över sin praktik.

Hubert Dreyfus har i senare forskning på läkare som gjort akademisk karriär och blivit lärare funnit en kategori han kallar *superexpert*. De uppvisar samtidigt expertens och den kompetentes egenskaper, de kan beskriva varför de gör på ett visst sätt och deras kunskap är inte dold eller tyst.

Bröderna Dreyfus tankar och modell har satt starka spår inom professionsutbildningar och i litteraturen kring tacit knowledge men inom den klassiska litteraturen om kunskap saknas de ofta. I en antologi om lärande och kunskap och kunskapsformer, *How People Learn: Brain,*

Mind, Experience, and school (Bransford et al., 1999) saknas referenser till såväl Polanyis *Tacit Knowledge* som till bröderna Dreyfus *Mind over Machine*.

Debatt om bröderna Dreyfus och deras beskrivning av Experter

Bröderna Dreyfus tidiga arbeten (Dreyfus & Dreyfus, 1979, 1980) satte snabbt spår i professionsforskningen inom hälso- och sjukvård, speciellt efter det att Benner (1984) visat på sjuksköterskors utveckling till experter i enlighet med Dreyfus modell. En debatt uppstod och pågår ännu om huruvida hälsovården verkligen ska bygga på know-how och intuition (English, 1993). Vissa utbildningsinstitutioner har sedan dess byggt sin verksamhet på en Novis-expert modell medan andra håller kvar vid att bedömning och beslut enbart ska tas på rationella, logiska och vetenskapliga grunder. Vi känner här igen den svenska debatten kring beprövad erfarenhet respektive vetenskaplighet som i grunden har förändrat sjuksköterskeutbildningen i Sverige.

En debatt om vad som menas med en expert finns också i litteraturen (King & Appleton, 1997). De flesta som skrivit om Tacit knowledge och expertis använder *peer evaluation* för att identifiera experter, arbetskamrater får bedöma sina kollegor. Många menar att det rätta sättet är att utvärdera de studerades resultat. Då ordet expert har en i allmänt språkbruk något annorlunda mening behöver det poängteras att Dreyfus använder ordet för att beteckna ett speciellt beteende hos praktiker av olika slag. En expert i hans mening utnyttjar hela sin kunskapsbas, explicit och implicit kunskap. Om experten känner igen sig gör han/hon det som enligt erfarenheten har fungerat bäst. Om problemet är nytt och tidigare ej erfaret faller experten tillbaka i en kompetent eller kanske till och med novisroll med de fördelar och nackdelar det för med sig. Den tidsbesparing som expertens kunskap leder till gör det möjligt att lägga mer tid på komplicerade delar av ett projekt.

Johansson och Kroksmark (2004) talar om två användningar av den intuitiva kunskapen, dels att se, att upptäcka vad som händer i klassrummet, dels att gå till handling omedelbart och på det för ändamålet bästa sättet. De senare beskriver dessutom hur den intuitive läraren lägger ned stor möda på förberedelser och planering för att sedan i klassrummet kunna följa sin intuition. Många lärare reflekterar också efter lektionens slut för att ytterligare förbättra sig. Noteras ska kanske att expertisen i detta fall i första hand handlar om att vara lärare inte att vara expert på sitt ämne. Det senare kan till och med ha negativa konsekvenser då man som kompetent lärare har svårt att se vad som är svårt och komplicerat, själv känner man ju hela

tiden igen sig och rör sig i en välkänd värld, något som visats i flera studier (Hinds, 1999) och som jag återkommer till i denna text. Detta kan innebära att man som lärare koncentrerar sig på fel moment i undervisningen. Jag frågade hur fysiklärare på universitetsnivå betraktade ett av studenter upplevt svårt ämne; kvantmekaniken. Typiskt var att lärare som i 10-15 år undervisat på kursen hade svårt att se några direkta svårigheter medan andra lärare som sysslat med andra kurser uttryckte sin stora respekt för ämnets svårigheter.

Den långa tid i en praktik som verkar krävas för att uppnå expertis, enligt flera studier 10 år eller mer, har förvånat många. Att lång tid ibland inte enbart räcker till för en utveckling till expert har av vissa använts som en kritik av Dreyfus femstegsmodell, t.ex. av Vibeke Rischel med flera (2008) som i en studie av sjuksköterskor inte kunde finna stöd för att enbart tid i yrket skulle utveckla kompetens. De kommer fram till att individens egna specifika upplevelser, deras *situated knowledge* har större betydelse. Andra menar också att tiden måste fyllas med medveten, planerad träning, *deliberate practice*, för att tio-årsregeln skall gälla (Ericsson & Lehman, 1996). Bröderna Dreyfus har ett eget svar på frågan, förutom tid krävs engagemang; *it has to hurt*. Detta är ett av de spår jag följer upp i min studie. Experter har kritiserats för att bli för automatiska, att fastna i rutiner och att ha svårt att ta till sig nya metoder och arbetssätt. En del av den forskning som bedrivs av Bo Göranzons grupp på KTH handlar om detta. Det största problemet verkar dock vara kunskapsöverföring, att föra vidare den dolda kunskapen mellan medarbetare. Med de dialogseminarier som denna grupp under flera år bedrivit se t.ex. (Göranzon et al., 2006) försöker man bl.a. lyfta experters tysta och dolda kunskaper genom att använda berättelser, narrativ, och reflektion om tidigare genomförda projekt.

Teori och Praktik

Efter Descartes framväxte en syn på teori och praktik som byggde på en åtskillnad mellan kropp och tanke. Alla handlingar, praktik, föregicks av en tanke och det var kvaliteten på denna tanke som bestämde kvaliteten på handlingen. Med övning och träning kunde handlingen automatiseras och den en gång medvetna kunskapen tystna. Som naturlig följd av detta uppstod en skillnad i status mellan verksamheter med ett tydligt tankeinnehåll och de rent praktiska. Denna värdering lever vi ännu med inom utbildningssystemet och idén att all handling styrs av en tankeprocess, *a ghost in the machine*, finns som ett av argumenten för att förvetenskapliga olika yrkesprofessioner och utbildningar. Motbilder finns dock, George Ryle som är mest känd för att ha hävdat att det är skillnad mellan att veta att och att veta hur,

Knowing how and knowing that (Ryle, 1949 s. 27), går till hårt angrepp på idén att handling alltid föregås av en tanke. Om det vore så, skriver han, så måste även en medveten tanke föregås av en tanke, som i sin tur måste föregås av en tanke osv. Att starta upp en sådan cirkel av orsaker och verkan blir omöjligt.

But if, for any operation to be intelligently executed, a prior theoretical operation had first to be performed and performed intelligently, it would be a logical impossibility for anyone ever to break into the circle (Ryle, 1949 s. 30).

Tacit Knowledge

Michael Polanyi är den som myntar begreppet *tacit knowledge* och menar att vi alla har kunskap som vi normalt inte kan tala om; ”*We know more than we can tell*” (Polanyi, 1966 s. 4). Han refererar till ett flertal beteendevetenskapliga experiment som tyder på att vi kan lära oss att reagera på omedvetna stimuli. Polanyi talar om partikulär kunskap som var för sig och utanför sitt sammanhang inte betyder något men som tillsammans ger en mening och förståelse av ett komplicerat fenomen. Polanyi vill därför inte skilja på teoretisk och praktisk kunskap, att veta och att kunna.

Vår förmåga att känna igen dofter, ansikten, klanger, stämningar etc. är mycket väl utvecklad men svår att verbalisera. Denna kunskap kan dock kommuniceras. Med hjälp av polisens identifikation-kit kan vi genom att jämföra vårt minne av ett ansikte med stegvis uppbyggda bilder av syntetiska ansikten lyfta vår dolda kunskap upp i ljuset. Mästaren kan överföra sin expertkunskap genom att bedöma och jämföra en lärlings resultat och beteende med det *rätta* resultatet. Överhuvudtaget verkar vår förmåga att göra jämförande analys vara väl utvecklad när det gäller den här typen av kunskap. En expert kan ge ett sammanfattande omdöme för ett slöjdarbete, ett konstverk, en hästs gångarter, fotbollsspelare passningar, sångprestationer, uppsatser och mycket annat. Ofta kan de inte specificera de kriterier, *particulars*, som legat till grund för bedömningen.

Not only in artistic judgment but in all our ordinary judgments of the qualities of things, we recognise and describe deviations from a norm very much more clearly than we can describe the norm itself (Schon, 1987).

Lars Lindströms arbete med kriterier i bedömning av elevarbeten i slöjd och bild är ett exempel på hur dessa kriterier kan tydliggöras. Han visar att lärares sammanfattningsbetyg väl stämmer med bedömningen av de sju enskilda kriterier som identifierats och används i bedömningsinstrumentet (Lindström, 2007; Lindström et al., 1999).

På samma sätt verkar de fragment av kunskaper som hela tiden når oss från omvärlden, de är var och en obetydliga och intetsägande. Om vi samlar dem under en längre tid i en viss kontext, arbetsmiljö, kommer mönster och upprepningar att ge oss en mer fullständig beskrivning av det vi håller på med. Polanyi talar om en proximal kunskap som ligger nära oss och vår kropp, sinnesupplevelser som verkar obetydliga i isolering men som tillsammans kan ge ny kunskap om något yttre fenomen, något distalt. Läkare lär sig med sin erfarenhet att känna igen en kombination av detaljer i utseende, bakgrundshistoria och härkomst och använder detta för att nå fram till en snabbare och bättre diagnos (Schmidt & Boshuizen, 1993). Vi känner den proximala kunskapen endast som en funktion, en relation till något mer konkret, till en upplevelse av ett distalt fenomen. I ett experiment medförde uttalandet av vissa stavelser att försökspersonen fick en elektrisk chock och all uppmärksamhet riktades mot den upplevelsen. Trots att personen snabbt lär sig att undvika denna påföljd så förblir han omedveten om vilka stavelser han undviker, denna kunskap blir underförstådd och tyst.

När en blind person första gången använder en blindkäpp upplevs dess krockar med föremål i omgivningen som stötar och tryck i handen. Efter en tids tillvänjning upplevs de som stötar mot käppens spets, käppen har blivit en förlängning av vår kropp och medierar information om omgivningen. Vi upplever inte den proximala effekten av stötar i handen utan en distal perception av käppens spets när den träffar andra föremål. Den inlärda kunskapen från handen är funktionell och relationell. Något liknande händer när vi använder en skruvmejsel, det är inte trycket i handen och anspänning av muskler som är vår upplevda kunskap om vad som händer, det är skruvmejselspetsens kontakt med skruvhuvudet eller kanske till och med skruvspetsens kontakt med träet vi känner. Tandläkaren upplever undersöknings-probens kontakt med patientens tandhalsar och *känner* statusen på tandemaljen. I ett samtal med en tandläkare framkom det att det kan ta två år innan man fått denna fingertoppskänsla. Innan dess förstår man inte vad läraren på tandläkarhögskolan talar om. Kvinnoläkaren som skadat den hand hon normalt använder vid undersökningar känner plötsligt inte igen sig, kan inte orientera sig och blir novis på nytt.

Den här typen av diskussion förs numera kring artefaktens medierande funktion, både i dess roll för att förändra ett objekt, skruvmejseln, och för att förändra vår kunskap om världen, blindkäppen. Intressant blir då hur mediering, i Polanyis termer: kopplingen mellan proximal och distal kunskap skapas.

Polanyi menar att när vi känner igen ett ansikte ger vi omedvetet akt på ett antal kännetecken och anletsdrag som relaterar till av oss kända personer. Det är själva igenkännandet som blir den explicita, artikulerade kunskapen. På ett liknande sätt kan vi relatera till förändringar i anletsdrag, kroppshållning, tonfall, gester, ögonrörelser med mera för att bedöma en persons känslöstämning.

Polanyi argumenterar för att *tacit knowing* är förklaringen till att vi överhuvudtaget kan uppfatta problem och att vi kan bedöma om en lösning är fruktbar. Vetenskapsmannen använder sin intuition för att följa en ledtråd mot en upptäckt. På detta sätt blir den tysta kunskapen en viktig del i den vetenskapliga metoden.

Tacit knowing is shown to account: for a valid knowledge of a problem, For the scientist's capacity to pursue it, guided by his sense of approaching its solution, for a valid anticipation of the yet indeterminate implications of the discovery arrived at in the end (Polanyi, 1966).

