

## LEVENDE BILLEDER: OM DANNELSE OG OMDANNELSE AF FORESTILLINGSBILLEDER I HJERNEN

Axel Larsen

*Ideen om et dybtgående slægtskab mellem visuel forestillingsvirksomhed og visuel perception går i den eksperimentelle psykologi tilbage til Perky (1910). I moderne kognitionspsykologi vandt synspunktet stigende tilslutning fra slutningen af 60'erne, og har nu fået et langt mere præcist indhold gennem konvergerende evidens fra eksperimentelle studier over visuel perception af bevægelse og undersøgelser over mentale transformationer af forestillingsbilleder. Hjerneaktiveringsstudier, der bygger på nye billedannelsesmetoder som PET og fMRI, har endog gjort det muligt at indkredse visuelle mekanismer i hjernen, der tilsyneladende både bidrager til at frembringe synsoplevelen af bevægelse og til at transformere visuelle forestillingsbilleder med hensyn til størrelse og orientering.*

### Indledning

I 1910 publicerede Perky en række kvasiexperimentelle studier over forestillingslivet. Perky bestemte først tærsklen for perception af en rød, en orange, en mættet gul, en lysegul, en grøn og en blå stimulusflade. Tærskelbestemmelsen byggede på data fra hende selv og Titchener, ad hoc suppleret med data fra professor Bentley. Tærsklen blev benyttet til at sætte en baseline, således at alle de senere stimuluspræsentationer lå noget over tærskelværdien (supraliminal stimuluspræsentation).

Ved brug af et sindrigt system af papskiver og diverse kulisser blev de farvede flader herefter afgrænset så de lignede projicerede billeder af henholdsvis en tomat (rød), en bog (blå), en banan (mættet gul), en appelsin (orange), et blad (grøn) og citron (lysegul). Hele arrangementet kørte ved medvirken af tre forsøgsledere. De to var skjult for forsøgspersonen, og flyttede på diskrete tegn fra Perky på papskiver og ændrede belysning.

Perky bad sine forsøgspersoner, der blev testet én ad gangen, om stirre fast på et kryds og herefter forestille sig et simpelt objekt, f.eks. en tomat

---

Dr. phil. Axel Larsen er forskningsprofessor ved Center for Visuel Kognition og Institut for Klinisk Psykologi, Københavns Universitet. Axel Larsen har publiceret talrige artikler i internationale tidsskrifter indenfor visuel perception, visuel genkendelse og visuel forestillingsvirksomhed. Dansk redaktør af Scandinavian Journal of Psychology og fagkonsulent i kognitionspsykologi for *Den Store Dansk Encyklopædi*.

(bog, banan o.s.v.). Mens forsøgspersonen et kort øjeblik blev afledt af et mere eller mindre relevant spørgsmål frembragte de to skjulte forsøgsledere uden, at forsøgspersonen opdagede det, et ganske svagt billede af tomaten (bogen, bananen etc.) i det felt, hvor forsøgspersonen blev bedt om at danne sit forestillingsbillede.

Når forsøget virkede gav forsøgspersonerne omfattende og detaljerede fænomenologiske beskrivelser af tomater, citroner, blå bøger m.v. uden at de kom til klarhed over, at de ikke blot beskrev indre forestillingsmæssigt frembragte billeder af tomater, bananer, blå bøger m.v., men også aflæste et svagt synligt billede heraf.

Den anvendte undersøgelsesmetode er nok lidt naiv og metodologisk set utilfredsstillende. F.eks. er tærsklen stærkt varierende fra den ene forsøgsperson til den næste og kan ikke blot fastsættes til en standardværdi. Det virker desuden som om forsøgspersonerne har været under pres for at acceptere, at der ikke foregik noget »underligt« under forsøget, hvor de to skjulte forsøgsledere modtog forskellige vink fra Perky, og næppe kan have arbejdet helt lydløst. De såkaldte demand characteristics, der også har været et problem i moderne studier over forestillingslivet, kan have været betragtelige.

På den anden side er resultaterne så spektakulære, at de stadigvæk citeres: Under svagt reducerede observationsbetingelser (svag belysning og svag visuel stimuluspåvirkning) er der hos mennesker tilsyneladende fundamental usikkerhed om, hvorvidt kilden til visuelle synsoplevelser er eksterne fysiske stimuluspåvirkninger eller interne viljes- eller opmærksomhedsytringer.

De kvalitative fænomenologiske rapporter, Perkys egentlige fund, er blevet underbygget med solide eksperimentelle undersøgelser af Segal og kolleger, f.eks. Segal og Fusella (1970). Segal og Fusella viste ved hjælp af metoder fra *signal detection* teorien (Green og Swets, 1960), at visuel forestillingsvirksomhed (i højere grad end auditiv forestillingsvirksomhed) interfererer med detektion af svage visuelle signaler. Omvendt interfererer auditiv forestillingsvirksomhed (i højere grad end visuel forestillingsvirksomhed) med detektion af ganske svage lydsignaler.

Segal og Fusellas fund er lidt mere tamme, men Perkys konklusion (p.450): »it follows that the image of imagination must have much in common with the perception of everyday life« er stadig aktuel. Den kan på mange måder opfattes som et gennemgående tema i store dele af de sidste 30 års udforskning af forestillingslivet ( se f.eks. sammenfatningerne i Bundesen, 1986; Finke, 1989; Kosslyn, 1980, 1994; Larsen, 1988; Shepard & Cooper, 1982). Det er også tankevækkende, at Titchener, der var leder af laboratoriet på Cornell, hvor Perky udførte sine eksperimenter, argumenterede mod doktrinen om »imageless thought« (se Boring, 1969) på en måde, der kan minde om den moderne diskussion om analoge (»billedmæssige«) versus propositionelle (»abstrakte«) mentale repræsentationer.

I det følgende vil jeg belyse funktionelle ligheder mellem visuel perception og visuelt forestillingsliv på grundlag af gennemprøvede eksperimentopsykologiske teknikker. Herefter følger en omtale af, hvorledes nye billeddannelsesteknikker kan afdække hjernemekanismerne, der er biologisk basis for visuel perception og visuelt forestillingsliv. Billed-dannelsesteknikkerne giver os omtrent direkte indblik i hjernens aktive-ring og herved enestående muligheder for at nå til klarhed over, i hvilket omfang visuelt forestillingsliv og visuel perception faktisk bygger på samme funktionelle anatomiske strukturer i hjernebarken.

