TEKST NR 153 1988

HALVLEDERTEKNOLOGIENS UDVIKLING,
MELLEM MILITÆRE OG CIVILE KRÆFTER

- ET EKSEMPEL PÅ HUMANISTISK TEKNOLOGIHISTORIE

HISTORIESPECIALE AF

HANS HEDAL

VEJLEDER:

IB THIERSEN

TEKSTER fra

IMFUFA ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260,
4000 Roskilde

HALVLEDERTEKNOLOGIENS UDVIKLING, MELLEM MILITÆRE OG CIVILE KRÆFTER
- et eksempel på humanistisk teknologihistorie

af Hans Hedal

vejleder Ib Thiersen

IMFUFA TEKST NR. 153/88, RUC. 216 sider. ISSN 0106-6242

ABSTRACT:

Indledningsvis fastslås meningen med og betydningen af at dyrke teknologihistorie ud fra et humanistisk grundsynspunkt. De hidtidige opfattelser af den moderne teknologis udvikling, specielt højteknologiens, kritiseres for at være utilstrækkelige. For at overskride disse mangler introduceres begreberne kontekstualisme og teknologiformende kraft som nødvendigt analysegrundlag i en humanistisk teknologihistorieskrivning, der integrerer de "to kulturer". Det vil sige det internalistiske og det eksternalistiske perspektiv.

Gennem en humanistisk teknologihistorisk analyse af halvlederteknologiens udvikling fra mellemkrigstiden og frem til ca. 1980 identificeres arten af den teknologiformende proces. Denne viser sig at bestå i et kompliceret vekselspil indenfor et mangefacetteret spektrum af teknologiformende kræfter. For det første bidrager den teknologihistoriske analyse med yderligere empiriske indsigter i den pågældende case. For det andet underbygger den de mere generelle historieteoretiske og teknologifilosofiske pointer, der er fremsat indledningsvis. For det tredje bidrager den empiriske analyse med en egentlig udfoldet historie om halvlederkomponentrevolutionen på et metodisk grundlag, hvilket hidtil har manglet. Endelig gives der en uddybning af begrebet højteknologisk udvikling.

FORORD.

Denne projektrapport er udarbejdet på Roskilde Universitetscenter og dækker kravene til historieuddannelsens specialemodul (modul 3). Med denne rapport afslutter jeg mit cand. mag. studium i fysik og historie.

Under det arbejdsforløb, der har resulteret i denne rapport har jeg fået inspiration i en række forskellige sammenhænge, ligesom enkeltpersoner også har spillet en rolle. Her vil jeg først og fremmest rette en tak til to personer. Nemlig min specialevejleder Ib Thiersen for hans grundlæggende filosofiske og teoretiske overblik, og min tidligere studiekammerat nu cand. mag. Finn Physant for hans opmuntringer undervejs. Endelig har jeg kun mig selv og mine nærmeste pårørende at takke for brændstoffet til den kraftanstrengelse, det har været at trække sig selv langsomt op med håret, mens jeg holdt tungen lige i munden. Belønningen har været den kildende fornemmelse af teknologihistoriens overordentlig store vingesus.

1 - 9 - 1987
Mit tiårs jubilæum
som RUC-studerende

Indhold:

I. DEL.

1. Humanistisk teknologihistorie.

- Indledning.....7
- Frigørelsens projekt.....7
- Den moderne teknologiudviklings store betydning for menneskets livsvilkår.....9
- Fremmedgørelsen overfor den moderne teknologiudvikling.....12
- Ideologier om den teknologiske udviklingsproces...15
- Teknologihistorisk bevidsthed.....18
- Bevidst historieskabende praksis.....20
- Humanistisk teknologihistorie - en konklusion.....23

2. Det højteknologiske problem.

2.1 Højteknologiens udvikling som empirisk fænomen....27
2.2 Genstandsområdets relevans.....35
2.3 Opfattelser af den moderne teknologis udviklingskræfter.....37
2.4 Undersøgelsens metode.....46

II. DEL.

3. Opfindelsen af transistorprincippet.

3.1 Teknologiformende kræfter i opfindelsesfasen.....49
3.2 Opfindelsesprocessens tidlige start.....50
3.3 Opfindelsen af transistoren på Bell.....53
3.4 Konklusion - opfindelsesfasen som helhed.....62

4. Transistorudviklingsfasen.

4.1 Teknologiformende kræfter.....67

- De militære teknologipolitiske interesser tager over.....67
- Det militære kommunikationsteknologiske problem...70
- Det missilteknologiske problem.....74

4.2 De militære teknologipolitiske magtmidler.....79

4.3 Transistorteknologiens udvikling.....92

- Indledning.....92
- Transistorer med arbejdsevne ved højere temperaturer.....94
- Produktion af transistorer med stigende øvre grænsefrekvens.....96

4.4 Konklusion - transistorudviklingen.....106

5. Den bipolære IC-teknologi.

5.1 Teknologiformende kræfter.....111

- Det raketteknologiske problem.....111
- Militærets og NASA's teknologipolitiske magtmidler.....117
- De potentielle civile afsætningsmarkeder som teknologisk problem.....123

5.2 Opkomsten og udviklingen af IC-teknologien.....125

- Militæret forcerer opkomsten af en mikroelektronik.....125
- Opfindelsen af den bipolære integrerede kreds....128
- Udviklingen af effektive masseproduktionsmetoder.....131
- IC-teknologiens videre udvikling.....136

5.3 Konklusion - den bipolære IC-udvikling.....140

6. MOS IC-teknologiens udvikling.

6.1 Den nye konstellation af teknologiformende kræfter.....145

- Det teknologipolitiske magtskifte.....145
- Samfundsmæssige behov for mikroelektronik siden 60'erne.....149

6.2 Gennembruddet på det civile marked.....153

- Opfindelsen af MOS.....153
- Produktdefinitions-problematikken.....157
- Produktdefinitions-problematikkens løsning.....161

6.3 Udviklingen af MOS IC-teknologien.....167

- Generelle tendenser.....167
- Det fortsatte amerikanske monopol
  på halvlederinnovation.....172
- Udviklingen af MOS dynamiske RAM i 70'erne.....173
- Mikroprocessorudviklingen i 70'erne.....181

6.4 Konklusion - udviklingen af MOS IC-teknologien...188

7. Konklusion.....195

Appendix: Materialeindsamlingsproblemet.....207

Litteraturliste.....209

1.HUMANISTISK TEKNOLOGIHISTORIE.

Indledning.

I dette kapitel vil jeg opstille en programerklæring for et uhyre omfattende forsknings- og almendannelsesprojekt, som vores højteknologiske tidsalder har aktualiseret. Iværksættelsen af dette projekt er en nødvendig betingelse for, at menneskehedens skæbne ikke skal blive fremmedgørelsens og afmagtens blindgyde, men frigørelsens åbne vej. Projektet, "humanistisk teknologihistorie" retter sig mod at give mennesket større magt over sin tilværelse, igennem ideologi- og teknologiudviklingskritisk at skabe og formidle indsigt. Denne uddybede indsigt drejer sig om teknologiudviklingens samspil med menneskelivet i allerbredeste forstand. Eller formuleret anderledes: at bidrage væsentligt til opbygningen af en almen historisk bevidsthed, som muliggør bevidst historieskabende praksis. Hvis dette ikke finder sted, venter den mulige realisering af informationssamfundets umenneskelige versioner, som vi kender dem fra science-fiction dystopierne.

Frigørelsens projekt.

Et centralt problem i vore dage og vel nok det væsentligste i vores industrielle kultur er afmagten. De væsentligste blokeringer for at menneskeheden mere bredt kan få indflydelse på sine egne livsvilkår herunder teknologiudviklingen er flere: 1) Eksistensen af magtfulde samfundsgrupperinger og blinde, upersonlige samfundskræfter, som har meget stor indflydelse på, hvorledes menneskets livsvilkår dannes i samfundslivet. For eksempel gennem teknolo-

giudviklingens talrige konsekvenser for menneskelivet i samspillet med samfundsudviklingen. 2) Eksistensen af sociale fremmedgørelsesmekanismer, som forhindrer eller hæmmer umiddelbar indsigt i magtudøvelsen og de upersonlige samfundskræfters hærgen. 3) At eksistensen af disse fremmedgørelsesmekanismer indbyder til den spontane skabelse af ideologier, af fordrejet bevidsthed, som medvirker til, at den umiddelbare indsigt i de nævnte sociale forhold hæmmes yderligere. 4) Endelig stimuleres disse ideologier igennem elaborering og forstærket udbredelse, ofte på initiativ af de nævnte magtgrupperinger. Resultatet bliver cementeringen af fordrejet bevidsthed i et sæt af blokeringer, som kan betegnes undertrykkelsens "baglås". Belysningen af baglåsens anatomi bliver dermed en central betingelse for at anvise nødvendige redskaber til at låse op med.

Den eneste udvej af baglåsen er tilbagerulningen af de betydningsfulde samfundsgrupperingers og upersonlige samfundskræfters magt. Men dette kræver i første omgang en gennembrydelse af ideologierne og fremmedgørelsen. Sådan at mennesket bliver bevidst om eksistensen af magtudøvelse og blinde sociale kræfters huseren i ly af fremmedgørelse og ideologier. En sådan gennembrydning eller eller punktering kan efterhånden kun finde sted gennem ideologikritisk afsløring af og oplysning om, hvorledes vores livsvilkår skabes gennem magtudøvelse og sociale kræfters spil. Fremmedgørelsen er nemlig for vidt fremskreden til, at man kan opnå spontan indsigt i de dybere og meget betydningsfulde lag i undertrykkelsens baglås.

Midlet til denne ideologikritik er en humanistisk tilgang, som netop interesserer sig for menneskets livsvilkår og dets frigørelse. Men ikke en hvilkensomhelst humanisme. Det skal være en videnskabelig humanisme, som i praksis er forpligtet overfor humanitet. Den vestlige humanistiske tradition har fostret flere store humanistiske filosofier som for eksempel liberalismen og socialismen/marxismen.

Fælles for alle disse er, at de er størknet som ideologiske "humanismer", der enten legitimerer magtudøvelse ud fra elitære gruppers særinteresser, eller i bedste fald er utilstrækkelige som vejledning i en eventuel praksis. Som jeg vil demonstrere fremover, så er det en central og afgørende nødvendighed for at gøre en sådan forpligtet humanistisk teoridannelse praktisk potent, at den beriges med brobyggende indsigt fra den anden af Snow's "to kulturer", nemlig den naturvidenskabelig-teknologiske kultur. En sådan teoridannelse skal blandt andet have sit udgangspunkt i Marx'es kapitalanalyse, hvad angår det teknologihistoriske genstandsfelt, dog uden "kapitallogikkens" kapitaldeterministiske ambitioner.

Den moderne teknologiudviklings store betydning for menneskets livsvilkår.

Den moderne historie handler i høj grad om teknologiudviklingens store og i stigende grad verdensomspændende betydning for alle sider af menneskelivet. Hvis man sætter denne udvikling under lup, er den i høj grad mediet for magtfulde sociale eliters og kræfters indflydelse på menneskets livsvilkår.

De førkapitalistiske samfund var relativt statiske, især hvad angår produktionsteknologisk udvikling og dennes følgevirkninger. Produktionslivet var underlagt naturens tvang og benyttede sig af få og primitive metoder, simple redskaber og overskuelige organisationsformer. Hvilket alt i alt repræsenterede en så lav beherskelsesgrad, at det var muligt at bemestre denne gennem håndværksæssig oplæring integreret i den daglige produktion. Livsmønsteret, i jæger-samler samfundet og i de førkapitalistiske landbrugssamfund, herunder produktionsmetoderne var i det store og hele overleveret fra forfædrene (og -mødrene) gennem traditionen og var derfor solidt og gennemprøvet. Menne-

skets livsvilkår var dermed relativt konstante og i denne forstand uproblematiske, uden de store krav til kulturel omstillingsevne. Man overtog blot slægtens model for beherskelse af livsvilkårene, det vil sige for livsførelse. Med opløsningen af de traditionsbårne samfund ændrede dette billede sig fuldstændigt.

Igennem den økonomiske og kulturelle udviklingsproces, som kulminerede i overgangen til kapitalisme og i en ny måde at forholde sig til naturen på, eksproprierede det fremvoksende borgerskab de umiddelbare producenters beherskelse af produktionsprocessen. Dette indebar en minimering af indflydelsen på egne livsvilkår. Denne indflydelse overgik for størstepartens vedkommende til kapitalens agenter. Senere kom dog også andre indflydelsesrige instanser ind i billedet, nemlig staten og videnskaben. Klassemagt og profit, hvor klassemagten er kapitalakkumulationens paraply, blev nu overordnede målsætninger for den teknologiske udviklingsproces ved siden af militær magt, som traditionelt havde været et ressourcemæssigt begunstiget teknologiudviklingsfelt fra magthaverside. Den kapitalistiske magt over produktionsprocessen eksisterede imidlertid symbiotisk med den afmagt, som viste sig i det konkurrencemæssige kapløb om ekstraprofitter. Dette betød permanent teknologisk fornyelse med en hastighed og et omfang, der totalt brød med førkapitalismen. Andre historiske forløb konstateredes i nationer som Rusland og Kina, hvor det var bureaukratiske klasser, som i det 20. århundrede forestod ekspropriationen af herredømmet over produktionsprocessen og prægede teknologiudviklingen ud fra deres særinteresser. Hvilket i sidste instans viste sig at medvirke til frembringelsen af teknologiudviklinger, der på det nærmeste var identiske med dem, der foregik eller allerede var foregået i de kapitalistiske økonomiers regi.

Det 20. århundredes videnskabeligt-industrielle revolution indebar en teknologiudviklingsproces, hvor videnskab og statslig-bureaukratiske instanser, herunder militæret,

hvis interesser affødtes af våbenkapløbet, indgik som centrale teknologiudviklingsformende kræfter. Den industrielle udvikling og dens følgevirkninger har nu bredt sig ud over hele verden. Resultatet er blevet, at menneskets livsvilkår nu ændres uafbrudt på godt og ondt af magtfulde grupperinger og blinde sociale kræfter, som vedvarende har sat deres indflydelse igennem via teknologiudviklingen. Kraften er så stor, at dette har fundet sted på trods af sociale konflikter. Alle livets områder har stået for skud og står for skud. En ad hoc kortlægning af centrale konsekvensområder er:

- miljø
- bevidsthed
- politik
- økonomi
- produktion og samfærdsel
- samfundsorganisering
- kvalifikationsstruktur
- uddannelse og opdragelse
- beskæftigelse
- militær og sikkerhed
- videnskab

Livsvilkårene i det moderne samfund er i allerhøjeste grad blevet problematiske og ukontrollerbare for menigmand, som følge af den fremmedbestemte teknologiudviklings intensitet. Der findes ingen skræddersyede patentløsninger, der blot kan overtages fra slægt og forfædre igennem opdragelse og oplæring i lighed med de traditionsbårne samfund i førkapitalismen. Dertil er udviklingen blevet for hastig, gennemgribende og uigennemskuelig. Dette fører os videre til en fokusering på fremmedgørelsesproblemet.

Fremmedgørelsen overfor den moderne teknologiudvikling.

En meget afgørende konsekvens af den ovenfor skitserede moderne industrielle udvikling, som har indebåret en stigende grad af videnskabeliggørelse, optræder på det bevidsthedsmæssige felt. Det er menneskets stigende fremmedgørelse overfor den teknologiske udviklingsproces. Dette betyder rent ud sagt, at den umiddelbare indsigt i, hvorledes vores livsvilkår skabes gennem magtudøvelse og sociale kræfters spil via den moderne teknologiudvikling, i stigende grad umuliggøres. Denne fremadskridende fremmedgørelse består af flere på hinanden følgende historiske aflejringer.

Det kronologisk første lag, som er den økonomiske fremmedgørelse, har sit tidlige udspring i overgangen fra en førkapitalistisk økonomi til en kapitalistisk. Hvor et egentligt kapitalistisk marked opstår, og arbejdskraft og produktionsmidler bliver til varer. Ved køb og salg af varen arbejdskraft ser alt ud som om, det går retfærdigt til. Varen købes jo til sin værdi, og såvel køber som sælger fremtræder som lige og frie varebesiddere. Arbejdslønnen ser ud som om, den er betaling for det ydede arbejde, mens den i virkeligheden kun er betaling for arbejdskraftens bytteværdi. Det betyder således, at selve den kapitalistiske merværditilegnelse og klassemagt tilsløres i arbejdslønnen. Merværditilegnelse og klassemagt er imidlertid de kapitalistiske interesser i teknologiudviklingen, hvilket betyder menneskets fremmedgørelse overfor det kapitalistiske aspekt af den teknologiske udviklingsproces.

Et kronologisk senere lag i fremmedgørelsesprocessen er forbundet med arbejdsdeling og mekanisering. Det er den teknologiske fremmedgørelse, hvis virkemåde ikke kan forstås ud fra den kapitalistiske økonomi. I stedet skal denne forstås ud fra arbejdsdelingens karakter, som ikke nødvendigvis er kapitalismenspecifik. Den industrielle revolutions mekanisering forvandler den håndværksmæssige ar-

bejdsproces til en stærkt arbejdsdelt produktion, som er karakteriseret ved anvendelsen af legemligt arbejde i massemålestok i kombination med maskiner. Resultatet er adskillelsen af håndens og åndens arbejde, hvor åndsarbedjet forestår den teknologiske udviklingsproces, hvis realisering er lagt i hænderne på en lille gruppe specialister: ingeniørerne. Teknologiudviklingen begynder nu at blive uigennemskuelig for manden på gulvet, hvilket betyder fremmedgørelse overfor teknologiudviklingens snævert teknologiske aspekt.

Et endnu senere lag i fremmedgørelsesprocessen er forbundet med videnskabens, i det store og hele naturvidenskabens, storstilede teknologiske anvendelse. Virkemåden af denne fremmedgørelsesform kan heller ikke forstås ud fra den kapitalistiske økonomi, men skal forklares ud fra den stigende grad af videnskabeliggørelse af teknologien. Som et led i den markedsmæssige konkurrence, våbenkapløbet og den propagandamæssige systemkomkurrence iværksættes der i de førende kapitalistiske økonomier en videnskabelig-industriel revolution i det 20. århundrede. Denne revolutions automation forvandler produktionsprocesser ud over det mekaniserede stadium gennem fortrængning af arbejdet ud af produktionen. Revolutionen resulterer i tilsvarende og måske endnu mere gennemgribende forandringer i militærets aktiviteter, som ligeledes automatiseres. Automationens højeste stadium bliver de fuldstændigt selvstyrende produktions- og destruktionsprocesser. Automationen er karakteriseret af en høj grad af videnskabeliggørelse. Dette betyder, at arbejdsprocesserne før produktion og militær aktivitet, det vil sige de teknologiske innovationsprocesser, opnår øget og forandret betydning gennem den teknologiske anvendelse af videnskaben i stor målestok (I 70'erne opgjordes de militære innovationsaktiviteter til at udgøre op mod halvdelen af de samlede globalt set). Denne opsvulmning af åndsarbejdet i forhold til det legemlige arbejde, som finder sted i det 20. århundrede, specielt ef-

ter II verdenskrig, optræder både i de kapitalistiske og i de statsdirigerede økonomier. Den indebærer en skærpelse og en videreudvikling af de tendenser, som ligger i den industrielle revolutions fremmedgørelse. Konsekvensen af den tiltagende grad af videnskabeliggørelse af teknologiudviklingen er en stigende uigennemskuelighed og fremmedartethed af denne. Resultatet er en sammensmeltning af den industrielle revolutions teknologiske fremmedgørelse med den videnskabeligt-industrielle revolutions. Denne fremmedgørelsesform kalder jeg den videnskabeligt-teknologiske fremmedgørelse, og den skygger især for den del af arbejdsprocesserne, som ligger fjernt fra dagligdagen, nemlig de teknologiske innovationsprocesser. De indebærer teknologisk anvendelse af et bredt spektrum af naturvidenskabelige og ingeniørmæssige fag. Hele det skitserede videnskabelig-teknologiske fremmedgørelseslag er formentlig det mest betydningsfulde, og det er ovenikøbet ikke specifikt for kapitalismen, men repræsenterer mere generelt den teknologiske anvendelse af naturvidenskaben i større skala.

Det endelige resultat af den skitserede fremadskridende og lagdelte fremmedgørelsesproces er en uhyre kløft mellem håndens arbejde på den ene side og en naturvidenskabelig-teknisk "kultur" på den anden side. Denne dybe køft indebærer en forkrøbling af almeninteressen overfor de magtfulde særinteresser, som den videnskabelig-tekniske "kultur" arbejder for, og overfor de blinde, upersonlige samfundskræfter, der huserer som en integreret del af teknologiudviklingen.

Den skitserede historiske udviklingsproces har således alt i alt frembragt to hovedkategorier af fremmedgørelse, som hver især er almene, det vil sige herskende fremmedgørelser. Dels den økonomiske fremmedgørelse, som specifikt har med den kapitalistiske økonomi at gøre. Dels den videnskabeligt-teknologiske fremmedgørelse, som har med teknologiens stigende kompleksitet, herunder graden af viden-

skabeliggørelse at gøre. Denne form er ikke nødvendigvis bundet til en kapitalistisk økonomi. En tredje form for fremmedgørelse er imidlertid også væsentlig, når man taler om den moderne teknologiske udvikling. Denne udvikling skal forstås som en oprindelig videnskabsintern proces, som senere er blevet forstærket og cementeret af de beskrevne fremmedgørelser.

Parallelt, men ikke synkront med at arbejdet adskiltes i håndens og åndens arbejde, opsplittedes videnskaben i de "to kulturer": den naturvidenskabelige på den ene side og den humanistiske på den anden. Denne udspaltningsproces, hvis baggrund og nærmere detaljer ikke skal analyseres her, fik som umiddelbar konsekvens, at det humanistiske hensyn til menneskelivet er blevet fraværende som overordnet interesse i den naturvidenskabelige kultur. Den overordnede interesse i menneskelivets optimale udvikling fulgte med humaniora i udspaltningsprocessen og har overvintret der lige siden. Ved den senere begyndende videnskabeliggørelse af teknologiudviklingen var det derfor en naturvidenskabelig "kultur", der var tømt for alle generelle overvejelser af både moralsk og erkendelsesmæssig karakter, som integreredes med den teknologiske "kultur". Til gengæld blev den humanistiske kultur offer for den ovenfor skitserede generelle fremmedgørelsestilstand over for den teknologiske udviklingsproces. En tilstand, der kun er blevet uddybet af det 20. århundredes eksplosive udvikling i det teknisk-naturvidenskabelige åndsarbejde. Hvorved humaniora er blevet alvorligt hæmmet i sin udøvelse af det humanistiske hensyn til menneskelivet.

Ideologier om den teknologiske udviklingsproces.

Eksistensen af de beskrevne fremmedgørelsesmekanismer tilslører karakteren af den teknologiske udviklingsproces, herunder magfulde eliters og blinde sociale kræfters huse-

ren. Resultatet er fordunkling eller direkte usynliggørelse af processer, der er meget væsenlige i skabelsen af det moderne menneskes livsvilkår. Tilsløringen indbyder til den spontane dannelse af ideologier. Denne fordrejede bevidsthed medvirker til, at muligheden for indsigt i den teknologiske udviklingsproces hæmmes yderligere. Endelig forstærkes disse ideologier gennem bearbejdning og udspredning. Hvilket udbygger den bevidsthedsmæssige blokering. Fremmedgørelsen er ideologiernes "glidebane".

Disse ideologier kan opdeles i de samme to grundkategorier som fremmedgørelsestyperne, nemlig herskende ideologier og akademiske ideologier med forbindelse til videnskaberne.

Den generelle fremmedgørelse usynliggør teknologiudviklingen i den forstand, at den fremstår som om, at den er selvbevægende og dermed ikke resultatet af menneskelige handlinger med betemte mål, men hævet over disse. Teknologiudviklingen fremtræder derfor som en ubrydelig naturproces, det vil sige hævet over menneskelige interesser og magtudøvelse. Denne fremmedgørelse har da også fundet sit modstykke i forskellige ideologiske varianter om teknologiudviklingens uafvendelighed og iboende neutralitet overfor menneskelige interesser. Eksempler er henvisningen til "udviklingen" eller "fremskridtet" og forestillingen om, at teknologien hen ad vejen vil løse alle problemer.

Den videnskabelig-teknologiske fremmedgørelse har også usynliggjort teknologiudviklingen på den måde, at det er blevet meget svært at skelne mellem videnskab og teknologi. Dette har blandt andet ført til den teknokratiske ideologis ophøjelse af teknologi til videnskab, hvor teknologiudviklinger, der gavner specifikke særinteresser, legitimeres ved henvisning til den videnskabelige sandhed og objektivitet. Desuden har det ført til ideologien om, at teknologien slet og ret er videnskabens produkt, hvorigennem forskningsbevillinger er blevet legitimeret ud fra en postuleret teknologisk nytte. Flere andre ideologier af

denne art kunne nævnes.

Eksempler på ideologier inden for den akademiske kultur med et vist videnskabeligt anstrøg skal også nævnes. Ideologien om teknologiudviklingen som ubrydelig naturproces har fået sit teoretiske modstykke i den teknologiske determinisme. Ideologikritiske forsøg på at gennembryde fremmedgørelsen har da også ført til opdagelsen af, at teknologiudviklingen tjener bestemte særinteresser. Da disse gennembrudsforsøg har været hæmmet i deres udgangspunkt i at være begrænset til tilgange, der udelukkende hidrørte fra humaniora/samfundsfag, er kløften mellem de to kulturer ikke overskredet. Resultatet har været nye ideologiseringer kendetegnet ved reduktioner som "kapitalistisk teknologi". Den manglende naturvidenskabelig-tekniske indsigt førte her til, at teknologien betragtedes som ren modellervoks for kapitalistisk økonomi og klasseinteresser. Ligesom at andre teknologiudviklingsformende kræfter som f.eks. våbenkapløbet ikke erkendtes. Andre akademiske ideologier kan også nævnes.

Væsentligt er imidlertid, at kritikken af de videnskabelige ideologier er forudsætningen for en potent kritik af den herskende bevidsthed om teknologiudviklingen. Den teknologihistoriske bevidsthed kan kun opbygges gennem formidling af den i praksis forpligtede humanistiske videnskabeligheds indsigter i den teknologiske udviklingsproces. Den humanistisk teknologihistoriske ideologikritik er ikke moralistisk i betydningen appeller til individuel forbedring og oplyste magthavere. Moraliseren uden indsigt er impotent, hvilket også var marxismens kritik af de utopiske socialister, som primært så kapitalismen som et udtryk for ideologisk vildfarelse og umenneskelighed. Humanistisk teknologihistorie fordrer derfor kritisk videnskabelig indsigt i ideologiernes reproduktionsmekanismer, som er karakteriseret ved økonomisk og videnskabelig-teknologisk betinget fremmedgørelse, samt magtgrupperingers særinteressebestemte initiativer.

Teknologihistorisk bevidsthed.

Livsvilkårene i det moderne samfund er som skildret blevet problematiske og ukontrollerbare for menigmand, som følge af den teknologiske udviklings intensitet og fremmedbestemthed. Vi kan ikke længere overtage vores forfædres model for beherskelse af livsvilkårene. Ikke nok med det, fremmedgørelsen overfor den teknologiske udviklingsproces stiller sig i vejen for genvindelse af herredømmet, og i ly af denne fremmedgørelse trives ideologier om teknologiudviklingen, som stikker os endnu en kæp i hjulet.

Afgørende for at bryde denne afmagtssituation er gennem oplysning af mennesket gradvis at opbygge en historisk bevidsthed, der er på højde med kompleksiteten af den moderne teknologiudviklingsproces. Herved muliggøres en bevidst historieskabende praksis og menneskets reelle selvbestemmelse. Indholdet i oplysningsindsatsen er humanistisk teknologihistorie, som det erkendelsesmæssige afkast af en i praksis forpligtet humanistisk videnskabelighed.

Det reelt eksisterende teknologihistoriske fagområde er imidlertid ikke på højde med dette krav. Det er i lighed med den øvrige akademiske kultur underkastet opsplitningen i de "to kulturer". En adskillelse, der er forstærket af det moderne samfunds uddybning af fremmedgørelsen overfor den teknologiske udviklingsproces, som kendetegnes ved et i voksende grad uigennemskueligt præg. Resultat: impotens.

Den naturvidenskabelig-teknologiske gren indenfor teknologihistorifaget er den ældste. Den har altid været præget af en stor naturvidenskabelig-teknisk indsigt. Oprindeligt var teknologihistorie indskrænket til at være en udparcelleret teknikkernes og opfindernes historie. Disse mange individualiserede teknikhistorier har knyttet sig til de enkelte tekniske og ingeniørfaglige discipliner, og repræsenterede forsøget på at etablere fagenes historiske bevidsthed og selvforståelse. Disse historiefaglighedens totale mangel på historisk helhedstænkning og næsten lige

så store mangel på interesse for mennskets livsvilkår set i deres fulde bredde berettiger etiketten: teknikcentreret historieskrevning.