Polanyi refereras vanligtvis med avseende på det första kapitlet i boken *Tacit Knowledge* som behandlar tyst eller dold kunskap men har även i det nästföljande kapitlet om *Emergence* stor aktualitet. Här beskriver han den utveckling mot reduktionism som man kan se inom alla naturvetenskapens fält, där t.o.m. biologer ibland anser att biologins problem kan brytas ned, beskrivas och förstås med kemiska och fysikaliska begrepp. Polanyi varnar för detta synsätt och argumenterar med hjälp av flera exempel för ett systemperspektiv.

Vi antar att tyst eller dold kunskap uppstår genom att ett antal partikulära kunskapsfragment pekar mot och medför kunskap om något större, viktigare. Om vi då koncentrerar vår uppmärksamhet inte mot detta större utan mot partikulärerna, delarna, försvinner den integrerande effekten och vi uppfattar inte helheten lika starkt.

Detta är den klassiska motiveringen för ett systemperspektiv, att en högre systemnivå styrs av de lagar som reglerar den underliggande nivån. Men hur denna organiseras kan inte förstås genom att studera organisationsprinciperna på den lägre nivån. Som exempel tar Polanyi schack där reglerna för hur pjäser får flyttas och relateras till varandra inte förklarar principerna för spelet på en högre nivå. När man tillverkar tegel beror tegelstenens egenskaper på råmaterialet och processen under densamma men när katedralen ska byggas kommer andra nivåer av regler för organisationen att gälla; murare, byggmästare och arkitekter bestämmer på sina, i detta avseende skilda, systemnivåer. Polanyi analyserar ett muntligt framträdande i ett systemperspektiv där talljud, ord, meningar, stil och litterär komposition måste beskrivas på olika systemnivåer, var och en är beroende av föregående underliggande nivå men styrs av sina egna regler. Varje nivå av objekt påverkas alltså på två sätt, dels av dess ingående element, dels av den helhet som de själva ingår i:

It is impossible to represent the organizing principles of a higher level by the laws governing its isolated particulars. (Polanyi, 1966).

Polanyi får stå som grundare av den moderna beskrivningen av tyst eller dold kunskap men han betonar starkt att han inte vill ställa denna mot den etablerade rationella, explicita kunskapen utan föredrar att se dem som olika delar av människans kunskapsresurser, *her knowing*.

I Sverige tolkas Polanyi framför allt av Bertil Rolf (1991) men även av Sven Erik Liedman. I inledningen till *Ett oändligt äventyr* (Liedman, 2002) beskriver författaren begreppet intuition som ett ord som blivit så vagt och mångtydigt att det snarare sveper in ett problem i dunkel än kastar ljus över det.

Liedman jämför sedan intuition med omedelbara insikter till skillnad från sådana som bara kan vinnas genom längre resonemang eller genom mödosamt hopsamlad erfarenhet. Insikter som vi når fram till utan att kunna prestera goda sammanhängande resonemang för hur vägen dit tillryggalades, kunskap som föregår den som kodifieras i teorier. Han särskiljer på två av de exempel på tacit knowledge Polanyi tar upp. Pianistens förmåga att blixtnsnabbt tolka noter och spela ett avancerat musikstycke som Liedman menar är exempel på kunskap som har tystnat. Förmågan att känna igen ett ansikte utan att minnas detaljer och egenheter å andra sidan är exempel på kunskap som alltid varit och måste vara tyst.

Förtrogenhetskunskap

I den modell av novis-expert utveckling jag studerar är förtrogenhets- eller erfarenhetsbaserad kunskap i centrum. När jag i detta sammanhang använder uttrycket *att ha förtrogenhet* menar jag att det inte finns någon oro eller tvekan över hur situationen eller problemet skall hanteras, man känner sig *bekväm*. Det kan gälla en *praktisk* färdighet som att ta ett passande ackord på gitarren, luta sig på rätt sätt i en slalomport eller lägga i en ny växel när motorljudet känns ansträngt. Det kan vara en förmåga att ställa en medicinsk diagnos, utan att medvetet leta efter symptom och detaljer, att lära sig *läsa av* elevens förståelse av en besvärlig lektionssekvens. Man *känner igen sig* i situationen på samma sätt som man känner igen ett bekant ansikte i en folkmassa.

Det handlar alltså inte om en analyserande process följt av logik och argumentation. Det är i denna mening ingen större skillnad på att veta hur man skall angripa ett matematiskt problem, hur man ska tolka en mening på ett främmande språk eller förklara ett fysikaliskt begrepp. Förtrogenheten finns när ingen medveten sökande tankeprocess uppstår men den resulterande handlingen ändå tyder på en erfarenhet, ett *kunnande*. Den här typen av *kunnande* beskrivs av Kjell Johannesen i hans tolkning av Wittgenstein, av Bengt Molander och även av Polanyi när han beskriver *tacit knowledge*. Då den här typen av kunskap bygger på associationer och minnen av tidigare upplevda situationer är den starkt kontext-beroende.

Orsaken att jag för samman så många kunskapsaspekter under rubriken förtrogenhet är att mycket talar för att förtrogenhetskunskap byggs i ett funktionellt och strukturellt eget minne med egenskaper radikalt skilda från de traditionella inlärningscentra i hjärnan.

Sammanfattning

I det här kapitlet lyfter jag fram expertforskningens beskrivningar på hur människor utvecklas, blir kompetenta och hur de skaffar sig färdigheter och förmågor. Flera av de egenskaper som lyfts fram som typiska för experter tyder på att det inte bara handlar om en inkrementell förbättring eller förfining av förmågor gentemot novisen. Det rör sig om mer radikala förändringar som antyder att flera olika kognitiva strukturer utvecklas i olika hastighet och av olika orsaker. Polanyi talar om *omedvetna kännetecken* och *proximala detaljer* medan bröderna Dreyfus använder uttryck som *holistic pattern recognition*.

Detalj eller helhet, vem har rätt? Kan det vara så att människan har två sätt att se, bedöma och att kategorisera; ett som analyserar detaljer och ett annat som känner igen helheter?

Det finns flera frågor som är intressanta att belysa:

- Varför tar utvecklingen så lång tid?
- Varför är utvecklingen så kopplad till en speciell kontext?
- Varför uppnår inte alla de senare nivåerna i Dreyfus modell?
- Varför är så mycket av det här kunnandet dolt och tyst?

I kapitel sex och sju återkommer jag och fördjupar mig i dessa frågor.

De forskningsresultat om experter jag har refererat till beskriver generella förmågor och beteenden. Avhandlingens resultat är tänkta att utmynna i implikationer för undervisning i design, speciellt i skolämnet teknik. I de följande två kapitlen ger jag en bakgrund till såväl design i skolans teknikundervisning som teknisk problemlösning i allmänhet.

4 Kreativitet, skapande och pedagogisk bedömning i skolan

Skapande verksamhet i skolans teknikämne

Den svenska grundskolan har i sin läroplan (1994) flera allmänna mål och riktlinjer. Bland dessa tilldrar sig avsnitt som berör förmågor till skapande och kreativa aktiviteter mångas intresse. I Skolans *uppdrag* (Utbildningsdepartementet, 1994) sägs att:

*Skapande arbete och lek är väsentliga delar i det aktiva lärandet.
Skolan ansvarar för att varje elev efter genomgången grundskola
har utvecklat sin förmåga till kreativt skapande.
Förmåga till eget skapande hör till det som eleverna skall tillägna sig.*

Med hänsyn till i vilket sammanhang dessa uttalanden görs är det troligt att författarna framför allt tänker på de estetiska ämnena i samband med skapande verksamhet.

I kursplanen för Teknikämnet (Skolverket, 2001) återkommer hänvisningar till skapande verksamhet:

*Att själv praktiskt pröva, observera och konstruera är ett fruktbart sätt att närma sig teknikens primära frågor om mål och möjligheter och att erövra en förståelse som är svår att nå på annat sätt.
Utifrån ett praktiskt och undersökande arbete åskådliggörs både den tekniska utvecklingsprocessen: **problemidentifiering, idé, planering, konstruktion, utprovning och modifiering** och hur den teknik som omger oss är länkad till olika och ofta inbördes beroende system.*

Den i fetstil markerade texten är den enda konkreta handledning läraren får för att planera sin undervisning i, och om, tekniskt skapande och utveckling.

Teknik och Design

Internationellt har intresset ökat för kreativitet, design och konstruktion och har nu fått ett stort utrymme i skolan i många länder. Teknik som eget skolämne är dock bara ett par decennier gammalt och det saknas forskning och en diskussion om ämnets innehåll och form (Lewis, 2006).

När man läser engelsk litteratur är det viktigt att uppmärksamma skillnader i betydelse för termer som *design* och *problem solving*. Det engelska ordet *design* används på ett liknande sätt som det svenska ordet problemlösning och är ett samlande begrepp för alla faser i en skapande aktivitet, även tillverkning. *Problem solving* används på engelska för att beteckna ett väl formulerat problem med en entydig, ofta algoritmisk lösning som ibland kan generaliseras till liknande uppgifter (Kimbell, 2006). I kapitel fem beskrivs dessa två problemformer som *ill defined* respektive *well defined*.

I en svensk kontext används däremot termen design ofta för att beskriva ett konstnärligt skapande, ägnat till estetisk och eller funktionell formgivning av olika produkter. Det svenska teknikämnet behandlar *Den Konstruerade Världen* i flera olika aspekter och perspektiv. Skapande och konstruktion, design, har en viktig roll även i Sverige och speciellt i avsnitten om bedömning och i betygskriterierna betonas vikten av att eleven utvecklar insikter, kunskaper och förmågor i praktiskt skapande.

I andra länder anses design som mycket centralt och är därför ett prioriterat inslag i teknikundervisningen. Detta gäller i USA där det intar en central roll i Standards for Technology Education (Itea, 1996) såväl som i England där det är det dominerande inslaget i det obligatoriska skolämnet Design and Technology (DSCF, 2000).

Designprocessen: Funktion till struktur

Designbegreppet, en artefakts funktion och tillkomst studeras sedan några år av en internationell forskargrupp ledd från Universitetet i Delft; projektet kallas *The dual nature of technological artefacts*. En av gruppens medlemmar, Marcel Scheele (2001) skriver att en teknisk produkt, en artefakt, karaktäriseras av att konstruktören byggt in en kommunikativ mening om dess funktion. När man konstruerar en bil är det funktionen *bil* man levererar, inte en mängd metall och plast sammanfogat på ett komplicerat sätt. Överföringen från funktion till teknisk struktur är en mycket komplicerad process som liknar den då en konstnär försöker

få fram ett estetiskt uttryck med hjälp av de materiella resurser, tekniker och metoder som finns att tillgå.

Peter Kroes (2001) menar att designprocessen är ett mycket eftersatt forskningsområde och att man knappt har börjat studera den dualism som finns i en teknisk artefakts egenskaper och beskrivning:

Å ena sidan är artefakter fysikaliska objekt eller processer, med en specifik struktur (uppsättning egenskaper), vilka styrs av fysikens lagar. Å andra sidan, är en viktig del i beskrivningen av varje tekniskt objekt dess funktion; om man för ett ögonblick bortser från funktionen är artefakten blott och bart ett fysiskt objekt. Det är tack vare sin funktion som den blir ett tekniskt objekt, "a technological artefact". Funktionen kan inte betraktas separat från den kontext i vilken artefakten skall användas. Funktionen är, då den är ett medel för att uppnå ett mål, "means to an end", förankrad i denna kontext, i denna verklighet. När vi på detta sätt ser en medveten påverkan från den sociala världen (i motsats till den fysikaliska världen), kan vi kalla funktionen för en social konstruktion, den är skapad i ett socialt sammanhang. En teknisk artefakt är samtidigt som den är en fysisk konstruktion även en social dito. Den har två ontologiska beskrivningar, "a dual ontological nature". Studerar vi människors verksamhet inom konstruktion och design finner vi att deras tekniska kunskap består av såväl kunskap om fysiska strukturer som kunskap om funktioner (Kroes, 2001 s. 1).

Designprocessen kan tolkas som en problemlösande process som översätter en önskad funktion till en struktur. Processen börjar vanligen med att man samlar kunskap om den önskade funktionen, en designspecifikation, för att som slutprodukt skapa en design som är en beskrivning eller ritning av ett fysiskt objekt, system eller process och som realiserar den önskade funktionen. Hur når då konstruktörer och innovatörer detta mål? Följande citat är taget från beskrivningen av det svenska teknikämnets karaktär och uppbyggnad:

Utifrån ett praktiskt och undersökande arbete åskådliggörs både den tekniska utvecklingsprocessen– problemlösning, idé, planering, konstruktion, utprovning och modifiering (Skolverket, 2001).