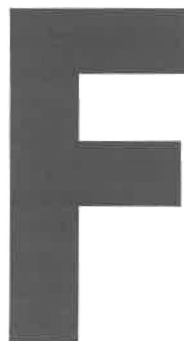
### Visuelle transformationer

Figur 1 viser et F (se Brooks, 1968), der ofte bruges til demonstration af, hvad der menes med dannelse af forestillingsbilleder. Hvis man beder en person om at se på F'et med henblik på at huske det og derefter lukke øjnene, kan man stille følgende opgave (Brooks, 1968): »start nederst til venstre på F'et og følg konturen hele vejen rundt mens du siger »ja« når du når til et hjørne, der ligger i toppen eller bunden af F'et og »nej«, hvis du når til et hjørne, der ligger på den indre del af F'et«. De fleste forsøgspersoner kan uden videre starte nederst i venstre hjørne og levere sekvensen »ja, ja, nej, nej, nej, nej, ja, ja«, hvorefter de er nået hele vejen rundt på F'et. Den mentale dannelse, der arbejdes på er et visuelt forestillingsbillede. De kan som regel også uden videre dreje F'et i hovedet så det ligger ned, eller forestille sig det større eller mindre.

Hvorledes kan man nærmere karakterisere de mentale operationer forsøgspersonerne foretager? Svarer transformationerne af forestillingsbilleder med hensyn til orientering eller størrelse f.eks. til vores synsindtryk af et F, der bliver drejet henholdsvis flyttet længere væk eller tættere på? Svarer ja-nej opgaven til den måde vi forfølger konturen på et virkeligt foreliggende F o.s.v.?

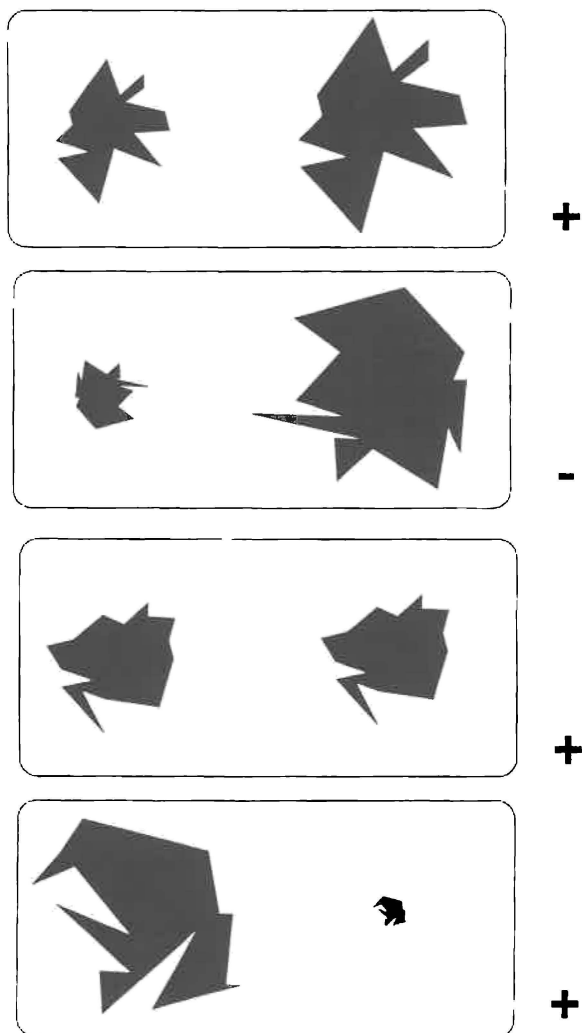
### Synsoplevet bevægelse i dybden

Figur 2 viser polygonpar af en type, der ofte anvendes til undersøgelse af størrelsesinvariant perception (se f.eks. Bundesen & Larsen, 1975; Lar-



Figur 1  
Forsøgspersonen har til opgave først at indpræge F'et, og herefter i hovedet følge det rundt på konturen. Se tekst.

sen & Bundesen, 1978). Hvis man kun viser én polygon ad gangen i et mørklagt rum, således at der først vises en stor polygon, der efterfølges af en lille polygon, der efterfølges af den store igen o.s.v., så vil man, hvis præsentationstiderne er passende korte, danne et synsindtryk af én figur, der flytter sig frem og tilbage i dybden. Når man ser på de parvist præsenterede polygoner i figur 2 kan man på samme måde også få indtryk af, at den lille polygon ligger længere væk end den store.

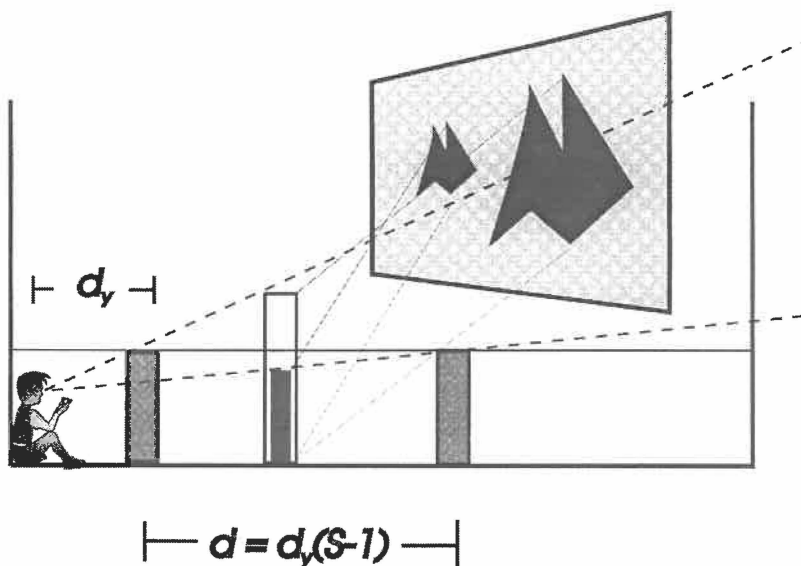


Figur 2

Størrelsesinvarians. De med »+« markerede stimuluspaneler har samme form, mens deres størrelse kan variere. I det næstøverste figurpar, der er markeret med »-« vises en såkaldt catch trial, hvor figurenes form er defineret som forskellige.