Senere har teknologihistorien udviklet sig fra at være udelukkende udparcellerede teknikhistorier, til i højere grad at inddrage den øvrige samfundshistorie og belyse foholdet mellem teknologi og samfund. Denne udvikling har praktisk talt udelukkende fundet sted i den humanistisk-samfundsfaglige kulturs regi. Meget af den nyere teknologihistorie har imidlertid været afgrænset til at være en økonomihistorisk belysning af forholdet mellem teknologi og samfund. Det gælder dels den statslige forskningsinteresse i samfundsøkonomiens kontrol og optimering. Det gælder for så vidt også efter de marxistiske historieopfattelsers indtog på den danske scene i slutningen af 60'erne og i begyndelsen af 70'erne. Den teknologihistoriske opfattelse har her været primært økonomistisk, sekundært klassekampsdeterministisk. En af udartningerne var blandt andet den førnævnte akademiske ideologi om "kapitalistisk teknologi", som forvekslede teknologiens historiske oprindelse og tilhørsforhold. Samtidigt var videnskabens rolle og den moderne teknologiske innovationsproces oversete områder, hvad angik deres bredere konsekvenser for dannelsen af menneskets livsvilkår i samspillet mellem videnskab, teknologi og samfund. Konsekvenser som i stort omfang overksrider det økonomihistoriske perspektiv. Jeg vil kalde denne i hovedsagen økonomistiske humanisme for den teoretisk blokerede humanisme.

De magtfulde samfundskræfters vedvarende udbygning af det 20. århundredes videnskabelig-industrielle revolution betyder at den blokerede humanisme nu er nået en flaskehals i sin videnskabelige udvikling. En sprængning af denne flaskehals kræver, at de "to kulturer" beriges med hinanden igennem brobygning. Etableringen af en praktisk potent ikke-ideologisk humanisme kræver derfor en syntese af på den ene side de to kulturer inden for teknologihisto-

riefaget, på den anden siden studiet af naturvidenskabernes historie. Sidstnævntes faglighed er analog til den teknikcentrerede historieskrivnings. Denne syntese skal ikke bare være additiv, men overskride sit grundlag. Teknologiudviklingen i det 20. århundrede er så kompleks, at det på det overleverede grundlag er umuligt at forstå, hvorledes vores livsvilkår dannes gennem magtudøvelse og sociale kræfters spil, hvis den teknologihistoriske forskning ikke bliver en totalhistorie. Det vil sige en humanistisk udforskning af samspillet mellem videnskab, teknologi og samfund set i det historiske helhedsperspektiv.

Det historiske perspektiv er nødvendigt. Ikke bare samtidens, men også tidligere perioders samspil mellem videnskab, teknologi og samfund frembyder indsigt i nuets teknologiudvikling og dennes samspil med menneskelivet. Tidligere perioder frembyder den mulighed at studere mere rendyrkede og usammenfiltrede forformer til det moderne komplekse samspil. Et eksempel er 1600-tallets England, hvor en rent erfaringsbaseret teknologiudvikling eksisterer side om side med og isoleret fra en grundvidenskabelig udvikling repræsenteret ved Newton's klassiske mekanik.

Det er imidlertid ikke nok at bringe det teknologihistoriske fagområde på højde med det humanistiske krav om en tilbundsgående kritik af ideologier og fremmedgørelse. Et andet humanistisk krav er oplysningen. Her er den almindelige opdragelse og oplæring som nævnt utilstrækkelig. En målrettet oplysningsindsats, der tager karakter af en generel udbygning af den almene dannelse igennem egentlig uddannelse, er endnu en nødvendig forudsætning for etableringen af en almen teknologihistorisk bevidsthed.

Bevidst historieskabende praksis.

Humanistisk teknologihistorie er således rettet mod at muliggøre den menneskelige selvbestemmelse, den bevidste

historieskabende praksis i form af det bevidste teknologiudviklingsvalg. Denne praksis har to nødvendige ingredienser: humanistisk teknologipolitik og humanistisk teknologivurdering. Humanistisk teknologipolitik er rettet mod at styre eller påvirke teknologiudviklingen, med baggrund i den ikke teoretisk blokerede humanistiske videnskabelighed, ud fra menneskelige mål. Humanistisk teknologivurdering er denne videnskabeligheds fremadrettede undersøgelse af, hvorvidt en given teknologiudvikling fremmer de opstillede målsætninger. Humanistisk teknologipolitik indebærer studier af påvirknings- og styringsmuligheder og adskiller sig dermed fra humanistisk teknologivurdering, der indebærer fremadrettede studier af konsekvenser for menneskelivet. Samtidigt har begge felter måldiskussionen til fælles. Denne måldiskussion handler om, hvad det gode liv og det gode samfund er. Denne diskussion har ingen facitliste, men behøver ikke at foregå ud i den blå luft. Ole Thyssen foreslår menneskerettighederne som en etisk humanistisk ramme for denne diskussion i sin bog "Teknokosmos" (Thyssen, 1985). Derudover er humanistisk teknologihistorie et vigtigt erkendelsesmæssigt fundament for disse målsætningsdiskussioner. Det gælder både de kortsigtede og de langsigtede, utopiske diskussioner. Den teknologihistoriske bevidsthed skal være med til at sikre, at utopierne hverken bliver småligheder eller luftkasteller, men at man kræver intet mindre end det mulige. Tilsvarende kan den humanistiske videnskabelighed også bruges som grundlag for opstilling af mulige teknologiske skræmmebilleder - de såkaldte dystopier, der kan medvirke som vejvisere. Her kan science-fiction være en mulig formidlingsform.

David Dickson modstiller to teknologiske fremtidsvisioner overfor hinanden i sin bog "Alternativ teknologi" (Dickson, 1976), nemlig en dystopi baseret på forlængelse af eksisterende udviklingstendenser og en "grøn" utopi (se tabel 1.1). Her vil jeg erklære mig enig med Dickson's kommentar, nemlig at utopien er "noget idealistisk udfor-

Tabel 1.1 Nogle utopiske karakteristika ved blød teknologi. (Dickson)

	Et samfund med 'hård' teknologi	*Et samfund med 'blød' teknologi*
1	økologisk usundt	økologisk sundt
2	stort energiforbrug	lavt energiforbrug
3	høj forureningsgrad	lav eller ingen forurening
4	brug af forgængelige råvarer og energikilder	kun bestandige råvarer og energikilder
5	kun funktionsdygtig i en begrænset tid	funktionsdygtig til alle tider
6	masseproduktion	håndværksmæssig fremstilling
7	høj specialisering	lav specialisering
8	kernefamilien i centrum	lokale enheder
9	hovedvægt på storbyer	hovedvægt på landsbyer
10	fremmedgørelse fra naturen	integrering med naturen
11	'Gallup-politik'	demokratisk politik
12	de tekniske grænser fastsættes af økonomiske hensyn	de tekniske grænser fastsættes af naturen
13	verdensomspændende handel	lokal handel
14	ødelæggende for den lokale kultur	overensstemmende med lokalsamfundets kultur
15	teknologien åben for misbrug	værn mod misbrug
16	ødelæggende for andre arter	afhængig af andre arters velfærd
17	innovation reguleres af profit og krig	innovation reguleres af behovet
18	vækstorienteret økonomi	stabil økonomi
19	kapitalintensiv	arbejdskraftintensiv
20	centralistisk	decentralistisk
21	fremmedgør gamle og unge	integrerer gamle og unge
22	den almindelige effektivitet øges med større enheder	den almindelige effektivitet øges med mindre enheder
23	funktionsmåden for kompliceret til almindelig forståelse	funktionsmåden forståelig for alle
24	teknologiske uheld hyppige og alvorlige	teknologiske uheld få og ubetydelige
25	kun én løsning på tekniske og sociale problemer	en række forskellige løsninger på tekniske og sociale problemer
26	stærk specialisering i landbruget	dyrkning af flere forskellige afgrøder i landbruget
27	kvantitative kriterier vurderes højt	kvalitative kriterier vurderes højt
29	fødevareproduktionen er en specialiseret industri	alle deltager i fødevareproduktionen
30	de små enheder er helt afhængige af andre	de små enheder er selvforsynende
31	videnskab og teknologi er fremmedgjorte fra det kulturelle liv	videnskab og teknologi er integreret i det kulturelle liv
32	videnskab og teknologi er arbejde for eliten	videnskab og teknologi er arbejde, alle kan udføre
33	stærk adskillelse mellem arbejde og fritid	ringe eller ingen adskillelse mellem arbejde og fritid
34	høj arbejdsløshed	(begrebet anerkendes ikke)
35	de tekniske mål er kun gyldige for en lille del af kloden i en begrænset tid	de tekniske mål er gyldige 'for alle mennesker og til alle tider'

met" - et teknologisk luftkastel. For eksempel er den videnskabeligt-teknologiske udvikling af idag alt for specialiseret og utilgængelig til at videnskab og teknologi kan blive arbejde alle kan udføre (se pkt. 32). Hvilket bestemt ikke bliver mere realiserbart af, at man forestiller sig den almindelige produktionseffektivitet øget, ovenikøbet uden stordriftens fordele (se pkt. 22). Den foreslåede humanisering af teknologien kræver netop en storstilet teknisk-videnskabelig forsknings- og udviklingsindsats, der kræver yderligere specialisering og gør visse fagområder endnu mere utilgængelige. Videnskabens og teknologiens uspecialiserede og alment tilgængelige tilstand kan netop anskueliggøres på baggrund af teknologihistorisk bevidsthed. Man skal så langt tilbage som til 1700-tallets engelske amatørvidenskabsmænd og -opfindere for at finde dette stadie. Allerede ved Niels Bohrs tid i begyndelsen af det 20. århundrede er denne tilstand definitivt forladt. Humanistisk teknologihistories job er som nævnt at modvirke, at den videnskabelig-teknologiske udvikling er fremmedgjort fra det kulturelle liv (pkt. 31). Men af ovennævnte grund er det et luftkastel at forestille sig, at videnskab og teknologi nogensinde skulle kunne integreres fuldstændigt i det kulturelle liv (pkt. 31). Humanistisk teknologihistorie er da også rettet mod at almendanne lægmand til at kontrollere de videnskabeligt-teknologiske eksperter og muliggør en arbejdsdeling mellem eksperter og lægfolk med de fordele det indebærer.

Humanistisk teknologihistorie - en konklusion.

En fremadrettet konklusion må komme med forslag til handling. Betingelsen for at videnskaberne reelt kan overskride fremmedgørelsen mellem de to kulturer er dobbeltkvalificeringen. En og samme person skal derfor have indsigt i på den ene side naturvidenskab og teknologi og på

den anden side humaniora/samfundsfag. Denne dobbeltkvalificering er nødvendig for at både humaniora, teknik og naturvidenskab for alvor kan blive mere humanistisk forpligtede. Adskillelsen mellem de to kulturer står nu som en afgørende flaskehals, der spærrer for yderligere erkendelsesmæssig udvikling.

Når denne flaskehals bliver brudt, vil det være muligt at iværksætte den fornødne teknologihistoriske forskning. Så vil humaniora stå meget bedre rustet til at indfri målet om at oplyse og almendanne folk med en indsigt, der kan muliggøre reel selvbestemmelse og bevidst historieskabende praksis.

Betingelsen for at menneskene mere bredt kan overskride fremmedgørelsen er at oplysningen og almendannelsen fungerer, sådan at vi alle får mulighed for indsigt. Her bliver begrebet uddannelsespolitik vigtigt. For uden et alment uddannelsessystem, som integrerer denne formidlingsindsats, vil toget være kørt for alle dem, som den brede folkeoplysning ikke nåede ud til. I Danmark gælder det både folkeskolen og de 16-19 åriges uddannelser.

Hvor er det så, at den teknologihistoriske forskning først og fremmest skal sætte ind, når dobbeltkvalificeringen er kommet i orden? Som begrundet er det den videnskabeligt-industrielle revolutions konsekvenser for menneskelivet, som det overleverede naturvidenskabs-, teknik- og økonomihistoriske grundlag især har problemer med at forstå. Vigtigt blandt disse konsekvenser står videnskabens meddeterminering af menneskets livsvilkår gennem den videnskabelig-teknologiske udvikling. Jeg har allerede omtalt den videnskabelig-teknologiske fremmedgørelse som konsekvens. En ad-hoc liste af andre væsentlige konsekvenser, som alle overlapper hinanden, er 1) det nærmere indhold af den videnskabelig-industrielle revolutions omstrukturering af arbejdsprocessen i de teknologiske innovationsprocesser. 2) Den højteknologiske udviklings ekstreme krav til ressourcer, herunder videnskabelig-teknisk

infrastruktur og arbejdskraft. 3) Kravet til overordnede planlægningsfunktioner, som går på tværs af den private og statslige sektor. 4) Etableringen af et forandret og mere komplekst sæt af teknologiudviklingsformende kræfter. Hvad der med en forenklet betegnelse kunne kaldes det "videnskabeligt-bureaukratisk-militær-industrielle kompleks". Det var disse fire konsekvenser som J.K. Galbraith var på sporet af i sin bog "Det nye industrisamfund" (Galbraith, 1967) med sit begreb om de teknologiske imperativer. Alle disse fire konsekvenser bliver belyst i det foreliggende arbejde med vægt på den fjerde.

2. DET HØJTEKNOLOGISKE PROBLEM.

2.1 Højteknologiens udvikling som empirisk fænomen.

Den videnskabeligt-industrielle revolution karakteriserer en historisk proces, som siden slutningen af 1800-tallet har omformet mennskelivets vilkår over en bred front. Denne er også blevet karakteriseret med begreber som den videnskabeligt-tekniske revolution, forskningsrevolutionen, opkomsten af nationale FoU-systemer og den højteknologiske revolution (Freeman, 1982 (2), s. 15-18). Disse begreber hæfter sig ved forskellige træk ved den videnskabeligt-industrielle revolution. Den videnskabeligt-industrielle revolution har generelt været karakteriseret af en

- sammensmeltning af videnskab og teknologi i massemålestok.

- brat stigning i indsatsen til teknologisk innovation (FoU-aktiviteter), som institutionaliseres i nationale FoU-systemer.

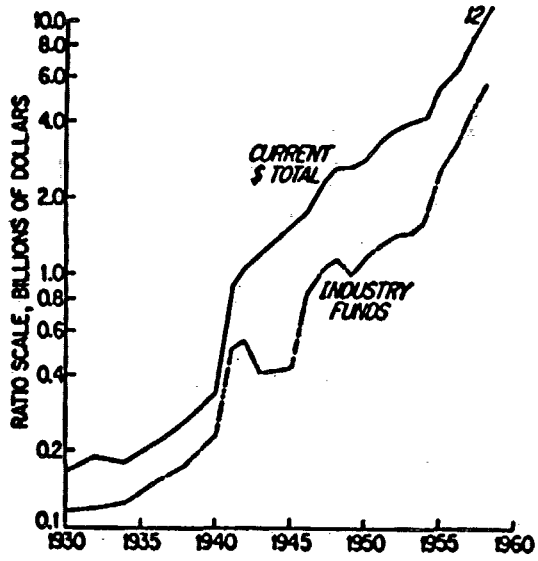
- brat stigning i produktion af videnskabelig-teknisk arbejdskraft.(uddannelseseksplosion)

- bevægelse mod stigende grad af automation.

- storstilet statslig involvering.

Leonard Silk illustrerer forskningsrevolutionen (dvs. den bratte stigning i FoU-indsats) i USA i figur 2.1

Figur 2.1. Statslige og private udgifter til FoU i USA, 1930-60 (Silk, 1960, s.159).



På internationalt plan har denne udvikling strakt sig fra slutningen af 1800-tallet, og har fra sin start været forbundet med opkomsten og udviklingen af betydelige videnskabsrelaterede industrier. Først med fremkomsten af den kemiske industri under hvad Mandel betegner som den 1. teknologiske revolution i sidste halvdel af det 19. århundrede. Dernæst med fremkomsten af elektroindustrien under den 2. teknologiske revolution frem til II verdenskrig. Endelig under den 3. teknologiske revolution fra II verdenskrig og frem med fremkomsten af en række nye industrier elektronik/computere, professionelt/videnskabeligt udstyr, visse grene af den kemiske industri, jetfly/missiler (aerospace) og a-kraft. Disse industrier betegnes sædvanligvis som de højteknologiske. (Freeman, 1982 (2), s. 19) De kan dermed forstås som udtryk for det hidtidige højdepunkt af den videnskabelig-industrielle revolution. De højteknologiske industrier er langt overvejende strategiske produktioner for private eller/og statslig-militære interesser. (Freeman, 1982 (2), s. 15-19)

Højteknologi er ikke et veldefineret teoretisk begreb, men snarere et af vor tids modeord med et væld af forskellige nuancer i betydningen - fra de mere ideologiske og overfladiske til de mere empirisk-analytiske, men stadigvæk i det store og hele ateoretiske. Der er dog ikke tale om nogen decideret divergens i betydningsættet. Alle betydninger kredser, som vi vil se herunder, om den samme kerne. Dette kunne antyde, at der i begrebet skjulte sig en egentlig teoretisk substans, som vil afsløre sig ved nærmere analyse.

Ofte udnævner enkeltindustrier eller -virksomheder sig som "højteknologiske", som led i den ideologiske krigsførsel mod andre erhverv. Hensigten er her at påpege, at de i særlig grad er "fremtidsbrancher eller -virksomheder" og derfor fortjener statsmagtens politiske og økonomiske bevågenhed. Denne betydning er den mest overfladiske.

Et eksempel på en betydning med mere empirisk indhold er, når begreberne "teknologi", "avanceret teknologi" eller "højteknologi" anvendes til at skelne de erhverv, som afhænger af mere formelle videnskabelige teknikker, fra de ældre håndværksmæssige erhverv. (Freeman, 1982 (2), s. 15-16)

Et andet eksempel på en tilgang med mere empirisk indhold er begrebet om en "højteknologisk branche". Herved forstås, at branchens produkter og processer indeholder meget nyudviklet teknologi og know how, og at branchen i øvrigt er en vækstbranche. (Jørgensen, 1986, s. 114)

Et tredje og sidste eksempel på en empirisk definition af højteknologiske industrier er de produktionsgrene, der er karakteriseret ved

a) en højere indsats af FoU, og

b) en hurtigere ændring af den anvendte teknologi

end gennemsnittet for den samlede industri (Christensen, 1986, s. 15). Problemet med de to sidste definitioner er, at de for så vidt er ahistoriske, idet den kun underforstået afgrænser sig til tiden efter II verdenskrig. Denne præcisering må derfor med. Det må dog tilføjes, at de opstillede parametre spreder stærkt indenfor de enkelte industrigrene, ligesom der også spredning de højteknologiske industrier imellem.

Alle disse definitioner indfanger hver på sin måde karakteristiske træk ved de samme moderne teknologiske udviklingsprocesser. Som opsamling af disse træk kan man uddestilere en højteknologisk "etiket", som består af følgende fire ydre empiriske kendetegn: Den højteknologiske udvikling er karakteriseret ved

1) relationen til et videnskabeligt grundlag

2) at være en ekspansiv industri

3) en overgennemsnitlig innovationsindsats

4) en overgennemsnitlig teknologiudviklingshastighed

Halvlederindustrien (the semiconductor industry), som er emnet for dette arbejde, har opfyldt den højteknologiske "etiket" siden sin spæde opstart i begyndelsen af 1950'erne. Men ikke nok med dette. Den halvlederteknologiske udvikling har i den betragtede periode (frem til 1980) ligget i den øvre ende, hvad angår FoU-indsats (eller rettere FoU-intensitet) og teknologiudviklings-hastighed sammenlignet med de øvrige højteknologiske industrier. I 1978 er FoU-indsatsen anslået til at udgøre 5,8 % af salgsværdien i halvlederindustrien (se tabel 2.1).

Tabel 2.1: Omkostningsbyrden ved FoU i USA i 1978 (Ernst, 1983, s.65).

	R & D outlays as percentage of sales (%)	R & D outlays as percentage of profits (%)
National average	1.9	43.4
High-technology average	4.0	65.4
Aerospace	3.7	93.0
Electronics (general)	2.6	56.1
Data processing	6.0	54.8
Instruments	3.9	69.9
Semiconductor	5.8	102.3
Telecommunications	1.9	16.1

Tilton har anslået FoU-intensiteten til at være 6-10 % af industriens salgsværdi i 1965. Tidligere i industriens historie, hvor salgstallene lå endnu lavere, var denne procentsats endnu større, omkring 18 % i 1959 og så meget som 27 % i 1958. (Tilton, 1971, s. 61) Disse anslåede tal er selvfølgeig behæftet med stor usikkerhed, men tjener til at understrege den overgennemsnitlige innovationsindsats. Endelig fremhæver Tilton og Hazewindus den ekstraordinært høje teknologiudviklingshastighed, der har kendetegnet halvlederindustrien i hele dens historie (Tilton,1971, s. 64) (Hazewindus, 1982, s. 15).

Et mere bredt billede af fordelingen af FoU-indsats på forskellige erhverv i USA er givet i tabel 2.2. Her optræder halvlederindustrien ikke særskilt, men som undergruppering til elektroniske komponenter. Her fremtræder erhverv som jetfly/missiler, computere, medicinalindustrien, elektroniske komponenter, videnskabeligt udstyr og elektronikindustrien som helhed som særligt FoU-intensive. Her er så det problem, at optællingsmåden er utidssvarende pga. elektronikteknologiens hastige udvikling og gennemtrængning af andre erhverv. F.eks. figurerer computerindu-

strien under maskinindustrien, selv om den i realiteten er en del af elektronikindustrien. En sammenligning af fordelingen af FoU-indsatser forskellige store industrinationer imellem er anført i tabel 2.3. Her fremtræder de højteknologiske industrier tydeligt.

Efterkrigstidens højteknologiske udvikling er dermed et yderst sammensat empirisk fænomen, som er fordelt på mange forskellige industrier og med flere forskellige involverede aktører. En udforskning af den højteknologiske udviklings eventuelle generelle væsenstræk kræver derfor en afgrænsning.

Tabel 2.2 United States resources for research and development by industry (US$ million, 1978 and numbers of scientists and engineers) (Freeman, 1982 (2), s. 20-21)

Industry	*Total R & D US$ million*	*Total R & D % net sales*	*Company-financed R & D*	*Federal-funded R & D*	*Full-time equivalent R & D scientists and engineers (thousands)*			
					1958	*1978*	*1981*	*1978 per 1,000 employment*
Food and kindred products	428	0.4	..	..	4.8	7.5	7.5	8
Textiles and apparel	86	0.4	..	..	0.8	1.8	1.7	3
Lumber, wood products	136	0.7	136	Nil	0.8	2.2	2.3	6
Paper and allied products	394	1.0	..	..	1.7	7.3	8.2	13
Chemicals and allied products	3,598	3.6	3,232	365	31.0	49.4	52.8	42
Industrial	1,835	3.5	1,488	347	18.8	21.8	22.1	39
Drugs and medicines	1,282	6.3	..	..	5.1	19.9	21.1	63
Other chemicals	481	1.8	..	..	7.1	7.6	9.6	25
Petroleum refining	1,071	0.8	952	119	7.4	10.8	13.4	20
Rubber products	485	1.9	..	..	4.7	..	..	18
Stone, clay and glass	330	1.3	..	..	..	5.3	..	13
Primary metals	546	0.6	518	28	5.2	8.2	8.2	7
Ferrous	263	0.5	258	5	3.0	3.7	3.6	5
Non-ferrous	283	0.9	260	23	2.2	4.5	4.6	13
Fabricated metal products	397	1.1	360	37	8.3	7.5	9.3	11
Machinery	4,469	5.0	3,875	594	27.4	62.9	65.3	38
Office, computing etc.	3,129	11.7	2,577	552	..	42.9	46.1	76
Other machinery	1,340	2.1	1,300	42	..	20.0	19.2	38
Electrical equipment	6,739	6.2	3,769	2,970	47.9	89.2	105.8	40
Radio and TV	54	1.1	54	Nil	..	1.0	1.0	14
Electronic components	838	6.6	..	..	} 22.3	..	..	51
Communication equipment	3,251	7.7	1,887	1,364		43.2	51.2	46
Other electrical	2,596	5.3	..	..	25.6	30.2	33.7	32
Motor vehicles	3,782	3.3	3,333	449	} 15.0	33.5	30.4	24
Other transport equipment	131	1.4	..	..		2.0	1.2	14
Aircraft and missiles	7,700	12.3	1,863	5,837	58.7	88.6	96.1	87
Professional and scientific instruments	1,723	6.1	1,529	194	10.2	24.2	27.0	44
Scientific instruments	475	5.8	450	26	5.8	9.0	11.0	47
Optical, medical, photographic	1,248	6.2	1,080	168	4.4	15.2	16.3	43
Other manufacturing	280	0.7	272	9	} 17.8	4.9	5.0	8
Non-manufacturing	1,094	..	594	500		16.4	20.9	17
TOTAL	33,400	3.1	22,098	11,302	234.8	427.8	469.9	28

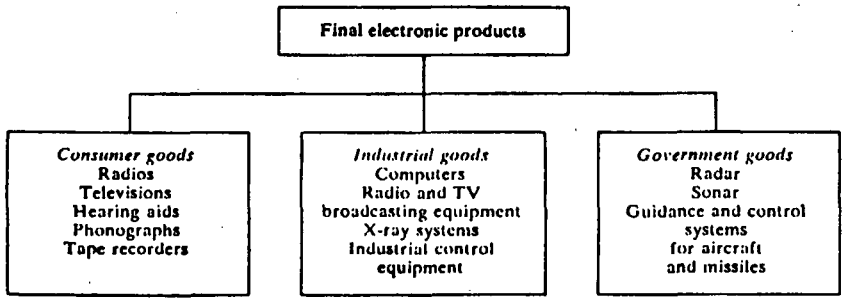
Tabel 2.3 Concentration of industrial R & D by sectors in major OECD countries: share of the engineering industries in total industrial R & D during the 1970s (% of total) (Freeman, 1982 (2), s. 22)

		United States		Japan		Germany		United Kingdom		France	
		1970	*1979*	*1970*	*1979*	*1969*	*1977*	*1969*	*1978*	*1970*	*1978*
Aerospace		28.9	22.3	..	..	7.0	7.2	23.1	18.3	20.5	17.1
Electrical		8.6	7.3	10.9	10.1	..	..	5.2	4.0	..	3.7
Electronics		14.8	12.8	13.9	13.2	..	..	15.5	20.1	..	20.4
	Sub-total	23.4	20.1	24.8	23.3	28.1	26.2	20.6	24.1	21.2	24.1
Instruments		4.1	5.4	2.3	2.9	1.5	1.2	2.5	1.5	1.1	1.3
Machinery		9.6	5.1	8.8	7.0	} 7.6	} 12.5	7.1	4.7	5.9	3.6
Computers		..	9.5	2.8	2.8			3.4	6.2	5.4	4.7
	Sub-total	13.7	18.9	13.9	12.6	9.1	14.1	13.0	12.3	12.3	9.6
Motor Vehicles		..	11.7	9.5	14.0	14.7	11.8	7.2	5.6	9.7	12.0
Shipbuilding		..	..	} 2.0	2.5	..	0.1	0.7	0.8	0.1	..
Other		..	0.4		0.2	..	0.2	0.0	..	0.1	0.4
	Sub-total	8.8	12.1	11.5	16.7	14.8	12.2	7.9	6.4	9.9	12.4
Percentage of total BERD		74.8	73.4	50.2	52.6	59.0	59.7	64.6	61.1	63.9	63.2

BERD = Business Enterprise Research and Development

2.2 Genstandsområdets relevans.

Dette projekts empiriske genstandsområde er en meget central del af efterkrigstidens højteknologiudvikling, nemlig den halvlederkomponent-teknologiske udvikling. Halvlederkomponent-industrien har leveret "råstoffet" og de teknologiske mulighedsbetingelser for elektronikindustriens kraftige opblomstring fra krigen og frem til idag. Det har drejet sig om halvlederkomponenter som transistorer, logiske kredse og mikroprocessorer osv. Halvlederkomponentindustrien har derfor også leveret en væsentlig del af de teknologiske mulighedsbetingelser for den invasion af elektroniske apparaturer, vi fra da af har oplevet i vores tilværelse. Denne invasion kan bedst illustreres ud fra elektronikkens anvendelser. Disse kan opdeles i flere dele: forbrugerelektroniske anvendelser, f.eks. audiovisuelt udstyr, regnemaskiner, digitalure; industrielle anvendelser, f.eks. numerisk styrede værktøjsmaskiner; militære anvendelser, f.eks. kommando- og kontroludstyr, præcisionsstyrede våben; videnskabelige anvendelser, f.eks. måleudstyr og professionelle computere; og meget andet.



Elektronikken kan opdeles i to hovedkategorier: analog og digital elektronik. Disse to hovedkategorier følger ikke elektronikkens anvendelsesområder, men går på tværs gennem

alle de fire nævnte delområder. Vigtigt er imidlertid, at med udviklingen af de integrerede kredse og fremover med mikroprocessoren er den digitale elektronik blevet den altoverskyggende teknologi i betydningsfuldhed. Dette skyldes dens efterhånden reelle sammensmeltning med computerteknologien, som er blevet meget betydningsfuld. Den storstilede udvikling, produktion og anvendelse af halvlederkomponenter har med strukturen af elektronikkens erhvervsmæssige anvendelser i baghovedet derfor haft overordentlig stor betydning for menneskelivet på adskillige uhyre centrale områder.