Här återfinns den syn på utvecklingsprocessen som var rådande i början av 1990-talet. Inom teknikundervisningen anammar man ett naturvetenskapligt arbetssätt. Teknikern liksom

vetenskapsmannen förmodas arbeta efter en generell standardiserad metod. John Williams (2000 s. 49) beskriver det på följande sätt:

The process was a prescriptive and linear one of defining the problem, gathering information, forming a hypothesis, making observation, testing hypothesis and drawing conclusions.

Kritik mot denna tolkning av designprocessen återfinns i en översikt av ett tiotal liknande modeller av Rob Johnsey (1995) och sammanfattas av Brent Mawson (2003 s. 117):

The paradigm is fatally flawed, and that continued adherence to it is having a detrimental impact on children's learning in technology.

Tron på förekomsten av en generell vetenskaplig metod verkar ha uppstått ur den form som vetenskapliga arbeten presenteras på, i artiklar och avhandlingar, och mindre ur en realistisk beskrivning av den naturvetenskapliga forskningsprocessen. Williams (2000) menar att då denna process används som en arbetsmall i skolans undervisning kan den till och med försvåra elevens kreativa utveckling. Den vetenskapliga metoden beskriver dessutom inte den i sammanhanget mest intressanta hypotesgenererande fasen utan den verifierande. Inom teknikundervisningen har man trots denna kritik vid flera tillfällen prövat att arbeta efter standardiserade sekventiella designmetoder:

Design-make-appraise" (Australien 1994)

Identify-design-make-evaluate" (England 1995)

Define problem-ideas-model-test" (ITEA, USA 1998)

Även inom högre utbildningar återfinns man den här tron på att det finns en metod för innovation och design. På ingenjörsutbildningar som KTH, CTH, LiTH med flera provas just nu ett liknande koncept:

Conceive-Design-Implement-Operate (Sverige och USA 2001).

Dessa modeller är alla sekventiella och linjära, detta trots att studier av designprocessen visar på en mycket större komplexitet. Baynes (1992) citerad av Williams (2000) skriver:

The processes involved in designing are not linear, they do not always start from human needs, and they do not always proceed in an orderly way. They are reiterative, spiralling back on themselves, proceeding by incremental change and occasional flashes of insight.

På 1980-talet studerades problemlösningsprocessen av några teknikfilosofer, en av dem, Rachel Laudan, (1984) visar en problemlösningsprocessen inte alltid startar i att lösa ett problem, *a means to meet an end*, utan styrs av ekonomiska, estetiska och kulturella värden. Mycket teknikutveckling sker därför att det är roligt, *sheer fun and joyment*, att skapa något nytt.

Studerar man tekniker i arbete kan man enligt bl.a. Petroski (1996) inte se någon generell metod. Utvecklingsprocessen skapas och förändras efter hand i takt med situationens krav. Processen ser olika ut hos olika individer och man kan se hur studenter som åläggs följa en på förhand uppgjord metodisk plan arbetar parallellt med att dels lösa uppgiften dels tillgodose lärarens krav och önskemål om metod. Detta har ofta ingen eller till och med en negativ påverkan på elevens kreativa utveckling.

Enligt de senaste 20 årens studier inom området, finns inga vedertagna generella lösningar och metoder för teknisk utveckling och design. Trots detta kräver såväl svenska som internationella styrdokument att det ska ske en utveckling av elevens konstruerande och skapande förmåga som bygger på detta antagande. Samma förhållande kan ses inom teknikundervisning världen över (Mawson, 2003). I den svenska kursplanen framhålls att:

Mål att sträva mot; eleven utvecklar förmågan att omsätta sin tekniska kunskap i egna ställningstaganden och praktisk handling.

Mål som eleverna skall ha uppnått i slutet av det femte skolåret:

– kunna med handledning planera och utföra enklare konstruktioner.

Mål som eleverna skall ha uppnått i slutet av det nionde skolåret:

– kunna göra en teknisk konstruktion med hjälp av egen skiss, ritning eller liknande stöd och beskriva hur konstruktionen är uppbyggd och fungerar.

Kriterier för betyget Väl godkänd

- Eleven genomför en egen konstruktionsuppgift, beskriver med relevanta begrepp och termer konstruktionen och dess komponenter och motiverar sina val av material, redskap och utformning.

Kriterier för betyget Mycket väl godkänd

- Eleven ger alternativa förslag även då det redan finns instruktioner eller färdiga lösningar samt utvärderar sitt eget arbete.

Ingenstans förtydligas och förklaras dock vilka kunskaper och förmågor som behöver inhämtas respektive utvecklas och hur detta kan gå till.

Nya modeller för undervisning om design och skapande

På senare tid har alternativa koncept prövats, ibland kraftigt kontrasterande mot den tidigare beskrivna traditionella sekventiella och strukturella modellen. Mioduser och Dagan (2007) varnar också för att lära eleverna arbeta efter en modell med distinkta sekventiella steg i en generell designprocess. De förordar att man i stället skall skapa en förståelse för och kunskap om designprocessens olika funktionella delar och steg, inte att förordas en viss följd av dem:

The functional approach emphasizes the teaching and study of design functions (rather than stages): issues identification and definition, exploration and investigation, decision-making, planning, making, and evaluation. At every stage of the process the problem solver may use more than one of the design functions (Mioduser & Dagan, s. 135).

Författarna finner som resultat av en stor studie där de två metoderna jämförs att studenter som arbetar efter den funktionella, ej ordnade, metoden utvecklar kvalitativt bättre lösningar:

The functional approach towards design instruction was more effective than the traditional structural approach for supporting the construction of holistic, flexible, and effective mental models of the design process of technological solutions (Mioduser & Dagan, 2007 s. 135).

Författarna påpekar också att mer forskning behövs för att förstå de mentala modeller noviser och experter använder vid design och problemlösning.

Den kreativa processen har studerats under lång tid inom andra estetiska områden. Om vi antar att faktorer som påverkar utvecklingen av en skapande förmåga kan vara generella som studierna av expertis antyder; så kan kunskaper om bild- och slöjdprocessen ge uppslag till hur teknikämnets designprocess kan förstås och utvecklas.

Portföljvärdering av elevers skapande arbete i bild

I *Portföljvärdering av elevers skapande arbete i bild*, en delstudie i utvärderingen av skolan 1998 med avseende på de nya läroplanerna, studerar Lars Lindström et al. (1999) hur skapande arbete kan bedömas och utvärderas. Under arbetet har man tagit fram ett antal produkt- och processkriterier som är avsedda att användas för att mäta en utveckling av kreativ förmåga. Efter utprovning på olika stadier från förskola till gymnasium och med ett mycket stort antal bedömningar av elevarbeten anses instrumentet vara såväl tillförlitligt som lättanvänt. Flera av dess bedömningskriterier skulle kunna anpassas till kreativt arbete i teknikämnet, det som i stycket ovan definierats som design. De skulle därmed kunna utgöra en grund för tydliggörande av förmågor och egenskaper som kan och bör utvecklas inom teknikämnet. Lindström beskriver och definierar tre produktkriterier och fyra processkriterier i sitt mät- och bedömningsinstrument.

Produktkriterier

Kriterium 1: Förverkligande av intentionen med bilden

Detta det första produktkriteriet avser att bedöma graden eller kvaliteten i förverkligandet och trycker på vikten av att bedömningen inte grundar sig på enkla kriterier av typen att *det blev något som fungerar*. Detta formuleras av Lindström:

I en kreativ arbetsprocess utvecklas och förändras visionen under arbetets gång. Intentionen, dvs. det man vill få fram, kan också förändras, men den är vanligen mer konstant. Det är den inre kompass som vägleder arbetet. Om man ständigt ändrar intentionen (avsikten) med det man gör, blir arbetsprocessen ryckig och fragmenterad. Håller man däremot fast vid intentionen, men prövar olika vägar att förverkliga denna (dvs. omsätter olika visioner), så ökar möjligheten att finna den lösning som "stämmer" med intentionen.

Lindströms text antyder att det skulle vara möjligt att omformulera detta kriterium till t ex teknikämnet:

Om det rör sig om en designuppgift eller konsthantverk kan aspekter som rör föremålets funktion komma in i bilden. Kommer föremålet att fungera som det är tänkt i sitt sammanhang?

För teknikämnet skulle det första kriteriet således kunna handla om funktion och problemlösningens resultat, lösningens funktionalitet. Vad är elevens intention, mening med artefakten och hur förverkligas detta i resultatet. Noteras bör dock att i ett tekniskt sammanhang är *att det ska fungera* ett starkt krav, ambitionen hos eleven kan vara för hög.

Kriterium 2: Färg, form och komposition

Det andra produktkriteriet kan tolkas som en förmåga att behärska uttrycks- och kommunikationsformer. Det räcker inte att skapa en teknisk produkt, en artefakt, den ska också kommuniceras till omgivningen. Eleven ska med hjälp av olika kommunikativa stöd kunna förklara funktion och användning. Hon ska kunna beskriva sin produkt i text och ord, kunna demonstrera, rita skisser, tillverka ritningar och på andra sätt dokumentera sin produkt. Förmågan att skapa och producera dessa kommunikationsformer behöver naturligtvis också beskrivas i processtermer.

Eleven bör också känna till och behärska de inom varje tekniskt delområde kända och använda teknikerna och metoderna, de heuristiska hjälpreglerna, tumreglerna eller *the tricks of the trade* som är viktiga för att nå ett gott resultat.

Motsvarigheter till detta kriterium hittar man i teknikkursplanen i Kriterier för betyget Väl godkänd:

– Eleven genomför en egen konstruktionsuppgift, beskriver med relevanta begrepp och termer konstruktionen och dess komponenter och motiverar sina val av material, redskap och utformning.

Kriterium 3: Hantverksskicklighet

Lindström skriver:

Hantverksskicklighet syftar på förmågan att välja och använda material och tekniker... Alla material och tekniker skapar möjligheter till gestaltning, men de har också sina begränsningar. En hantverksskicklig person vet vad som kan göras och har därtill förmågan att göra det. Det är vanligt att hantverket nedvärderas eller missförstås som något rent mekaniskt och manuellt. Men hantverksskickligheten är inte bara till hjälp för en människa att förverkliga sin vision; den tillåter honom eller henne också att föreställa sig resultatet av sitt arbete. En person som kan sitt hantverk har rikare valmöjligheter än en som inte kan det. Han kan visuellt utforska olika alternativ i sitt medvetande genom att fråga sig: "Vad skulle hända om jag gjorde så i stället?"

Detta produktkriterium finns redan beskrivet i kursplanen för teknik.

Bedömning i ämnet teknik:

Elevens förmåga att välja och använda relevanta redskap och material beaktas, liksom den manuella skickligheten och kapaciteten när det gäller att fullfölja en större uppgift.

Denna beskrivning kan direkt jämföras med en av de nivåbeskrivningar för det tredje kriteriet, som anges av Lindström:

2. Bilderna tyder på viss förmåga att hantera material och tekniker, men det finns stora brister i tillämpningen.

Processkriterier

De fyra följande kriterierna, inriktar uppmärksamheten på arbetsprocessen, dvs. hur eleven gått tillväga för att lösa uppgiften. Det är förmågor, förtrogenhet och i flera fall förhållningssätt, *studio habits of mind* (Winner, 2003), som enligt professionella utövare och flera vetenskapliga studier av konstnärer är sammankopplade med kreativitet. Dessa processkriterier är troligen i än större mån applicerbara på annan skapande verksamhet.

Kriterium 4: Undersökande arbete

Undersökande arbete syftar på den envishet och det tålamod med vilka eleven gripit sig an och fullföljt arbetet ... att eleven följer upp "samma" problem genom en rad arbeten eller experiment. Man prövar olika möjligheter, ser vad som händer och avgör vad som inte håller måttet. (Lindström et al., 1999)

Även i kursplanen för teknikämnet beskrivs denna förmåga som önskvärd t.ex. i kriterier för betyget Mycket väl godkänd:

– Eleven ger alternativa förslag även då det redan finns instruktioner eller färdiga lösningar samt utvärderar sitt eget arbete.