På figur 3 ses i skematisk form, hvorledes forskelle i størrelse i billedplanet kan opløses til forskel i afstand mellem lige store objekter. Der er fundet stærke eksperimentelle vidnesbyrd om, at størrelsesinvariant perception, det forhold at vi eksempelvis kan se, at polygonerne i figur 2 har samme form på trods af at de har forskellig størrelse, medieres af processer, der opløser forskelle i størrelse til forskelle i imaginær dybde.

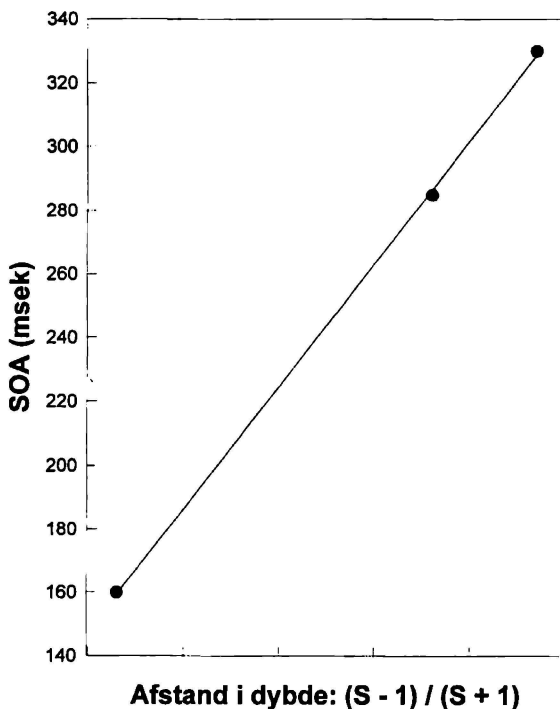


Figur 3

Størrelsesafvigelsen mellem de to sorte ensformede figurer, der vises på lærredet, kan opløses til forskelle i dybde. Afstanden fra observatøren til det ene dybdeplan er angivet ved  $d_y$ ,  $S$  angiver størrelsesforholdet mellem de fyldte polygoner, og  $d$  afstanden mellem de imaginære dybdeplaner (se Bundesen, Larsen & Farrel, 1981; 1983; Larsen, 1988).

Ved synsoplevet bevægelse i dybden er den kritiske variabel den tid der går fra starten af eksponeringen af den ene polygon (stimulus onsets) til starttidspunktet for eksponeringen af den næste polygon. Hvis denne tid – den såkaldte stimulus onsets asynkroni, SOA eller stimuluskiftetiden – er meget kort får man et synsindtryk af en stor og lille figur, der står og flimrer oveni hinanden. Forlænges SOA opnås en hurtig glat bevægelse frem og tilbage i dybden, mens yderligere forøgelse af SOA medfører, at bevægelsen går langsommere endnu og ligesom holder stille i hver yderposition.

Figur 4 viser, hvorledes den kritiske SOA, som ligger på tærsklen mellem meget hurtig frem- og tilbagegående bevægelse i dybden og flicker eller flimren, stiger som funktion af afstanden i dybde mellem de to figurer. I forsøget benyttede vi enten bogstaver eller tal, skiftevis præsenteret i forskellig størrelse, men resultatmønsteret er robust og ikke nævneværdigt anderledes ved brug af andre stimuli.



Figur 4

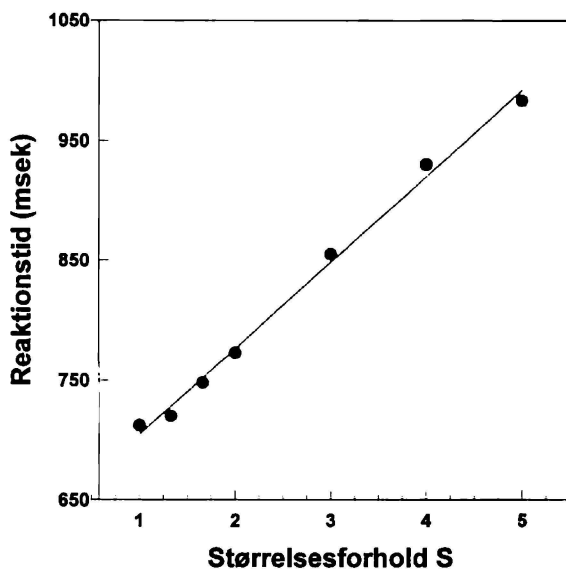
Skiftevis præsensation af ensformede figurer i to forskellige størrelser forårsager med passende stimuluskiftetid synsoplevet bevægelse af én figur, der bevæger sig frem og tilbage i dybden. Den minimale stimuluskiftetid eller SOA stiger lineært som funktion af den imaginære afstand i dybde, der er proportional med  $(S-1)/(S+1)$ , hvor  $S$  er størrelsesforholdet (efter Bundesen, Larsen & Farrell, 1983).

Det bevægelsesindtryk, der fremkaldes ved successiv præsensation af de to ensformede figurer i forskellig størrelse, modsvarer ikke en virkeligt forekommende bevægelse. Der er med andre ord tale om en bevægelsesillusion, hvor hjernen konstruerer en sekvens af indtryk (en bevægelsessti), der forbinder de to stimuluspositioner. Jo større afstanden er, desto længere tager det at implementere den illusoriske bevægelse.

Der er ikke noget underligt ved, at vi på denne måde er ofre for bevægelsesillusioner, idet vi også under helt dagligdags omstændigheder optager visuel information om virkeligt forekommende bevægelse i vor omverden, gennem stationære øjebliksbilleder. Almindeligvis blinker vi med øjnene mellem 1-3 gange i sekundet, således at informationsstrømmen til hjernen hele tiden afbrydes. Afbrydelserne er ganske langvarige (1/10 sekund eller mere). Hjernen må derfor foretage en interpolation af de bevægelser, der finder sted under »billedudfaldet«, og den gør det så godt, at vi sjældent lægger mærke til det.