Dels har tiden efter II verdenskrig været kendetegnet ved en fortløbende forandring af de industrielle produktioner, hvor automationen indføres eller udbygges ved hjælp af elektronikken. Dette er det centrale kendetegn ved, hvad Mandel har betegnet som den 3. elektroniske revolution. Forbundet med denne udvikling er afstivningen af de industrielle økonomier, stigningen i levestandard og 70'ernes og 80'ernes arbejdsløshed som betydlige konsekvenser for menneskelivet.

Dels har tiden efter II verdenskrig været kendetegnet ved en fortløbende forandring af våbenteknologierne gennem våbenkapløbet mellem supermagterne. Dette kapløb har gjort ved krigsførsel, hvad den industrielle automation har gjort ved de industrielle produktioner. Dette kapløb er realiseret ved hjælp af elektronikken. Centralt i denne udvikling står frembringelsen af kernevåbenbærende missiler, som ikke kunne tænkes uden halvlederelektronik blandt andet i styringscomputerne, der sikrer præcision, hvad angår målområdet. OECD anførte i 1968 at 42% af prisen for et missil udgøres af elektronikken, hvorimod M. Kaldor i 1982 anslog 2/3 af prisen (OECD, 1968, s. 57)(Kaldor, 1982, s. 72). Halvlederelektronikken har derfor bidraget afgørende til forandringen af den konventionelle krigstrussel til en dommedagsagtig krigstrussel med de betydningsfulde konsekvenser, det har haft for mennskelivet.

På forbrugerområdet har elektronikudviklingen efter krigen haft overordentlig stor betydning. Først og fremmest telekommunikationsmetoder af enhver art fra satelliter til telefoner, men også audioudstyr som f.eks. Hi-Fi anlæg er blevet udbredt. På det seneste har computerne også holdt deres indtog i hjemmet.

Endeligt har halvlederelektronik-udviklingen også været en central del af den forskningsrevolution og uddannelseseksplosion, som for alvor åbenbaredes i de industrielle økonomier efter krigen. Adskillige videnskabelige og teknologiske discipliner kunne ikke tænkes uden tilgang til slagkraftige computere.

Med henblik på elektronikkomponent-udviklingens altovergribende betydning for menneskets livsvilkår efter II verdenskrig og formentlig også fremover er ideologikritik i forhold til opfattelser af dennes væsenstræk yderst central i et forsøg på at oparbejde en teknologihistorisk bevidsthed, som baggrund for en eventuel historieskabende praksis.

2.3 Opfattelser af den moderne teknologis udviklingskræfter.

Opfattelser af de teknologiformende kræfters karakter i den moderne højteknologiske udvikling fordeler sig over et bredt spektrum. Dette spektrum kendetegner teknologihistorieskrivningen som helhed, og fremtræder blandt andet i det internationale teknologihistoriske tidsskrift "Technology and Culture". Diskussionen har her udspændt et spektrum fra rent internalistiske til rent eksternalistiske forståelser. Den internalistiske forståelsesramme opfatter teknologihistoriens udviklingskræfter som den teknisk-videnskabelige udviklings egendynamik. Den eksternalistiske opfatter teknologihistorien som givet af sin socio-kulturelle kontekst. Dermed menes, at teknologiudviklingen an-

ses for at være udelukkende af økonomisk, social, politisk og/eller ideologisk art. Imellem disse to forståelsesmæssige ekstremer findes alle tænkelige mellemformer - med en samlebetegnelse kaldet kontekstualisme. Denne søger at forene den eksternalistiske tilgang med den internalistiske og forstå forholdet mellem disse, og på dette spørgsmål gives der mange svar. (Rerber, 1986)

Jeg vil i det følgende give betydningsfulde eksempler på basale teknologihistoriske forståelser placeret forskellige steder på internalisme/eksternalisme-skalaen, alle med relevans for den moderne højteknologiske udvikling.

Det første eksempel er den nuværende fremherskende ideologi om den teknologiformende proces - den teknologiske determinisme. Denne kendes fra hverdagsbevidstheden blandt andet som henvisningen til "udviklingen". Teknologisk determinisme forefindes også udbredt som teoretisk ideologi. Denne indebærer at teknologiudviklingen ses som autonom, det vil sige som selvskabende proces. Teknologideterminismen er derfor en rendyrket internalistisk teknologiudviklingsforståelse. Franskmanden J. Ellul er et eksempel på en moderne teoretiker, som står for dette synspunkt. Han udtaler om den moderne teknologiudvikling:

> "Idag er teknikken nået til et sådant punkt i sin udvikling, at den omformes og udvikler sig videre uden nogen menneskelig indgriben af afgørende betydning." (Elliot, 1979, s. 95)

Den skitserede teknologideterministiske ideologi er netop resultat af den moderne teknologiudviklings skærpelse af fremmedgørelsen - både internt i den teknologiske udviklingsproces og eksternt. Teknologiudviklingen fremstår, som om den ikke var resultatet af menneskelige handlinger og derved som værdifri, dvs. hævet over menneskelige interesser. Der er dog den kerne af sandhed i den teknologiske determinisme, at eksisterende teknologi er en væsent-

lig forudsætning for ny teknologi. Den overleverede teknologi tilvejebringer et modificerbart grundlag af viden, komponenter, teknikker og processer, der kan videreudvikles i frembringelsen af nye teknologier under eventuel anvendelse af videnskaben. Denne videreudvikling sker imidlertid ikke af sig selv, men følger bestemte retningsgivende mål opstillet af specifikke særinteresser. (MacKenzie, 1985, s. 2-25)

Som tidligere nævnt har ideologikritiske forsøg på at gennembryde fremmedgørelsen, da også ført til opdagelsen af, at teknologiuduviklingen tjener bestemte særinteresser. Disse gennembrudsforsøg har imidlertid været hæmmet af deres ensidigt humanistisk-samfundsfaglige udgangspunkt, uden tilsvarende fodfæste i den teknisk-naturvidenskabelige kultur. Resultatet har været nye ideologiseringer, idet man er røget ud i den strengt eksternalistiske grøft og kastet internalismens erkendelser over bord.

Det andet betydningsfulde eksempel på en basal teknologihistorieopfattelse er da også en humanistisk, akademisk ideologi. Denne forståelse af den teknologiformende proces har i hvert fald ind til for nylig været fremherskende som fortolkning af Marx'es kapitalanalyse herhjemme. Kritik af denne anser jeg for vigtig, da jeg anser kapitalanalysen, som det mest frugtbare udgangspunkt for en humanistisk kritik af teknologiudviklingen. Den i 70'erne og vel også i 80'erne udbredte tyskinspirerede marxisme har generelt været kendetegnet ved en ganske bestemt deterministisk teknologihistorieforståelse, der har set den moderne teknologiudvikling som eksklusivt formet af kapitalen, der har erstattet mennesket som det herskende subjekt i arbejdsprocessen. Kapitalen har som altovergribende ekstern instans været den størrelse man har forklaret teknologiers og produktionsprocessers strukturering ud fra. Når man kikker de marxistiske fortolkninger nærmere efter i sømmene, ser man, at der har været forskel på hvor kapitaldeterministiske de har været, og at der generelt er sket en

opblødning med tiden. Den ortodokse identitetslogiske opfattelse af teknologiudviklingen så teknologien som fuldstændigt gennemstruktureret af en eneste kraft, nemlig kapitalen, og gav ikke plads for andre teknologiformende kræfter af nævneværdig betydning. Denne forestilling førte til det strengt eksternalistiske begreb "kapitalistisk teknologi". Et eksempel er J.H. Mendner's bog: "Teknologisk utveckling i den kapitalistiska arbetsprocessen" fra 1976, som åbnede op for kapitaldeterministiske fortolkninger. Hos denne forfatter opfattedes den teknologiske udvikling som et integreret moment i kapitalens bevægelse:

> "Den teknologiska utvecklingens begreppsliga hærledning, som moment i de samhælleliga produktivkrafternas utveckling, sker på nivån 'kapital i almenhet' genom analysen av dess inre sammanhang med den relative kapitalførmeringens process... På denna abstraktionsnivå ær sjælva den teknologiska utvecklingen bare ett moment i totalkapitalets objektiva røre-lse" (Mendner, 1976, s. 34)

En lille smule mindre deterministisk variant, der senere er blevet fremherskende på hjemmefronten, åbner op for eksistensen af en anden faktor i forståelsen af arbejdsprocessens udvikling. Denne faktor er teknologiudviklingens "civilisatoriske tendens". H.J. Thomsens efterskrift fra 1976 i bogen "Teknologi og kapital" kan på mange måder opfattes som repræsentativt for denne nyere kapitalanalytiske fortolkning af teknologihistorien. I denne form for teknologihistorisk bevidsthed tillades kun to specifikke forklaringsvariable:

> "en forståelse af arbejdsprocessernes udvikling under kapitalistiske produktionsforhold er utilstrækkelig, hvis den behandler denne udvikling som en proces, der er begrundet alene i arbejdsprocessuale

> nødvendigheder og tendenser. Og hvorfor? Ganske enkelt fordi denne udvikling er materielt og strukturelt meddetermineret af det kapitalistiske værdiøgningsimperativ. På den anden side ville udviklingen heller ikke være fuldt ud begrebet, hvis den slet og ret reduceredes til dette værdiøgningsimperativ. Og hvorfor? Fordi den også indeholder en civilisatorisk tendens, som ville blive overset i en sådan reduktion." (Thomsen, 1976, s. 62)

Teknologiudviklingens civilisatoriske tendens forstår H.J. Thomsen som 1) at den nødvendige arbejdstid reduceres til et minimum og dermed baner vej for øget fritid og individuel udfoldelse, 2) udviklingen af menneskets behov, teknologiske/videnskabelige kvalifikationer, evne til nydelse osv., og 3) opdagelsen og anvendelsen af naturkræfterne, styring af disse etc. (Thomsen, 1976, s. 65)

Selv om eksistensen af denne anden faktor i strukturering af den teknologiske udviklingsproces tillades, så forlades princippet om kapitalen som den eksklusivt altdominerende faktor ikke, ligegyldigt om der er tale om avanceret teknologi eller ej. Den rendyrkede kapitaldeterministiske teknologihistorieforståelse opblødes kun yderst svagt:

> "Vi har antydet forandringens karakter ved at sige, at arbejdsredskaberne bliver til teknik/teknologi. Overfor arbejdskræfterne er der tale om en selvstændiggørelse af arbejdsredskabernes strukturer: de organiseres ikke længere ud fra enkeltsubjektive målsætninger, men ud fra værdiøgningens fundamentale målsætning." (Thomsen, 1976, s. 63)

> "Hele menneskets forhold til naturen er mærket af underordningen under en abstrakt værdirationalitet. Produktskabelsen og produktplanlægningen bærer helt ned i deres mindste detalje præg af den samfundsmæssige logik, der har skabt og udviklet dem i deres avancerede teknologiske former." (Thomsen, 1976, s. 79)

Dette overvejende kapitaldeterministiske syn på teknologiudviklingen og mere generelt den samfundsmæssige helhed fører da også til en unuanceret og stærkt overbetonet generalisering af kapitalens tilrettelæggelse af menneskets materielle omgivelser i almindelighed. Kapital- og teknologideterminismen får derfor begge som konsekvens, at teknologiudviklingen kommer til at fremstå som om den ikke var resultatet af menneskelige handlinger. Derved går den marxistiske humanisme reelt tabt.

Vi har altså med en kapitalanalysefortolkning at gøre, som ikke erkender andet end kapitalen og en marginal restfaktor: den civilisatoriske tendens, som de teknologiformende kræfter i de udviklede kapitalistiske økonomier. Denne to-faktorielle opfattelse, som i realiteten er enfaktoriel og kapitaldeterministisk, giver især problemer ved analysen af den moderne højteknologiske udvikling som staten er kraftigt involveret i som ekstern størrelse. Den højteknologiske udvikling, der blandt andet er kendetegnet ved sin overgennemsnitlige innovationsaktivitet og teknologiudviklingshastighed, er langt mere mangfoldig i sine teknologiformende kræfter. Værdiøgningskravet udgør her blot en af flere selektionsprocesser i frembringelsen af nye teknologier igennem den teknologiske innovationsproces, hvis det da ikke reelt sættes ud af spillet af andre langt stærkere kræfter som for eksempel staten.

Både teknologi- og kapitaldeterminismen er derfor utilstrækkelige. Højteknologiudviklingen skal derfor i stedet forstås ud fra en <u>kontekstualistisk</u> tilgang, som forener

de erkendelser, der trods alt er vundet med det internalistiske og eksternalistiske perspektiv, samtidigt med at den åbner op for nye erkendelser. En sådan ny erkendelse er blandt andet mangfoldigheden af de teknologiformende kræfter.

Det tredje eksempel er derfor en egnet grundlæggende kontekstualistisk forståelsesramme for analysen af den moderne højteknologiske udvikling. I løbet af 70'erne udviklede enkelte økonomer en forståelse af teknologisk forandring som en proces, der har både retning og hastighed. Disse to væsenstræk ved teknologiudviklingen tildeles denne af dynamiske udviklingskræfter, som både kan være af intern teknisk-videnskabelig og ekstern socio-kulturel art. De interne udviklingskræfter kan benævnes som "teknologiske imperativer" og de eksterne som teknologiudviklingens "selektive miljø". Diskussionen drejer sig derfor ikke uventet om, hvorledes de interne kræfter skal vægtes i forhold til de eksterne. (Rothwell, 1985, s. 66-68)

Det er da også blandt andet denne diskussion, jeg vil lægge op til med dette arbejde, specielt med henblik på etableringen af en dybere forståelse af halvlederteknologiens og mere generelt højteknologiens udvikling. Begrebsættet "retning" og "hastighed" bliver her særligt relevant som empirisk indgang, idet højteknologiens udvikling som nævnt fænomenologisk er karakteriseret af blandt andet en overgennemsnitlig teknologiudviklingshastighed.

Forestillingen om de "teknologiske trajektorier" (banekurver), som jeg især vil knytte an til, betoner i særlig grad de teknologiske imperativer som dynamiske udviklingskræfter i teknologiudviklingen. Her anser man, at en væsentlig fremaddrivende kraft, der tildeler den teknologiske udviklingsproces retning og hastighed, er paradigmatiske forbilleder for teknologiske løsninger. Denne forklaringsmodel fokuserer i særlig grad på en idealistisk fiksering på bestemte efterstræbelsesværdige standardmetoder til at finde nye tekniske resultater. I ekstreme tilfælde

af denne forståelsesramme bliver disse standardmetoder eller basale innovationer retningsgivende teknologiudviklingsdynamik i sig selv, som avancerer kumulativt uanset de praktiske mål eller markeder, der eksisterer i den socio-kulturelle kontekst. (Rothwell, 1985, s. 66-68)(Mackenzie, 1985, s. 8-13)

I dette arbejde vil jeg underbygge en anden kontekstualistisk opfattelse, som i højere grad betoner det eksterne socio-kulturelle miljø som teknologiformende kraft. I denne opfattelse ses de basale teknologiske innovationer eller standardmetoder, der karakteriserer en given teknologiudviklingsvej, ikke som opretholdt af en idealistisk fiksering på efterstræbelsesværdige metoder. I stedet ses de som teknologiske gennembrud, der sprænger forhindringer eller åbner flaskehalse for opnåelsen af givne socio-kulturelt opstillede målsætninger. Det basale teknologiske gennembrud åbner således en passage i en ellers vanskeligt passerbar barriere. Dette nyskabte pas åbner op for et afgrænset mangedimensionalt teknologisk mulighedsrum. De teknologiformende kræfter afgør 1) hvilke udviklingsretninger, der skal følges i dette, og 2) med hvilken hastighed de skal følges. Disse overvejelsers analogi med elementer af den klassisk mekaniske fysik har ført mig til at opstille følgende begrebslige ramme.

Teknologiudviklingsprocessen er en vidensopbygnings- eller søgeproces, som er rettet mod udvidelse af de teknologiske kapabiliteter i bestemte retninger. De teknologiformende kræfter, som har retning og styrke og som almindeligvis er systematisk virkende over en længere periode, tildeler denne søgeproces en given retning og hastighed.

Denne betragtningsmåde er forenelig med en basal marxistisk-humanistisk forståelse, som jeg netop ønsker at bygge videre på som teoretisk udgangspunkt. Kapitalanalysen anfører netop, at der i en kapitalistisk økonomi eksisterer en grundlæggende socio-kulturel teknologiformende kraft - de oparbejdede teknologiske kapabiliteter skal re-

alisere profitable produktionsprocesser. Denne tilgang skal imidlertid kompletteres med, at der sideløbende med værdiøgningskravet også eksisterer andre teknologiformende kræfter repræsenteret ved forskellige aktører som staten, de bredere afsætningsmarkeder, strejke- og protestbevægelser, magtfulde brugere og teknologianvendere i det hele taget. Som vi vil se længere fremme i dette arbejde, så kan værdiøgningskriteriet reelt sættes ud af spillet af magtfulde brugerinstanser. Igennem massive kapitaltilførsler kan staten ved "kunstig" tilfredsstillelse af værdiøgningskriteriet gøre ellers uprofitable teknologiske innovationer profitable.

Mine intentioner er derfor dels at underbygge ovennævnte socio-kulturelt orienterede kontekstualistiske opfattelse af den højteknologiske udvikling, dels at belyse denne udviklings væsenstræk gennem undersøgelsen af halvlederkomponent-teknologiens udvikling som centralt eksempel. Som praktisk afgrænsning har jeg valgt at analysere denne teknologihistoriske udvikling frem til 1980. Denne tidsmæssige afgrænsning er særlig velegnet, da den halvlederteknologiske innovationsproces netop i hovedsagen er lokaliseret i en eneste nation (USA) i den pågældende periode. Dette gør analysen af den pågældende teknologiformende proces særlig simpel. Min problemformulering bliver da:

1) Kan den halvlederteknologiske udviklingsproces forstås som bevæget af <u>teknologiformende kræfter</u> med <u>retning</u> og <u>styrke</u>, der tildeler søgningen efter innovationer et bestemt <u>forløb</u> med given <u>retning</u> og <u>hastighed</u>?

2) Hvilken grundlæggende <u>kontekstualistisk</u> betragtningsmetode kan begribe halvlederteknologiens udvikling - en der lægger vægt på interne "teknologiske imperativers" betydning eller en der lægger vægt på det eksterne "selektive miljø"?

3) a) Hvilke dybereliggende forhold gør, at den halvlederteknologiske udvikling empirisk kan etiketteres som <u>højteknologisk</u>?
b) Mere alment - har højteknologibegrebet nogen dybereliggende <u>substans</u>?

2.4 Undersøgelsens metode.

Mit problem er kort fortalt at afdække de teknologiformende kræfters selektionsaktiviteter. Den halvlederteknologiske udvikling kan delvis tilskrives mange småinnovationer, men en god del af udviklingen kan tilskrives større innovationer (Tilton, 1971, s. 15). Disse hovedinnovationer er kendetegnet ved stor økonomisk og teknisk betydning.(Golding, 1971, s. 65-67) Herved har de fået betydelige konsekvenser for menneskets tilværelse på mange forskellige planer.

Som metode har jeg valgt at undersøge, hvilke kræfter som selekterede netop disse centrale opfindelser og drev dem frem til et stadium, hvor de blev teknisk og økonomisk betydningsfulde. Man kan sige, at jeg historisk undersøger, hvorledes de med bagklogskaben set betydningsfulde teknologiske nyudviklinger blev <u>gjort</u> betydnings- og succesfulde.

Problemet med denne analysemetode, dvs. ved kun at undersøge de succesfulde innovationsprocessers historie, er, at jeg i et vist omfang ser bort fra den del af de innovationsformende kræfters aktivitet, som resulterede i mindre betydningsfulde innovationer, og i at opfindelser aldrig blev realiseret som eventuelt betydningsfulde innovationer. Den innovationsforhindrende proces optager en stor del af selektionsaktiviteterne, og ikke-innovation kan jo også være særdeles betydningsfuld for menneskets livsvilkår.

Imidlertid er det en ganske uoverskuelig opgave detaljeret at undersøge alle de processer, som enten førte frem til innovationer af mindre betydning eller, som blev afbrudt undervejs. Disse processer udgør en omfattende underskov til de forholdsvis få overordentlig succesfulde innovationer indenfor halvlederteknologien. Christopher Freeman anfører, at den konventionelle "visdom" i de industrielle erhverv refererer til en succes-rate på 1 ud af 10 FoU-projekter eller endda 1 ud af 100, og det er endda kun "succes" og ikke "stor succes" eller "overordentlig stor succes". Hvis man går endnu længere bagud i innovationsprocessen, kan man givetvis opnå endnu højere tal:

> "But everything here depends upon the stage at which such measurements are made. The higher figures often refer to the preliminary selection or screening proces by which the less attractive R&D projects or proposals are weeded out before much money has been spent on them, and long before they reach the stage of commercial launch. 'Shelved' research projects or development projects may be regarded as 'failed innovations' in the early stages" (Freeman, 1982 (2), s. 148)

En afgrænsning af det empiriske genstandsfelt har derfor været nødvendig for at kunne belyse aktiviteten af innovationsprocessernes teknologiformende kræfter. Desuden er fordelen ved at studere de innovationsprocesser, der resulterede i teknisk og økonomisk betydningsfulde innovationer, at man her oplever processer, der fik lov til at passere gennem samtlige stadier og løbe til ende. Dvs., at man får chancen til at registrere samtlige selektionsprocesser opererende på de forskellige niveauer.

Den første hovedinnovation, hvis tilblivelse skal undersøges, er faststof-forstærkeren, som døbtes "transistoren" efter sin opfindelse i 1948.

3. OPFINDELSEN AF TRANSISTORPRINCIPPET.

3.1 Teknologiformede kræfter i opfindelsesfasen.

Opfindelsen af transistorprincippet var resultatet af en vidensopbygnings- eller søgeproces, der forløb i perioden fra I verdenskrig til ca. 1950. Den teknologiske udviklingsproces domineredes på dette tidlige stadie af faststof-fysiske forskere og ingeniører, som i kraft af deres videnskabelige ekspertindsigt valgte at opdyrke ideen om en faststof-forstærker. Disse aktører bevægedes af teknologiformende kræfter, der tildelte opfindelsesprocessen retning og fremdrift.

Søgningens retning eller praktiske mål var generelt formuleret at opfinde en faststof-forstærker, der kunne bruges i elektronisk kommunikationsteknologi. Braun og MacDonald skildrer dette mål, det vil sige forestillingen om en faststof-forstærker, som en "gammel drøm", der var temmeligt vedholdende blandt forskere og opfindere. Drømmens praktiske orientering lå i de problemer, som sociokulturelle behov stødte ind i ved anvendelsen af elektronisk kommunikationsudstyr baseret på elektromekanisk teknologi og frem for alt radiorør. (Braun, 1979, s. 57)

Elektronikken var trods alt blevet til en betydelig industriel aktivitet i mellemkrigstiden, og enhver forbedring, der overskred den eksisterende radiorørsteknologis begrænsninger, ville kunne revolutionere elektronikken og give enorme profitter. At forbedringer var tiltrængt er indlysende, når man betragter rørenes mange svagheder: de var store, skrøbelige, havde en forholdsvis kort effektiv levetid og - værst af alt - var stærkt strømforbrugende. Dette sidste bidrog betragteligt til at øge omfanget af ethvert apparat, der indeholdt rør, fordi det også måtte

omfatte tilhørende ensrettere og udjævningskredsløb, der kan skaffe strøm til opvarmning af katoderne og jævnstrøm til anoderne. Disse krav var særligt problematiske for transportable apparater som radioer og walkie-talkies. (Braun, 1979, s. 42-43)

Flere forskellige varianter af drivkræfter søgte at tildele denne søgeproces fremdrift eller hastighed. En motiverende kraft var det nævnte profitmotiv - en eventuel afløser for elektronrørsteknologien kunne kaste enorme profitter af sig. Dette profitmotiv viste sig blandt andet igennem, at næsten alle opfindere indgav ansøgning om patent på deres faststof-forstærker ideer. Efterhånden som den praktiske muliggørelse af faststof-forstærker princippet nærmede sig blev kapitalakkumulationsinteressen mere dominerende. Andre drivkræfter end de kommercielle spillede også en rolle. Faglig prestige var en væsentlig bevæggrund blandt forskere og ingeniører - den prestige der kom af at være den første som frembragte en meget eftertragtet teknologisk mulighed (Braun, 1982, s. 182). Faststof-fysiske forskeres videnskabelige interesse i studiet af en eventuel forstærkningseffekt var også en drivkraft i opfindelsesprocessen.

3.2 Opfindelsesprocessens tidlige start.

Inden for den fysiske udforskning af faste stoffers elektriske egenskaber havde halvlederforskningen flere gange vist sig specielt lovende, hvad angik elektroniske anvendelser. Som output af en ellers rent erkendelsesrettet videnskabelig udvikling opdagedes i 1874 at kontakter mellem bestemte stoffer ensrettede, og i begyndelsen af det 20. århundrede blev halvlederensrettere af punktkontakttypen anvendt til at detektere radiobølger. Den faststof-fysiske forskning var stadig et ret uudviklet felt, og i mellemkrigstiden udvikledes en række elektriske kom-

ponenter, der havde baggrund i halvlederforskningen. Det drejede sig om fotoceller, selen- og kobberoxidensrettere. Meget beroede imidlertid på erfaringsmæssig prøven sig frem pga. en manglende dybere videnskabelig forståelse.(Pearson, 1955, s. 1794-95) Der var altså tale om en fysikdisciplin, som virkede særdeles lovende i elektroteknisk henseende, ovenikøbet med tanke på det relativt beskedne teoretiske stade man befandt sig på. Dermed var der grundlag for forhåbninger om nye elektrotekniske opfindelser, inden for de faststof-fysiske eksperters relativt autonome faglige ramme.

Fra 20'erne og frem til Shockley's endelige opfindelse af et succesfuldt faststof-forstærkerprincip i 1950 var der mange forskere og ingeniører, som søgte at frembringe en forstærker-effekt på en af to måder: Enten ved at forsøge at styre en stor strøm i et stykke krystallinsk stof med en lille strøm (det der senere førte frem til Shockley's fladekontakt-transistorprincip) eller ved at styre strømmen ved hjælp af en feltspænding (det der senere førte frem til Shockley's felteffekt-transistorprincip). Ideen om faststof-forstærkeren bredte sig mere og mere til andre forskere inden for feltet, sådan at den i hvert fald før II. verdenskrig var endt med at blive fælles tankegods inden for det faststoffysiske fagområde. (Braun, 1979; s. 11-12, 36-44, 58, 70)

Denne tidlige indsats var karakteriseret af mange forskellige opfinderes uorganiserede og sporadiske individuelle indsats. Ifølge W. Gosling er det praktisk taget sikkert, at de forskellige opfindere var ubekendte med hinandens arbejder (Gosling, 1973, s. 10) Der var derfor ikke tale om nogen bredere systematisk indsats og søgeprocessen skred derfor langsomt frem.