Som senare kommer att visas är denna förmåga viktig för utveckling av expertis och den är dokumenterad i studier inom många teknikområden. Kursplanen för teknikämnet beskriver dessa mål som:

- Eleven utvecklar förmågan att reflektera över, bedöma och värdera konsekvenserna av olika teknikval,*
- Eleven utvecklar förmågan att omsätta sin tekniska kunskap i egna ställningstaganden och praktisk handling*

Hur dessa mål ska uppnås är dock otydligt.

Kriterium 5: Uppfinningsförmåga

Lindström förklarar detta processkriterium på följande sätt:

Kreativa personer upptäcker ofta nya problem när de arbetar med en uppgift. De prövar nya lösningar, ofta genom att kombinera idéer och lösningsförslag på ett oväntat sätt. Det finns ett nära samband mellan dessa utmärkande drag och det som nämnts ovanom undersökande arbete, eftersom man måste fördjupa sig i en uppgift under en längre tid för att komma på var de intressanta problemen finns och hitta sätt

att gripa sig an dem. Upptäckter genom misstag eller "lyckliga tillfälligheter" förutsätter att man är mentalt förberedd. Men denna inre beredskap är inte tillräcklig för att ett kreativt språng skall äga rum. För att omformulera problem och pröva nya lösningar, behöver man också ett visst mod och en vilja att ta risker.

En okänd Nobelpristagare lär ha kommenterat detta på följande sätt:

Man måste ha tur, och vara förberedd för att kunna se vad som är intressant.

En av de viktigaste egenskaperna hos en designer eller en konstruktör är att våga ta risker. Karl Popper menar att förmågan att göra djärva antaganden, hypoteser, är det som driver vetenskapen framåt. Och flera författare (Davies, 2000; Kimbell et al., 2004) beskriver detta som ett av de viktigaste målen för teknikundervisningen: att ge eleverna självförtroende att våga och att skapa en miljö i skolan där det är tillåtet att misslyckas. Omsorg om eleven, att begränsa svårigheter för läraren och att säkerställa att alla lyckas med sina projekt kan omedvetet skapa en miljö där det inte är acceptabelt att ta risker, att misslyckas.

För att främja risktagande krävs att fokus i undervisningen inte ligger på slutprodukten, utan att processen och de erfarenheter och den kunskap som uppkommer även vid ett misslyckat försök värderas lika högt. I ett nyligen presenterat utvecklingsprojekt inom ämnet Design och Technology i England fokuserar en forskargrupp kring Richard Kimbell speciellt på idégenerering och elevers risktagande. Att ha, att utveckla, att optimera och att verifiera idéer (Kimbell et al., 2004). Ett samarbete har inletts mellan Richard Kimbell och forskare samt lärare knutna till lärarhögskolan i Stockholm. (Skogh, 2006)

I nivåbeskrivningarna för detta kriterium i US98 (Lindström et al., 1999) finner vi följande formulering:

4. Eleven ställer ofta upp egna problem eller omformulerar dem som läraren har ställt. Hon går ständigt vidare och experimenterar regelbundet, är villig att ta risker och finner ofta oväntade lösningar på problem.

En liknande formulering finner vi i den svenska kursplanen för teknikämnet, i bedömningskriterier, på nivån Mycket väl godkänt:

-Eleven ger alternativa förslag även då det redan finns instruktioner eller färdiga lösningar

Kriterium 6: Förmåga att utnyttja förebilder

Studier av skapande verksamhet visar nästan utan undantag på betydelsen av andras arbeten och sätt att tänka. Skapande är inte en så privat och individuell process som vi ofta föreställer oss. Det ingår alltid i ett socialt sammanhang. Nya idéer dyker ofta upp när man studerar eller lånar stildrag från en annan person. Denna påverkan kan vara allmän eller gälla något speciellt. Man kan t.ex. studera en genre (t.ex. porträtt), en stil (t.ex. popkonst) eller en enskild konstnärs produktion för att se vad som förenar och skiljer olika verk åt och få en uppfattning om hur tillvägagångssätt och ämnesval utvecklats. Eller man kan också söka efter något särskilt som man vill lära sig och dra nytta av i sitt eget arbete. Intresset kan gälla såväl idéer som formspråk och tekniker(Lindström et al., 1999).

Att söka förebilder och finna samband mellan dessa och eget arbete är en mycket aktiv och mångsidigt sammansatt process. Tidigare fanns ett motstånd mot detta i skolan, eleven skulle skapa fritt, vara nyskapande. Kreativitet skulle inte hämmas av förebilder och modeller. Fortfarande används uttryck som *tips och tricks* i nedsättande mening inom lärarutbildning och fortbildningsverksamhet. Inom annan skapande verksamheter som programmering är det en accepterad och beprövad metod för att utveckla sin problemlösande förmåga.

I den nu gällande kursplanens strävansmål för ämnet teknik kan man läsa att eleven:

utvecklar sina insikter i den tekniska kulturens kunskapstraditioner och utveckling

I beskrivningen av ämnets karaktär:

-Denna process vilar på tradition och praxis, observationsförmåga, nyfikenhet, uppslagsrikedom, företagsamhet, inflytande från andra kulturer – och lärorika misslyckanden ... Genom att följa teknikens historiska utveckling ökar ämnet möjligheterna att förstå dagens komplicerade tekniska företeelser och sammanhang. Att själv praktiskt pröva, observera och konstruera är ett fruktbart sätt att närma sig

teknikens primära frågor om mål och möjligheter och att erövra en förståelse som är svår att nå på annat sätt.

I beskrivningen av perspektivet Konstruktion och verkningssätt:

-I ämnet ingår att pröva olika tekniker och tekniska lösningar för att bygga upp en teknisk repertoar.

Kriterium 7: Förmåga till självvärdering

Personer som arbetar skapande besitter ofta en förmåga att inta en mängd olika ståndpunkter eller perspektiv. När de betraktar sitt eget arbete, inriktar de sig omväxlande på tekniska aspekter, formspråket, idéinnehållet, osv. De utvecklar en uppsättning värderingsnormer eller en checklista som riktar in deras uppmärksamhet och styr den skapande processen. Precis som i arkitektens skapandeprocess krävs ett hermeneutiskt synsätt, en förmåga att växla mellan detalj och helhet. I dagens ofta mycket komplicerade verklighet är en förmåga att se system och sammanhang av stor vikt (Lindström et al., 1999).

Värdefrågor har fått en ny och viktig roll inom såväl naturvetenskap som teknik. Redan i kursplanens beskrivning av teknikämnets roll och syfte nämns detta:

Nyttjandet av teknik reser nämligen en rad etiska frågor som berör grundläggande värderingar, till exempel vad gäller teknikens konsekvenser för miljön. Också många andra sidor av tillvaron, som arbetsliv, boende och fritid, påverkas av tekniken. Individens och gruppernas möjligheter att utöva inflytande och makt är i stor utsträckning beroende av hur tekniken utformas och utnyttjas i samhället.

Ett av uppnåendemålen i teknik för år 9 lyder som följer:

– kunna analysera för- och nackdelar när det gäller teknikens effekter på natur, samhälle och individens livsvillkor.

Även för den tekniska designprocessen har denna bedömnings- och värderingsförmåga stor vikt då en produkts värde bestäms inte bara av dess funktion utan även hur den påverkar sin omgivning; vad ersätter den, vilka människor berörs och hur, vilka nya problem uppstår på grund av den lösning som valts? Förmågan till personlig värdering av sitt eget arbete och process kan man inte se så tydligt i kursplanen men om jag tolkar Lindström rätt så är det en av de förhållningssätt som verkar starkt kopplade till en kreativ utveckling. Jag återkommer till detta senare i avhandlingen.

Sammanfattning

Tekniklärare i skolan har som uppgift att skapa förutsättningar för elevers lärande i bland annat design och konstruktion. Enligt många studier är de beskrivningar av en designprocess som återfinns i styrdokumentet för enkla och kan inte användas för att styra och planera undervisningen.

Teknikdesign är en form av kreativ problemlösning och som beskrivits ovan kan flera av Lindströms kriterier för kreativ utveckling i bildämnet anpassas till teknikämnet, men det saknas också vissa delar. Konstnärligt arbete genomförs ofta individuellt medan teknik utvecklas i grupp, *teamwork*. Eftersom projektarbete i grupp är den arbetsform som används både i tekniska utvecklingsmiljöer och i skolans teknikundervisning bör bedömningskriterier för detta arbetssätt formuleras. Exempel på moment att bedöma kan vara grupporganisation, arbetsorganisation, planering, kommunikation i gruppen och presentation av resultatet.

Jag fokuserar dock på de processkriterier som Lindström beskriver. Kan man förklara hur dessa förhållningssätt påverkar en individs förmåga att lösa problem, att bli mer kreativ? Går det att förstå dessa processkriterier som faktorer i en utveckling av expertis?

Jag menar att detta är möjligt med hjälp den modell jag beskriver i senare kapitel om implicit lärande och minne.

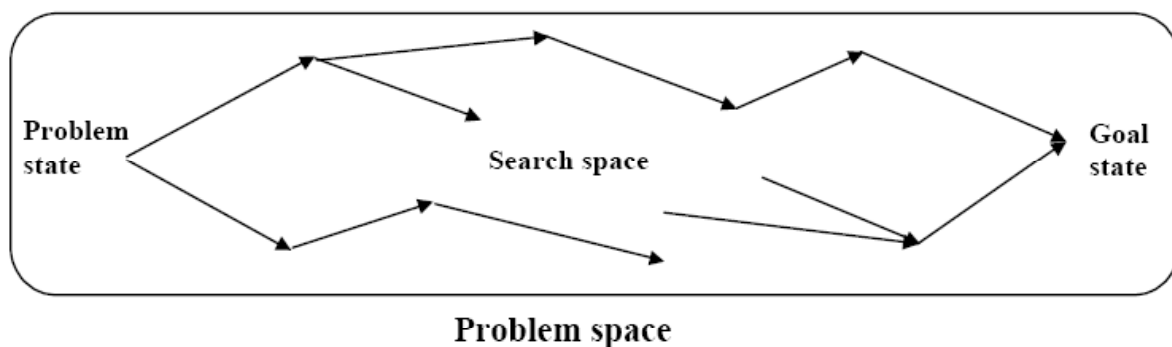
För att bättre förstå de utmaningar designexperter ställs inför kommer det nästkommande kapitlet beskriva dels problemlösning i ett generellt, teoretiskt perspektiv dels teknikens speciella förutsättningar och problem. Här visas också hur man inom tekniken skapat metoder för att kunna hantera, förstå och skapa stora komplicerade system.

5 Problemlösning, allmänt och i teknikens värld

Inom de konstnärliga praktikerna har kreativitet, dess uppkomst och utveckling studerats sedan länge. Lars Lindströms (2007) arbeten visar på vägar till att såväl identifiera som att utveckla förmågor som leder till kreativitet. Vad förenar och vad särskiljer då tekniskt och konstnärligt skapande? Kan det finnas generella förmågor eller förhållningssätt som påverkar människors möjlighet att skapa, konstruera och att lösa problem inom många olika områden? För att kunna besvara sådana frågor behöver vi dels en beskrivning av problemlösningssprocessen på ett mer generellt plan och dessutom kunskap om teknikens speciella förutsättningar.

Teorier och modeller kring problemlösningssprocessen

Ett problem kan vara litet och bestå i sökandet av en enstaka enkel handling eller ett val; men det kan också vara komplicerat och sammansatt av sekvenser av delproblem som skall lösas. Problemlösningssmodellen kan beskriva delproblem eller hela den större processen.



Figur 5.1 Problemlösningssprocessen enligt Newell och Simon (Middleton, 2002 s. 68)

Processen beskrivs vanligen som en förflyttning från ett utgångsläge, ett problemtillstånd, via sökandet genom en problemrymd med olika möjliga alternativ fram till ett mål, en lösning på problemet. Utgångsläget, *the problem state*, är beskrivningen och förståelsen av uppgiften, hur problemet är formulerat och definierat. Lösningssprocessen beskrivs som en sökning i en lösningssrymd, *the search space*, som består av alla i sammanhanget möjliga och tillåtna *drag*, handlingar och val. När man funnit en användbar väg framåt till målet, *the goal state*, är problemet löst. I exempelvis spelet schack kan problemtillståndet vara ett specifikt läge någonstans under partiet. Detta tillstånd kan vara förenat med hot från motspelaren eller med positiva möjligheter för spelaren att stärka sitt läge, att förbättra sina möjligheter att vinna.