### **Mental størrelsestransformation**

Hvis man i stedet for som angivet i figur 2 viser to mønstre af forskellig størrelse, men samme form, og beder en forsøgsperson så »hurtigt som muligt« at afgøre, hvorvidt de to mønstre er ensformede eller ej, er det naturligt at spørge om den tid, der går til at fælde en perceptuel dom om ensformethed eller forskellighed med hensyn til form, afhænger af størrelsesforholdet mellem mønstrene. I reaktionstidsforsøg af denne type (Bundesen & Larsen, 1975) varieres størrelsesforholdet systematisk og halvdelen af forsøgene er såkaldte catch trials, hvor mønstrene ikke har samme form.



Figur 5

Reaktionstiden stiger tilnærmelsesvis lineært som funktion af størrelsesforholdet  $S$ , der er proportional med den imaginære forskel i dybde (jfr. figur 3). Efter Bundesen & Larsen (1975), Eksperiment 1.

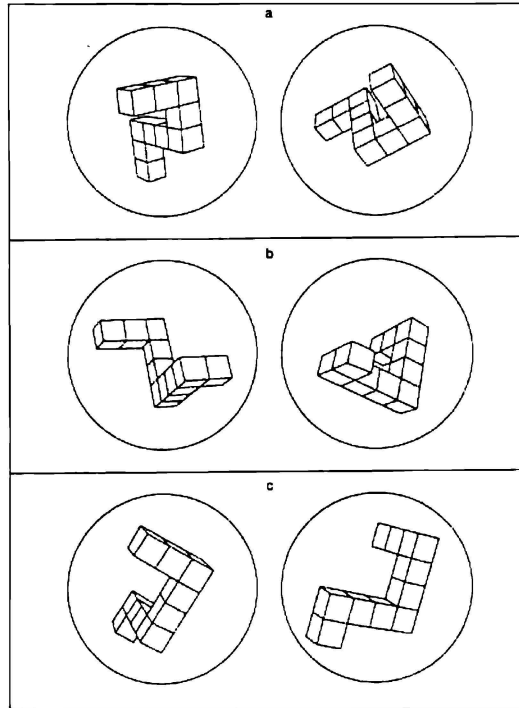
Figur 5 viser, at reaktionstiden stiger lineært som funktion af størrelsesforholdet, og hermed (jvf. figur 3) proportionalt med forskellen i dybde. Vor fortolkning af reaktionstidsforholdene er som følger: Opgaven løses ved at indkopiere én af de foreviste stimulusfigurer som et forestillingsbillede, hvis størrelse herefter gradvis justeres mentalt til en størrelse der stemmer overens med synsindtrykket af den anden figur. Hvis synsindtryk og transformeret forestillingsbillede matcher fældes dommen »ensformet«, i modsæt fald fældes dommen »forskelligt formede«. Tiden, det tager at udføre den gradvise størrelsestransformation, stiger proportionalt med afstanden i dybde.

Sammenfattende kan vi sige, at ved stroboskopisk præsentation af ensformede mønstre i forskellig størrelse opløses størrelsesdiskrepans som forskel i dybde, således at den tid, der lige netop er tilstrækkelig til at se en glat bevægelse frem og tilbage i dybden, stiger lineært med afstanden. På samme måde stiger den tid, der er nødvendig for at kompensere for størrelsesforskelle ved visuel identifikation af form, lineært med afstanden i dybde. Det forekommer derfor ret nærliggende at antage, at mental størrelsestransformation kan opfattes som forestillingsmæssige bevægelser i rummet (flytninger), der helt eller delvis medieres af de visuelle systemer i hjernen, der oprindeligt er udviklet med henblik på at registrere bevægelse (jvf. også Larsen & Bundesen, i trykken).

### *Synsoplevet drejning*

Figur 6 viser et udpluk af de stimulusmønstre, som Roger Shepard og Jacqueline Metzler (1971) brugte i deres klassiske studier over mental rotation. Hvis figurerne i panel *a* ikke vises på samme tid, men på skift ét ad gangen i passende korte tidsrum, vil man almindeligvis få et synsindtryk af roterende bevægelse frem og tilbage om en akse vinkelret på billedplanen.

Shepard og Judd (1976) viste, at den minimale stimuluskiftetid for perception af formfast bevægelse, såkaldt »rigid motion«, stiger som en lineær funktion af drejningsvinklen. Ved at bruge stimuluspar af den type, der er angivet i panel *b*, hvor drejningen ses i dybden omkring den lodrette akse lykkedes det at vise, at den kritiske variabel er vinklen i 3D mellem figurerne. Illusorisk drejbebevægelse kan således sammenlignes med illusorisk bevægelse i dybden, hvor den kritiske variabel netop er afstanden mellem de dybdeplaner, som størrelsesdivergensen opløses i.

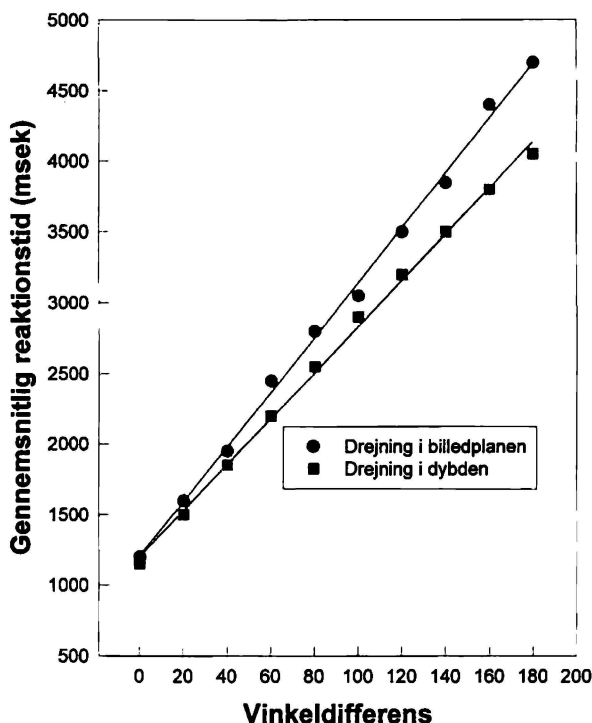


Figur 6

Eksempler på stimulusmønstrene i Shepard & Metzlers (1971) forsøg over mental rotation. Delfigurene *a* og *b* viser 3D mønstre afbildet i 2D. Mønstrene er kongruente og kan drejes over i hinanden ved en drejning om en akse vinkelret på papiret (*a*) eller en lodret akse (*b*), mens *c* indeholder et negativt (»isomerisk«) stimuluspar, med ikke kongruente delmønstre. Shepard og Judd (1976) brugte de samme mønstre i deres forsøg over synsoplevet »stiv« formfast rotationsbevægelse.