De første ansøgninger om et patent på et faststof-forstærkerprincip blev indgivet i slutningen af 1920'erne af fysikeren dr. Lillienfeld, der på daværende tidspunkt var fysikprofessor på universitetet i Leipzig. I 1925 ansøgte

Lillienfeld om et canadisk patent på et forslag til en spændingsstyret faststof-forstærkerkomponent, der var baseret på poly-krystallinsk kobbersulfid, som var en halvleder. En patentansøgning fra 1927 beskriver et forslag til en strømstyret faststof-forstærker. Denne bestod vekselvis af metalliske og halvledende lag. I 1928 indgav Lillienfeld en patentansøgning indeholdende et forslag til en spændingsstyret komponent baseret på kobbersulfid med et tyndt aluminiumslag som styringselektrode. Det vides ikke, om han rent faktisk konstruerede disse komponenter, men meget sandsynligt var hans ideer næppe realisable på grund af den tids mangel på faststof-fysisk indsigt. (Gosling, 1973, s. 10)

I 1930 ansøgte H.C. Weber fra Industrial Development Corporation i Massachusetts om patent på et forslag om en forstærkningskomponent. Denne bestod af en mangelagsstruktur af forskellige kobberforbindelser med indbygget spiralformet kontrolelektrode. Der kendes ingen praktiske resultater. (Gosling, 1973, s. 10)

I 1937 ansøgte den tyske ingeniør O. Heil om et britisk patent på en ide om en spændingsstyret faststof-forstærker baseret på kobberoxid, og i 1936 ansøgte Holst og van Geel fra den hollandske virksomhed Philips om et patent på et faststof-forstærker påhit, hvor en styringselektrode lå i en selen/sølv kontaktflade. Dette var formentlig en ide til en strømstyret komponent. Van Geel fortsatte sit arbejde, og i 1943 og 45 udtog han patenter på nogle strømstyrede mangelags-strukturer (f.eks. en selenoxid-kobberjodid-selenoxid struktur) med meget tynde isolatorlag (polystyren) mellem de enkelte halvlederlag. En lignende struktur blev foreslået i et patent fra 1939 af Glaser, Koch og Voigt. (Gosling, 1973, s. 10)

I 1939 påviste Hilsch og Pohl rent videnskabeligt tilstedeværelsen af spændingsstyret forstærkning i en krystal af kaliumbromid med indbygget kontrolelektrode. Denne ide fik ingen praktisk anvendelse, idet fænomenet var for

langsomt og kun virkede, når krystallen blev opvarmet. Men det viste, at faststof-krystaller kunne tjene som forstærkere i elektroniske kredsløb, og det var alt Hilsch og Pohl ønskede at demonstrere. Pohl, der forskede på universitetet i Gøttingen, var aldrig i tvivl om, at faststof-forstærkeren ville blive til virkelighed. Men han så sin opgave som rent grundvidenskabelig - forstå krystallernes fysik, ikke at skabe teknologisk brugbare elektroniske komponenter. (Braun, 1979; s. 36,43)

Ingen af de beskrevne udviklinger førte til noget praktisk anvendeligt teknologisk resultat (Gosling, 1973, s. 10). For det første manglede der en stor grundvidenskabelig indsats inden for udforskningen af faste stoffer, specielt halvledere. Denne blev først udført under II verdenskrig som led i den statsdirigerede amerikanske krigstidsindsats på radarområdet. For det andet krævedes der en koncentreret og systematisk innovationsindsats på videnskabeligt grundlag for at overvinde problemer, som den tidligere uorganiserede og geografisk og tidsligt spredte indsats af individuelle opfindere ikke kunne magte. Her kom Bell Laboratories ind i billedet.

3.3 Opfindelsen af transistoren på Bell.

Ideen om opfindelsen af en faststof-forstærker fremtrådte efterhånden i stadigt stigende grad som en kommercielt realiserbar mulighed. Dette betød følgeligt, at faststof-forstærens udvikling blev interessant for kapitalstærke kommercielle kræfter. Dog krævedes der en omfangsrig og systematisk innovationsindsats for at opnå det fornødne gennembrud. Opfindelsen af et realiserbart transistorprincip krævede blandt andet løsningen af så tilpas vanskelige faststof-fysiske problemstillinger, at det ikke var hvem som helst beskåret at gennemføre innovationsprocessen. Kapitalstyrke var dermed ikke nok. Et etableret og

ydedygtigt forskningsmiljø var desuden nødvendigt for at opnå et gennembrud. Endeligt skulle den pågældende virksomhed være i stand til organisatorisk effektivt at integrere videnskabelig forskning og teknisk udviklingsarbejde. En sådan institution var Bell Laboratories i USA - Bell Labs var virkelig "big science".

Bell Labs udgjorde den forskningsmæssige gren indenfor den store amerikanske koncern American Telephone & Telegraph (AT&T). Inden for AT&T-gruppen stod selskabet Western Electric for varetagelsen af koncernens aktiviteter indefor produktion. Den samlede koncerns kapitalakkumulationsstrategi var rettet mod afsætning af telekommunikationsprodukter og -tjenester. Bell Laboratories' funktion var at foretage FoU med henblik på profitabel innovation indenfor kommunikationsteknologien. Innovationsaktiviteterne foregik i en arbejdsdelt, men integreret organisation, der fungerede på alle niveauer fra grundlæggende videnskabelig forskning til ingeniørmæssig udvikling. Bell havde desuden en videnskabelig standard, der lå i den øverste ende af den internationale skala. (Braun, 1979, s. 52-55)

Initiativet til at opfinde en faststof forstærkningskomponent på Bell kom fra forskningsdirektøren Mervin J. Kelly. Han havde længe ønsket at erstatte de elektromekaniske relæer i telefoncentraler med rent elektroniske relæer. I 1939 placerede han to fysikere eksperimentatoren Walter Brattain og faststof-teoretikeren William Shockley, på et projekt med at konstruere en faststof-forstærker med halvlederen kobberoxid. (Misa, 1985, s. 256) Dette materialevalg var påvirket af erfaringen med kobberoxid-ensrettere. Ideen var at indføre et lille kontrolgitter i oxidlaget på kobberet i håbet om, at spændingen på dette ville kunne styre den strøm, der gik igennem halvlederen. I eksperimenter af senere dato anvendtes forskellige kobberplader på kobberoxidens overflade i et forsøg på at frembringe en forstærker baseret på ladninger induceret i halvle-

deren. Alle disse forsøg var fuldstændigt resultatløse. At gitteret ikke duede overraskede ikke Brattain; for han og forskeren J.A. Becker havde allerede overbevist sig om, at det var umuligt at lave en faststof-forstærker ved at indsætte et gitter i halvlederen. (Braun, 1979, s. 76-77)

I årene før krigen var ideen om en faststof-forstærker blevet etableret som fælles tankegods indenfor det faststof-fysiske fagområde (Braun, 1979, s. 57). Om Shockley's forsøg udtaler Walter Brattain følgende i et interview:

> "Enhver i faget var klar over analogien mellem en kobberoxid-ensretter og en vakuumrør-diode, og mange havde en ide om, at man skulle indsætte et gitter, en tredje elektrode, for at skabe en forstærker." (Braun, 1979, s. 58)

Det lykkedes som sagt ikke at få disse komponenter til at fungere som forudsagt, og planerne om en faststof-forstærker blev lagt til side for at give plads til krigsrelateret arbejde. Fra midten af 1941 til 45 omlagde Bell 3/4 af alle sine faciliteter til militære projekter. (Misa, 1985, s. 256)

Under USA's deltagelse i II verdenskrig oprettedes der nye statsfinansierede organisationer, der viste sig i stand til at lede nationens videnskabeligt-teknologiske ekspertise i en storstilet krigstidsindsats. Som et element i denne indsats iværksatte staten et program for udforskning af halvledere med henblik på udvikling af egnede radar-detektorer i våbenkapløbet med de fjendligtsindede stormagter. Bell var underlagt dette program, hvorfor halvlederforskningen der fik en anden praktisk orientering under krigen. Dette skabte en midlertidig afbrydelse af søgeprocessen efter en faststof-forstærker. Adskillige højere læreanstalter i USA deltog desuden i dette forskningsprogram, hvorigennem de oparbejdede en grundfaglig basis indenfor halvlederforskning. Dette skabte muligheden

for, at de mest fremskredne af forskningsinstitutionerne kunne true Bell i en eventuel konkurrence om at opfinde en faststof-forstærker. Efter krigens afslutning ophørte statens storstilede finansiering af de højere læreanstalters krigsrelaterede forskning. Dette betød en nedtoning af disse institutioners halvlederaktiviteter, som til sidst gik i glemmebogen. I modsætning hertil drog privatkapitalitiske teknologiudviklings-bestræbelser, som dem der foregik på Bell, fordel af den relative stabilitet af deres egen hovedsageligt interne FoU-finansiering. (Braun, 1979, s. 58-59)(Misa, 1985, s. 257-58)

Bell Laboratories havde derfor ikke bare gode økonomiske og kvalifikationsmæssige forudsætninger, men også en fordelagtig national placering til at drage størst mulig nytte af den akkumulerede viden om halvledermaterialer. Med en stabil forskningsfinansiering, en multidisciplinær stab på over 2000 videnskabsmænd og ingeniører af højeste kvalitet, i alt 5.700 ansatte og et forberedt marked i det massive Bell System, havde Bell ressourcerne og det økonomiske motiv til at iværksætte en større teknologisk indsats i det nye halvlederelektronik-felt. Bell var (og er stadig) verdens største industrielle forskningsorganisation, med en videnskabelig standard i den øverste ende af den internationale skala. (Misa, 1985, s. 258)(Braun, 1979, s. 52-55)

På trods af den store krigstidsindsats havde forskningen alt i alt begrænset succes med at forstå halvlederfænomener. Grunden til dette var, at halvlederfænomener var meget komplicerede og strukturfølsomme. Der, hvor muligheden var størst for at forstå halvlederfænomener, var de to forholdsvis simple halvledermaterialer silicium og germanium, som i stort omfang var undersøgt under krigen på baggrund af den kvantemekaniske teori. Den bedste fremgangsmåde på halvlederområdet var derfor at koncentrere sig om disse to simple halvledergrundstoffer og prøve at forstå dem først. Dette var udgangspunktet for halvle-

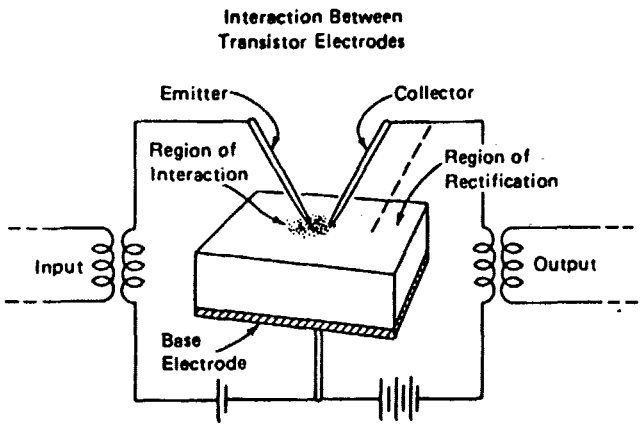
derarbejdet på Bell efter II. verdenskrig, som nu optrappede søgningen efter en faststof-forstærker. (Pearson, s. 1800-01)

Bell var under reorganisation efter krigstidens forskningsindsats, og på initiativ fra Bell's ledelse oprettedes der en ny gruppe til gennemførelsen af en fundamental kortlægning af alle de sider af faststof-fysikken, der skønnedes at være de mest relevante for kommunikationsudstyr. Autorisationen til dette arbejde blev underskrevet i sommeren 1945 af Mervin Kelly, som da var blevet forfremmet til vicepræsident for forskning hos Bell, og gav anledning til organiseringen af en underafdeling for faststof-fysik. Ledelsen af denne gruppe blev overdraget William Shockley og Stanley Morgan. (Braun, 1979, s. 60-61)

Søgningen efter en felteffekt-transistor startede med det samme. Man antog, at når halvledermaterialerene germanium eller silicium blev anbragt i et elektrisk felt, så kunne man styre antallet af ladningsbærere i halvlederen og dermed strømmen gennem denne ved at variere feltspændingen. Shockley's eksperimenter med felteffekten slog imidlertid fejl. Som forklaring udkastede Bardeen i 1946 en teori om overflade-tilstande i halvledermaterialet, der ville indfange og standse de inducerede ladningsbærere. Teorien gik ud på, at elektroner indfanges på halvlederens overflade, og at intet elektrisk felt på væsentlig måde vil være i stand til at ændre antallet af frie ladningsbærere indenfor halvlederstoffet. Halvledergruppen opgav derfor forsøgene på at frembringe en forstærker-komponent og gav sig i stedet til at koncentrere sig om den videnskabelige udforskning af Bardeen's overfladetilstand. I slutningen af 1947 lykkedes det Brattain på baggrund af de indvundne videnskabelige kundskaber at fremstille patenterbare felteffekt-transistor opfindelser. Disse var imidlertid ubrugelige som komponenter, men anvendtes af Bardeen og Brattain til at opfinde punktkontakt-transistoren tre uger efter. Det var ved undersøgelsen af halvle-

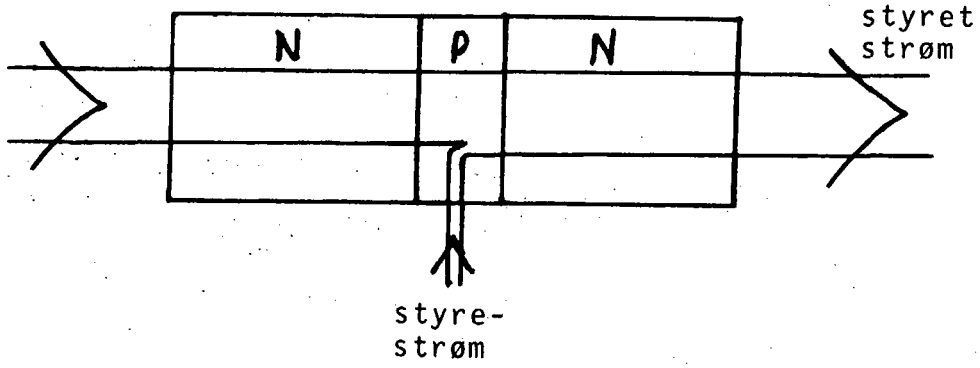
deroverfladen med to tætsiddende elektroder, at de opdagede, at man kunne lave en forstærker ved at anbringe to tråd-elektroder ganske tæt ved hinanden på en germaniumkrystal. Denne demonstredes første gang internt på Bell 23-12-1947. (Braun, 1979, s. 61-62)(Shockley, 1976, s. 597)

Figur 3.1: Punktkontakt-transistoren som forstærker (Misa, 1985, s. 260).



William Shockley fastholdt sin tro på, at der kunne findes en bedre transistor end punktkontakt-versionen. Hans insigt i halvlederteorien havde hele tide overbevist ham om det. Han besluttede nu at lægge sine ideer om en felteffekt-transistor på hylden og forfølge sin teori for fladekontakt-transistoren, hvori forstærkningsvirkningen skulle opnås ved at klemme en såkaldt P-type halvleder ind imellem to såkaldte N-type halvledere. Denne halvleder "sandwich" udgjorde en fladekontakt-struktur. Forstærkningen fandt sted ved styring af en stor strøm med en lille styrestrøm. Den store strøm passerede tværs igennem NPN sandwichen som helhed, hvorimod den lille styrestrøm kun passerede gennem en af NP fladekontakterne (se figur 3.2). (Braun, 1979, s. 65-66)(Misa, 1985, s. 269-70)

Figur 3.2. Fladekontakt-transistoren som forstærker.



Der forestod imidlertid et omfattende udviklingsarbejde, hvis Bell skulle realisere sine mål med transistor-innovationen og forhindre, at den forblev en videnskabelig kuriosistet. Dette mål var den brede profitable udnyttelse af transistor-innovationen ved salg på både civile og militære markeder. (Braun, 1979, s. 68-70)(Misa, 1985, s. 264) Produktionsudviklingen af transistor-opfindelsen fik derfor en ganske bestemt retning, nemlig frembringelse af produktionsteknologier, der i så høj grad som muligt lettede masseproduktion af komponenter. Betydningsfuldt for produktion af transistorkomponenter i større skala var reproducerbarheden af den enkelte kompnents egenskaber. Således at man kunne producere store produktionsserier af ensartede komponenter, der alle levede op til de krævede specifikationer. Betingelsen for ensartethed var nøjere kontrol med halvledermaterialets kvalitet. Hidtil havde halvlederkomponenterne udnyttet polykrystallinsk halvledermateriale. Elimineringen af de ufuldkommenheder og uregelmæssigheder, som virkede forstyrrende ind på komponentens ydeevne, krævede fremstillingen af hele enkelt-krystaller (en-krystaller). I slutningen af 1948 lykkedes det Gordon Teal og J.B. Little fra Bell Laboratories at frem-

stille en-krystaller af germanium ved langsomt at trække dem ud af smelten. En sådan krystal kunne skæres i de piller, som behøvedes til punktkontakt-transistorer. (Golding, 1971, s. 70)(Braun, 1979, s. 82)(Teal, 1976, s. 624-26)(Misa, 1985, s. 269) Det innovative arbejde fortsatte, og først i oktober 1951 startede fabrikationen af punktkontakt-transistorer for alvor hos AT&T's produktionsselskab Western Electric. På dette tidspunkt fremstilledes de også eksperimentelt i enkelte store etablerede radiorørs-virksomheder som Raytheon. (Braun, 1979; s. 71, 79)

Problemet med at frembringe en materiale-procesteknologi, der kunne realisere NPN fladekontakt-strukturen i Shockley's fladekontakt-transistordesign eksisterede stadigvæk. Løsningen af problemet krævede nøjagtig "doping" af germanium-materialet med urenheder. Så langt nåede Bell først i 1950, idet G.K. Teal i samarbejde med Morgan Sparks modificerede krystaludtrækning-apparatet således, at det tillod automatisk tilførsel af urenhedspiller til smelten under udtrækningsproceduren. Herved realiseredes den teoretisk forudsagte fladekontakt-transistor eksperimentelt, og konstruktionen af den første pålidelige version af denne komponent fuldførtes i 1951. (Braun, 1979; s. 66, 82) Denne fik navnet den dyrkede fladekontakt-transistor (grown junction transistor) med reference til krystaldyrknings-processen.

Fig. 3.2. Dyrkning af en-krystal med NPN fladekontakt-struktur. (Misa, 1985, s. 271)

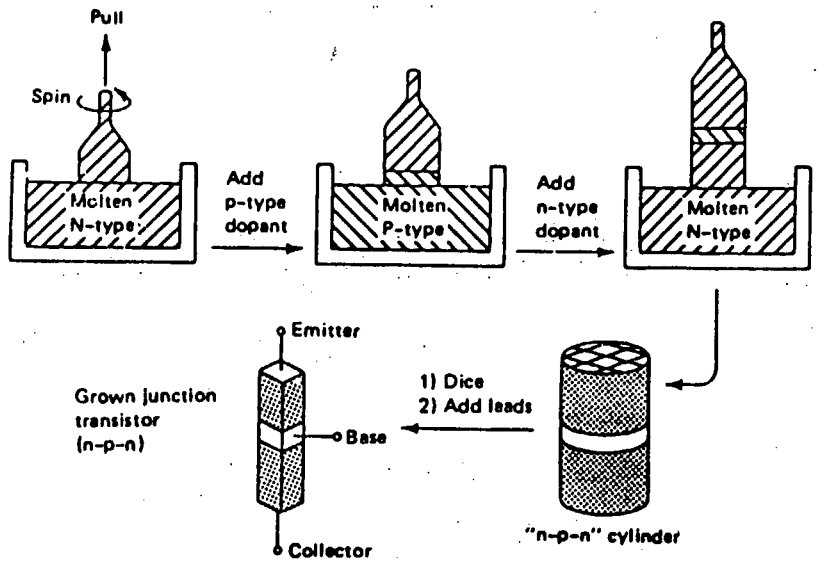
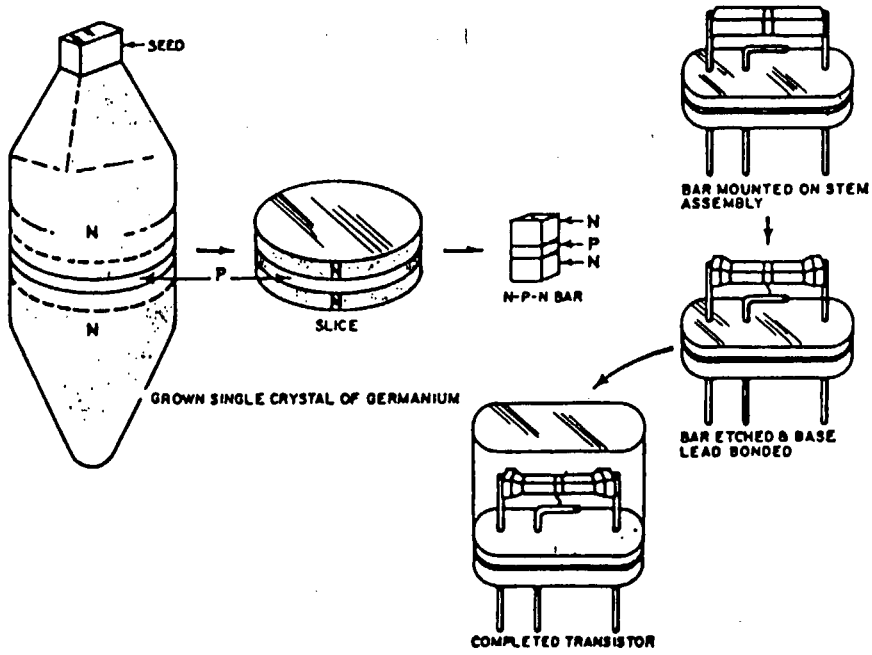


Fig. 3.3. Fremstillingstrinene for en dyrket germanium fladekontakt-transistor (Ryder, 1958, s. 35).



Dyrkede fladekontakt-komponenter brugte mindre effekt end punktkontakt-transistorer og stillede derfor ringere krav til strømforsyning. Herved var de billigere i drift. Desuden var de mindre elektronisk støjende og mekanisk mere pålidelige. Den dyrkede fladekontakt-transistor havde desuden den fordel, at dens funktion ikke afhang af de i ringe grad forståede overfladefænomener, som punktkontakt-transistoren udnyttede. I stedet byggede den på den mindre komplekse og derfor bedre forståede virkemåde af de to interne PN fladekontakt-strukturer. Da forstærkningseffekten foregik inden i halvlederstoffet kunne den også bedre specificeres, idet materialets kvalitet nu kunne kontrolleres omhyggeligt. Fladekontakt-transistorer var derfor en hel del mere reproducerbare end punktkontakt-transitorer og derfor i det lange løb de letteste at masseproducere. Bell foretrak derfor i det lange løb den dyrkede fladekontakt-transistor, da den var mere i overensstemmelse med Bell's interesse i bred profitabel udnyttelse af transistor-teknologien. (Misa, 1985, s. 270)(Braun, 1979, s. 71)(Golding, 1971, s. 70-71)

Konklusion - opfindelsesfasen som helhed.

I løbet af opfindelsesfasen ændredes de teknologiformende kræfter og dermed karakteren af den teknologiformende proces. Det er derfor muligt at underopdele denne fase i en ide-formuleringsfase og en ide-specificeringsfase.

Ide-formuleringsfasen frem til II verdenskrig var karakteriseret ved, at den teknologiformende kraft var individuelle bevæggrunde i samspil med samfundsmæssige behov. Disse individuelle bevæggrunde var

- profitmotivet
- faglig prestige
- videnskabelig interesse

Baggrunden for, at enkeltpersoners motivationer var særligt fremtrædende i denne begyndelsesfase, var faststofområdets karakter som faglig disciplin. Faststof-fysiske forskere og ingeniører opnåede dominans over søgningsprocessen på grund af deres eksklusive ekspertindsigt. Den teknologiformende krafts retning havde følgende basis-dimensioner angivet ved udviklingens mål:

- faststofforstærker med almen kommunikationsteknologisk relevans
- markedsmæssig profitabilitet

Kraftens styrke var ringe, da ide-formuleringsfasen var præget af mange individuelle agenters ukoordinerede og derfor som helhed betragtede usystematiske indsats. Ide-formuleringsprocessens forløb blev derfor kendetegnet af en langsommelig hastighed, og dens retning blev som vist givet af den teknologiformende krafts retning.

I en femårig overgangsperiode fik II verdenskrig stor accidentiel betydning gennem den statsligt forcerede massive grundvidenskabelige vidensopbygning indenfor halvledermaterialerne germanium og silicium.

Ide-specificeringsfasen fra 1945 til ca. 1950 var kendetegnet ved, at den teknologiformende kraft efterhånden var ved at skifte karakter til at blive Bell Labs' stræben efter teknologiske ekstraprofitter i samspillet med potentielle markeder i formodet konkurrence med andre institutioner. Bell Labs' enestående organisatoriske og kvalifikationsmæssige styrkeposition repræsenterede en langt større styrke af den teknologiformende kraft end ideformuleringsfasens mange individuelle agenters ukoordinerede og som helhed betragtede usystematiske indsats. Denne form for aktiviteter ophørte da også med at have betydning. Efter at opfindelsesprocessen var blevet indordnet under Bell's akkumulationskrav, havde profitmotivet taget overhånd som fremaddrivende kraft, og de andre bevæggrunde var

trængt i baggrunden. På baggrund af II verdenskrigs selektive vidensopbygning kunne opfindelsesprocessens retning eller mål nu specificeres til at være

- en halvleder-forstærkningskomponent (af silicium eller germanium) med almen kommunikationsteknologisk relevans
- profitabilitet på både civile og militære markeder
- masseproduktion

Følgen af denne nye store teknologiformende krafts aktivitet blev en specificering og en acceleration af opfindelsesprocessens forløb. Dette blev yderligere specificeret i retning af kommercialisering som orienteringen af den nye teknologiformende kraft. Processens hastighed accelereredes som følge af den nye teknologiformende krafts større styrke. Resultatet blev da også, at Bell's intensive men kortvarige efterkrigsindsats endte op med realiseringen af det fundamentale faststofforstærker-gennembrud: fladekontakt-transistorprincippet. Dette repræsenterede en potentiel løsning af det daværende almene kommunikationsteknologiske problem.

Endeligt må det slås fast, at allerede i faststof-forstærkerens opfindelsesfase, som behandlet i dette kapitel, viser det kapitaldeterministiske postulat sig fulstændigt forkert som forståelsesmodel. Opfindelsesprocessen bag frembringelsen af et realiserbart faststof-forstærkerprincip er ikke eksklusivt formet af "kapitalen som overgribende subjekt". Tværtimod spiller interne teknisk-videnskabelige kræfter som videnskabelig interesse og faglig prestige en fremtrædende rolle - især i processens start for efter II verdenskrig at aftage i betydning. Da opnår eksterne socio-kulturelle kræfter for alvor dominans, men ikke i den rendyrkede kapitaldeterministiske forstand. Ligeså kan man konstatere, at interne teknisk-videnskabelige forskningslogiske forhold spiller en stor rolle i ide-spe-

cificeringsprocessen fra 1945 til 50, hvor Bardeen, Brattain og frem for alt Shockley spiller betydelige roller. For eksempel er Shockley's beslutning om teoretisk at realisere fladekontakttransistor-princippet helt afgørende for processens videre forløb.

Den skildrede opfindelsesproces indeholder derfor både teknologiformende kræfter af intern teknisk-videnskabelig art og af ekstern socio-kulturel art, hvorfor den grundlæggende potente analytiske tilgang må være af kontekstualistisk karakter. I den anvendte kontekstualitiske tilgang spiller kapitalanalysen dog stadigvæk en rolle i analysen af kapitalakkumulationens og profitmotivets betydning i dannelsen af de teknologiformende kræfter. Blot tildeles kapitalanalysen en mere beskeden rolle, end den som kapitaldeterminismen lægger op til, idet den sidestilles med andre tilgange som kompletterer denne. I opfindelsesfasen er disse kompletterende tilgange frem for alt analysen af interne udviklingskræfter i naturvidenskaben og teknologihistorien.

4. TRANSISTORUDVIKLINGSFASEN.

4.1 Teknologiformende kræfter.

De militære teknologipolitiske interesser tager over.

Skønt Bell nok havde været involveret i en del militært arbejde efter krigen, havde det amerikanske militær ikke haft noget at gøre med transistorens opfindelse. Man var hos Bell bekymret for, at planerne om transistorens brede kommercielle udnyttelse på både civile og militære markeder ville løbe ind i modstand fra militærets side, der eventuelt ville have den nye opfindelse klassificeret for at sinke den sovjetiske udvikling på området (Braun, 1979, s.68).

Militæret ville formentligt have haft svært ved at klassificere transistoren. Dels ville det have kompromitteret Bell's position som privatkapitalistisk foretagende. Dels ville det reelt ikke have været muligt at bremse innovationsprocessen. Ud fra det blotte kendskab til at en transistor overhovedet kune fremstilles, ville der måske have været indtil 25 firmaer i verden, som omgående ville have været i stand til at fremstille en. Militæret lod sig nøje med en foranmeldelse af transistoren kun en uge før den offentlige meddelelse i New York den 30. juni 1948 og besluttede sig til ikke at klassificere transistoren. (Braun, 1979, s. 68)(Golding, 1971, s. 327)

Bell's bekymring for militæret var dog ikke uden grund. den amerikanske stat havde været kraftigt involveret i en militær elektronikudvikling under krigen. Det galdt udviklingen af de første primitive versioner både af radaren (som tidligere nævnt) og den digitale elektroniske compu-

ter. Den II. verdenskrig betød dermed reelt opkomsten af en helt ny dimension af militær teknologi - den militære elektronik, som hidtil havde været begrænset til kommunikationsudstyr. Da II. verdenskrigs modsætning til Nazityskland og Japan afløstes af spændingsforholdet til Sovjet ved krigens afslutning lå den militære elektronik stadig i fokus for militærets teknologipolitiske interesse. (Agrell, 1981, s. 14) Årsagen til dette var elektronikkens alsidighed, og de problemer man havde med rørteknologiens utilstrækkeligheder. Det var noget alle værn oplevede i det amerikanske militær.