Problemrymden är i detta exempel alla i spelet för tillfället tillåtna drag. Målet är att hitta det bästa draget. Lösningrymden kan mitt i ett schackparti vara mycket stor och många forskare har de senaste 50 år intresserat sig för hur en schackspelare kan hitta och välja optimala lösningar på en i många fall mycket begränsad tid. Vad är det som får en stormästare att se vad som är relevant, att bedöma och att snabbt ta goda beslut?

Som ett led i försöken att skapa artificiell intelligens med hjälp av datorprogram som kan lösa olika typer av problem, skapades redan i början av 1970 talet en sådan modell över problemlösningsprocessens olika faser, som visas i figur 5.1 (Newell & Simon, 1972).

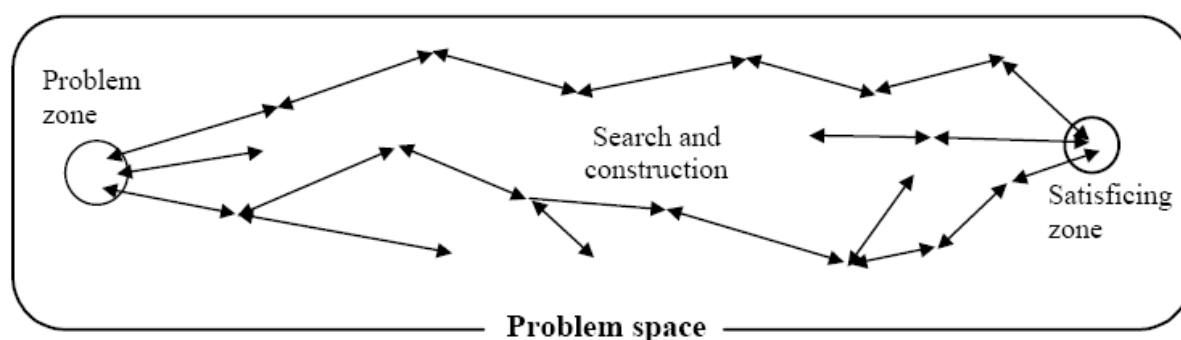
Newell och Simons forskningsgrupp försökte skapa datorprogram som skulle kunna lösa generella problem. De letade efter *A General Problem Solver* och man nådde vissa framgångar med att göra program som exempelvis kunde spela enkla spel och som kunde lösa enkla matematiska problem. För allmänheten presenterade man flera häpnadsväckande program som datorpsykologen Eliza, ett datorprogram som tycktes uppföra sig intelligent och kunde föra en terapeutisk dialog med en människa.

När man för att utveckla sina modeller och program började studera hur människor egentligen gör när de löser problem framstod det mer och mer klart att dessa inte verkade använda de rationella och logiska metoder som datorerna programmerades med. Människor verkar använda sig av genvägar och tumregler, heuristiska metoder som minskar antalet alternativa val i problemrymden. Det framstod dessutom allt tydligare att lösningen av verkliga problem inte alltid kunde beskrivas i denna enkla modell.

I litteraturen delas därför problem upp i olika kategorier, den modell som beskrivs i ovanstående stycke och figur 5.1 kallas för ett väl definierat problem, *a well defined problem* (Middleton, 2002). Till ett sådant problem finns en eller flera lösningsmetoder, algoritmer, och det existerar vanligen minst en lösning. Den här typen av problem stöter elever på i skolan. Genom att lösa och träna på typiska problem inom olika ämnesområden bygger de med tiden upp en repertoar av algoritmer och lösningsmetoder och utvecklar en förmåga att använda dessa i ett stort antal specifika exempel. Att lära sig en generell metod som löser många olika slags problem verkar vara svårt och de studier av överföringseffekter, transfer, som gjorts har hittills givit mestadels negativa resultat (Carragher & Schliemann, 2002; Goldstone & Son, 2005; Lave, 1988; Thorndike & Woodworth, 1901). Detta till trots är det

ett ofta uttalat mål för undervisningen i skolan att eleverna ska kunna överföra sin kunskap till nya och annorlunda situationer. Det används ofta som ett kriterium, ett bevis på förståelse.

Med mer realistiska, verkliga problem, *ill defined problems* (Middleton, 2002) är utgångsläget, det egentliga problemet, dåligt beskrivet och anses ligga någonstans inom ett obekant område, *a problem zone* och är inte en väl definierad utgångspunkt. Detta innebär att problemzonen måste utforskas som en inledande fas i processen. Det är inte säkert att det finns kända metoder, algoritmer, för att leta sig fram i lösningsrymden och de måste därför ofta skapas, konstrueras i varje enskilt fall. Det är heller inte säkert att det finns endast en lösning och inte alltid en perfekt sådan. I problemlösningsprocessen ingår därför att finna kriterier för att utvärdera en lösning och välja en tillräckligt bra och användbar slutpunkt inom ett lösningsområde, *the satisficing zone*. Enligt Middleton är det Herbert Simon själv som skapar uttrycket *a satisficing solution*.



Figur 5.2 Problemlösningsprocessen enligt Howard Middleton (2002 s. 70)

En reviderad modell över problemlösningsprocessen såsom den beskrivits ovan och visas i figur 5.2 har skapats av den australiske forskaren Howard Middleton. Han inför termerna *the problem zone*, *the search and construction space* samt *the satisficing zone* i modellen. Med Middletons modell kan mer realistiska problem ur vardagen beskrivas och han har själv gjort detta i ett flertal studier av yrkeskunnande, *vocational studies*, i olika miljöer (Middleton, 2002, 2003, 2005).

Lösningen av ett problem kallas ofta för en artefakt, något som är skapat av en människa. En artefakt behöver inte vara något man kan ta på. En metod, en beskrivning av hur man ska göra något eller en process kan också kallas artefakt.

Artefaktens funktion och struktur

Såväl Simons som Middletons modeller beskriver problemlösningssprocessen men angriper inte, försöker inte förstå, vad som händer i varje fas. Problemet löses och implementeras i en konkret artefakt. Genom att beskriva artefakter på två olika sätt, i funktions- och strukturtermer, kan problemlösningssprocessen beskrivas på ett nytt och för analysen intressant sätt.

Idén om funktionell kunskap är inte ny. Redan 1809 försökte Jean Hachette och andra vid École Polytechnique i Frankrike att klassificera mekaniska apparater efter funktion och tog fram översiktliga beskrivningar av elementära mekanismer, vilket åtnjöt stor popularitet under mer än 100 år framåt (Ferguson, 1993). Redan 1697, instiftade den svenska ingenjören Christopher Polhem ett *Laboratorium Mechanicum* på Kungsholmen i Stockholm för att utbilda ingenjörer och främja studier av maskiner som skulle kunna stötta den ekonomiska utvecklingen i Sverige. Polhem skapade en serie modeller, ett *mekaniskt alfabet*, som var nödvändiga för en *mechanicus* att ha kunskap om och kunna använda när han designade komplicerade maskiner. Polhem tolkade de fem krafterna från *Hero of Alexandria* – hävarmen, kilen, skruven, blocket, veven eller vinschen som vokalerna i sitt alfabet. 1729 framhöll Polhems sedermera berömda elev; Carl Johan Cronstedt, nyttan av en sådan samling:

Så nödigt som det är för en boksijnt, att kunna prompt hafwa i minnet alla ord som fordras till en menings och skrifts komponerande, äfwen så nödigt är det för en Mechanicus att hafwa alla simpla rörelser bekant och prompt i minnet.

Studenterna fick själva tillverka sina egna mekaniska bokstäver i trä och kunde med hjälp av denna kunskap både förstå och designa komplexa maskiner. Polhems mekaniska alfabet överlevde honom själv och det användes som undervisningsmaterial på det första tekniska institutet, Chalmers, i Sverige ända fram till 1840-talet. 1779, när alfabetet ingick som en del av Kongliga modellkammaren skrev föreståndaren Jonas Norbergs följande:

alla bekanta enkla rörelser til et antal af 80 stycken, unga Mechanicis til en märkelig hjelpreda, då de äro rådvilla om den kraften eller rörelsen, som lämpligast kan appliceras til deras Mechaniska Inventioner.

Ett trettiotal av Polhems mekaniska bokstäver finns att beskåda på Tekniska museet i Stockholm men även via museets hemsida.

Tidigt under artonhundratalet tog Robert Fulton, ryktbar för sin ångbåt, upp idén med ett mekaniskt alfabet. I sin bok *Emulation and Invention*, där Hindle (1981) visar hur stora uppfinnare som Morse och andra ofta har en konstnärlig bakgrund citeras Fulton :

The mechanic should sit down among levers, screws, wedges, wheels etc. like a poet among the letters of the alphabet, considering them as the exhibition of his thoughts, in which a new arrangement transmits a new idea to the world.

Vikten och utvecklingens krav på ny och snabb design och problemlösning har nu satt fokus på artefaktens funktioner mer än någonsin. Julie Hirtz et al. beskriver ett funktionellt språk konstruerat för att effektivisera och utveckla design, produktutveckling och arkitektur:

In engineering design, all products and artefacts have some intended reason behind their existence: the product or artefact function. Functional modeling provides an abstract, yet direct, method for understanding and representing an overall product or artefact function (Hirtz et al., 2002 s. 65).

David Barlex (1995) beskriver i en konferenstext hur idén om grundläggande funktionella byggblock än idag lever i teknikundervisning i England. Han beskriver ett hjälpmedel för att lösa mekaniska problem av samma typ som Polhems mekaniska alfabet.

Inom ramen för ett teknikfilosofiskt forskningsprojekt med centrum vid Delft University of Technology i Holland har man utvecklat en teoretisk modell där en artefakt beskrivs på dels ett funktionellt dels ett strukturellt sätt, *the Dual Nature of Technological Artefacts*. Peter Kroes har tidigare nämnts i den här texten och beskriver projektets syfte:

Technical artefacts are objects with a technical function and with a physical structure consciously designed, produced and used by humans to realise its function. But as a mere physical object, it is not a technical artefact. Without its function, the object loses its status as a technical artefact. This means that

technical artefacts cannot be described exhaustively within the physical conceptualisation, since it has no place for its functional features (2002 s. 294).

Walter Vincenti beskriver i sin bok *What engineers know and how they know it* (1990) hur kunskaper och metoder används av utvecklingsingenjörer vid en amerikansk flygindustri. Det har blivit ett standardverk inom teknikfilosofin. Vincenti studerar ett antal historiska fall och drar med dessa som utgångspunkt upp en struktur av kunskap och förtrogenhet. Han behandlar sex kategorier vid sin analys om design och konstruktion:

- *Fundamentala designbegrepp*
- *Kriterier och teknisk specifikation*
- *Teoretiska verktyg, ofta matematiska*
- *Kvantitativa data*
- *Praktiska överväganden*
- *Design metoder*

Kroes menar att det saknas en kategori för kunskap om funktioner. Den första kategorin är den som mest liknar funktionell kunskap. Den inbegriper verkningsätt som beskriver hur en apparat, *a device* fungerar, med Polanyis ord; *how its characteristic parts... fulfil their special function in combining to an overall operation which achieves the purpose* (Vincenti, 1990). Kroes efterlyser en mer systematisk analys av vad kunskap om funktion är och hur den relateras till kunskap om fysikaliska egenskaper.

Ett problem beskrivs gärna i funktionella termer, vi söker ”*a means to reach an end*”, vi vill nå en lösning som gör skillnad, åstadkommer något. Vi vill komma över ån, hämta vatten, kyla mjölken, släcka elden osv. Ett problem blir väldefinierat då vi kommit på vad som skall uträttas, beskrivet i funktionella termer. Den färdiga lösningen till ett problem däremot, som kan vara i form av en prototyp, en modell, en beskrivning eller ritning, beskrivs och dokumenteras i strukturella termer. Strukturbeskrivningen av en artefakt talar om vilket material som används, vilken form och storlek den har, hur delkomponenter förbinds och organiseras tillsammans med varandra i såväl tid som rum.

Den ursprungliga engelska termen ”*structure*” har en något annorlunda och vidare betydelse än den svenska termen *struktur* som i Sverige oftast används för att beskriva en ytas egenskaper eller hur något är uppbyggt, sammansatt.