### **Mental rotation**

I Shepard og Metzlers (1971) forsøg over mental rotation skulle forsøgspersonerne så hurtigt som muligt at rapportere (ved tryk på en knap), hvorvidt de to perspektiviske stregmønstre afbilder samme tredimensionelle objekt eller ej (jvf. figur 6 panel a, b og c). Reaktions tiden blev målt fra starten af eksponeringen af et stimuluspanel indtil forsøgspersonen afgav sit svar. Som angivet i figur 7 steg reaktions tiden lineært som funktion af drejningsvinklen uanset om der var tale om drejning i billedplanen eller drejning i dybden. Forsøgspersonerne rapporterede, at de indkopierede den ene figur som forestillingsbillede, og at de drejede den i hovedet indtil den matchede den anden stimulusfigur.



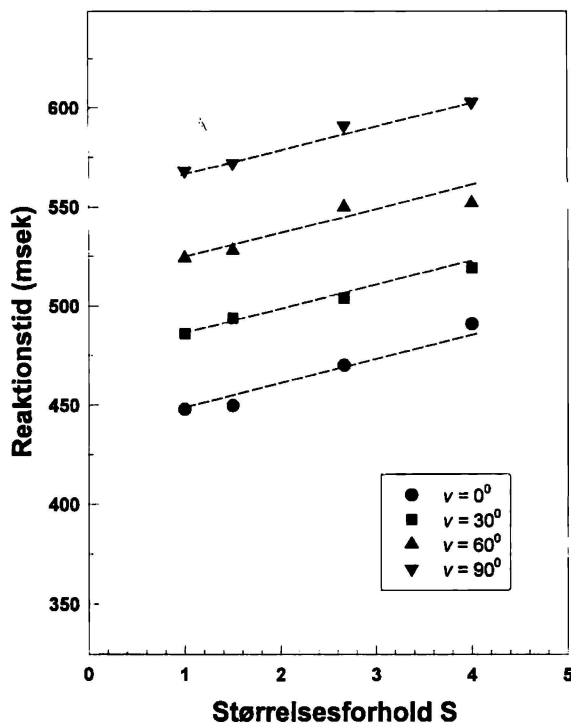
Figur 7

Reaktionstiden stiger som en lineær funktion af drejningsvinklen (efter Shephard & Metzler, 1971).

Fundene vedrørende mental rotation og illusorisk rotationsbevægelse er parallelle til fundene vedrørende mental størrelsestransformation og synsoplevet illusionsbevægelse i dybden. De støtter igen formodningen om et nært slægtskab mellem processer, der medierer synsindtryk af illusorisk visuel rotationsbevægelse, og mental drejning af forestillingsbilleder.

#### ***Sammensatte visuelle transformationer af drejning og størrelse***

På baggrund af resultaterne, der er beskrevet ovenfor, forekommer det oplagt at spørge om visuel identifikation af form, uden hensyn til hverken størrelse eller orientering kan baseres på en simpel »additiv« kombination af mental rotation og mental størrelsestransformation. Tilsvarende, kan man spørge om den illusoriske skruebevægelse frem og tilbage i dybden, der er resultatet af sekventiel præsentation af ensformede mønstre, der divergerer både med hensyn til størrelse og orientering, kan forstås som en simpel »additiv« kombination af små rotations- og bevægel-



Figur 8  
Sammensatte mentale transformationer af visuelle forestillingsbilleder. Reaktions-  
tiden stiger tilnærmelsesvis som en lineær funktion af både størrelsesforhold og drej-  
ningsvinkel, og effekten af hver af disse faktorer er additiv (efter Bundesen, Larsen  
& Farrell, 1981).

sesindtryk i dybden. Svaret er bekræftende, eksterne transformationer af  
stimulustørrelse og -orientering modsvarer af interne transformationer af  
forestillingsbilleder eller synsindtryk.

Figur 8 viser, at gennemsnitsreaktionstiden vokser omtrent lineært med  
både det lineære størrelsesforhold og vinkelforskellen mellem medlem-  
merne af et stimuluspar. Effekterne af størrelsesforhold og vinkeldiffe-  
rens er additive og tyder derfor på (Bunesen, Larsen & Farrel, 1981;  
1983; Larsen, 1985), at mentale transformationer svarende til drejninger  
og geometriske flytninger i dybden faktisk er sammensat af simple men-  
tale analoger hertil.

For sammensat stroboskopbevægelse, er resultatmønsteret en smule  
mere komplekst. Men stadig grundlæggende additivt (se Bundesen, Lar-

sen & Farrel, 1983 for en yderligere uddybning af disse fund) og helt parallelt til fundene vedrørende sammensatte transformationer af visuelle forestillingsbilleder.

### **Hjernens aktivering under visuel sansning og forestillingsvirksomhed**

Forestillingsvirksomhed kan betragtes som simulering af objekter i hvile eller i bevægelse, og vore resultater tyder derfor på, at simuleringen medieres af de perceptuelle processer, der i løbet af evolutionen er udviklet med henblik på at registrere objekter i hvile og bevægelse.

Der er imidlertid ikke logisk tvingende grunde (Anderson, 1976; 1978; Pylyshyn, 1973; jvf. også Bundesen & Larsen, 1975) til at formode, at størrelses- og orienteringsinvarians nødvendigvis bygger på mentale transformationer af billedlignende dannelser. I den såkaldte imagery debate i 70'erne og 80'erne, der drejede sig om forestillingsbilleders grundlæggende egenskaber, blev dette i og for sig ret banale forhold genstand for en betydelig diskussion (se f.eks. Anderson, 1978; Finke, 1989; Kaufmann, 1980; Kosslyn, 1980; 1995). Synspunktet går blot ud på, at det til bestemte stimuluskonfigurationer og hertil korrelerede systematiske responsemønstre (reaktionstider f.eks.), altid er muligt at konstruere en uendelig mængde af mekanismer eller teorier, der kan forbinde input med output.