En destroyer model 1937 havde kun seks radiorør om bord; en destroyer bygget i 1952 havde 3.200. En analyse i 1952 afslørede, at 60 % af Flådens elektroniske udstyr ikke fungerede tilfredsstillende. Selv den beskedne mængde elektronik, der var tale om, gav altså hovedbrud. Da halvdelen af alle funktionsfejl skyldtes problemer med rørene, så var det uanset omkostningerne selvsagt værd at overveje en komponent, der kunne erstatte dem. Prisen selv på den traditionelle militærelektronik var alligevel gået i vejret og syntes at ville fortsætte opad. Et bombesigte havde under krigen kostet 2.500 $, mens det nyeste bombesigte med indbygget beregningsaggregat kostede 250.000 $ i 1952. Det år skønnede Luftvåbnet, at ca. 40 % af dets behov for elektronik kunne dækkes af transistorer, som kunne spare 20 % i plads, 25 % i vægt og - meget optimistisk - 40 % i fejl. (Braun, 1979, s. 100-101)

Militæret så flere fordele i de nye komponenter frem for radiorør. Transistorens ringe vægt og den pladsreduktion de frembød ansås som en klar fordel. Det galdt dels transistorerne selv, der jo var meget mindre i størrelse og vægt end rør. Dels galdt det den strømforsyning i form af batterier eller andet, der skulle drive de nye transistor-komponenter, som havde et meget mindre effektforbrug end elektronrør. En yderligere fordel var forøget pålidelighed - både i form af forøget modstandsdygtighed

overfor mekaniske belastninger og længere levetid. (Braun, 1979, s. 100-101) (Obenchain, 1952, s. 1288)

Militæret tildelte derfor hurtigt Bell kontrakter, dog i begrænset mængde. Bell modtog sin første og ikke særlig store kontrakt i 1949, der drejede sig om mulighederne for anvendelse af transistorer i switching kredsløb, som udgør den grundlæggende elektronik i digitale computere. Den anden kontrakt blev indgået i 1951 og fokuserede på at materialer og fremstillingsteknologi skulle underkastes studier, der havde en militær interesse. (Misa, 1985; s. 264-65, 273) I 1951 begyndte eksperimentelle germanium fladetransistorer til militært brug at fremkomme fra Western Electric (Golding, 1971, s. 327).

Militæret var imidlertid tilbageholdende med hensyn til anvendelsen af transistorer i militært udstyr grundet fraværet af egnede masseproduktionsmetoder. Militærets behov var massebehov for ensartede komponenter, der opfyldte fastlagte specifikationer. To forhold ændrede dog militærets reseverede indstilling. Det var udviklingen af teknologi for produktion af større mængder af ensartede punktkontakt-transistorer, samt udviklingen af den bl.a. mere støjsvage fladekontakt-transistor (se s. 60) og den tilsvarende storskala produktionsproces. Militæret øjnede nu muligheder for efterhånden at få tilfredstillet alle sine elektronikkomponent-behov og blev den første storforbruger af transistorer. Der forestod imidlertid meget forsknings- og udviklingsarbejde før de militære instanser kunne opnå alle de fordele ved transistorteknologien som de ønskede. I 1951 gik de tre militære værn dermed sammen om at iværksætte et målrettet og storstilet teknologipolitisk program for planmæssig forcering af transistorteknologiens udvikling i retninger, der var militært interessante. Disse teknologipolitiske interesser var givet ud fra efterkrigstidens våbenkapløb med Sovjet og handlede om løsning af det presserende kommunikationsteknologiske problem. Opbygning af en krigsklar produktionskapacitet for en sådan

løsning i tilfælde af storkrig var essentiel for militæret. (Obenchain, 1952, s. 1287-88)(Braun, 1979, s. 100-101)(Misa, 1985, s. 272)

Det militære kommunikationsteknologiske problem.

Selv om militærets transistorprogram var fælles for de tre militære værn, blev Hærens Signalkorps i kraft af sin større erfaring med miniaturisering af elektronisk kommunikationsudstyr militærets center for transistorekspertise (Misa, 1985, s. 266)(Braun, 1979, s. 101). Denne stilling bibeholdt det, indtil det i slutningen af 50'erne blev fortrængt af Luftvåbnet. Dette opnåede dominans i kraft af, at våbenkapløbet havde skiftet fokus til at blive et missilkapløb, og missiler krævede styringsautomatik.

Det 20'ende århundredes mest dominerende militærteknologiske katalysator var II verdenskrig. Det var her midlerne for mobil krigsførsel fik deres fuldstændige gennembrud i tyskernes "Blitzkrieg" i 1939-41. Nye kampvogns- og flyvemaskinetyper afløste hinanden hurtigt på begge sider. Den aktive krigsførsel betød, at det daværende våbenkapløb fik karakter af en slags "teknologisk darwinisme" på slagmarken. De overlegne eller bedst tilpassede militære systemer knuste de underlegne. Den II verdenskrig kom derfor til at betyde sammenbruddet for flere militære teknologier, som f.eks. slagskibene og kavalleriet. Under II verdenskrig udvikledes krigsførselen derfor hurtigt til at blive stadigt mere kompliceret. Aktiviteterne ved mange forskellige typer af militære enheder, som alt i alt var præget af stor grad af bevægelighed, måtte koordineres ofte over store områder og på kort tid. Behovet for slagkraftige midler, som kunne realisere ledelse og koordinering af de militære aktiviteter, øgedes derfor overordentligt. Dette var en udviklingstendens, som fortsatte og

forstærkedes i efterkrigstidens våbenkapløb. (Agrell, 1981, s. 14)

Ved II verdenskrigs afslutning eksisterede der derfor et presserende behov i det amerikanske militær for at udvikle de militære kommunikationsmidler. Her var radiorørsteknologien en afgørende flaskehals for en krigsførsel karakteriseret ved en høj mobilitet. Kommunikationsudstyr baseret på radiorør var for skrøbeligt og uhåndterligt. Våbenkapløbet i efterkrigsårene var derfor karakteriseret af et militært kommunikationsteknologisk problem.

Som tidligere nævnt (se s. 50) viste radiorørenes svagheder sig især problematiske i anvendelsen af transportable kommunikationsmidler som radioudstyr og walkie-talkies. Da hæren i særlig grad var afhængig af benyttelsen af sådanne transportable apparater, blev det hærens specialenhed for kommunikationsudstyr, som fik de største erfaringer med rør-teknologiens begrænsninger. Denne specialenhed var netop Signalkorpset.

Det første bevidste program rettet mod at miniaturisere militær elektronik begyndte i slutningen af 30'erne, da den amerikanske hærs signalkorps opfandt walkie-talkien. Denne radiorørs-baserede walkie-talkie muliggjorde, at de enkelte soldater kunne opretholde kontakten med befalingsmændene, uden at det var nødvendigt at trække en telefonledning eller bære en tung radio i fuld størrelse. Under II. verdenskrig løb Signalkorpset ind i adskillige problemer forbundet med rør-elektronikkens krigsmæssige anvendelse. Problemerne opstod dels i forbindelse med at mængden af elektronisk udstyr voksede, og dels i forbindelse med at den militære taktik blev videreudviklet, sådan at den krævede mere komplekst udstyr. Et centralt problem var rørteknologiens manglende evne til at klare ekstreme miljøbetingelser som svamp, fugt, korrosion i junglen og kulde i arktiske områder. Andre problemer var, at rørteknologien ikke var robust nok til at kunne klare slagmarkens hårde tekniske belastninger: stød, vibrationer, tem-

peraturforandringer, vind og vejr. Den klodsede og ikke særlig handy karakter af kommunikationsudstyr baseret på rørteknologien var ligeledes et problem i militære operationer. (Misa, 1985, s. 262-63) I en redegørelse fra 1952 om fordelene ved transistorer frem for radiorør gør to forskningsofficerer fra Signalkorpset rede for sidstnævnte problem:

> "The possible savings from a power standpoint alone are impressive when one remembers the considerable quantity of batteries required for hand-carried equipments during World War II - for example, the thirty day supply of batteries for a certain type of amphibious communications company totaled forty-three tons." (Obenchain, 1952, s. 1288)

Som forsøg på at løse disse problemer og på baggrund af en forventning om, at elektronikken ville få endnu større betydning i efterkrigstidens militære udstyr, iværksatte Signalkorpset et langsigtet FoU-program. I dette program havde miniaturisering af elektronisk kommunikationsudstyr særlig høj prioritet. (Misa, 1985, s. 263) Signalkorpset havde derfor særligt gode forudsætninger for at blive ledende militær instans i den videre udvikling af transistorteknologien (Misa, 1985, s. 268).

Signalkorpsets fremtrædende stilling blev åbenbar i 1951, da de tre værn enedes om at overdrage ansvaret for den militære produktionsudvikling af transistorteknologien til dette (Misa, 1985, s. 266)(Braun, 1979, s. 101).

I 1952 gjorde to forskningsofficerer fra den amerikanske hærs signalkorps rede for, i hvilke specifikke retninger militæret var interesseret i, at den nye teknologi skulle formes. De håbede, at iværksættelsen af programmet ville bidrage til at udvikle transistorer med bedre evne til at arbejde 1) med højere effekter, 2) ved højere frekvenser, 3) med lavere støjniveau og 4) over større

temperaturintervaller. Desuden spillede kravet om 5) masseproduktionsevne også en stor rolle. Alle vigtige krav til en militær kommunikationsteknologi. (Obenchain, 1952, s. 1287-88) En dimension ved teknologien, man imidlertid ikke bekymrede sig om, var 6) kravet om prisbillighed (Braun, 1979, s. 100). Tværtimod var en vigtig teknologipolitisk interesse forcering af transistorteknologiens udvikling uanset omkostningerne (Obenchain, 1952, s. 1288). De to forskningsofficerer gjorde også rede for baggrunden for militærets interesse i at ville udvikle den nye teknologi med accelereret fart i disse specifikke retninger. Desuden fortalte de, hvilke teknologipolitiske magtmidler militæret tænkte sig at ville tage i anvendelse:

> "In more normal times the military services would embark on only a modest program of "transistorization" leaving the broad general problem of the maximum utilization of these devices to the ingenuity of our industry and research institutions. Now, however in this period of international tension the services consider the possible benefits of transistors to military equipments as sufficient to warrant substantial programs in this field and to include concurrently not only research and development, but the planning and preparation of facilities for producing large quantities of these devices."
> (Obenchain, 1952, s. 1288)

Interessen var dermed ikke uventet affødt af det begyndende våbenkapløb, der opstod i forbindelse med efterkrigstidens spænding mellem de to supermagter. Denne spændingstilstand fremkom som et af de vigtigste resultater af II. verdenskrig og slog i 50'ernes begyndelse over i aktiv krigsførsel. Den stærkt mobile Koreakrig (1950-53) virkede her som teknologipolitisk katalysator, idet den genskabte II verdenskrigs høje militære interesse i halvledertekno-

logien. Men nu var det den nyopfundne transistorteknologi, der kom i fokus. (Braun, 1979, s. 100)

Det missilteknologiske problem.

Udviklingsretningen af våbenkapløbet fra 50'erne og frem skulle imidlertid medføre at Signalkorpset afløstes af det amerikanske luftvåben som ledende militær interesse overfor den halvlederteknologiske udvikling.

Våbenkapløbet siden II. verdenskrig mellem de to fremkommende supermagter kom først og fremmest til at gælde bærerne for kernevåben - deres ydeevne og antal. Våbenkapløbets centrale element kom altså til at blive evnen til hurtigt og sikkert at træffe mål på modstanderside, ligesom evnen til at beskytte sig mod modstanderens våben. Der opstod derfor en kraftig dynamik mellem middel og modmiddel, hvor udviklingen af de strategiske doktriner snarest blev en følge af og ikke en styrende faktor for udviklingen.

I årene efter II verdenskrig var det bombefly med tilstrækkelig rækkevidde til at nå mål dybt inde på modstanderens område, som var den eneste bærer af af strategiske kernevåben. USA havde et betydeligt forspring, i og med man allerede under II. verdenskrig havde opbygget en stor flåde af langdistancebombere. En organisation som efter krigens afslutning kunne overtage rollen som strategisk kernevåbenstyrke. (Agrell, 1981; s. 16, 36-37) Sovjetunionen måtte begynde fra bunden af. Dels med udviklingen af en atombombe, som man ikke havde. Dels med opbygningen af en styrke af strategiske bombefly. USA kunne derfor længe opretholde et stort forspring på dette område. (Agrell, 1981, s. 37)

I 1949 lod Sovjet sin første atombombe eksplodere, som modtræk overfor den opbygningen af en amerikansk flåde af kernevåbenbærende bombefly.(McNeill, 1983; s. 361, 366-67)

Koreakrigen 1950-53 gav dette våbenkapløb yderligere fremdrift (McNeill, 1983, s. 361)(Cochran, 1984, s.11). I 1950 reagerede den amerikanske stat på tabet af dens monopol på atomvåben ved at forcere udviklingen af den mere slagkraftige brintbombe (Cochran, 1984, s. 6)(McNeill, 1983, s. 366). I 1951, da mellemdistancebomberen B-47 introduceredes af det amerikanske luftvåben, etablerede det fremskudte baser, der var tættere på Sovjet (Cochran, 1984, s. 11). Ni måneder efter at den amerikanske stat foretog sin første brintbombeprøvesprængning i november 1952, sprængte Sovjet sin første brintbombe.

I løbet af 50'erne udvikledes raketvåben, som både hurtigere og sikrere kunne frembære kerneladninger. De ballistiske missiler fik stadigt større rækkevidde og blev interkontinentale, det vil sige fik rækkevidde, der gjorde det muligt at skyde dem fra et kontinent til et andet. Bombeflyene trængtes derfor efterhånden i baggrunden. (Agrell, 1981, s. 14-16)

Udviklingen af mere langtrækkende missiler begyndte i USA i 1953, da det forlød, at Sovjet allerede rådede over en trinraket med en rækkevidde på 1300 km, og det første resultat var Redstone-raketten. Mellemdistancemissilet redstone var en forstørret og forbedret udgave af den tidligere tyske V2; men nye funktionelle træk var tilføjet. For eksempel frigjordes den udbrændte motorsektion med tanke osv., hvorefter projektilets første del med sprængladning og styringsautomatik forsatte mod målet som separat enhed. (Thernøe, 1959, s. 138)

Skønt de var mere komplicerede i opbygningen, kunne man nu konstruere brintbombe-sprænghoveder, der vejede langt mindre end de første klodsede uran- og plutoniumbomber. Udviklingen af brintbomber åbnede derfor op for, at man kunne bruge raketter som bærere for kernevåben. (McNeill, 1983, s. 367) I 1955 lykkedes det amerikanske fysikere at fremstille en letvægts-brintbombe med en virkningsradius, der var tilstrækkeligt stor til, at den kunne kompensere

for den ikke særligt store træfsikkerhed, man kunne forvente ved "kast", der spænder over en femtedel af jordens omkreds. (Thernøe, 1959; s. 76, 139-40)

Denne kernevåbenteknologiske kapabilitet åbnede op for, at Eisenhower i september 1955 kunne tillægge den højeste nationale prioritet til udviklingen af ballistiske missiler (Cochran, 1984, s. 12). I november 1955 placeredes ansvaret for udviklingen af alle længererækkende missiler hos det magtfulde amerikanske luftvåben, ligesom at udviklingen af det første amerikanske interkontinentale ballistiske missil (ICBM) påbegyndtes (Thernøe, 1959, s. 139). Store ressourcer tilførtes i årene derefter til missiludviklingen. I 1955 stod flyvemaskinerne for 36,3 % af de samlede militære indkøb i USA og missilsystemerne for 5,4 %. I 1960 var udgifterne til fly faldet til 22,5 %, hvorimod udgifterne til missiler var steget til 23,4 %. (OECD, 1968, s. 57)

I løbet af 1956 udvikledes mellemdistancemissilet Thor på rekordtid under indtrykket af Sovjetiske kapabiliteter, i 1957 var Atlas ICBM udviklet og året efter opstilledes dette missil (Thernøe, 1959, s. 139-40). De første interkontinentale missiler var store og dermed sårbare, da de var opstillet over jordoverfladen. Frygten for at et overraskelsesangreb fra modstanderens side skulle ødelægge ens egne missilsystemer begyndte nu at præge missilkapløbets retning. Man begyndte nu at placere kernevåbenbærende missiler i u-både, som herved skulle udgøre en nærmest usårlig gengældelsesstyrke i tilfælde af, at de øvrige kernevåben udslettedes. USA igangsatte derfor sit Polaris-program i slutningen af 50'erne, og Sovjet begyndte nogle år senere at udvikle u-bådsbaserede missiler. En anden udvej var at beskytte de interkontinentale missiler gennem at grave dem ned. Den anden amerikanske ICBM generation - Minuteman missilerne - anbragtes i chokbølge-sikre betonsiloer under jordoverfladen. (Agrell, 1981, s. 39-40)

50'ernes udvikling af mere langtrækkende raketvåben

indbød også andre krævende tekniske problemer end frembringelsen af tilstrækkeligt lette kernevåben. Ved kast, der spænder over større dele af jordens overflade, er det altafgørende for at opnå den fornødne nøjagtighed i nedslaget, at rakettens frie bevægelse (den ballistiske kurve) indledes på rette måde. Projektilets højde over jorden, hastighed og bevægelsesretning må være korrekte, når motoren stopper. Det forudsætter at opsendelsen i alle detaljer forløber efter beregningerne. Dette stillede krav til de mest udviklede former for styringsautomatik. En sådan styringsautomatik skulle have følgende egenskaber: Den måtte være i stand til at indlæse og behandle måledata, der informerede om den faktiske banekurve. Disse informationer skulle så sammenlignes med den tilsigtede banekurve, der lå lagret som program i en kunstig hukommelse. I tilfælde af afvigelser måtte der beregnes passende korrektioner af rakettens bevægelse, der straks skulle bringes til udførelse. Alt måtte ske fuldautomatisk og særdeles hurtigt, thi ved hastigheder af denne størrelsesorden ville eventuelle afvigelser udvikle sig katastrofalt længe inden et menneske kunne nå at reagere. Samtidigt skulle data vedrørende den individuelle rakets bevægelse kunne lagres som program - det vil sige, at styringsautomatikken skulle kunne programmeres. Udviklingen af længererækkende ballistiske raketvåben forudsatte derfor udviklingen af en teknologi, der kunne foretage hurtig og programmerbar automatisk databehandling under ekstreme forhold. Samtidigt var det ofte nødvendigt i militære raketanvendelser, at et sådant databehandlings-system var uafhængigt af alle ydre påvirkninger. Dette betød, at databehandlings-systemet nødvendigvis måtte være af så små dimensioner, at det kunne anbringes i selve raketten som en del af "nyttelasten". I andre tilfælde var systemet opdelt på rakettens nyttelast og en jordstation, hvilket krævede højhastigheds-datakommunikation mellem de to systemhalvdele. (Thernøe, 1959; s. 76, 101-108)

Den eksisterende rørbaserede digitale computer kunne under ingen omstændigheder honorere disse teknologiske krav. Det missilteknologiske problem oplevedes derfor i stigende grad presserende hos det amerikanske militær, frem for alt hos Luftvåbnet, efterhånden som missilkapløbet accelereredes. Den eneste på daværende tidspunkt tilgængelige teknologi, som indholdt sådanne potentialer, var den nyligt udviklede transistor-elektronik. Militæret søgte derfor planmæssigt at forcere transistorteknologiens udvikling i retninger, der efterhånden i stigende grad kunne muliggøre realiseringen af de påkrævede former for automatisk databehandling og datakommunikation. Digitale høj-hastigheds computere og høj-hastigheds datatransmissionsudstyr krævede begge dele elektroniske komponenter, der kunne forstærke ved (I) højere frekvenser. Frembringelsen af sådanne var følgeligt en klar militær interesse. Samtidigt udsattes disse komponenter for ekstreme arbejdsbetingelser. For eksempel oversteg den omgivende temperatur indenfor elektronisk styrede raketvåben ofte 75 grader C, hvilket var den maksimale arbejdstemperatur for de hidtil anvendte germaniumtransistorer. Som følge af denne begrænsning var militæret interesseret i udviklingen af transistorer, der kunne arbejde ved (II) højere temperaturer. Desuden spillede (III) øget modstandsdygtighed overfor radioaktiv stråling også en rolle, når man blev i stand til at bruge automatisk styrede missiler som bærere for kernevåben. Endelig var (IV) masseproduktionsevne en væsentlig interesse med henblik på opbygningen af en storstilet national produktionskapacitet, der kunne forsyne den nationale oprustning. (Misa, 1985, s. 280-81)

4.2 De militære teknologipolitiske magtmidler.

Som 50'ernes teknologiformende kraft havde våbenkapløbet en formidabel styrke repræsenteret ved militæret i USA. Denne magtfulde teknologipolitiske styrkeposition betod i flere faktorer:

- evnen til ved statslig indgriben at sætte den sædvanlige kapitalistiske opsplitning af den nationale teknologiske innovationsproces ud af kraft og indordne denne under en overordnet fælles målsætning, under henvisning til en ydre modstander.

- evnen til at tilføre særligt udvalgte innovationsprocesser uhyre kapitalmængder uden at være bundet af kapitalakkumulationens krav.

- de særligt gunstige nationale industrielle kvalifikations og ressourcemæssige (supermagts)forudsætninger.

Den massive militære teknologipolitiske indsats i 50'erne benyttede sig af en række koordinerede teknologipolitiske virkemidler af forskellig art overfor den videre udvikling af halvlederteknologien.

1) Iværksættelse af en række offentliggørelsesaktiviteter, der alle var rettet mod selektiv spredning fra Bell, især med henblik på formidling af viden til de amerikanske virksomheder, der var interesserede i at iværksætte en indsats inden for den nye teknologi. Denne spredning foregik selvfølgelig under streng militær kontrol.

Som en klart udtrykt opgave i Bell's anden militære transistorkontrakt, holdt det en konference om transistorensegenskaber og anvendelsesmuligheder i elektroniske

kredsløb i september 1951. Deltagerne var repræsentanter for de militære værn, universiteter og elektronikvirksomheder. (Misa, 1985, s. 267)(Golding, 1971, s. 292) En konference i april 1952 for Bell-licenstagere spredte mere detaljeret information om den nye teknologi. Det galdt især fremstillingsteknologien for en-krystaller af germanium og fabrikationsprocesserne for punkt- og fladetransistorer. Denne konference blev afholdt på anmodning af de militære værn og med støtte fra Bell's søstervirksomhed i AT&T-systemet, fremstillingsselskabet Western Electric. (Misa, 1985, s. 267-68)(Braun, 1979, s. 71)(Golding, 1971, s. 71) På grund af transistorteknologiens åbenlyse militære betydning bestræbte militæret sig for at kontrollere strømmen af informationer fra Bell. Alle udenlandske deltagere i konferencerne i 1951 og 52 skulle have indhentet sikkerhedsmæssig godkendelse på forhånd. (Golding, 1971, s. 327-28)

2) Opbygning af en grundfaglig basis i USA indenfor universitetsforskning og kandidatproduktion på det faststofelektroniske felt. Den militære finansiering spillede en vigtig rolle i opbygningen af universitetsforskning og -undervisning i 50'erne. Igennem dette tiår fordelte forsvarsministeriet mellem en og to mio. $ årligt til over 100 doktorkandidater med henblik på grundforskning i halvlederelektronik. (Golding, 1971, s. 330)

3) Udstedelse af produktionsudviklingskontrakter med det formål at udvikle og opbygge masseproduktionskapaciteter i USA for halvlederkomponenter med specifikationer, der tilfredsstillede de militære behov.

Den første produktionsudviklingskontrakt fra Signalkorpset gik til Western Electric i 1952. De fire andre selskaber, der opnåede støtte senere dette år, var General Electric, Raytheon, Sylvania og RCA (Braun, 1979, s. 102) (Golding, 1971, s. 327). Alt i alt brugte hæren næsten 13

mio. $ dette år på konstruktionen af pilotproduktionsanlæg og produktionsfaciliteter (Misa, 1985, s. 275) (Golding, 1971, s. 327). Hovedparten af denne sum, nemlig 11 mio., brugtes på udviklingen og opbygningen af en produktionskapacitet for legeringstransistorer (Asher, 1977, s. 70). Der var ikke tale om småpenge, som elektronikindustrien selv kunne levere:

> "The first such dollars were supplied in 1952 so that our industry could build production lines to manufacture alloy transistors. While many companies were willing to support R&D efforts in this exciting new technology in 1952, few would have had the courage to build multimillion dollar production lines at such an early date." (Asher, 1977, s. 70)

Den direkte statslige støtte i perioden 1955-61 til FoU og til produktionsudvikling er afbildet i tabel 4.1.

Tabel 4.1: Statsstøtten i USA tildelt direkte til virksomheder til halvleder-FoU og produktionsudvikling (mio. $), 1955-61 (Tilton, 1971, s. 93).

Støtteform	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961
FoU	3,2	4,1	3,8	4,0	6,3	6,8	11,0
Produktions-udvikling							
-Transistorer	2,7	14,0	0,0	1,9	1,0	0,0	1,7
-Dioder og ensrettere	2,2	0,8	0,5	0,2	0,0	1,1	0,8
I alt	8,1	18,9	4,3	6,1	7,3	7,9	13,5

4) Udstedelse af kontrakter til finansiering af grundlæggende FoU indenfor halvlederindustrien i USA med det formål at tilvejebringe prototyper og pilotproduktionsprocesser, der tilfredsstillede militære specifikationer.

Dosi anslår, at den militære finansiering af grundlæggende FoU og produktionsudvikling i alt lå på mellem 4 og 8 mio. $ om året i begyndelsen af 50'erne (Dosi, 1984, s. 43). Som indikeret af tallene i tabel 1 bidrog den amerikanske stat med en betydelig direkte støtte til mere grundlæggende FoU fra 1955 til 61. Støtten til FoU stod for mere end halvdelen af midlerne, der uddeltes i perioden som helhed, og de øgedes betydeligt undervejs (Tilton, 1971, s. 92-93). Tabellen repræsenterer imidlertid ikke den sande situation, idet den udelukker den FoU-finansiering, som halvledervirksomhederne modtog indirekte gennem underkontrakter, der placeredes af de primære våbensystemkontraktindehavere. I 1960 iværksatte det amerikanske forsvarsministerium en specialundersøgelse for at fastlægge hvilke summer, der faldt ud, når man begrænsede sig til at opgøre den direkte FoU-støtte. Tabel 4.2, som er et resultat af denne undersøgelse, inkluderer både direkte og indirekte udgifter og viser, hvorledes de samlede statslige og privatfinansierede udgifter til mere grundlæggende FoU fordelte sig.

Tabel 4.2: Udgifter til halvleder-FoU (mio. $) (Asher, 1977, s.11).

	1958	1959	januar-april 1960
Statslige støtte i alt	13,9	16,2	6,8
Forsvarsministeriet	12,6	14,4	6,3
Andre	1,3	1,8	0,5
Virksomhedernes andel	41,8	54,6	25,4
I alt	55.7	70.8	32.2

Ved sammenligning med tabel 4.1 ser man tydeligt, at de samlede statsfinansierede udgifter i 58 og 59 til halvleder-FoU var ca. det tre-dobbelte af den direkte finansierede talværdi, og de samlede statslige FoU-kontrakter udgjordes stort set af militær finansiering. Kategorien "andre" i tabel 4.2 dækkes formentlig i det store og hele af FoU-kontrakter fra det i 1958 oprettede NASA, hvis halvlederteknologiske interesser viste sig at ligge i umiddelbar forlængelse af de militære (se s. 121).

Den militære interesses indflydelse formidlet via FoU-kontrakter var derfor generelt meget større end, hvad værdien af de direkte tildelte FoU-kontrakter angiver. Som tabel 4.2 antyder, lå den militære interesses økonomiske involvering på mellem 1/5 og 1/4 af det samlede FoU-beløb (Golding, 1971, s. 330) (Asher, 1977, s. 11).

5) Udstedelse af militære indkøbskontrakter til den amerikanske halvlederindustri med det formål at købe komponenter, der tilfredsstillede militære specifikationer. Det drejede sig om de nyeste, mest avancerede (i fht. militære behov) og dyreste produktionsserier, hvor militæret reelt var eneaftager. De pågældende produktioner forlangtes da også rettet mod tilfredsstillelse af specielle militære krav.

Det militære marked kulminerede i relativt omfang i 1960, da militæret tegnede sig for næsten halvdelen af værdien af alle halvlederleverancer. Den militære andel af produktionen var muligvis lige så stor eller større i perioden fra 1952-54. Næsten alle de 90.000 transistorer, der produceredes i 1952 - for det meste punktkontakttransistorer fra AT&T's produktionsselskab Western Electric - blev købt af militæret. At de militære køb regelmæssig lå højere i værdi end i kvantitet må forklares med, at den militære efterspørgsel først og fremmest drejede sig om de nyeste komponenter og/eller komponenter med de strengeste kvalitetsspecifikationer. Tabel 4.3 viser de

direkte militære indkøb af halvlederkomponenter. (Braun, 1979; s. 100, 113-14)

Tabel 4.3: Procentdel af USA's halvlederproduktion bestemt for militær anvendelse.(Braun, 1979, s. 114)

	efter mængde	efter værdi
1955	22,0	35,0
1956	22,2	35,6
1957	21,3	35,8
1958	21,5	38,5
1959	25,8	45,5
1960	28,6	47,7
1961	25,0	39,3
1962	22,0	38,4
1963	17,0	33,0
1964	14,9	24,7
1965	11,8	23,6

En lignede tabel (tabel 4.4), som går helt frem til 1968, inkluderer andre statslige instansers andel af produktionsværdien via direkte indkøb, hvilket gør den statslige andel en smule større fra 1962 og frem. Den betydligste af disse andre instanser er det i 1958 oprettede NASA. Det spiller formentlig også en rolle for afvigelserne at at tabel 4.4 er mere "up to date".