En artefakts struktur eller fysiska egenskaper kan beskrivas på många olika sätt; vi kan mäta dess längd, höjd, bredd, beräkna dess volym och beskriva formen på olika sätt. Vi kan mäta massa, beräkna densitet, hårdhet, elasticitet och formbarhet. Vi kan studera hur den påverkas av ljus, magnetism, elektricitet, beskriva dess färg, reflexionsförmåga, elektriska resistans och mycket annat. Dessa strukturegenskaper behandlas ofta inom skolans naturvetenskapliga ämnen men de räcker inte för att vi ska kunna skapa och konstruera artefakter med en viss funktion.

Funktion är vad artefakten gör eller hur den påverkar eller påverkas av omgivningen. Vi talar om artefakters medierande egenskaper, hur artefakten antingen kan påverka ett objekt under vår kontroll eller styrning, t.ex. en spade, ett strykjärn etc eller hur den kan låta ett objekt påverka oss och vår uppfattning om världen; ett förstoringsglas, en blindkäpp eller en kalender. Artefakters medierande egenskaper och hur de kan *lagra* kunskap och påverka hur vi svarar på frågor studeras och beskrivs av Säljö (2000) och andra forskare i ett sociokulturellt perspektiv (Schoultz et al., 2001). I kapitel åtta visas hur detta perspektiv går att förena med ett kognitivistiskt perspektiv på intervjusituationer.

Designprocessen i ett funktionellt perspektiv

I en problemlösningsprocess försöker vi översätta en funktionell beskrivning av ett problem till en strukturell beskrivning av en artefakt, vi gestaltar en önskad funktion i en struktur.

$$\text{FUNKTION} = f(\text{STRUKTUR})$$

Skillnaden mellan struktur och funktion beskrivs målande i en sång av Mikael B Tretow:

Den makalösa manicken

- Titta här står en manick som ser rätt konstig ut, det är en jättestor mojäng med en förnicklad strut, här är kugghjul och propellrar så vitt jag kan se, kanske du kan vara hygglig och förklara vad det é
- Jo alltså strömmen kommer in igenom hålet där och går sen vidare till verket fram till motorn här, som får driva den här cykelpumpens pistong som sen blåser på propellern så propellern går i gång
- De går hit de går dit de går runt en liten bit, å den startar på ett kick, de é en makalös manick
- Ja ha ja jag tror jag fattar men vad gör den här maskinen egentligen?
- Jo propellern driver runt ett litet aggregat som pumpar vatten genom tratten till en termostat som i sin tur leder vattnet till ett skovelhjul, som sitter fast i en mast i vårt cykelskjul
- Ja tack men va é de för en maskin va har man den till menar jag
- Jo i ändan utav masten é de en pedal som trampar runt en gammal cykel utav märket National, å då så får man ström från cykelgeneratorn där, de blir en tio tolv ampere så där ungefär
- Tack snälla professorn men jag vill veta va de é för en apparat
- Jo alltså strömmen som man får från generatorn då, de é just så mycket så manicken börjar gå, för ser du strömmen går tillbaks till början hela tin å så går den av sig själv, de é en evighetsmaskin
- Va ska man me den till? om den inte gör någonting, bara
- Jo de é klart att den gör nånting! på somrarna kan det ibland hända att den går varm å då kan vi ju koka gröt där uppe i tratten
- Har ni byggt den här stora maskinen för att koka gröt ibland?.. på somrarna?

Det är tydligt att reportern får en mycket initierad beskrivning av manickens struktur och dessutom hur de olika detaljerna är sammanfogade och fungerar. Systemets funktion avslöjas dock först i sångens sista rader och är som ofta resultatet av en slump och människors fantastiska förmåga att ta till vara på tillfällen.

Peter Kroes och andra som forskar på designprocessen menar att det inte finns några automatiska, logiska och rationella länkar mellan funktion och struktur. Även om designern eller konstruktören av en speciell artefakt tänkt sig en viss funktion med sin struktur, det som kallas en disposition, så kommer andra funktioner att skapas av användaren. Papperskorgen blir plötsligt en riddarhjälm, en ishink, en pall eller en trappstege etc. då det behövs. En arkeolog som finner ett föremål vid en utgrävning kan enkelt beskriva artefaktens struktur genom att mäta och jämföra men har stora svårigheter att bestämma dess funktion, vad den användes till.

I vårt vardagsliv är detta inget stort problem, vi vet vad vi ska använda för att foga samman två papper, vi vet vad en rakhyvel används till. Vi har en stor erfarenhetsbaserad kunskapsmassa bestående av sammankopplade par av funktion och struktur. Kroes problematisering verkar då vara väldigt akademisk.

När vi står inför nya för oss tidigare okända problem, där vår erfarenhet inte hjälper oss, förstår vi hans resonemang bättre. Novisen söker då febrilt efter fakta, regler och metoder som kan hjälpa till att lösa problemet. Experter däremot bara *gör*, löser problemen, till synes utan ansträngning.

Det finns inga kända logiska regler för att överbrygga gapet mellan de båda beskrivningarna av artefakten, den funktionella och den strukturella (Gero, 2000) utan sammankopplingen måste ske genom någon form av associations- eller matchningsprocess. Då beskrivningarna är av olika *ontologiska* dimensioner så saknas det idag en bra modell för hur människor lyckas med denna uppgift menar forskargruppen kring Kroes. Och ändå lyckas människor.

Structure-Behaviour-Function

Inom de biologiska vetenskaperna finner vi en vidareutveckling av funktion-struktur modellen i *Structure-Behaviour-Function* eller *SBF* (Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004). Det som har tillkommit i beskrivningen av ett fenomen eller artefakt är en mellanform *Behaviour* som beskriver en strukturs beteende, vad som händer och varför. Ofta är detta vad vi i dagligt talar menar med *hur den fungerar*. Ett bra exempel är de svar reportern får i sången om den makalösa manicken: *Jo propellern driver runt ett litet aggregat som pumpar ..*

Biologen kan beskriva ett hjärtas *Structure* genom att beskriva hur och av vad det är uppbyggt, dess olika fysikaliska egenskaper, var det sitter, hur det är förbundet med andra organ etc. En beskrivning av *Behaviour* berättar hur elektriska stimuli påverkar muskelvävnad och hur dessa drar sig samman och utför en rörelse, den kan beskriva hur blod komprimeras av hjärtmuskeln och hur blodet pressas/pumpas mellan förmak och kammare och senare ut i blodomloppet. En beskrivning av hjärtats *Function* behandlar i stället hjärtat som en delkomponent i systemet människokroppen och beskriver dess betydelse för att föra syre till cellerna eller avfallsprodukter som koldioxid ut ur kroppen. En annan funktion, helt i Delftgruppens anda, kan vara socialt konstruerad som att låta ljudet från hjärtats slag berätta för en diagnosticerande läkare att en patient lever. Evighetsmaskinens funktion verkar vara att koka gröt!

Inom slöjd, hantverk och teknikundervisning organiserar man redan sin kunskap efter *SBF-modellen*. Man studerar materials och strukturers egenskaper, *Behaviour*, och hur ett sammansatt system av dessa strukturer får nya egenskaper och funktioner och skapar då ett överlapp, en koppling, mellan struktur och funktion i det som i Delft-modellen såg ut som ett oöverskridligt gap.

	<u>Problem</u>		<u>Lösning</u>
Delft:	Function	Gap	Structure
SBF:	Function	Behaviour	Structure

Vi lär oss att strukturen *spik* har ett beteende, en funktionell egenskap att hålla två brädor samman, att en skruv har samma funktion men dessutom pressar samman plankorna. Vi lär känna andra strukturer som lim, tejp, rep, bultförband, magneter, kardborreband med flera som alla på olika sätt uppvisar ett beteende, en funktion att förbinda två objekt. Vi bygger en repertoar av par av strukturer och deras beteende. Om vårt problem kan identifieras som funktionen att *hålla samman* två brädor så finns förutsättningarna att vi associerar till något av våra inlärdas S-B par.

Beteenden hos kända strukturer blir funktionella byggstenar med vars hjälp vi skapar lösningar till vårt problem (Gero, 2000).

Designprocessen

Att göra den ovan beskrivna matchningen handlar om att jämföra två mentala *databaser*. Forskningen känner inte till någon medveten, logisk, rationell metod för att göra detta. En sekventiell, medveten, sökning skulle ta alldeles för lång tid. Jämför gärna med problemet att komma på namnet på en person vi möter - vi vet inte medvetet hur vi känner igen människor. Det handlar om en implicit, dold kunskap. Orsaken till att vi kan lösa problem bygger på en mönster-igenkännande förmåga och vi får här en koppling mellan designprocessen och vissa människors extra goda förmåga att lösa problem, att känna igen mönster.

Paul Nightingale beskriver i en artikel skillnaden mellan teknik och vetenskap och menar att vetenskap utgår från något känt för att skapa en teori, en modell som är okänd. Tekniken däremot utgår från ett känt mål och försöker skapa förutsättningarna, strukturen som gör att man kan uppnå målet. Vetenskapens resultat kan därför inte bara extrapoleras för att tillämpas i tekniska lösningar. Nightingale menar att teknikern måste lita på tyst, socialt konstruerad kunskap:

The paper explores why scientific patterns cannot be perfectly extrapolated for complex, non-trivial technologies and shows why technical change is dependent on learnt tacit conceptions of similarity that cannot be reduced to information processing
(Nightingale, 1998).

Inom kognitiv psykologi har man försökt att förstå hur en individ löser problem av olika slag. Vad är det som leder fram till en handling? Vad är det som gör att människor antingen bara plockar fram en lösning eller i stället med hjälp av algoritmer och regler försöker lösa problemet? Vissa forskare anser att man alltid försöker kalkylera, använda regler men att man då man kör fast tillåter sig att gissa, att försöka komma ihåg. Andra menar att det pågår två parallella processer som tävlar om att komma med ett svar, den snabbaste bestämmer hur problemet ska lösas. Gordon Logan (1988) som är en av de tidigaste med en modell som betonar exemplets roll, *the instance theory*, menar att då man skapat tillräckligt många minnen av specifika problem och deras lösningar så slutar man använda kalkyler och algoritmer och övergår till att använda en direkt utantillkunskap, *a lookup table* (Kalish et al., 2004).

Ett intressant spår utgår från hur individen bedömer sin egen förmåga att lösa problemet, en utvärdering som sker i ett tidigt skede av problemlösningsprocessen och som går snabbt och ofta omedvetet. Olika modeller som förklarar hur denna bedömning går till har varit på förslag. En tidig modell beskrev en övervakande funktion i hjärnan som kunde detektera om ett svar på ett problem fanns i minnet, vilket manifesterades i en uppfattning om att man kunde lösa problemet. Senare modeller menar att det är en känsla av *familiarity* med själva problemet och inte lösningen som ger den första bedömningen av om problemet är lösbart. Detta går fort och om denna känsla är svag går individen inte vidare och söker i minnet utan svarar snabbt – vet inte. Asher Koriat och Ravit Levy-Sadot sammanfattar sina resultat i en experimentell studie av *Feeling of Knowing*:

A high level of familiarity is necessary to drive memory search (2001 s. 50).

Det är resultatet av den här självbedömningen som bestämmer vilken strategi som används. En annan forskare visade att försökspersoner hade en stark förmåga att bedöma sin egen förmåga och att bedömningen utgick från om de hade erfarenhet av liknande uppgifter, inte om de visste svaret (Schunn et al., 1997 s. 3):

The strategy selection is governed by a familiarity-based feeling-of-knowing process.

Denna känsla av igenkännande eller återseende av ett problem kan beskrivas med det svenska begreppet förtrogenhet.

Att design och problemlösning handlar om matchning av två kunskapsdatabaser utnyttjas i TRIZ, ett datorbaserat innovationshjälpmedel byggd på *The Theory of Inventive Problem Solving* (Altshuller, 1994; Braham, 1995). I en stor databas av patenterade uppfinningar sker en sökning utifrån en funktionell sökprofil som innovatören har angivit. Individens egen erfarenhet av strukturers funktion utvidgas här med miljontals exempel.

Kunskap om hur problem beskrivs i funktionella termer och en stor kunskapsbas om olika strukturers beteende i funktionella termer och en matchningsmekanism verkar vara förutsättningar för innovation och kreativitet. För en teknisk innovatör är det alltså viktigt att beskriva sitt problem i funktionella termer för att inte låsa sig vid traditionella strukturer (Hirtz et al., 2002; Moss et al., 2006).