Bestemmelsen af mekanismernes nærmere natur sker derfor også ud fra en række overvejelser, der ikke direkte beror på de eksperimentelle data. På basis af overvejende videnskabsfilosofiske argumenter, hævdede Pylyshyn (1973) og Anderson (1976;1978), at mentale repræsentationer som f.eks. forestillingsbilleder består af »abstrakte« symbolske elementer, der er kædet sammen efter bestemte logiske regler. Forestillingsbilleder skal således forstås som »udsagn« (propositioner) og deres eventuelle lighed med synsindtryk er irrelevant.

### ***PET og fMRI***

Med nye teknikker til at måle hjernens aktivering (*Positron Emission Tomography* eller PET og *functional Magnetic Resonance Imaging* eller fMRI) under ganske almindelig sjælelig virksomhed som f.eks. at give simple verbale beskrivelser, fælde perceptuelle domme, høre musik eller forestille sig noget visuelt, synes væsentlige begrænsninger i vore teoretiske muligheder for at forstå og modellere mentale processer imidlertid at være overvundet. Vi behøver således ikke længere udelukkende at holde os til input-output relationer, idet hele vejen fra input gennem centralnervesystemet til output, i princippet kan kortlægges ved målinger af hjernens aktivering.



Ved fMRI udnyttes det forhold, at blodet, der løber til et område i hjernen, hvor der er højt stofskifte, har andre magnetiske egenskaber end det blod, der løber væk fra dette område. Forskellen i magnetiske egenskaber er tilstrækkelig til, at blodgennemstrømningen kan lokaliseres ved hjælp af magnetscannere med få millimeters nøjagtighed i et tredimensionelt billede af hjernen. Modsat fMRI, der er noninvasiv, er PET er baseret på injektion af ganske svagt radioaktive sporstoffer i blodbanen. Her er det koncentrationen af sporstofferne, der affotograferes med særlige sensorer, der benyttes til at indekserer blodgennemstrømningen i hjernen.

Der er fordele og ulemper ved begge metoder. I modsætning til PET, er den temporale opløsning ved fMRI god, således at periodiske variationer i stimulusbetingelserne under gunstige omstændigheder kan genfindes i det hæmodynamiske respons (blodgennemstrømningen) i velafgrænsede områder i hjernen.

Måling, statistisk analyse, grafisk fremstilling i 3D samt fortolkning af hjernens aktivering ved hjælp af de moderne billedannelsesmetoder er vanskelig, og rummer udfordringer, der ikke altid har en oplagt løsning. For det første måler hverken PET eller fMRI hjernecellernes aktivering, men blot blodgennemstrømningen i udvalgte områder af hjernen. For det andet er målingerne stadigvæk, især hvad angår lokalisation, noget upræcise. Manglen på præcision bliver ikke mindre af, at effekter, der er for usikre eller små til at træde frem hos enkeltindivider, er vanskelige at lægge sammen på tværs af individer, på grund af de betydelige variationer i menneskehjerners størrelse og anatomi. Hertil kommer, at det *antages*, at der er en ret direkte sammenhæng mellem blodgennemstrømning og hjernecellernes aktivitet. Antagelsen er rimelig, men sikker viden herom foreligger desværre endnu ikke (Gjedde, 1995).

### ***Billeder i visuel kortex***

Kortlægningen af synsområder i hjernebarken hos mennesket støtter sig i høj grad på studier af visuel kortex hos aber (især macaque aber), hvor der er fundet over 30 områder, der synes direkte involveret i visuel signalbehandling (Desimone & Ungerleider, 1989; van Essen, 1985). I grove træk går omkring 90% af de visuelle signaler fra øjet til et område i occipetallappen, der benævnes striat cortex eller synsområde V1 (visual area 1).

Fra V1 går signalstrømmen til synsområde V2, og fra både V1 og V2, der synes at fungere som centrale relæstationer eller filtre, til V5, der synes specialiseret i bevægelsesprocessering, til V3, der blandt andet formodes at processere form, til V4, der synes specialiseret i farveberegninger, samt til en lang række andre områder hvis opgaver kun er delvist kortlagt eller ukendte. Et område, der modtager signaler har stort set altid fibre, der projicerer tilbage til afsenderområdet.

V1 og V2 er retinotopiske, således at nabopunkter på nethinden projiceres til nabopunkter i V1 og V2. Den retinotopiske afbildningsregel skal forstås bogstaveligt: Når et dyr (se Tootell et al., 1982) ser på en cirkel, så er både aktiveringen på dets nethinde og i dets hjerne cirkelformet.

Synsområde V1 og V2 er også retinotopiske hos mennesket, og der dannes altså også hos os i bogstavelig forstand (aktivitets)billeder i hjernen af det vi ser. Sereno et al. (1995) og Tootell et al. (1995) har ved hjælp af fMRI videreført den kortlægning af synsområder i menneskets hjerne som især Zeki og medarbejdere påbegyndte med PET (se Watson et al., 1993; Zeki et al., 1991). Som antydnet peger resultaterne ret entydigt på, at der til synsområderne i occipetallappen hos aber findes korresponderende (homologe) synsområder hos mennesket.

### ***Den neurale basis for mentale transformationer***

Det første forsøg på præcis lokalisation af de hjerneområder, hvorigennem mental rotation realiseres, blev foretaget fornylig af Cohen og medarbejdere (1996) ved brug af fMRI. Cohen og kolleger benyttede Shepard & Metzlers (1971) tre-dimensionelle figurer (se figur 6), og sammenlignede hjernens aktivitet under visuel sammenligning af ensformede figurer i forskellig orientering med simpel visuel sammenligning af to tilsvarende figurer, der ikke var drejet i forhold til hverandre.