Tabel 4.4. Den samlede produktion af halvledere fordelt på statslige og andre behov, 1955-68. (Tilton, 1971, s. 90)

	samlet produktions-værdi (mio. $)	statslig andel (mio. $)	statslig andel %
1955	40	15	38
1956	90	32	36
1957	151	54	36
1958	210	81	39
1959	396	180	45
1960	542	258	48
1961	565	222	39
1962	575	223	39
1963	610	211	35
1964	676	192	28
1965	884	247	28
1966	1.123	298	27
1967	1.107	303	27
1968	1.159	294	25

Selv om de beskrevne teknologipolitiske virkemidler er stillet op hver for sig for overskuelighedens formål, så udgjorde de imidlertid en fungerende helhed og må bedømmes som sådan. Det samlede sæt af militære politiske virkemidler intenderede både indvirkning på hastigheden og karakteren af den videre halvlederteknologiske udvikling.

Offentliggørelsesaktiviteterne (punkt 1) var en nødvendig betingelse for iværksættelsen af en storstilet national amerikansk teknologiudviklingsindsats på halvlederområdet, der kunne forcere innovationsprocessen i ønskede retninger. Offentliggørelsesaktiviteterne betød at militæret lagde op til en "del og hersk"-politik (denne behand-

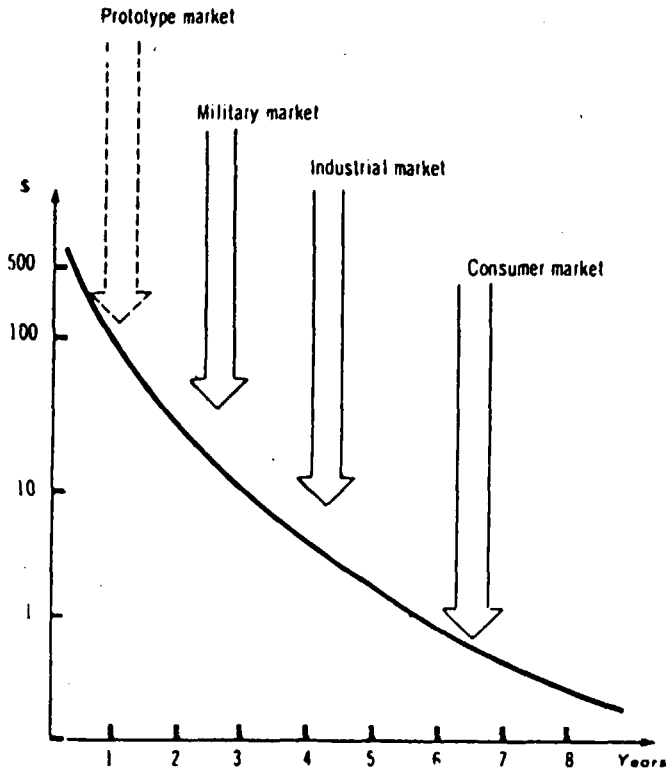
les længere fremme i teksten).

FoU-, produktionsudviklings- og indkøbspolitikken benyttedes som midler til selektivt at forcere udviklingen af halvlederteknologien i forskellige retninger. For det første var den militære økonomiske involvering i halvlederudviklingen i 50'erne massiv, idet den udgjorde op imod halvldelen af de ressourcer, der anvendtes. Dette galdt 1) udgifterne til grundlæggende FoU i virksomhederne, hvor den samlede statslige andel (direkte + indirekte udgifter) i 1958 og 59 var ca. 1/3, 2) udgifterne til produktionsudvikling, hvor militærets bidrag også var meget vægtige i løbet af 50'erne, og 3) det militære marked, som udgjorde mellem 1/3 og halvldelen af den samlede omsætning i hvert enkelt år i 50'erne. For det andet havde de militære kontrakter af alle tre kategorier karakter af bestillingsarbejder til nøje specificerede krav til hhv. prototyper/pilotproduktionsprocesser, masseproduktionsprocesser og produktionsserier. Rent kvantitativt-økonomisk betragtet fremtræder den militære interesses indflydelse dermed som jævnbyrdig med de ikke-militære interesser - militæret stod jo "kun" for op imod halvdelen af de involverede kapitalressourcer.

Militærets teknologipolitiske magt over 50'ernes halvlederteknologiske udvikling overgik imidlertid klart dets rent kvantitative involvering. Militæret var nemlig i stand til at fokusere sine vældige økonomiske ressourcer ind i særligt udvalgte innovationsprocesser. Dette betød at de militære instanser selektivt tilstræbte at forcere særlige halvlederteknologiske udviklinger, der enten slet ikke ville være fundet sted eller kun ville være realiseret meget langsommere. Denne teknologipolitiske styrkeposition beroede på, at militæret kunne betale meget højere priser per produktenhed end det civilt-kapitalistiske marked, der var bundet af kapitalakkumulationens loft over produktionsomkostningerne (man skal ned på et bestemt omkostningsniveau før produktionen er profitabel). De mili-

tære værn udnyttede da også denne styrkeposition. Halvlederteknologien var i 50'ernes 60'ernes tidlige udviklingsstadium karakteriseret ved ekstremt høje enhedspriser for de første produktionsserier og frem for alt for prototyperne af en given halvlederkomponent. Dette forhold udelukkede effektivt andre førstehåndsaftagere end de militære. De senere produktionsserier af en given halvlederkomponent-type var almindeligvis karakteriseret af kraftige prisfald, og inden for få år kunne prisen gøres lav nok til at trænge ind på de civilt orienterede markeder. OECD har illustreret rækkefølgen i de skiftende afsætningsmarkeder som en funktion af prisfald og tid i figur 4.1 .

Figur 4.1: Det typiske forløb for enhedsomkostninger og markedsgennemtrængning (eksemplificeret ved 60'ernes integrerede kreds) (OECD, 1968, s. 64).



Baggrunden for dette prisfald var noget helt fundamentalt for produktioner i det hele taget. Jo mere erfaring virksomhederne fik med en given produktionsproces, jo mere effektiv blev fremstillingen af produkter, og jo lavere blev omkostningerne per produktenhed - innovationsprocessen fuldbyrdedes så at sige gennem en læreproces. Det er derfor at denne kurvetype er blevet betegnet som "lærekurven" for en given produktion. Den særlige militære teknologipolitiske styrkeposition bestod således i, at det kunne afgøre en given innovationsproces' videre skæbne ved at gå finansielt ind i den på et kritisk tidspunkt, hvor det civile marked ikke kunne. Militæret var nemlig i den eksklusive position, at det kunne vælge om det ville gå ind og bekoste udviklingen af 1) prototyper og pilotproceser gennem sin FoU-politik og 2) masseproduktionsprocesser gennem sin produktionsudviklings- og indkøbspolitik. Her var fase 2 klart den mest ressourcekrævende og kritiske. Manglende finansiel støtte fra militæret betød fuldstændig eller delvis lammelse af innovationsprocessens videre forløb, hvorved de civile behov i bedste fald først ville komme på tale som afsætningsmarkeder på meget langt sigt. Kapitalakkumulationsmulighederne var derfor stort set udelukket. Hvorimod massiv militær finansiering til høje enhedspriser i disse indledende stadier betød storstilet kapitalakkumulation med følgende forcering af lærekurveprocessen, således at det blev muligt for virksomhederne meget hurtigere at trænge ind på de civile markeder (Golding, 1971)(OECD, 1968, s. 63-64)(Tilton, 1971, s. 90-91). Det af læreprocessen betingede prisfald var selvforstærkende, idet indtrængningen på det almindelige kommercielle marked betød yderligere prisfald. Dette marked stillede nemlig ikke så store krav til teknisk ydeevne som det militære marked, hvorfor man kunne slå af på kvalitetskravene (Tilton, 1971, s. 90-91). Samtidigt betød den militære finansiering af FoU-aktiviteterne subsidiering af salget på det civile marked, således at komponenterne kun-

ne sælges endnu billigere og dermed med endnu større gennemtrængningsevne overfor de civile behov.

Men ikke nok med at militæret tilstræbte at forcere halvlederteknologiens udvikling i særlige retninger gennem fokusering af strømmen af økonomiske midler til selektivt udvalgte innovationsprocesser. Det søgte desuden at forcere innovationsprocessen ved at benytte de teknologipolitiske virkemidler til at effektivisere arbejdsfordelingen i halvlederindustrien i USA.

Igennem FoU-, produktionsudviklings- og indkøbspolitikken søgte militæret at skabe en arbejdsdeling på amerikansk grund mellem etablerede rørselskaber og nyopstartede "spin-off"-virksomheder, der var optimal i forhold til militærets interesse i at forcere halvlederudviklingens tempo i særligt udvalgte retninger. Bell Labs og de andre etablerede store rørvirksomheder var de eneste tilstedeværende i halvlederindustrien i begyndelsen af 50'erne. De store rørvirksomheder havde etablerede og ydedygtige forskningslaboratorier og var derfor de mest effektive i innovationsprocessens mere grundlæggende stadier. Visse data peger på, at i hvert fald 50'ernes militære FoU-politik først og fremmest satsede på at udnytte disse laboratoriers grundlæggende innovative kapabiliteter til frembringelse af relevante prototyper og pilotprocesser (Tilton, 1971, s. 93-95). Dette foregik ved, at de fleste FoU-midler kanaliseredes ind i de etablerede rørvirksomheders FoU-aktiviteter (se tabel 4.5).

Tabel 4.5: Fordelingen på firmatype i 1959 af 1) den statslige finansiering af FoU, 2) virksomhedernes egenfinansiering af FoU, 3) halvlederkomponentafsætningen i USA og 4) afsætningen til militæret (Tilton, 1971; s. 91, 94).

	1	2	3	4
	stats-midler %	firma midler %	samlet salg %	militært salg %
Etablerede firmaer	78	50	37	31
Nye firmaer	22	50	63	69
I alt	100	100	100	100

De etablerede rørselskaber var imidlertid ineffektive i forhold til de militære forceringsinteresser, hvad angik videreudviklingen af disse grundlæggende opfindelser til masseproduktionsprocesser, der tilfredsstillede militære krav. Rørselskaberne var ofte bundet af et økonomisk engagement i eksisterende profitable stadier af elektronikkomponent-teknologien, hvilket gjorde dem uvillige til at iværksætte det tekniske udviklingsarbejde, der var nødvendigt for realisering på det militære marked. Der eksisterede derfor en reel teknologipolitisk interessemodsætning mellem militærets forceringsinteresse og de etablerede rørvirksomheder. Militæret satsede imidlertid på at sætte disse selskabers teknologipolitiske magt ud af spillet gennem en "del og hersk"-politk. Her benyttede militæret sin indkøbspolitik til at efterspørge halvlederteknologiske nyudviklinger, der tilfredsstillede særlige militære specifikationer. Da nye virksomheder ikke var bundet økonomisk af eksisterende produktionslinier, fremmede den mi-

litære indkøbspolitik objektivt dannelsen af spin-off virksomheder ud fra de eksisterende selskaber. Disse spin-off's fandt sted gennem talrige afhopninger af videnskabelig-teknisk personale og management, der førte den allernyeste videnskabelig-teknologiske viden om prototyper og pilotprocesser med sig bort fra de etablerede FoU-laboratorier. Disse afhopninger blev yderligere hjulpet af, at militæret gennem sin FoU-politik signalerede, hvilken vej det ønskede udviklingen skulle gå. Data peger da også på, at disse nye virksomheder stod for størstedelen af halvledersalget og en endnu større del af det militære marked (se tabel 4.5 og 4.6). (Dosi, 1984, s. 164-70)(Tilton, 1971; s. 77-81, 95-97)(Golding, 1971, s. 240-61)

Igennem de beskrevne teknologipolitiske virkemidlers med omhu styrede multiplikative effekt oversteg militærets teknologipolitiske magt klart den beherskelse, det ville have opnået gennem en passiv økonomisk involvering i den halvlederteknologiske udvikling. Den militære teknologipolitik virkede gennem den politisk styrede acceleration af den normale kapitalistiske konkurrencekamp. Profitabilitetskriteriet ville derfor reelt blive sat ud af spillet som socio-kulturel teknologiformende kraft, i og med at den massive statslige involvering tillod et omkostningsniveau hos halvlederproducenterne, der under "normale" omstændigheder ikke ville have været profitabelt. Halvlederproducenterne kunne vælge mellem storstilet akkumulation, ved at udvikle komponentproduktioner der tilfredsstillede militære specifikationer, eller opleve stærkt reduceret akkumulation for ikke at sige tab ved deres aktiviteter. Man kan derfor tale om, at 50'erne var karakteriseret af, at militæret på baggrund af våbenkapløbet tilstræbte en planmæssig forcering af havlederteknologiens udvikling i specifikke retninger og en lokalisering af denne udvikling i USA.

4.3 Transistorteknologiens udvikling.

Transistorudviklingen i 50'erne blev, som det skal vises i det følgende, resultatet af militærets planmæssigt kontrollerede forcering af den halvlederteknologiske søgningsproces i USA's elektronikindustri. Den storstilede amerikanske militære teknologipolitik udgjorde en nødvendig, men dog ikke en tilstrækkelig betingelse for etableringen og opretholdelsen af 50'ernes monopolistiske militære planmæssige styring af transistorteknologiens udvikling. Der var tale om flere (i alt 5) forudsætninger, som tilsammen udgjorde den tilstrækkelige betingelse for militærets monopolistiske kontrol i 50'erne. Disse betingelser fik også betydning for 60'ernes udviklingsfase.

1) Store etablerede rørselskaber var som nogen af de eneste i verden i stand til at iværksætte den fornødne mængde høj-usikker og langsigtet forskning. Grundforskningsaktiviteter er af deres natur risikobetonede investeringer og resultaterne kan være svære at privatisere. Ligesom at det tager lang tid at opbygge ydedygtige grundforskningsmiljøer. Begge faktorer favoriserede store etablerede virksomheder. Kun det tyske Siemens og det hollandske Philips var sammenlignelige med store amerikanske rørselskaber som General Electric, RCA, Sylvania, Philco, Raytheon og Westinghouse. (Dosi, 1984; s. 28-38, 42)(Tilton, 1971; s. 50,57)

2) Det nationale forsknings- og udviklingssystem i USA indeholdt som nævnt en betydelig brobygningsinstitution mellem grundvidenskab og anvendelsesorienteret forskning ved navn Bell Laboratories, som ikke havde sit lige noget andet sted i verden. Bell kom da også til at udføre hovedparten af den grundforskning, der grundlagde halvlederteknologien. (Dosi, 1984; s. 28-38, 42)

3) I halvlederteknologiens grundlæggelsesfase i 50'erne og 60'erne finansierede den amerikanske stat den nationale halvlederindustri i et storstilet omfang, som man hverken magtede i Europa eller Japan. Det europæiske militære marked var meget mindre end det amerikanske og opsplittet på forskellige nationalstater. Japan havde af gode grunde intet militært marked. Etableringen af halvlederteknologien medførte trial-and-error procedurer, som kostede uhyre ressourcer bl.a. af kapital. Det var kun den amerikanske stat, der var leveringsdygtig i kapitaltilførsler af denne størrelsesorden. (Dosi, 1984; s. 41-48, 58-61,)

4) Endelig var den store mobilitet af videnskabsmænd, teknikere og managers vigtig for udnyttelsen af den overflod af teknologisk viden, der fremkom. Som allerede påpeget blev de fleste vigtige halvlederteknologiske innovationer realiseret af nye spin-off-virksomheder, der dannedes ud fra "gamle" rørvirksomheder, som fandt det mere rentabelt at udnytte eksisterende produktioner fuldt ud. De nye virksomheder fik ofte samme skæbne. (Dosi, 1984; s. 42, 50)

5) Desuden var tilgængelig risikovillig kapital en nødvendighed. (Dosi, 1984, s. 50) Nemlig kapital, der ønskede at finansiere spin-off virksomheders udvikling af uafprøvede opfindelser til produktionsprocesser.

Det var på baggrund af disse betingelser, at det amerikanske militær opnåede herredømme over 50'ernes og 60'ernes halvledederteknologiske udvikling, og fik lokaliseret denne på amerikansk grund. Herved reduceredes andre nationalstaters komponentindustrier i hovedsagen til at være halvlederteknologisk imiterende i denne periode.

I det følgende gives et billede af, hvorledes våbenkapløbets teknologiske problematikker via militærets tek-

nologipolitik konkret satte sig igennem i den halvlederteknologiske søgningsproces i industrien. Resultatet var den planmæssigt forcerede frembringelse af en række basale procesteknologiske innovationer, der i hurtig takt afløste hinanden og efterhånden realiserede bestemte militært interessante udviklingspotentialer i Shockley's grundlæggende fladekontakt-transistorprincip. Transistorteknologiens udviklingsretning blev derved givet ved basis-dimensioner som 1) større tilgængelighed for produktion i stor målestok, 2) arbejdsevne ved stadigt højere frekvenser og 3) funktion ved højere temperaturer. Sekundært interessante potentialer, der efterhånden realiseredes, var evnen til at arbejde ved højere effekter, højere pålidelighed, lavere støjniveau og modstandsdygtighed over for stråling. Hvad, militæret derimod som nævnt ikke bekymrede sig om, var prisbillighed.

Transistorer med arbejdsevne ved højere temperaturer.

Den dyrkede silicium fladekontakt-transistor. Militære anvendelser krævede ofte elektroniske komponenter, der kunne arbejde ved høje temperaturer. Dette galdt for aerospaceanvendelser (fly/missiler) af både kommunikations- og missilteknologisk karakter. F.eks. oversteg den omgivende temperatur indenfor missiler og jetfly ofte 75 grader C, hvilket var den maksimale arbejdstemperatur for germaniumtransistorer. Ligeså vigtigt var, at de militære anvendelser krævede, at udstyret skulle være af den lille størrelse, der så nemt opnåedes ved at bruge faststof-komponenter. Som følge af denne begrænsing ved germaniumtransistorer var militæret interesseret i udviklingen af siliciumtransistorer, da man forventede at disse havde større evne til at fungere tilfredsstillende ved højere temperaturer. (Misa, 1985, s. 280)

En sekundær årsag til militærets interesse i siliciumkomponenter var deres modstandsdygtighed overfor stråling. Med udvidelsen af den atomkraftdrevne flåde og Luftvåbnets planer om at udvikle et lille kernevåbenbærende fly, blev indkøb af transistorer, der var i stand til at modstå stråling, et erklæret mål.(Misa, 1985, s. 280)

I 1952/53 igangsatte Luftvåbnet et større FoU-program i silicium, rettet mod at udvikle en transistor, der var mere egnet til aerospace-anvendelser. Dette program involverede kontrakter til en værdi af 5 mio. $. (Golding, 1971, s. 327)

I 1954 introducerede Texas Instruments den første siliciumtransistor, idet virksomheden byggede på forskning udført på Bell Labs. Texas Instruments rekrutterede den tidligere nævnte forsker Gordon Teal fra Bell i 1952 for at etablere et faststof-laboratorium, med henblik på at udvikle en produktion af transistorer, der egnede sig til militære anvendelser. Det var lykkedes for Teal at dyrke en-krystaller af silicium før han forlod Bell. Fremstillingen af en siliciumtransistor, med dens teoretisk forventede høje temperaturkapabilitet, på en produktionsmæssig basis blev en af denne gruppes hovedmål. TI forsøgte at udvikle en produktionsproces for fladekontakt-transistorer af silicium ved hjælp af dyrkningsmetoden, mens de fleste af virksomhedens konkurrenter forsøgte at konstruere legerings-fladetransistorer af silicium eller undersøgte de nyligt opdagede III-V halvlederforbindelser. I 1954 var TI klar med en produktion af dyrknings-fladetransistorer af silicium, som i det store og hele blev afsat på det store militære marked. Siliciumtransistoren åbnede effektivt op for det amerikanske militære marked, som krævede højere arbejdstemperaturkapabilitet end germanium kunne tilbyde. I tre år var TI effektivt eneleverandør af siliciumtransistorer til priser som gav profitter, som virksomhedens leder senere beskrev som "ekseptionelle". Det var bemærkelsesværdig lang tid i en industri, hvor

virksomheder normalt kopierede en ny komponent indenfor 6 måneder. Siliciumtransistoren løftede det lille firma op til den øverste position i halvledersalg (Se tabel 4.6). I de i tabellen undersøgte år 1957 og 60 havde TI 20% af halvledermarkedet i USA.(Tilton, 1971, s. 65-66) (Golding, 1971; s. 73, 158-59)

Trods siliciumtransistorernes værdifulde evne til at fungere ved høje temperaturer forsinkedes deres udbredelse af adskillige vanskeligheder, og vanskeligheden med fremstille tilstrækkelig rent silicium var ikke den mindste af dem. Silicium har et interval på 1,2 elektronvolt mellem sine energibånd mod germaniums 0,72 eV. Det er dette forhold, der gør, at silicium kan fungere som faststof-forstærker også ved højere temperaturer, men det kræver til gengæld, at afstanden mellem elektroderne må være mindre. At få afstanden tilstrækkelig lille var vanskeligt nok ved produktion af germaniumtransistorer. Men selv når problemerne med renhed og elektrodeafstand var overvundet, så havde siliciumtransistoren dårligere højfrekvensegenskaber end germaniumtransistoren på grund af den mindre ladningsbærermobilitet i silicium. På grund af disse vanskeligheder blev næsten alle transistorer helt frem til 1955 produceret af germanium og ikke af silicium. Langt ind i 60'erne fremstillede man 75 % af alle transistorer af germanium. Der var således grænser for militærets interesse i denne procesinnovation. (Braun, 1979, s. 84)

Produktion af transistorer med stigende øvre grænsefrekvens.

Hvad, militæret ønskede meget, var en transistor, der var i stand til at forstærke højfrekvenssignaler. Højfrekvensradioer, høj-hastigheds datatransmissionsudstyr og høj-hastigheds computere krævede alle elektroniske komponenter, der kunne forstærke ved højere frekvenser. Anven-

delsen af transistorer i stedet for elektronrør til højfrekvensformål ville muliggøre radikale reduktioner i størrelse, vægt og effektkrav. Da punktkontakt-transistorer og dyrkede fladekontakt-transistorer simpelthen ikke kunne opfylde dette behov, støttede Signalkorpset stærkt udviklingen af nye komponenttyper. Herigennem signalerede Signalkorpset, hvilken vej militæret ønskede, transistorudviklingen skulle gå, og hvor de fremtidge masseopkøb følgeligt ville komme. (Misa, 1985, s. 281)

Responsen kom hurtigt. I 1952 udvikledes en fremstillingsproces for legerede fladekontakt-transistorer, der havde bedre egenskaber ved højere frekvenser end dyrkede fladetransistorer. I 1953 udvikledes fremstillingsprocessen for overfladebarriere-transistoren, som havde endnu bedre højfrekvensegenskaber. Disse to innovationer var betydningsfulde, men det virkelige gennembrud indefor højfrekvenskomponenter var diffusions- og oxidafmaskningsprocessen, som frekom i 1954-56 (Misa, 1985, s. 281). Denne udvikling repræsenterede ligeledes successive gennembrud indenfor masseproduktionsevne. Andre militært interessante forbedringer fandt også sted.

Produktion af legerede fladekontakt-transistorer. Det militært initierede Bell Symposie i 1952 drejede sig om krystaldyrkning og transistorkonstruktion og stimulerede utvivlsomt den erhvervsmæssige interesse og aktivitet. Men den vigtigste nyskabelse indenfor produktionen af fladekontakt-transistorer i 1952 skete ikke hos Bell, men hos en anden etableret virksomhed General Electric. (Braun, 1979, s. 80) Skønt meget af det grundlæggende metallurgiske arbejde var blevet udført hos Bell, var General Electric ansvarlig for denne innovation. Processen indebar legeringen af indium-piller på de modstående sider af en tynd germaniumskive. Metoden frembragte en legeret fladekontakt-transistor og blev umiddelbart derefter også taget i anvendelse af RCA. Raytheon Producerede legerede flade-

kontakt-transistorer i nogen mængde til høreapparater i slutningen af 1952, under licens fra begge disse virksomheder. Med legeringsprocessen blev det muligt at fremstille større basislag, hvilket betød stigende effektbehandlingsevne. Men der kunne ikke opnås nogen formindskelse i tykkelsen af basisregionen, som bestemte ydeevnen ved høje frekvenser. Legerings-fladekontakt-transistoren var en hel del mere tilgængelig for produktion i stor målestok end dyrknings-fladekontakt-transistoren og var billigere. Produktionsprocessen var dog stadigvæk individuel. Når frekvensydeevnen forbedredes med stigende erfaring med dannelse af fladekontakter, fortrængte legerings-fladekontakt-transistorerne gradvis dyrknings-fladekontakt-transistorerne i radiomodtagere. Virksomheder mødte imidlertid vanskeligheder med at anvende legeringsteknikken til silicium.(Golding, 1971, s. 72) (Braun, 1979, s. 80) (Rateksa, s. 110-11)(Shepherd, 1973, s. 14)

Militæret var klart interesseret i udviklingen af transistorer med bedre højfrekvensegenskaber og bedre duelighed for masseproduktion og kanaliserede da (som tidligere nævnt) også sin første bevilling til produktionsudvikling for året 1952 ind i den videre rafinering af legerings-fladekontakt-transistorteknologien (Asher, s. 70). Bortset fra Sylvania var det netop ovennævnte General Electric, RCA, Raytheon og Western Electric, som delte dette års bevilling - alle pionerer indenfor fremstilling af legerede fladekontakt-transistorer.

En teknologisk løsning på højfrekvensproblemet blev fundet af Philco Co. i slutningen af 1953. Denne specielle teknologi lå noget uden for hovedstrømmen i transistorudviklingen. Philco anvendte en elektrokemisk metode (ætsning med en stråle af elektrolytisk væske) til at opnå tynde basisregioner og fladekontakter med et lille areal. Der var dog grænser for hvor nøjagtigt man kunne kontrollere basislagets tykkelse med denne metode. Samtidigt kunne den stadigvæk kun producere fladekontakt-transistorerne

enkeltvis, hvilket udelukkede virkelige masseproduktionsprocesser. (Shepherd, 1973, s. 14) I omkring to år midt i 50'erne var denne såkaldte overfladebarriere-transistor den transistor, som kunne klare de højeste frekvenser af de kommercielt tilgængelige. Denne transistortype havde den øvre frekvensgrænse ind i megahertz-området (mio. svingninger per sekund). Overfladebarriere-transistoren blev kun fremstillet i germanium, da fremstilling i silicium var uigennemførlig. Pga. basislagets ringe tykkelse var komponenten mindre robust (og derved mindre pålidelig) og mere dyr at fremstille end legerings-fladetransistoren.