Att lära sig se och använda struktur- och funktionsbeskrivningar är svårt; studier har visat att det finns en tydlig skillnad i denna förmåga, kopplat till erfarenhet (Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004). I en av dessa forskares studier visades hur biologer med olika erfarenhet beskriver ett naturligt system. Noviser beskriver stenar och grus på botten av ett akvarium som strukturer, de kan inte utveckla deras funktion i ekosystemet. Experter däremot utökar förklaringen med stenarnas plats, beteende och funktion, exempelvis att vissa fiskarter kräver stenar för att kunna föröka sig.

Teknikämnet för grundskolan har i sin kursplan (Skolverket, 2000) ett funktionellt perspektiv. I beskrivningen av teknikens funktion används en övergripande funktionell taxonomi för att beskriva den konstruerade världen.

Transport, Lagring, Omvandling och Styrning.

Skillnad i Novisers och Experters problemlösningsprocess

Forskning på experter inom allehanda områden visar att människor, strategier och arbetssätt i samband med problemlösningsprocessen förändras med ökad kompetens och erfarenhet. Vissa av dessa förändringar är gradvisa förbättringar eller försämringar på en kontinuerlig skala, medan andra är mer radikala. En sådan radikal förändring är fokuseringen då problemet ska urskiljas i *the problem zone*.

Noviser och andra med liten erfarenhet inom ett problemområde använder sig av något som har kallats *Backward reasoning*, baklänges resonering. De fokuserar på och utgår i sitt resonemang från lösningstillståndet, målet. Genom att *gissa* olika lösningar och sedan testa och utvärdera dessa med hjälp av problemformuleringen provar man sig fram till en rätt eller åtminstone en godtagbar lösning. En vanlig benämning är på denna metod är *Trial and Error*.

Flera studier visar hur experter använder en relativt stor del av den totala tiden i den första fasen av processen till att fokusera på problemet. I denna utforskande och undersökande fas försöker experten att identifiera vad som egentligen behöver göras i problemzonen; se figur 5.2. En lösning eller väg mot en lösning tycks sedan komma relativt snabbt (Dhillon, 1998; Heyworth, 1999). Beteendet brukar beskrivas som *Forward reasoning*. Experten har

dessutom en överlägsen förmåga att i ett illa definierat problem urskilja och bryta ned detsamma i lösbara delproblem (Ho, 2001).

Några konkreta problem hämtade från matematikens värld åskådliggör utvecklingen från novis till expert vad gäller problemlösningstrategier:

UPPGIFT 1: Problemformulering: $5+2=X$ vilket är talet X ?

En 4 åring måste vid lösningen av detta problem förlita sig på vilda gissningar: 52, 712, 2, 5, ... En 7 åring har lärt sig en algoritm. Talen har fått en mening genom den räkneramsa man lekt och tränat fram och åter: 1, 2, 3, 4, 5, ... och addition tolkas som att röra sig framåt i ramsan, alltså 5, 6, 7. Vissa barn behöver använda fingrarna medan andra kan hantera uppräknandet mentalt. Om problemet omformuleras till $2+5=X$ kommer barnet att börja på 2 och räkna 2, 3, 4, 5, 6, 7. Ett äldre barn kan tillägna sig en heuristisk regel; att alltid börja med det största talet alltså 5, 6, 7 vilket minskar arbetsinsatsen. Ett än mer erfaret barn har "lärt" sig ett stort antal enkla problem, $5+2$ behöver inte beräknas utan kan hämtas ur minnet och det är bara osäkerhet som gör att vissa barn kontrollräknar med en algoritm. Det är i flera studier visat att det här minnet inte är byggt på någon förståelse av addition utan just är ett exempel på utantillkunskap. Uppgifterna $5+2$ och $2+5$ är unika och annorlunda problem som råkar ha samma svar (Carpenter et al., 1993; Hecht, 1999; Sciamia et al., 1999).

UPPGIFT 2: Problemformulering; $12/4=X$, Vilket är talet X ?

Uppgifterna har hittills varit som Herbert Simons beskriver i figur 5.1, väl definierade och det finns en algoritmisk lösning. Problemets utgångspunkt är att utföra en division, lösningsrymden är alla reella tal och lösningen är värdet på X . En novis, t.ex. en 7 åring som ställs inför uppgiften koncentrerar sig på lösningen, X , och gissar en lösning t.ex. $X=7$. Utvärderingen kan han inte göra själv utan här krävs en lärare eller någon form av automatiserat rättningsystem. Om eleven får fler chanser fortsätter gissandet tills eventuellt rätt lösning nås. Han har inget begrepp om lösningsrymdens storlek och inga heuristiska regler som kan begränsa gissandet. En 11-åring har mer domänkunskap i matematik, kan sin multiplikationstabell och har en del kunskap om vad som menas med division. Vanligen kan problemrymden begränsas i detta fall till tal mindre än 12. Denna heuristiska regel gäller om inte täljaren är mindre än ett, något som eleven kanske ännu inte råkat ut för. Detta är typiskt för heuristiska regler, att de gäller under vissa förutsättningar, att de är approximativa och egentligen kräver en erfarenhet som novisen ännu inte har för att fungera perfekt. En vanlig

nybörjarstrategi är även här att fokusera på lösningen och söka ett tal, X , som multiplicerat med 4 blir 12. Ånyo börjar eleven gissa, mer intelligenta gissningar men ändå gissningar.

Gissning	Test	Rätt resultat	
$X=5$	$5*4 <> 12$	NEJ	
$X=4$	$4*4 <> 12$	NEJ	
$X=3$	$3*4 = 12$	JA	SVAR $X=3$

11-åringen klarar utvärderingen själv tack vare kunskaper om multiplikation och gissningsproceduren kan gå ganska snabbt. Hon kan tack vare sina multiplikationskunskaper och dennas kunskapsrelation till division skapa/konstruera en lösningsmetod som Middleton beskriver i sin modell, figur 5.1. Fortfarande utgår hon från ett gissat resultat, en lösning, som verifieras, eleven använder ett bakåtresonerande, *Backward reasoning* eller *Trial and Error*.

Ett problem som inte är så väl definierat, ett tekniskt designproblem, där Middletons modell i figur 5.2 passar bättre, hur löser en novis detta?

UPPGIFT 3: Att bygga en bro

Du ska ta dig över en 2 meter bred strid bäck med mjuka strandkanter. Du ska kunna transportera saker till andra sidan som tillsammans med dig själv väger 100 kg. Det finns ett antal grenar, plankor, pinnar, snören och annat på din sida av bäcken.

En novis som aldrig sett en spång eller någon annan form av bro och inte heller har sett någon form av pråm eller båt måste nu ge sig in i ett gissande och provande. På samma sätt som i räkneuppgiften utgår han från en gissad lösning, en struktur byggd av det material som finns till hands. Lösningen testas sedan med utgångspunkt från problemformuleringen.

Ju mer erfarenhet av egna och andras lösningar man har ju mer *intelligenta* gissningar kan göras. Det finns dock ingen garanti för att en novis ska lyckas med en uppgift av detta slag.

Schack brukar betecknas som en analytisk och för tänkandet krävande verksamhet. Schack har studerats med stort intresse under det senaste halvsekle av ett flertal forskare för att därigenom förstå hur människor löser problem. En bidragande orsak är förekomsten av ett kvalitetsbedömningssystem, en *rating*, som med god överensstämmelse kan mäta expertisen hos en spelare.

Hur uppför sig då en novis som problemlösare i ett schackparti?

UPPGIFT 4: Att välja det bästa schackdraget

Mitt i ett schackparti skall du välja ett lämpligt drag som ska antingen minska ett uppkommet hot eller förbättra din situation gentemot din motståndare.

Problemsituationen är det aktuella läget med ett mer eller mindre tydligt hot eller möjliga förbättringar i det egna läget. Lösningsrymden är alla tillåtna drag. Lösningen är det drag som du gör. Middletons modell i figur 5.2 påvisar tydligt komplexiteten i uppdraget, det gäller att identifiera problemet.

En novis använder i detta läge *Trial and Error* som metod, tänker sig ett hypotetiskt drag och försöker utvärdera detta med hjälp av de regler han känner om vad man får göra och ett antal heuristiska regler. Pjäser kan värderas efter ett poängsystem vilket gör det möjligt att bedöma om ett offer av en pjäs ska göras. Det finns också heuristiska regler som ger tips om hur situationer kan bedömas, att centrum är viktigt att behärska, att vissa ställningar är bättre än andra. En novis kan också försöka göra en värdering genom att tänka framåt; vad kommer motspelaren att svara med, vad kommer i så fall jag att göra osv. Om man kan förutse och analysera framtidens olika alternativ fram till ett avslut av spelet så kan det aktuella draget värderas. Datorprogram som spelar schack likt det som första gången slog en stormästare, *Deep Blue*, använder denna metod. Människor har dock små möjligheter till att använda denna extremt beräkningsintensiva metod. Redan vid ett försök till en analys tre drag in i framtiden blir antalet möjliga kombinationer astronomiskt. Värderingen av framtida drag och motdrag är svår att göra på ett rationellt sätt (De Groot, 1965; Fernand Gobet & Herbert A. Simon, 1996; Reingold et al., 2001).

Hur experten löser problem

En erfaren och kompetent aktör på den nivå som bröderna Dreyfus kallar expert använder inte *Trial and Error* i samma utsträckning som en novis. De använder vad som i litteraturen kallas *Forward Reasoning*. De fokuserar på problembeskrivningen och efter, ofta en längre tid, ger de ett riktigt svar eller en acceptabel lösning utan synbarliga svårigheter. Vissa forskare menar att experten gör en utvärdering av möjliga lösningar i huvudet och kan förkasta dåliga gissningar på ett tidigt stadium och därför tar den undersökande fasen så lång tid. Andra menar att experten känner igen sig i sitt stora erfarenhetsminne. Hur kommer då en expert

bete sig i de exempel som tidigare nämnts? I det andra exemplet divisionsuppgiften; 12/4, finner de ur sitt erfarenhetsminne svaret direkt, 3! Den här expertisen uppnår de flesta, vi behöver ingen algoritm eller heuristisk regel, vi bara vet. Om vi får berätta hur vi gjorde återfaller vi kanske i en novismetod men vi kan inte berätta var eller hur vi egentligen funnit lösningen.

I teknikuppgiften har experten erfarenheter av broar och transportuppgifter och kan direkt välja material och metod för att få en godtagbar lösning (Cross, 2004). Som expert vet vi vad som kan förbinda, hålla samman, två plankor. Beteende och egenskaper hos spikar, skruvar, lim och snören är inget vi behöver begrunda när vi är experter. Vi vet vilka material som flyter och hur de ska formas för att få en hög flytförmåga. Stormästaren i schack gör ingen analys av situationen utan *känner igen* problemställningen i sitt enorma mönsterminne där hon har kvalitetsmärkta lösningar som framstår direkt som det bästa och ibland enda möjliga draget (Simon & Gobet, 1996). Schackspelaren skaffar sig ett bibliotek av ställningar och lösningar som är kvalitetsbedömda dels genom direkta upplevelser under spelet men inte minst genom den reflektion som alltid följer på ett spelat parti. Den erfarne intuitiva spelaren slår oftast en analytiskt skicklig motståndare om hon litar på sin implicita kunskap, sin intuition.

Det verkar alltså som om expertis grundar sig på en stor erfarenhetsbaserad kunskapsmassa inom det område problemet är definierat i. Det handlar inte om att tänka djupare, klarare, snabbare, mer abstrakt eller att ha fått generella förmågor att se och lösa problem utan att ha tidigare erfarenheter som liknar det aktuella problemet (Sternberg, 1998).