Undersøgelsens to hovedfund er dels en aktivering ved mental rotation i Brodmanns område 7, der ligger øverst i parietal korteks, samt aktivering i et område, der benævnes MT (eller synsområde V5), der både hos mennesker og hos primater responderer meget kraftigt på visuelle stimuli i bevægelse (Tootell et al., 1995; Zeki et al., 1993).

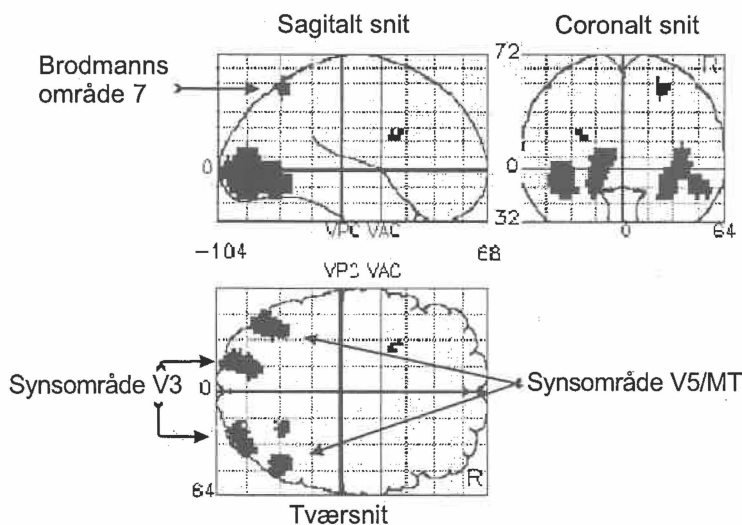
Brodmanns område 7 i parietal korteks indeholder antagelig visuelle repræsentationer eller kort (Milner & Goodale, 1995), som organismens motoriske navigation i den visuelt repræsenterede verden er baseret på. Det virker således ikke urimeligt, at mental drejning af visuelle repræsentationer aktiverer dette område. Interessant nok står Cohen og medarbejdere ret uforstående overfor aktiveringen i område MT. Vore formodninger om et nært slægtskab mellem mentale transformationer af forestillingsbilleder og visuelle transformationer i forbindelse med synsoplevet bevægelse, peger imidlertid på MT som et område, der kunne være centralt involveret ved mental rotation.

I samarbejde med Olaf Paulsson og Ian Law fra Rigshospitalets neurobiologiske forskningsenhed er jeg sammen med Claus Bundesen i gang med forsøg på at lokalisere hjerneområder, der er involveret ved mental størrelsestransformation, ved hjælp af PET. Forsøgspersonerne bliver her præsenteret for figurpar af forskellig størrelse, hvoraf halvdelen har samme form. Uafhængigt af formvariationen har halvdelen af parrene forskellig farve, mens den anden halvdel er ensfarvede.

I en forsøgsserie skulle forsøgspersonerne bedømme, hvorvidt figur-

parrene var ensfarvede eller ej, mens de i en anden forsøgsserie skulle bedømme præcis det samme stimulusmateriale, men nu med hensyn til form under bortseen fra eventuelle forskelle i størrelse og farve. Figur 9 viser resultaterne for de tre første forsøgspersoner. Områderne, hvor aktiveringen ved bedømmelse af form uafhængigt af størrelse (og farve) er signifikant større end aktiveringen ved bedømmelse af ensfarvedhed uafhængigt af form og størrelse, varierer fra grå til sort.

De foreliggende resultater tyder på, at område 7 i parietallappen og område V5 i visuel korteks er aktiveret, hvilket stemmer overens med Cohen et al.s (1996) resultater. I figuren ses desuden aktivering af andre områder af visuel korteks, antagelig især område V3. Bemærk, at fraværet af målelig aktivitet i f.eks. V1, der ligger imellem V3 i højre og venstre hjernehalvdel omkring midtlinjen (jvf., figur 9) blot betyder, at aktiveringen under de to forsøgsbetingelser, der sammenlignes, er den samme – og ikke nødvendigvis, at det pågældende område ikke er aktivt.



Figur 9

Statistisk parametriske kort over områder i hjernen, der udviser særlig stærk aktivitet ved bedømmelse af om foreliggende mønstre, der varierer med hensyn til størrelse og farve, er ensfarvede. De fleste PET studier er baserede på abstraktionslogik. Den illustrerede aktivering er opnået ved, at blodgennemstrømningen i hjernen, målt i sessioner hvor figurerne sammenlignes med hensyn til farve, er subtraheret fra blodgennemstrømningen, i sessioner, hvor figurerne bedømmes med hensyn til om de er ensfarvede uanset størrelse. Figuren viser den tilnærmelsesvis lokalisation af Brodmanns område 7 og synsområderne V3 og V5.

I en ny artikel i tidskriftet *Nature* (Kosslyn, Thompson, Kim & Albert, 1995) rapporteres en PET undersøgelse, der tyder på, at primær visuel korteks (område V1) aktiveres når forsøgspersoner bliver bedt om at forestille sig forskellige objekter visuelt. Aktiveringen skifter lokalisation indenfor område V1 afhængigt af størrelsen af det visuelle forestillingsbillede, forsøgspersonerne frembringer. Størrelsen af et forestillingsbillede kan fastlægges ved at sammenligne det med eksterne visuelle stimuli af varierende størrelse.

Kosslyn og medarbejderes fund betragtes som kontroversielle, men er, hvis de holder for en nærmere kritisk afprøvning, ganske spændende. De synes nemlig at pege på, at viljesmæssig eller opmærksomhedsmæssig (top-down) aktivering af visuelle projektiionsområder, der ligger meget tidligt i processeringen af visuelle signaler er mulig. Her har opfattelsen ellers altovervejende været, at aktiviteten var reflektorisk eller bottom-up, uden indflydelse fra højere mentale processer (Roland & Gulyas, 1993).

Fundene lægger også op til en interessant spekulation, nemlig dels, at visuelle forestillingsbilleder realiseres gennem (eller hverken mere eller mindre: *er lig med*) aktivitetmønstre i V1/V2, og dels at mentale transformationer af forestillingsbilleder i V1/V2 beregnes og eksekveres af synsområde V5 eller et satellitområde til V5, som om der var tale om en egentlig bevægelse.