Profitabel fremstilling af overfladebarriere-transistorer baseret på den specielle elektrokemiske proces, var afhængig af høje investeringer i automatisk udstyr. Som resultat drev Philco det største transistorfremstillingsanlæg i USA i 1956. I begyndelsen benyttedes overfladebarriere-transistoren udelukkende i militære produkter, men da priserne faldt, kunne de afsættes på markederne for tidlige computer-komponenter og forbrugerudstyr (blandt andet de første kommercielt tilgængelige lomme-transistorradioer). Kendsgerningen, at en af Philco's afdelinger havde en profitrate på næsten 30 % efter skat i slutningen af 50'erne bevidner overfladebarrierre-transistorens profitabilitet. I de tidlige 60'ere, var det tydeligt, at Philco-processen var gjort forældet af andre teknologiske udviklinger, og Philco måtte trække sig ud af branchen. (Golding, 1971; s. 72-73, 167)(Braun, 1979, s. 80-81) (Dummer, 1978, s. 131)

Diffusions- og oxidafmaskningsprocesserne. En ny fabrikationsteknik, som skulle få stor betydning for elektronikkens fremtidige udviklingsretning, var diffusionsprocessen, som bekendtgjordes i 1954/55. Denne proces var gennembruddet indenfor højfrekvenskomponenter og masseproduktion. Den blev taget i anvendelse til fremstilling af fladekontakt-transistorer af germanium og senere også af

silicium. Det var arbejdet hos Bell og General Electric, der skabte denne proces. Forskning i diffusion af III-V urenheder (herunder grundstofferne bor og fosfor) ind i germanium og silicium af C.S. Fuller og H. Reis på Bell, og af Dunlap på General Electric udgjorde grundlaget for transistorfremstilling, som udnyttede diffusion som et nøgle-procestrin. Bell var den første til fuldt ud at integrere disse resultater i germanium- og siliciumtransistorer. Diffusionsteknikken viste sig at være en af de mest kontrollerbare metoder til at udforme P-N overgange. Da de almindelige urenheder diffunderer meget langsomt i halvledere med hastigheder, som kan varieres ved at justere temperaturen, kan man ved at regulere på tid og temperatur opnå nøjagtig kontrol og reproducerbarhed af fordelingen af urenheder i halvledermaterialet. Derved opnår man kontrol over de resulterende komponenters elektriske parametre. (Dummer, 1978, s. 135)(Braun, 1979, s. 81)

Evnen til at kontrollere basislagets tykkelse - den kritiske faktor for komponentens frekvensfølsomhed, sådan at det kun blev en brøkdel af en my (en tusindedel mm), hvilket var mere end ti gange så nøjagtigt som ved de tidligere processer - betød at man nu kunne fremstille VHF (very high frequency) transistorer. Det vil sige komponenter, der var i stand til at arbejde i VHF området (30-300 mio. svingninger per sekund). (Braun, 1979, s. 104) (Dummer, 1978, s. 135)

Ved kombinering med avanceret fotografisk teknik blev man således i stand til at lægge fine maske-mønstre på halvlederne, hvorved diffusionen skete netop på de områder, man ønskede. Udmaskning med siliciumdioxid viste sig særligt hensigtsmæssig i denne sammenhæng. Denne proces udvikledes af C.J. Frosch ved Bell og offentliggjordes i 1956. Han observerede i sin forskning, at termisk dyrket oxid på silicium hæmmede diffusionen af bestemte urenheder, herunder III-V grundstofferne bor og fosfor. Med fotografisk afmaskning, der skal forhindre ætsning, bor-

tætses (med våde kemikalier) udvalgte områder af det beskyttende overfladelag af siliciumdioxid. Her muliggøres selektivt diffusion. Kombinationen af diffusions- og oxidafmaskningsprocesserne udgjorde et meget kraftfuldt værktøj til siliciumbehandling. (Dummer, 1978, s. 138)(Tilton, 1971, s. 75)

Diffusionstransistorer udgjorde en større nyskabelse i flere forskellige retninger: der opnåedes en betydelig forøgelse i frekvensydeevnen, pålideligheden forbedredes med en størrelsesorden, og fordi diffusionsprocessen er en batch (portionsvis fremstilling) og ikke en individuel fremstillingsproces, blev virkelig masseproduktion mulig. Tusindvis af transistorer kunne fremstilles på en gang under næsten identiske betingelser. Herved skete der også en betydelig reduktion af enhedsomkostningerne. (Shepherd, 1973, s. 14)(Golding, 1971, s. 74)

Politiske overvejelser i form af en igangværende antitrust-sag, overbeviste Bell om at stille diffusionsteknologien til rådighed for den øvrige industri så hurtigt som muligt for at undgå at fremtræde som et monopol på transistorfeltet. (Misa, 1985, s. 281) Bell sammenkaldte derfor endnu et symposium i januar 1956 (diffusionssymposiet) for at lette overførslen af oxidafmasknings-og diffusionsteknologien til dens licenstagere. Adskillige virksomheder forsøgte at tilpasse den revolutionerende teknik til deres eksisterende fremstillingsteknologi. (Golding, 1971, s. 74)

Med udviklingen af diffusionsprocessen blev militæret overbevist om, at transistorer nu kunne finde bred anvendelse inden for fremtidigt militært udstyr. Mens den militære støtte til FoU og produktionsudvikling i det meste af 50'erne lå på et niveau mellem 4 og 8 mio. $ per år, så udskiller 1956 sig klart herfra (se tabel 4.1). (Freeman, 1982 (2), s. 100) I slutningen af 1955, da Bell stillede diffusionsprocessen til rådighed for eventuelle licenstagere, var Signalkorpset klar med en ekstraordinær stærk

dosis af midler til produktionsudvikling til de virksomheder, som ville iværksætte fabrikation af diffusionstransistorer (Misa, 1985, s. 281-82) (Asher, 1977, s. 70) Hermed blev en større bevilling på 14 mio. $ stillet til rådighed i 1956 og udelukkende kanaliseret ind i produktionsudvikling af transistorer (sml. m. tabel 4.1) (Freeman, 1982 (2), s. 100)(Misa, 1985, s. 282) Kontrakterne, som blev uddelt, strakte sig over de næste to eller tre følgende år (Freeman, 1982 (2), s. 100) og indbefattede ud over den nævnte bevilling til produktionsudvikling også bevillinger til militært opkøb af de producerede transistorer. Sådan at den totale kontraktsum var på 40 mio. $ (OECD, 1968, s. 62). Forceringen af diffusionstransistorudviklingen var ekstraordinært voldsom - størstedelen af halvlederindustrien i landet deltog (Freeman, s. 100). En signalkorpshistoriker skrev, at programmets formål var at gøre VHF komponenter tilgængelige for militære brugere. Komponenter, som blandt andet var af særlig interesse for Signalkorpsets kommunikationsprogram (Misa, 1985, s. 281-82) (Diffusionsprocessen var som nævnt det virkelige gennembrud inden for højfrekvenskomponenter). Inden for dette program blev kontrakter for i alt 30 forskellige typer af germanium- og siliciumtransistorer placeret hos omkring et dusin af de største halvledervirksomheder, og dette hjalp nogen af dem til at få fodfæste i industrien. I mange tilfælde blev denne støtte suppleret af tilsvarende mængder af kapitaludstyr eller fabriksrum tilvejebragt af de kontrakt-modtagende virksomheder, men militæret betalte for al produktionsudvikling. Kontraktbetingelserne inkluderede leverancen af omkring 3.000 transistorer af hver type frembragt på produktionslinier, der var i stand til at fremstille dette antal om måneden. (Freeman, 1982 (2), s. 100)

På denne måde blev der skabt en potentiel produktionskapacitet på over 1 mio. transistorer om året. Da transistorer på dette tidspunkt blev fremstillet med så lave

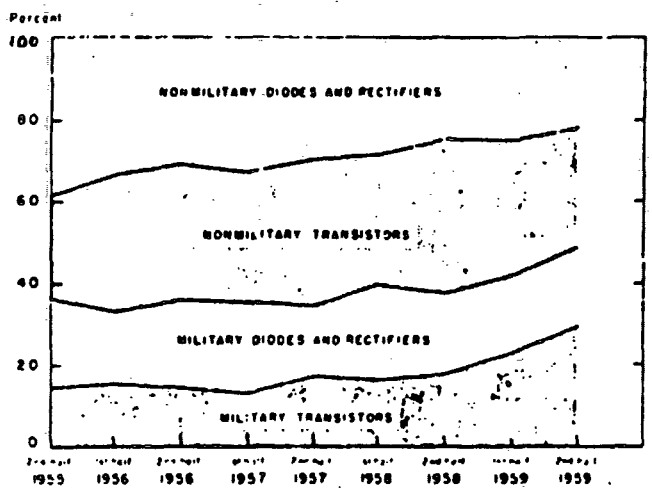
produktionsudbytter som 5-15 %, er det ikke urealistisk at antage, at disse kontrakter skabte en potentiel masse-produktionskapacitet, der efterhånden som læreprocessen skred frem (se også s. 88) blev i stand til at fremstille timillionvis af transistorer, og dette på et tidspunkt, da de samlede mængder af færdige transistorer fra industrien strakte sig fra 14 mio. enheder i 1956 til 28 mio. enheder i 1957. (Freeman, 1982 (2), s. 100)

Den klare markering af de krævede specifikationer betød en yderligere indvirkning på halvlederteknologiens udviklingsretning. Disse specifikationer signalerede, hvilke særlige typer det var sandsynligt kom i bred militær anvendelse efter få år. Dette stimulerede mange virksomheder inklusive nogle af dem, som ikke havde deltaget i diffusionsprogrammet, til at udvikle typer, der var mindst ligeså gode, helst bedre end dem under statslig kontrakt, for at genvinde denne forretningsmulighed.

Muligvis blev den overkapacitet, der begyndte at optræde i starten af 60'erne, skabt i løbet af denne periode, hvilket resulterede i et større prisfald. (Freeman, 1982 (2), s. 100)(Braun, 1979, s. 113-14)

Den forventede anvendelse af transistorer i <u>stor målestok i militært udstyr fandt sted efter 1958</u> (se Tabel 4.4, 2. kolonne, samt se figur 4.2). Baggrunden var her <u>Luftvåbnets</u> iværksættelse af udviklingen af forskellige typer interkontinentale ballistiske missiler (ICBM). Indtil da var det kun lykkedes for transistorerne at gennemtrænge bestemte afgrænsede områder, navnlig <u>taktisk kommunikationsudstyr</u>. Hvilket jo som nævnt netop var baggrunden for militærets interesse repræsenteret ved Hærens Signalkorps (se s. 72).

Figur 4.2: Relativ fordeling af værdien af USA's halvlederproduktion på militære og civile behov, 1955-59. (Asher, 1977, s. 10)



Disse missilprogrammer krævede produktion af transistorer i store mængder med yddevne- og pålidelighedsspecifikationer, som var uden fortilfælde. Vigtigst iblandt dem fra transistorsynspunkt var Minuteman I missil-pålidelighedsprogrammet, som involverede et samlet antal på 13 komponentleverandører. Minuteman I projektet blev igangsat fra midten af 50'erne. Dels pga. det nu var muligt at lave mindre nukleare kerneladninger, dels fordi Flåden havde haft succes med udviklingen af faste raketbrændstoffer, som først var blevet anvendt i Polaris-missilet. Den formelle udvikling begyndte sent i 1958. Motorola modtog den største enkelte indkøbskontrakt på 1,7 mio. $ for germanium-diffusionstransistorer. Motorola's hidtidige halvlederproduktion havde været lille og primært for eget forbrug indtil 1958. Det dengang nystartede, lille Fairchild Semiconductor modtog en anden stor kontrakt på 1,5 mio. $ for leveringen af silicium-diffusionstransistorer, som havde været den nye komponent, virksomhedens tidlige innovative indtræden havde været baseret på. Denne komponent forenede siliciumtransistorens arbejdsevne ved højere temperaturer med diffusionstransistorens ægte masseproduk-

tionsevne, gode højfrekvensegenskaber og pålidelighed. Det grundlæggende FoU-arbejde var som nævnt foregået på etablerede virksomheder som Bell og General Electric og offentliggjort i 1956/57, men det var spin-off virksomheden Fairchild, som først fik succes med at udvikle en profitabel produktionsproces. Disse to store militære kontrakter var givetvis afgørende for, at de to nystartende halvledervirksomheder Motorola og Fairchild steg til top-positioner i salgstal på halvledermarkedet i løbet af få år (se tabel 4.6). I 1960 aftog militæret så meget som 80 % af Fairchilds transistorproduktion. De fleste andre hovedproducenter af halvledere modtog mindre indkøbskontrakter til forskellige typer af germaniumtransistorer og -dioder. (Golding, 1971; s. 161, 258, 330-31) (Tilton, 1971, s. 66-67) (Polmar, 1979, s. 210)

Tabel 4.6: De større firmaers andel af halvledermarkedet i USA i udvalgte år, 1957-66 (Tilton, 1971, s. 66).

	Percentage of market			
Type and name of firm	*1957*	*1960*	*1963*	*1966*
Western Electric	5	5	7	9
Receiving tube firms				
General Electric	9	8	8	8
RCA	6	7	5	7
Raytheon	5	4	b	b
Sylvania	4	3	b	b
Philco-Ford	3	6	4	3
Westinghouse	2	6	4	5
Others	2	1	4	3
Subtotal	**31**	**35**	**25**	**26**
New firms				
Texas Instruments	20	20	18	17
Transitron	12	9	3	3
Hughes	11	5	b	b
Motorola	b	5	10	12
Fairchild	b	5	9	13
Thompson Ramo Wooldridge	b	b	4	b
General Instrument	b	b	b	4
Delco Radio	b	b	b	4
Others	21	16	24	12
Subtotal	**64**	**60**	**68**	**65**
Total	**100**	**100**	**100**	**100**

b. Not one of the top semiconductor firms for this year. Its market share is included under "others."

4.4 Konklusion - transistorteknologiens udvikling.

Efterkrigsårenes dominerende halvlederteknologiformende kraft var Bell Labs' stræben efter teknologisk betingede ekstraprofitter i samspillet med de potentielle civile og militære markeder. Efter at det amerikanske militærs interesse for alvor blev vakt i 1951, blev Bell's kontrol over transistorteknologiens videre udviklingsproces sat ud af spillet gennem en meget stærkere krafts indgriben. Bell Labs blev nu på trods af sin enestående organisatoriske og kvalifikationsmæssige styrkeposition gjort til en brik i en endnu mere mægtig teknologiformende krafts spil. Denne teknologiformende kraft var våbenkapløbet mellem de to supermagter.

Følgen af denne nye teknologiformende krafts dominans blev en forandring af transistorudviklingens forløb.

Bell's stræben efter ekstraprofitter havde indebåret, at den halvlederteknologiske udvikling blev rettet mod bred kommerciel udnyttelse både på civile og militære markeder. Den halvlederteknologiske udvikling blev nu snævert rettet mod tilfredsstillelsen af specifikke militære behov. Samtidigt med at den teknologiske udviklingsproces nu blev udvidet til at omfatte brede dele af elektronikindustrien i USA. Ved internaliseringen i det militære kommunikationsteknologiske kapløb mellem supermagterne blev den halvlederteknologiske udviklingsproces nu rettet mod realiseringen af militært interessante kommunikationsteknologiske potentialer i Shockleys fladekontakt-transistorprincip. Dette betød gennemsættelsen af en militær kommunikationsteknologisk problematik som den fremherskende i den første halvdel af 50'ernes transistorteknologiske udvikling. Efterhånden som våbenkapløbet mellem supermagterne langt overvejende fokuserede på missiludvikling, internaliseredes den halvlederteknologiske udvikling i denne pro-

ces. Den halvlederteknologiske udviklingsproces blev nu rettet mod realiseringen af militært interessante missilteknologiske potentialer i Shockley's fladekontakt-transistorprincip. Dette involverede gennemtvingelsen af den missilteknologiske problematik som den dominerende i den sidste del af 50'ernes transistorudvikling. Selv om sidstnævnte problematik repræsenterede en modifikation af førstnævnte, udgjorde den ikke noget radikalt brud ud fra transistorteknologisk synspunkt. Den teknologiformende krafts retning ændredes nemlig kun delvist (sammenlign retningen givet ved basisdimensionerne 1-5 s. 72 med retningen givet ved I-IV s. 78). Ikke uventet blev det derfor de dimensioner, som udgjorde kontinuiteten i 50'ernes teknologiformende kraft, der satte sig igennem som retningsgivende i transistorudviklingen. Dennes forløb var nemlig som beskrevet i afsnit 4.3 i hovedsagen kendetegnet ved en retning med basis-dimensionerne:

- højere frekvenser
- højere temperaturer
- masseproduktionsevne

Selv om Bell's stræben efter ekstraprofitter havde indebåret en stærkere innovationsindsats end i mellemkrigstiden, så var styrken af denne teknologiformende kraft trods alt begrænset af, at det kun var en enkelt FoU-institution, der var i sving. Den våbenkapløbsintegrerede militære teknologipolitik betød en mangedobling af den teknologiformende krafts styrke gennem indrulleringen af den nationale halvlederkomponent- og radiorørsindustri i en målrettet, storstilet og statsfinansieret innovationsindsats. Denne militære forcering betød da også, at hastigheden af 50'ernes transistorudvikling lå på et overgennemsnitligt, højt niveau. Den militært forcerede teknologiudviklingshastighed viste da sig også som beskrevet i afsnit 4.3 ved, at militært interessante basale procestek-

nologiske innovationer fulgte efter hinanden i hurtig takt i løbet af 50'ernes transistorteknologiske udvikling.

Den militært forcerede udskiftning af forskellige procesteknologier indebar afsøgning og afprøvning af en række mulige områder for i særlig grad militært interessante teknologiske gennembrud. Resultatet af denne militært kontrollerede trinvise søgningsproces blev etableringen af diffusions- og oxidafmaskningsprocessen i forbindelse med silicium som den endelige procesteknologiske løsning på det nævnte to militære problematikker. Denne proces indebar frem for alt optimeringen af basisdimensioner som arbejdsevne ved højere frekvenser og temperaturer, samt stærkt forbedret masseproduktionsevne.

Også for 50'ernes transistorteknologiske udviklingsfase må det slås fast, at det kapitaldeterministiske postulat viser sig fuldstændigt fejlagtigt som forståelsesmodel. Heller ikke transistorudviklingen er eksklusivt formet af "kapitalen som overgribende subjekt". Tværtimod viser kapitalen og profitabilitetskriteriet sig i dette teknologihistoriske forløb som i den grad politisk manipulerbare størrelser. Den overgribende teknologiformende kraft i denne periode er da også en international politisk mekanik: våbenkapløbet mellem supermagterne. Dette våbenkapløb er affødt af et forhold, der er af ekstern socio-kulturel art: spændingen mellem supermagterne. Den teknologiformende kraft er derfor her socio-kulturel.

Kapitalanalysens rolle indskrænker sig her til beskedent at være et af de teoretiske instrumenter, man har til rådighed til at klarlægge, hvorfor profitabilitetskriteriet reelt sættes ud af spillet af den langt stærkere militære teknologipolitiske kraft.

Selv om denne periode er karakteriseret af en socio-kulturel krafts overherredømme over den teknologiformende proces, så betyder det ikke, at den kontekstualistiske forståelsesramme skal opgives i forhold til en rent eksternalistisk politisk determisme.

I de to forløbne kapitler har den teknologiske udviklingsproces, det vil sige vidensopbygnings- eller søgeprocessen efter teknologiske innovationer, fundet sted ved kontinuerlig skridt-for-skridt modifikation af det eksisterende teknologiske grundlag. Anvendelse af forskellige naturvidenskabelige discipliners resultater har her spillet en særlig stor rolle ved de mest fundamentale gennembrud, men generelt har både opfindelsesprocessen og transistorudviklingsfasen været meget forskningsprægede.

Denne trinvise modifikation, gennem sammenføjning af forskellige dele af den eksisterende teknologiske viden og erfaringsmæssig prøven sig frem kombineret med anvendelse af videnskabelige fag, udgør den interne logik eller natur af den teknologiske udviklingsproces. Denne erkendelsesmæssige logik udgør de spilleregler, som eksterne socio-kulturelle teknologiformende kræfter nødvendigvis må indordne sig under, når de henvender sig til den teknologiske udviklingsproces med presserende praktiske problemer. Dette galdt også 50'ernes militære kræfter.

Dette er det allermest grundlæggende argument for, hvorfor den rent eksternalistiske, socio-kulturelt deterministiske position er fejlagtig. Den teknologiformende proces har som aktivitet sin egen ukrænkelige indre natur. Den grundlæggende potente analytiske tilgang er derfor også i denne udviklingsfase af kontekstualistisk art.

I forståelsen af 50'ernes transistorudviklingsfase kompletteres kapitalanalysen dermed først og fremmest af den politiske analyse af statslige instansers ageren. Derudover af den interne forståelse af af naturvidenskab og teknologi som erkendelsesmæssige projekter.

5. DEN BIPOLÆRE IC-TEKNOLOGI.

5.1 Teknologiformende kræfter.

Fra II verdenskrig og op gennem 50'erne havde kapløbet mellem USA og Sovjet været et våbenkapløb. "Sputnikchokket" i 1957 blev et vendepunkt i denne udvikling. Nu opstod sideløbende med våbenkapløbet, som tog til i intensitet, en ny form for systemkonkurrence, der fandt sit klareste udtryk i rumkapløbet. Denne nye fase i det teknologiske kapløb mellem supermagterne betød en intensivering af indsatsen, uden at kapløbet grundlæggende ændrede karakter. Det handlede stadigvæk først og fremmest om videreraffineringen af raketsystemer. Som et led i denne viderudvikling stilledes den halvlederteknologiske søgningsproces overfor et raketteknologisk problem. Løsningen af dette kom i sidste instans til at indebære udviklingen af teknologien for fremstilling af bipolære integrerede kredse (det integrerede kredsløb skal fremover betegnes som "IC", der kommer af "integrated circuit").

Det raketteknologiske problem.

Luftvåbnets stærke etablerede interesse i at opretholde en flåde af pilotstyrede fly hæmmede amerikanske innovationer indenfor langdistanceraketter i det første årti efter II verdenskrig, hvorfor de amerikanske raketter var bagud i størrelse og kraft indtil så sent som i 1965. Sovjet havde imidlertid ikke disse hæmninger og startede raketudviklingen på et tidligere tidspunkt, hvor de tunge A-bombeladninger krævede større og mere kraftfulde raketter

til at bære dem. Desuden havde USA allierede indenfor kortdistance missil- og bomberafstand til sin modstander, hvad Sovjetunionen ikke havde. Langtrækkende interkontinentale missiler med stor løfteevne var derfor mere afgørende for Sovjet end USA. På baggrund af dette forspring opsendte Sovjet i oktober 1957 en raket, der var kraftfuld nok til at sætte en lille satellit "Sputnik" i bane om jorden. I de følgende måneder sendtes større og større nyttelaster op i rummet. Denne begivenhed resulterede i det såkaldte Sputnikchok, som ikke efterlod nogen tvivl om den sovjetiske teknologiske kapabilitet til at nedsende kernevåben-sprænghoveder hvorsomhelst på jordens overflade. Sputnikchokket havde vist, at USA nu var ligeså sårbart som Sovjet. I tiden før Sputnik havde USA været immun overfor enhver reel fare for angreb udefra. Desuden oplevedes Sputnik som et prestigemæssigt nederlag for det amerikanske systems teknologiske overlegenhed. Sputnikchokket blev derfor særligt intenst. (McNeill, 1983, s. 367-68)(Smith, 1983, s. 191) Og ikke nok med det - de sovjetiske raketteknologiske kapabiliteter vedblev med at vokse. I 1959 sendte Sovjet de første vellykkede sonder til månen. Til dette formål anvendtes en modificeret udgave af principielt den samme raket, der anvendtes til at sende Sputnik i kredsløb om jorden to år tidligere. (Gatland, 1973, s. 94)

Sputnikchokket og de efterfølgende begivenheder førte til alvorlig bekymring i USA's militære værnsgrene. Frem for alt opstod der i kølvandet på chokket forestillingen om en missilkløft. (Braun, 1979, s. 133)(Agrell, 1981, s. 37) Det af militæret oplevede presserende raketteknologiske problem havde andre væsentlige aspekter end den teknologiske kapabilitet til at fremstille løfteraketter med tilstrækkeligt stor bæreevne. Opsendelsen af en langdistanceraket, som den der bragte Sputnik i bane om jorden og senere sendte den første vellykkede sonde til månen, krævede en særlig nøjagtig, kompleks og kompakt styrings-

automatik. Ligesom at kompakt måleudstyr var essentielt for konstruktionen af satelliter og sonder. Satelitter kunne jo også anvendes til militære formål som spionage og overvågning af fjendens rustningsaktiviteter. Begge dele krævede en miniaturisering af relativt kraftfulde automatiske databehandlingssystemer, der tilsyneladende oversteg den hidtil kendte miniaturiseringsgrad. Dette betød, at den amerikanske militære interesse i udviklingen af egentlig mikroelektronisk teknologi, som muliggjorde realiseringen af små automatiske databehandlingssystemer, nu blev overordenligt stærk. Da det stadigvæk var det magtfulde Luftvåben, som dominerede den amerikanske raket-våbenudvikling, blev interessen i at overgå de formodede sovjetiske kapabiliteter særlig stærk hos denne instans.

Det var derfor intet tilfælde, at den stærke militære finansiering af FoU-programmer, der havde frembringelsen af en miniaturiseret elektronik som central målsætning, begyndte umiddelbart efter opsendelsen af Sputnik i 1957 (Braun, 1979, s. 133). Militæret var ikke kun stærkt interesseret i en mikroelektronisk teknologis umiddelbart indlysende fordele, nemlig (I) reduktion af de automatiske databehandlings-systemers størrelse og vægt og helst også (II) masseproduktionsevne, men også i andre forventede fordele som (III) reduceret effektforbrug. Dette indebar nemlig mere beskedne krav til strømforsyning, hvilket bl.a. betød muligheden af at etablere mere kompleks styringselektronik i raketter med de eksisterende strømkilder. Men også (IV) øget pålidelighed spillede en meget væsentlig rolle. (Braun, 1979, s. 127) Dette krav udsprang af det såkaldte "taltyranni-problem".

Ud over problemet med udviklingen af stærkere løfteraketter og miniaturisering af mere kraftfulde automatiske databehandligssystemer, så involverede det raketteknologiske problem også et taltyranni-problem. Dette havde raketvåbenkapløbet til fælles med bombeflyvemaskine-kapløbet. Det amerikanske Luftvåben stod derfor i særlig høj

grad overfor et akut taltyranni-problem. Ligegyldigt hvor pålidelige de enkelte diskrete komponenter var, så var de i sidste instans ikke mere pålidelige end de ledninger, der fobandt dem, og de almindeligvis manuelle metoder, der blev brugt til at trækkke forbindelserne. Jo mere komplekst systemet var, desto flere fobindelser var der brug for, og desto større blev risikoen for fejl på dette punkt. Systempålideligheden vedblev med at udvise en betydelig aftagen i takt med at kompleksiteten af luftbårent udstyr voksede med eksponentiel hastighed. Dette var især alvorligt, hvad angik kernevåbenbærende missiler og fly, hvor ubetydelige elektroniske fejl kunne være uudsigeligt kastratofale eller forhindre start og affyring. Samtidigt ville forøget pålidelighed også skabe besparelser i vedligeholdelsesomkostninger. Den høje kompleksitet af elektronikken i luftbårent udstyr illustreres godt af den 12 ganges forøgelse, der var i antallet af aktive komponenter, når man sammenligner bombeflyvemaskinen B-17 fra 1941 med den kernevåbenbærende bomber B-58 fra 1958, ligesom den illustreres af strabadserne forbundet med det tidligere nævnte Minuteman I (ICBM) missil-pålidelighedsprojekt (se også s. 104). Her overvandt man i vid udstrækning pålidelighedsproblemerne ved at afprøve og kontrollere, ved at holde omhyggeligt regskab med hver enkelt komponent og ved at dublere vitale systemer. Det blev hævdet, at hvis alle militære komponenter havde fået samme pleje som Minuteman I projektet, så ville udgiften have oversteget det amerikanske bruttonationalprodukt. (Golding, 1979, s. 332) (Braun, 1979, s. 138).

Løsningen af det raketteknologiske problem var derfor nødvendig for at overgå de formodede sovjetiske kapabiliteter. Den såkaldte missilkløft blev da også stridsemne i det amerikanske præsidentvalg i 1960. Man anså, at det amerikanske forsvar, som hovedsageligt byggede på bombefly og mellemdistancemissiler anbragt på baser i udlandet, var utilstrækkeligt. Den i 1961 nyindsatte demokratiske admi-

nistration (Kennedy-administrationen) forpligtede sig til at overgå Sovjet i raketteknologi, hvad enten det var på jorden eller på månen. Selv om det amerikanske militær samme år ved hjælp af sine første spionsatelitter kunne fastslå, at der ikke eksisterede nogen missilkløft, i hvert fald ikke til sovjetisk fordel. Nu blev tyngdepunktet lagt på bevægelige mellemdistancemissiler af polaristypen, der affyredes fra u-både i neddykket tilstand, og på interkontinentale ballistiske missiler (ICBM). Raketkapløbet opnåede dermed en ny og forstørret skala i 1960'erne. Sideløbende, med at supermagterne i tiåret efter Sputnikchokket opstillede hundreder af langdistancemissiler og derved blev i stand til at ødelægge hinandens storbyer i løbet af få minutter, forceredes den raketteknologiske udviklingsproces. Raketteknologiske innovationer kunne reelt ændre eller endda bringe terrorbalancen ud af ligevægt. (McNeill, 1983, s. 368)(Thuren, 1977, s. 106)(Agrell, 1981, s. 37)

De militære interesser involverede derfor igennem 60'erne kravet om planmæssig forcering af elektronikudviklingen i de beskrevne retninger (I, II, III og IV).

Sputnikchokket og de efterfølgende sovjetiske raketteknologiske successer katalyserede desuden fremkomsten af en ny form for systemkonkurrence, som opstod sideløbende med våbenkapløbet. Denne form for konkurrence fik sit klareste udtryk i rumkapløbet.

De sovjetiske rumfartsbedrifter fremprovokerede opkomsten af nye forestillinger i USA's politiske elite. Man mente, at den endelige test af det amerikanske samfundssystem i konkurrencen med det sovjetiske kunne koges ned til at finde ud af hvem af de konkurrerende parter, der kunne udvikle de bedste videnskabelige og teknologiske færdigheder.