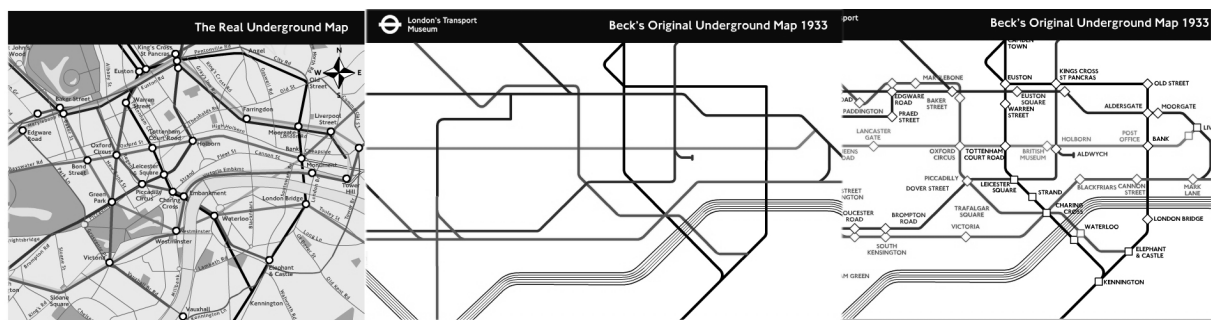
Expertis inom Designaktiviteter

Nigel Cross (2004) skriver i en artikel, en review av forskning på problemlösare av olika slag, att experter inom design skiljer sig avsevärt från andra experter. De hanterar alltid *ill defined problems* och han menar att de även beter sig ”illa” d.v.s. de följer inte de regler och metoder som designteoretikerna anbefaller. Han hänvisar till ett flertal studier som tycks visa att experter inte analyserar problemet i den utsträckning som expertforskarna påstår. De har snarare en förmåga att snabbt rama in problemet, *problem scoping*, och kan snabbt koncentrera sig på relevanta detaljer och frågor. När de med utgångspunkt från sin preliminära lösningsansats stöter på problem backar de inte och väljer ett nytt spår utan försöker på alla sätt hantera de uppkomna problemen. Ingenjörer lappar och lagar i sin

konstruktion och arkitekter försöker gå runt problemen. Detta strider mot de rekommendationer vi ger i motsvarande utbildningar. Han menar dessutom att experter problematiserar mer, de ser alla problem som *ill defined* och söker medvetet svårigheter och anomalier. De tar inga avgörande beslut tidigt i processen utan gör val och lämnar så mycket som möjligt till ett senare skede. Cross påpekar också att experter inte är så stabila *forward reasoners*. De växlar sitt fokus mellan möjliga lösningar och problemdefinitionen i ett sökande: *to create a matching problem-solution pair*.

Beskrivningen av en välstrukturerad expert som arbetar med ett tydligt mål med en *top-down* ansats stämmer heller inte. De bästa experterna växlar mellan *top-down* och *bottom-up* och arbetar ofta med parallella lösningar, i som Cross uttrycker det ett sätt att minimera mental belastning. De arbetar dessutom ibland intuitivt. Cross avslutar med att varna för att använda forskning på experter inom andra områden för att förändra designutbildning.

Komplexitet i stora tekniska system



Figur 5.3 Londons tunnelbana, en beskrivning av ett komplext system

Inom tekniken är problemen ofta av en komplicerad art, artefakterna byggs upp av många delkomponenter som har invecklade samband och relationer med varandra. Människan är inte skapad för den här typen av problem. Vi har svårt att hålla många bollar i luften, att medvetet tänka på, jämföra och resonera kring för många detaljer. Den begränsning i vårt korttidsminne, *working memory*, som upptäcktes redan för ett halvt sekel sedan (Miller, 1956) visade att mellan sju och nio objekt fick plats på en och samma gång. Detta innebär att komplicerade objekt eller system måste beskrivas i få, från varandra isolerade delar och deras inbördes relationer (Paas, 2003). Man måste skapa en systembeskrivning. Ett bra exempel på en systembeskrivning är den karta över Londons tunnelbana som skapades 1933 av en ingenjör, Harry Beck, som övergav en naturalistisk kartliknande och komplex beskrivning till förmån för en mer symbolisk. Beck ritade elektriska scheman och många menar att han där fick idén till sin design. Kartan gavs ut på prov 1933 för bedömning av Londons

tunnelbaneresenärer och blev en stor framgång. Beck fortsatte att förfina kartan fram till 1960 då man tillfälligt lämnade hans design som dock sedan återkom. Figur 5.3 visar hur verklighetens komplexitet, The Real Underground Map, har reducerats till en stiliserad och systembeskrivande lättförståelig form, som nu har 75 år på nacken. Kartan är ett exempel på en mycket lyckad systembeskrivning och utsågs år 2006 som nummer två i en tävling om engelsk design genom tiderna, första pris gick till Concorde-flygplanet. Intressant är hur denna karta där Themsen är det enda realistiskt beskrivna objektet har format Londonbornas syn på sin stad, var stadsdelarna ligger i förhållande till varandra och vilka avstånd man tillryggalägger genom staden.

Att *förstå* en mobiltelefon på komponentnivån, genom att studera dess motstånd, kondensatorer och transistorer är omöjligt. I den tekniska dokumentationen finns därför systembeskrivningar ordnade i hierarkiska nivåer. Genom att hålla antal ingående delar och variabler lågt blir det möjligt att utforska situationen, se sammanhang, leta fel och hitta lösningar på ett problem. Uppgiften för en kompetent designer av en systembeskrivning är att välja den för ändamålet lämpliga detaljeringsgraden och att hålla beskrivningen på rätt nivå. Förmågan att göra detta verkar vara starkt kopplad till lång erfarenhet och expertis (Penner, 2000). Ofta krävs flera beskrivningar på olika hierarkiska nivåer och skapade för olika ändamål. Richard Kimbell, en engelsk teknikdidaktiker berör konceptet med hierarkiskt organiserad kunskap (Kimbell, 1997). I övrigt nämns det sällan i teknikämnets läroplaner eller läroböcker (Klasander, 2006). En orsak till detta förbiseende av ett av teknikens viktigaste verktyg skulle kunna vara den starka position som naturvetenskapliga metoder och teorier innehar i skolans värld. Vetenskapen försöker i stället att reducera ett komplext system till dess elementära beståndsdelar och därifrån beskriva dessas samverkan (De Rosnay, 1997). Genom att modifiera en variabel i taget försöker man dra slutsatser och skapa modeller som kan utvecklas till generella lagar som i sin tur kan ge möjligheter att förutsäga egenskaperna hos ett system *underifrån*. Skalan på beskrivningen i den naturvetenskapliga forskningen blir bara mindre och mindre, från molekyler, via atomer till subatomära nivåer. Det är frestande att tro att om vi känner de allra innersta delarna och de mest fundamentala lagarna så kan allting annat härledas därifrån. Detta är den mytomspunna *Theory of everything* (Pines & Laughlin, 2000). Många vetenskapsmän, speciellt biologer, förkastar denna modell. De menar att den stora komplexiteten i verkliga system och den starka växelverkan av dess ingående delar gör det omöjligt att härleda egenskaper och funktioner. Beteendet hos fåglar som flyger är inte förutsägbart från kunskapen om den levande cellen. I ett komplext, verkligt, system

har varje systemnivå sina egna regler, lagar och modeller och det är normalt omöjligt att dra slutsatser om dessa genom de regler och lagar som finns på en lägre systemnivå (Polanyi, 1966 s. 36).

Att organisera kunskapen hierarkiskt på olika detaljeringsnivåer har gjort det möjligt att skapa och att förstå väldigt stora och komplexa tekniska system. Internet är ett konkret exempel där detta systemtänkande är formaliserat i en internationell standard. Exemplet på denna hierarkiska organisation är vanliga i modern teknik. På 1970-talet ersattes de enkla elektroniska komponenterna, motstånd, transistorer och kondensatorer med sammansatta och miniatyriserade hybrid- och integrerade kretsar. Dessa nya superkomponenter blev funktionella byggblock, enkelt ersättningsbara varefter nya material och tillverkningsmetoder utvecklades. I skolans undervisning om elektronik uppstod nu ett problem, skulle man försöka lära sig hur de integrerade kretsarna fungerade, eller nöja sig med att studera vilken funktion de hade. Många lärare ryggade inför problemet: *-en integrerad krets är för komplicerad och den är omöjlig att förklara, vi håller oss till grundläggande enkla komponenter!*

Idén med att använda en integrerad krets är att minska den kognitiva belastningen, att inte behöva förstå den. Det är funktionen hos komponenten som är viktig, inte den inre strukturen.

Med en god systembeskrivning kan ett problem eller designuppgift delas upp i oberoende delfunktioner. Dessa delfunktioner kan sedan i sin tur ytterligare delas ner tills man nått en nivå där den enskilda delfunktionen kan implementeras i en känd struktur. Detta är ”*The Axiomatic Theory of Design*” (Suh, 1998). Hur man brygger över gapet mellan funktion och struktur har berörts tidigare i detta kapitel.

Genom att strukturera arbetet med en komplex konstruktion kan konstruktionsuppgiften fördelas mellan olika individer och arbetsgrupper. ISO/OSI-modellen för generella nätverk eller Internet-protokollen är typiska exempel på hur en hierarkisk nedbrytning möjliggör skapandet av ett stort komplext tekniskt system (Rachel Laudan, 1984).

Ingenjörer som arbetar på en specifik hierarkisk nivå har som uppdrag att leverera en funktion till närmast högre nivå, en funktion i form av en struktur. Som verktyg i sitt eget arbete använder denna ingenjör egna strukturer med väl definierade funktioner som någon på en

underliggande nivå har konstruerat och gjort tillgängliga. På detta sätt kan ett stort antal människor samarbeta och arbeta nästan parallellt i tiden med ett stort projekt.

Ett exempel kan vara klagörande: Uppgiften består i att skapa en hemsida för en bank. På den högsta hierarkiska nivån arbetar programmerare med att skapa applikationen och gränssnittet mot användare och bankens datorer. De använder ett programmeringsspråk med ett stort antal funktioner, implementerade i strukturer (programinstruktioner). De behöver inte bry sig om hur data transporteras över Internet eller hur en bild dyker upp på en bildskärm, de bara använder sina högnivåprograminstruktioner. På nästa underliggande nivå i organisationen skapas dessa nödvändiga programinstruktioner genom att andra programmerare skapar funktioner med hjälp av ett lägre programmeringsspråk, kanske C eller Assembler. Dessa personer behöver inte veta något om banker och kunders behov. Kunskapen är distribuerad och utvecklingen sker på allt lägre och ibland allt mer konkreta nivåer där till slut någon på den fysiska nivån ser till att en fosforpunkt på bildskärmen lyser i rätt färg eller att spänningsnivån i ett telefonmodem är korrekt.

Bygget av ett stort hus eller en motorväg innehåller samma systematisering och fördelning av arbetsuppgifter på olika systemnivåer.

Tidigare har berörts en skillnad mellan skapande i bild och teknik. Tekniken utvecklas ofta i samspel med andra, *i teamwork*. Detta brukar framhållas som argument för skolarbetet att arbeta i projekt och grupparbeten. Det är dock svårt att härma verklighetens tekniska innovationsmiljö. Tack vare de nyligen beskrivna systemmetoderna är det möjligt att fördela arbetet på ett stort antal individer med olika kunskap och färdigheter. Det är bara på en hög, planerande nivå som man grupparbetar, systemingenjörer tillsammans med specialister och experter på olika detaljer i systemet.

Sammanfattning

I det här kapitlet har jag presenterat ett par teoretiska modeller för problemlösning och beskrivit hur en artefakt kan tolkas i ett funktionellt eller strukturellt perspektiv. Viktigast har dock varit att visa exempel på hur noviser och experter har olika förmågor i sitt sätt att se och formulera problem, lösa problem och att beskriva komplicerade system. Den metod teknikern använder för att beskriva ett komplicerat system försöker jag använda när jag ska presentera mina resultat. Jag tror mig se en förklaring till expertens *forward reasoning* vid

problemlösning i den mönsterdatabas som med erfarenhet byggs i de implicita minnena. I de implicita systemen finns också den parallellt arbetande mönsterigenkänningsfunktion som kan förklara hur idéer och lösningsansatser väcks. Att experter inom design skulle skilja sig från andra experter som Cross påstår håller jag inte med om. I kapitel sju kommer jag att beskriva flera studier på experter inom andra aktiviteter och kan då hänvisa till studier på erfarna läkare som ofta ställer en implicit, preliminär, diagnos som sedan får leda de mer rationella medvetna försöken att påvisa ett sjukdomstillstånd. Erfarna brandmän och officerare tar inte heller fram olika alternativ i valsituationer, de bara gör det som man bör göra. De studier jag där redovisar om bedömningsförmågor, *unconscious thinking* med mera kommer snarare att visa att expertis skapas inom alla områden där problem är illa definierade, av liknande faktorer och förhållanden. Svaren på dessa och tidigare frågor menar jag att man bör leta efter i hjärnans icke-deklarativa minnessystem, de implicita systemen.