## Sammenfatning

Ideen om et dybtgående slægtskab mellem visuel forestillingsvirksomhed og visuel perception går i den eksperimentelle psykologi tilbage til Perky (1910). I moderne kognitionspsykologi vandt synspunktet stigende tilslutning fra slutningen af 60'erne, og har nu fået et langt mere præcist indhold gennem konvergerende evidens fra eksperimentelle studier over visuel perception af bevægelse og undersøgelser over mentale transformationer af forestillingsbilleder. Hjerneaktiveringsstudier, der bygger på nye billeddannelsesteknikker som PET og fMRI, har endog gjort det muligt at indkredse visuelle mekanismer i hjernen, der tilsyneladende både bidrager til at frembringe synsoplevet bevægelse og til at transformere mere visuelle forestillingsbilleder med hensyn til størrelse og orientering.

REFERENCER

- ANDERSON, J.R. (1976). *Language, Memory and Thought*. Hillsdale, N.J., USA: Erlbaum.
- ANDERSON, J.R. (1978). Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological review*, 85, 249-277.
- BORING, E. G. (1969). *A History of Experimental Psychology*. Bombay, Indien: The Times of India Press.
- BROOKS, L.R. (1968). Spatial and verbal components of the art of recall. *Canadian Journal of Psychology*, 22, 349-368.
- BUNDESEN, C. (1986). *Studier af visuel informationsbehandling: Sammenfattende redegørelse*. København: Psykologisk Laboratorium.
- BUNDESEN, C. & LARSEN, A. (1975). Visual transformation of size. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1, 214-220.
- BUNDESEN, C., LARSEN, A., & FARRELL, J.E. (1981). Mental transformations of size and orientation. I: J. Long & A. Baddeley (red.), *Attention and Performance IX*. Hillsdale, N.J., USA: Erlbaum.
- BUNDESEN, C., LARSEN, A., & FARRELL, J.E. (1983). Visual apparent movement: Transformations of size and orientation. *Perception*, 12, 549-558.
- DESIMONE, R. & UNGERLEIDER, L.G. (1989). Neural mechanisms of visual processing in monkeys. I: F. Boller & J.Grafmann (red.), *Handbook of neuropsychology*, 2. Amsterdam, Holland: Elsevier.
- FINKE, R.A. (1989). *Principles of mental imagery*. Cambridge, Mass., USA: MIT Press.
- GADE, A. (1989). Mentale forestillingsbilleders neuropsykologi. *Psyke & Logos*, 2, 309-329.
- GJEDDE, A. (1995). The energy cost of neuronal depolarization. I: B. Gulyas, D. Ottoson & P. Roland (red.), *Functional organization of the human visual cortex*. Oxford, England: Pergamon Press.
- GREEN, D. M. & SWETS, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. New York, USA: Wiley.
- LARSEN, A. (1988). *Experimentelle undersøgelser over visuel skinbevægelse, identifikation, klassifikation og selektion*. København: Psykologisk Laboratorium
- LARSEN, A. (1985). Pattern matching: Effects of size ratio, angular difference in orientation, and familiarity. *Perception & Psychophysics*, 38, 63-68.
- LARSEN, A. & BUNDESEN, C. (1978). Size scaling in visual pattern recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 1-20.
- LARSEN, A., FARRELL, J.E., & BUNDESEN, C. (1983). Short-and long-range processes in visual apparent movement. *Psychological Research*, 45, 11-18.
- LARSEN, A. & BUNDESEN, C. (I trykken). Effects of spatial separation in visual pattern matching: Evidence on the role of mental translation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- KAUFMANN, G. (1980). *Imagery, Language and Cognition: Toward a theory of symbolic activity in human problem-solving*. Bergen, Norge: Universitetsforlaget.
- KOSSLYN, S.M. (1980). *Image and mind*. Cambridge Mass., USA: Harvard University Press.
- KOSSLYN, S.M. (1994). *Image and Brain*. Cambridge, Mass., USA: Bradford Books.
- KOSSLYN, S.M., THOMPSON, V.L., KIM, I.J. & ALPERT, N.M.(1995). Topographical representations of mental images in primary visual cortex. *Nature*, 378, 496-498.
- MILNER, D.A. & GOODALE, M.A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford, England: Oxford University Press.

- PERKY, C.W. (1910). An Experimental Study of Imagination. *American Journal of Psychology*, 21, 2422-2452.
- PYLYSHYN, Z.W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, 80, 1-24.
- SEGAL, S.J., & FUSELLA, V. (1970). Influences of imaged pictures and sounds on detection of visual and auditory signals. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 458-464.
- SHEPARD, R.N., & METZLER, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- SHEPARD, R.N., & JUDD, S.A. (1976). Perceptual illusion of rotation of three-dimensional objects. *Science*, 191, 952-954.
- SHEPARD, R.N., & COOPER, L.A. (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge, Mass., USA: MIT Press.
- TOOTELL, R.B.H., SILVERMAN, M.S., SWITKES, E. & DE VALOIS, R. L. (1982). Deoxyglucose analysis of retinotopic organization in primate striate cortex. *Science*, 218, 902-904.
- TOOTELL, R.B.H., REPPAS, J.B., KWONG, K.K., MALACH, R., BORN, R.T., BRADY, T.J., ROSEN, B.R. & BELLIVEAU, J.V. (1995). Functional Analysis of Human MT and related visual cortical areas using magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 15, 3215-3130.
- VAN ESSEN, D. C. (1985). Functional organization of primate visual cortex. I: A. Peters & E. G. Jones (red.), *Cerebral Cortex*, 4. New York, USA:Plenum.
- WATSON, J.D.G., MYERS, R., FRACKOWIAK, R.S.J., HAJNAL, J.V., WOODS, R.P., MAZZIOTTA, J.C., SHIPP, S. & ZEKI, S. (1993). Area V5 of the Human Brain: Evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex*, 3, 79-94.
- ZEKI, S., WATSON, J.D.G., LUECK, C.J., FRISTON, K.J., KENNARD, C. & FRACKOWIAK, R.S.J. (1991). A direct demonstration of functional specialisation in human visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 11, 641-649.