Her kom et rumkapløb på tale som særligt velegnet. I den officielle amerikanske ideologi var begrundelsen for deltagelsen i et rumkapløb: 1) menneskets opdagelsestrang,

2) den nationale sikkerhed, 3) den nationale prestige og 4) den videnskabelige interesse. Den egentlige og væsentlige bevæggrund var dog propagandainteressen i konkurrencen mellem de to systemer: det amerikanske og det sovjetiske. I 1958 oprettede den amerikanske statsmagt NASA (National Aeronautics and Space Administration) som en formelt civil instans, der fik til opgave at implementere den nationale rumpolitik. Stimuleret af propagandainteressen kom denne til at indebære en uhyre teknologisk indsats, der i 60'erne kunne måle sig med Luftvåbnets. I 1961 bekendtgjorde præsident Kennedy, at USA ville sende en mand til månen inden for dette tiår. Denne opgave skulle NASA realisere, som dette formål iværksatte Apollo-programmet. (Smith, 1983, s. 192-98)(McNeill, 1983, s. 368-69)(Asher, 1977, s. 76-78)

Da langdistanceraketter dominerede både Luftvåbnets og NASA's aktiviteter, oplevede disse instanser næsten identiske teknologiske problemer indenfor deres respektive kapløb. Den eneste åbenbare forskel var rumfartens særligt krævende karakter, som i flere henseender indebar en forstærkning af Luftvåbnets krav. NASA's og Luftvåbnets teknologipolitiske interesser lå derfor reelt i forlængelse af hinanden. I 1962 estimerede NASA's chef, at halvdelen af udgifterne til rumfartssystemer gik til elektronik (Electronics 5-1-62, s. 56). Rumfarten adskilte sig dermed heller ikke meget fra de militære missiler i elektronikintensitet (se også s. 36) Missil- og rumkapløbene skabte derfor tilsammen et kraftigt pres for en <u>forcering</u> af halvlederteknologiens udvikling i de nævnte fire basale <u>retninger</u>. Derfor søgte frem for alt Luftvåbnet og NASA at gennemtvinge en planmæssig forcering via deres respektive teknologipolitiske magtmidler.

Militærets og NASA's teknologipolitiske magtmidler.

For at fremme disse teknologipolitiske mål iværksatte militæret og NASA deres respektive teknologipolitiske programmer overfor den IC-teknologiske udvikling fra 1959 og i løbet af 60'erne. Disse statslige programmer var tilsammen næsten ligeså store, som de militæret havde iværksat overfor transistor-udviklingen i 50'erne, og stadigvæk domineret af Luftvåbnet. Disse programmer benyttede sig i det store og hele af to teknologipolitiske virkemidler:

1) Udstedelse af kontrakter til finansiering af FoU og produktionsudvikling indenfor den amerikanske halvlederindustri med det formål at frembringe prototyper og pilotproduktionsprocesser, samt foretage produktionsudvikling (dvs. udvikling af masseproduktionsprocesser).

Alle statslige instansers samlede udgifter til IC-FoU-kontrakter gennem perioden 1959-64 (begge år inklusive) er blevet anslået til 32 mio. $, hvor Luftvåbnet stod for omkring 70% af det samlede beløb. De resterende 30% udgjordes stort set af de øvrige værnsgrene og NASA.

Tabel 5.1: Fordelingen af statslige udgifter (i mio. $) til IC-FoU i årene 1959-64. (Asher, 1977, s. 76)

	Luftvåbnet	Hæren	Flåden	militæret i alt	NASA	NASA i % af militæret
1959	3,12	0	0	3,12	0	0
1960	2,98	0,70	0,11	3,79	0	0
1961	4,67	0,95	0,41	6,03	0,14	2
1962	3,78	0,87	0,46	5,11	0,11	2
1963	4,20	0,65	0,38	5,23	0,24	5
1964	2,20	0,81	1,17	4,18	1,36	33

Tabel 5.1 afslører Luftvåbnets store betydning, hvad angik den relative andel af bidragene til FoU-støtte. Selvom de andre værn og NASA i stigende grad kom ind i billedet frem til 1964. Da data ophører her i denne tabel, er det nødvendigt at skaffe et billede af udviklingen fremover i FoU-bidrag på anden vis. Tabel 5.2 beskriver fordelingen af de statslige midler i USA til FoU indenfor elektrisk udstyr og kommunikationsudstyr - blandt andet i årene efter 1964 frem til 73. Denne tabel antyder, at NASA spillede en endnu mere betydningsfuld rolle i 1965-66, hvor det formentligt var på niveau med Luftvåbnet i betydning, for så derefter gradvist at aftage i andel fremover.

Tabel 5.2: Fordelingen af statslige udgifter til FoU i elektro- og kommunikationsudstyr i årene 1958-73 (DoD = Department of Defence) (Asher, 1977, s. 78).

Year	Millions of Dollars			NASA as Percent of DoD
	DoD	NASA	Total Federal	
1958	--	--	1,337	--
1959	--	--	1,642	--
1960	--	--	1,675	--
1961	--	--	1,596	--
1962	--	--	1,691	--
1963	1,200	300	1,849	25
1964	1,120	264	1,873	24
1965	1,130	468	1,983	41
1966	1,292	497	2,201	38
1967	1,437	404	2,296	28
1968	1,536	431	2,345	28
1969	1,614	343	2,412	21
1970	1,520	281	2,261	18
1971	1,531	310	2,302	20
1972	1,740	244	2,492	14
1973	1,907	215	2,655	11

Det er også muligt at skabe sig et billede af den statslige andel af de samlede FoU-udgifter i den amerikanske halvlederkomponent-industri i den betragtede periode. I perioden 1958-74 var det samlede statslige bidrag til FoU på 930 mio. $, hvilket sammenlignet med de samlede private bidrag til FoU på 1200 mio. $ giver et gennemsnitligt statsligt bidrag på 44 % årligt. Dosi fremfører den hypotese, at den statslige andel lå på ca. 60% i midten af 60'erne, da den var på sit højeste. Eller måske helt op til 75%, hvis man regner produktionsudviklings-støtten med. (Dosi, 1984, s. 43)

2) Udstedelse af militære indkøbskontrakter til den amerikanske halvlederindustri med det formål at købe komponenter, der tilfredsstillede militære specifikationer. Det drejede sig stadigvæk om de nyeste, mest avancerede (i fht. militærets og NASA's behov) og dyreste produktionsserier, hvor statslig-militære behov reelt var eneaftager.

Omfanget af den statslige indkøbspolitik kan aflæses af tabel 5.3, som blandt andet viser betydningen af det statslige marked fra 1962 til 68. I denne periode faldt den statslige andel af efterspørgselen fra 100% af IC-produktionen til 37%. Samtidigt med at den samlede produktionsværdi steg fra 4 mio. $ til 312 mio. $. Det statslige marked steg derfor kraftigt i absolutte tal.

Tabel 5.3: Værdien af IC-produktionen i USA, gennemsnitsprisen for IC'er og betydningen af det statslige marked i årene 1962-68. (Tilton, 1971, s. 91)

	samlet produktions-værdi (mio. $)	gennemsnits-pris per IC ($)	militærets %-andel af den samlede produktion
1962	4	50,00	100
1963	16	31,60	94
1964	41	18,50	85
1965	79	8,33	72
1966	148	5,05	53
1967	228	3,32	43
1968	312	2,33	37

60'ernes statslige indkøbspolitik på IC-området var præget af Apollo- og Minuteman II programmerne. Selvom NASA's og Luftvåbnets indkøb af integrerede kredse til henholdsvis Apollo- og Minuteman II projekterne var nogenlunde lige store i 1963/64, så brugte militæret flere IC er i andre indkøbsprogrammer end NASA. Da NASA's IC-indkøb i midten af 60'erne var af størst relativ betydning, udgjorde de så meget som 20-40% af militærets samlede indkøb (Asher, 1977, s. 83).

Disse teknologipolitiske virkemidler repræsenterede imidlertid ligesom i 50'erne en fungerende helhed og må bedømmes som sådan. Det samlede sæt af statsligt-militære teknologipolitiske virkemidler intenderede både indvirkning på hastigheden og karakteren af IC-teknologiens udvikling.

NASA's anstigning på den halvlederteknologiske scene tegnede øjensynligt til at blive etableringen af internt statsligt teknologipolitisk modsætningsforhold. I særlig grad fordi NASA's halvlederinvolvering næsten kunne måle sig med militærets i midten af 60'erne. Dette blev imidlertid ikke tilfældet og var formentlig heller ikke tilstræbt fra den politiske ledelses side. Luftvåbnet dominerede nemlig klart i militærets halvlederinvolvering, og forholdet mellem Luftvåbnet og NASA var i teknologipolitisk henseende ikke et reelt modsætningsforhold. Tværtimod var disse to instansers behov på det halvlederteknologiske felt nært beslægtede, i kraft af at missilteknologi og rumfartsteknologi er varianter af den samme grundlæggende teknologi. Der er derfor god grund til på det mere generelle plan at betragte Luftvåbnet og NASA som aspekter af en og samme statslig-militære teknologiformende instans. Denne instans' teknologipolitiske virkemidler overfor udviklingen af IC-teknologien i 60'erne skal derfor undersøges i det følgende.

FoU-, produktionsudviklings- og indkøbspolitikkerne benyttedes på samme måde som i 50'ernes transistorteknologiske udvikling til planmæssigt at forcere udviklingen af IC-teknologien selektivt i bestemte retninger.

For det <u>første</u> gennem en stor <u>kvantitativ-økonomisk</u> involvering via forskellige former for bestillingsarbejder. Den statslig-militære økonomiske involvering udgjorde en meget stor brøkdel af de kapitalressourcer, der anvendtes i IC-udviklingen i 60'erne - i begyndelsen af denne periode fra 50 til 100% af de samlede midler. I 60'ernes sidste halvdel var brøkdelen dog kraftigt aftagende, selv om involveringen stig i absolutte tal. Det galdt summen af de kapitalressourcer, der anvendtes til FoU-, produktionsudviklings- og indkøbskontrakter.

For det <u>andet</u> gennem en <u>fokusering</u> af disse bestillingsarbejder øverst på lærekurven til særligt udvalgte innovationsprocesser. Herigennem udnyttede de statslige

instanser ligesom tidligere deres mulighed for at betale ekstremt høje priser per produktenhed for prototyper og de første produktionsserier af IC'er - priser som det civile marked indtil da ikke havde været i stand til at betale. Det civile marked kom først ind længere nede på lærekurven. Detaljerne i denne teknologipolitiske beherskelsesmekanisme er allerede omtalt i kapitel 5 på siderne 86-89.

For det tredje var de statslige teknologipolitiske instrumenter: FoU-, produktionsudviklings- og indkøbspolitik ikke i samme grad indrettede på at etablere en effektiviserende arbejdsdeling mellem grundlæggende FoU og ingeniørmæssig udvikling i innovationsprocessen, ligesom i 50'erne. Især Texas Instruments, men også Westinghouse spillede en stor rolle - både ved tildelingen af mere basale FoU-midler, produktionsudviklingsstøtte og indkøbskontrakter. Ligesom at Fairchild spillede en stor rolle på det statslige marked, samtidigt med at virksomheden havde afvist statslige FoU-kontrakter på grund af virksomhedens civilt-kommercielle ambitioner. (Golding, 1971, s. 334-36) Anden generations virksomheder som TI og Fairchild var i høj grad indrettede på at tjene det statslige marked. De var derfor mere effektive i forhold til de militære forceringsinteresser, end de etablerede rørselskaber havde været i 50'erne. Ligesom der generelt skete en tilpasning til den statslige teknologipolitiske aktivitet. Den indre effektivisering af innovationsprocessen var derfor ikke i samme grad nødvendig. En vis selektivt forceret acceleration af den halvlederteknologiske innovationsproces igennem arbejdsdeling fandt dog alligevel sted, i og med at flere nye spin-off virksomheder brød frem for at betjene det militære marked (Golding, 1971, s. 336).

Igennem de beskrevne teknologipolitiske virkemidlers omhyggeligt styrede selektive effekt oversteg de statslig-militære instansers magt, ligesom i 50'erne, klart den beherskelsesgrad de ellers ville have opnået gennem en passiv økonomisk finansiering af den halvlederteknologiske

udvikling. Den statslig-militære teknologipolitik virkede stadigvæk gennem den politisk gennemtvungne acceleration af den normale kapitalistiske konkurrencekamp. Den tilstræbte effektivisering af innovationsprocessen gennem teknologipolitisk styret arbejdsdeling kunne dog reduceres, da halvlederproducenterne i højere grad var indrettede på at tjene det statslige marked. I hvert fald i 60'ernes første halvdel var den statslige involvering stadigvæk så stor, at den realiserede omkostningsniveauer i halvlederindustrien, der under normale omstændigheder ikke ville have været profitable (på et åbent marked). Profitabilitetskriteriet ville i hvert fald også idenne periode reelt blive sat ud af spillet som socio-kulturel teknologiformende kraft. I 60'ernes første halvdel kunne halvlederproducenterne derfor stadigvæk vælge mellem at indtjene store profitter ved at udvikle statsligt-militært interessante produktioner, eller i modsat fald måske lide direkte tab ved deres aktiviteter. Selv om den statslig-militære involvering i slutningen af 60'erne i relative tal var vigende, så var dette årtis teknologipolitiske bestræbelser analoge med 50'ernes, selv om våbenkapløbet var suppleret med et rumkapløb. Amerikanske statslig-militære instanser tilstræbte på baggrund af en supermagtskonkurrence planmæssigt at forcere halvlederteknologiens udvikling i selektivt specificerede retninger og at lokalisere denne udvikling i USA.

De potentielle civile markeder som teknologisk problem.

Den militære teknologipolitiske styrkeposition i 50'erne bestod i magten til at afgøre alle væsentlige halvlederinnovationsprocessers skæbne gennem evnen til at betale ekstremt store stykpriser sammenlignet med de civile behov. Militæret benyttede sin styrkeposition til at gennemtvinge en forceret afsøgning af en række forskellige

nye fundamentale procesteknologier. Den teknologipolitiske interesse i denne udvikling var som bekendt især forøgede højfrekvens-, temperatur- og masseproduktionskapabiliteter. Billiggørelse af transistorelektronikken var derimod forholdsvis ligegyldigt for militæret, selv om det igennem sine massive indkøb fremmede en vis begrænset grad af billiggørelse. Lærekurveprocessen tillod derfor indtrængen på det civile marked i begrænset omfang - en indtrængen, der viste sig profitabel og derfor motiverede yderligere ekspansion. Denne ekspansion begrænsedes af transistorteknologiens militære præg, idet 50'ernes transistorelektroniske systemer alt i alt var forholdsvis dyre i køb og anvendelse. Hovedparten af de civile behov havde derfor ikke været i stand til at aftage elektronik i nævneværdig grad. Dette betød at kredsen af brugere reelt var eksklusiv.

Halvlederkapitalens iboende drift var ekspansion. Der eksisterede derfor et internt konkurrencemæssigt drive blandt halvlederproducenterne mod stadig udvidelse af det markedsmæssige grundlag for kapitalakkumulationen. Sammenlignet med det reelt begrænsede statslig-militære marked virkede det i pricippet uudtømmelige civile marked særligt tiltrækkende. Ved gennemtrængning af stadigt nye civile markedsafsnit kunne der tjenes store teknologiske ekstraprofitter for de først ankommende virksomheder. Ekstraprofitmotivet eksisterede derfor som afgørende drivkraft bag frembringelse af teknologiske innovationer, der var rettet mod egentlig gennemtrængning af det civile marked. De civile behov eksisterede derfor som teknologisk problematik hos halvlederkapitalen i 60'erne. Ikke for de statslig-militære kræfter, der var optagede af at løse deres raketteknologiske problemer, men for halvledervirksomhedernes ekspansive kapitalakkumulation.

En egentlig gennemtrængning af de civile markeder fordrede, at halvleder-elektronikkens eksklusivitet i stadigt stigende grad ophævedes. En nødvendig betingelse for ophævelsen af denne eksklusivitet var, at omkostningerne for-

bundet med køb, udvikling og drift af halvlederelektroniske systemer blev tilstrækkeligt lave. Dette betød, at de civilt orienterede teknologiformende kræfter søgte at presse halvlederteknologiens udvikling i retning af (VI) billiggørelse af køb og anvendelse af de enkelte komponentfunktioner (for I-III se begyndelsen af afsnit 5.1).

Den halvlederteknologiske søgeproces tegnede sig derfor i 60'erne til at ville blive udfoldet i et spændingsfelt mellem civilt og statsligt-militært orienterede teknologiformende kræfter. Det skulle vise sig hvor vidt disse var forenelige eller ej.

5.2 Opkomsten og udviklingen af IC-teknologien.

Militæret forcerer opkomsten af en mikroelektronik.

Luftvåbnets særligt presserende behov for en radikal forbedring i pålideligheden af de elektroniske systemer udmøntede sig i udarbejdelsen af det molekylære elektronik-koncept i et luftvåbenlaboratorium (Golding, 1971, s. 332). Ideen i den molekylære elektronik var radikalt anderledes end andre miniaturiseringsforsøg. Den gik ud på at bygge et kredsløb i det faste stof uden at reproducere de individuelle komponentfunktioner. Helheden skulle kunne yde mere end summen af de enkelte dele. Den molekylære elektronik krævede et teknologisk spring - langt udover det gennembrud, der senere skulle blive til de såkaldte integrerede kredse. Sidstnævnte var, efter overvindelsen af problemerne med isolation og komponenternes indbyrdes forbindelse, bare enkeltkomponenter dannet i det sammme stykket silicium. Molekylær elektronik var noget helt andet, noget meget mere sofistikeret og indtil dato knapt nok gennemførligt - et spring ud ud i det teknologiske

mørke. (Braun, 1979, s. 133-34) Som den senere opfinder af den integrerede kreds, Jack Kilby (hos Texas Instruments), udtalte:

> "Luftvåbnet forkastede alt, som havde nogen forbindelse med eksisterende kredsløb... De ønskede ikke at nå målet kredsløb for kredsløb. De ønskede disse nye gennembrudskomponenter, der ville gøre det af med alt det pjat." (Braun & MacD., 1979, s. 134)

I 1959 gav Luftvåbnet 2 mio. $ i kontrakter til det etablerede elektrofirma Westinghouse Electric (som allerede fulgte en tilsvarende forskningsvej) for at undersøge gennemførligheden af molekylær elektronik. (Braun, 1979, s. 134) (Golding, 1971, s. 332) I årene derefter fulgte der yderligere kontrakter. I 1962 viste det sig imidlertid, at Fairchild's planarproces kombineret med Kilby's teknik i langt højere grad end Westinghouse's tilgang tilfredsstillede Luftvåbnets behov. Molekylarelektronik-processerne var ekstremt komplekse og vanskelige at reproducere, hvorfor masseproduktion var udelukket. (OECD, 1968, s. 61)

De to andre militære værn fortsatte imens med at følge uafhængige veje mod det vanskeligt opnåelige mikroelektronik-mål. Flåden foretrak tyndfilm hybridkoncepterne, mens Hæren engagerede sig i noget tykfilm-arbejde i egne laboratorier, så vel som at det ydede finansiel støtte til mikromodulprogrammet hos den etablerede elektronikvirksomhed RCA. (Golding, 1971, s. 332) Disse teknologier drejede sig imidlertid kun om miniaturisering af passive komponenter (modstande og kondensatorer) og ikke af aktive komponenter (transistorer og dioder). I 1958 havde Hærens Signalkorps igangsat et program for mekaniseret fremstilling af kompakte moduler baserede på diskrete transistorkomponenter med RCA som dens hovedkontraktindehaver. Mellem 1958 og 1964 modtog RCA produktionskontrakter, der nærmede sig en værdi på 26 mio. $. (Golding, 1971, s. 331) Mikromodul-

programmet måtte imidlertid opgives, da det overhaledes af langt mere velegnede miniaturiserings-teknologier (Braun, 1979, s. 131).

Interessen som militæret udviste i mikroelektroniske teknikker meddeltes snart til elektronikindustrien i dens helhed og resulterede i udbredt aktivitet. Alle virksomheder indså mulighederne for profitable forretninger med de statslige kunder. Søgeprocessen blev bredt fordelt udover elektronikindustrien og ikke begrænset til halvledervirksomheder. Meget af denne bestræbelse hvilede på udbygningen af velkendt eksisterende teknologi, i form af pakningssystemer for diskrete komponenter, og var ikke orienteret mod søgningen efter et nyt teknologisk gennembrud. Selvom det netop var sådant et gennembrud, den monolitiske integrerede kreds (en mikroelektronisk komponent, hvor flere komponentfunktioner er samlet på en enkelt halvlederchip), der på længere sigt blev foretrukket af de statslig-militære instanser - dvs. blev den succesrige innovation. En undersøgelse udført i slutningen af 1962 understreger graden af binding til diskrete pakningsteknikker endog på dette forholdsvis sene trin i udviklingen af IC'en. Ud af den mængde på 59 elektronikvirksomheder, som var undersøgt, var 35 engageret i en eller anden form for modulpaknings-opøvelse. I alt 34 firmaer indikerede en interesse i (tynd- og tyk)filmteknologi, mens kun 15 aktivt fulgte en monolitisk halvlederfremgangsmåde. (Der var især et begtragteligt overlap mellem de to sidste kategorier, idet mange foretagender var involveret i begge. Dette forklarer hvorfor den samlede sum ikke stemmer overens med den oprindelige sum.) (Golding, 1971, s. 232-33)

Resultatet af de militære værns teknologipolitikker blev tilsyneladende en fiasko. De voldsomme udgifter til FoU og militære indkøb med henblik på frembringelse af en for militæret egnet mikroelektronisk teknologi førte ikke til de succesrige gennembrud, man havde forestillet sig. I stedet blev den bipolære integrerede kreds, der udgjorde

den succesrige teknologi på længere sigt, opfundet uden for de beskrevne massive militære programmer, nemlig hos Texas Instruments og Fairchild. Alligevel fik disse programmer stor indflydelse på halvlederteknologiens udvikling. De signalerede den militære kundes interesse i storstilet anvendelse af mikroelektroniske komponenter, der var i stand til at blive produceret i store mængder. Som ud over reduceret størrelse og vægt også repræsenterede fordele som reduceret effektforbrug og øget pålidelighed. Den militære politik havde derfor en langt større rækkevidde, idet den tilskyndede den del af halvlederindustrien, der ikke deltog i programmerne til intensivt FoU-arbejde. Desuden må man ikke undervurdere fiaskoers positive betydning som vejvisere i den teknologiske udvikling. Fejltagelserne udgjorde en erfaringsbaggrund for den samlede halvlederindustri i den videre søgeproces efter militært egnede mikroelektroniske teknologier. På baggrund af de militære programmers symbolsk signalerende effekt kan opfindelsen af den bipolære integrerede kreds hos TI og Fairchild alligevel ses som et positivt resultat for de militære teknologipolitikker.

Opfindelsen af den bipolære integrerede kreds.

Ligesom i transistorprincippets tilfælde var ideen om det (monolitiske) integrerede kredsløb langt ældre end det respektive teknologiske gennembrud. Allerede så tidligt som i 1952 blev muligheden af at kombinere flere diskrete elektriske komponentfunktioner indefor et eneste stykke halvledermateriale bragt på bane af G.W. Dummer i England. I 1956 fremstillede videnskabsmænd på Bell Labs en internt forbundet siliciumkomponent, som indeholdt, hvad der svarede til 8 separate transistorer, ved hjælp af diffusionsteknologi. Denne udvikling var med til at danne baggrund for lignende innovativt arbejde andetsteds i USA, navnlig

hos Texas Instruments og Westinghouse Electric. Omkring det samme tidspunkt begyndte en seriøs undersøgelse af denne ide helt uafhængigt i England hos Royal Radar Establishment og hos Plessey Company's forskningslaboratorier. I 1958 blev J.S. Kilby, der var ekspert i miniaturepakningsteknikker, ansat hos Texas Instruments for at undersøge metoder til at producere billigere elektroniske kredsløb. Da han indså, at en eneste halvlederkrystal udviste alle de elektriske egenskaber, som var nødvendige for et kredsløb, konstruerede Kilby møjsommeligt to kredsløbsfunktioner i germanium vha. oxidafmasknings- og diffusionsmetoder. De separate transistorer, dioder og modstande i disse to integrerede kredse fra oktober 1958 krævede sarte ledningsforbindelser, der møjsommeligt og præcist måtte forbindes med hånden. Hver enkelt individuel komponentfunktion i disse kredsløb krævede at være elektrisk isoleret fra de andre. Dette blev opnået ved at ætse passende dele væk. Denne besværlige manuelle produktionsmetode for de elektriske forbindelser forhindrede en egentlig masseproduktion af det integrerede kredsløb. Hvad Kilby ikke vidste var, at denne forhindring allerede var overvundet hos Fairchild med udviklingen af planarprocessen, der var en egentlig masseproduktionsmetode, der gjorde det muligt at dampe metalforbindelserne ind på halvlederoverfladen. Herved kom disse til at udgøre et aflejret metalmønster. (Golding, 1971, s. 78) (Braun, 1979, s. 125) (Dummer, 1978, s. 143)

Et team ledet af dr. J. Hoerni opfandt planarprocessen i 1958-59, under forskning i forbedrede former af siliciumdiffusions-transistoren i det nyligt dannede Fairchild Semiconductor. Planarprocessen var i det væsentlige en udbygning af diffusions- og oxidafmaskningsprocessserne. I planarprocessen bibeholdtes oxiden imidlertid på overfladen af halvledermaterialet. Selvom planarprocessen var rodfæstet i den forudgående teknologi, repræsenterede den ikke desto mindre en temmelig radikal forandring, selv for

de virksomheder der beskæftigede sig med silicium-diffusion. Der var tre vigtige fordele ved planarprocessen. For det første opdagede man, at når oxid-masken selv indeholdt grundstofferne bor og fosfor, så blev beskyttelsen af det underliggende halvlederlag fuldstændig. Ydermere konstaterede man, at hvis dette lag af oxid bevaredes på komponentens overflade, så ville beskyttelsen af den følsomme P-N kontaktflade blive stærkt forbedret. På Bell Labs havde man tænkt i retning af ren siliciumdioxid som masker, da man her opfandt processen. Men dette havde vist sig utilstrækkeligt til at forhindre diffusionen af urenheder som f.eks. fosfor gennem masken til det underliggende silicium-materiale, som masken skulle beskytte. (Braun, 1979, s. 106) (Dummer, 1978, s. 143) Denne videreudvikling af oxid-afmaskningsmetoden mindskede dels risikoen for forurening under fremstillingen, hvilket førte til betydligt formindskede produktionsomkostninger. Derudover forblev den isolerende oxid-beskyttelseskappe på, mens transistoren var i brug, hvilket bidrog yderligere til pålideligheden. For det andet var den endelige overflade i det væsentlige flad (planar). Forbindelsesledningerne kunne som nævnt opnås ret enkelt ved at pådampe et metalmønster, hvilket erstattede lodning i hånden, som var dyrt, indviklet og relativt upålideligt. Metalpådampnings-proceduren bidrog altså yderligere til pålideligheden og formindskede produktionsomkostninger. For det tredje muliggjorde planarprocesssen batch-processing i stor målestok med et helt enestående iboende potentiale for fremstilling med lave omkostninger per produktenhed. (Golding, 1971, s. 78-79)

Dermed muliggjorde planarproces-IC-tilgangen radikale forbedringer i de retninger som ønskedes af militæret og frem for alt Luftvåbnet. Det drejede sig om dimensioner som øget pålidelighed, mindre størrelse, mindre vægt, øget masse-produktionskapacitet, og mindsket effektforbrug. Men også en civil dimension, nemlig billiggørelse af prisen per produktenhed vandt nu for alvor indpas i halvlederteknologien.

Udviklingen af effektive masseproduktionsmetoder.

Igennem slutningen af 1958 og begyndelsen af 1959 orienterede Texas Instruments Luftvåbnets FoU-kommando og andre statslige instanser om Kilby's opfindelse og præsenterede demonstrationsmodeller af fungerende integrerede kredse. Virksomheden modtog en udviklingskontrakt fra Luftvåbnet så snart som juni 1959. Denne efterfulgtes snart af en anden kontrakt på omkring 2,8 mio. $, der ikke uventet fordrede 1) den øjeblikelige konstruktion af et automatisk databehandlingssystem i form af en lille digital IC-computer og 2) videreudviklingen af produktionsteknikker, for at forcere udviklingen af mere effektive masseproduktionsmetoder. (Kontrakten indbefattede etableringen af et pilotsamlebånd, der var i stand til at fremstille 500 IC'er om dagen 10 dage i træk.) Den succesfulde fuldførelse af projektet overbeviste Luftvåbnet om de fordele, der kunne opnås med IC-fremgangsmåden, og det afgav øjeblikkeligt bestilling til Texas Instruments om at bygge et andet apparat. Dette projekt indebar, at komponenterne i noget eksisterende transistoriseret apparatur erstattedes med IC'er. Westinghouse Electric modtog parallele kontrakter, som i alt udgjorde 4,3 mio. $, for udviklingen af to yderligere mikroektroniske apparaturer, der udnyttede modificerede molekylærelektronik-teknikker. Målet var i alle tre tilfælde at demonstrere gennemførligheden af at indkorporere IC-komponenter i aktuelt udstyr til systemproducenter og brugere.

Konstruktionen af disse tre demonstrationsmodeller fandt sted i 1961. Samtidigt, i begyndelsen af 1961, havde Texas Instruments anerkendt betydningen af planarprocesinnovationen og igangsatte straks et 6-måneders forceret FoU-program støttet af NASA. Dette resulterede i den markedsmæssige introduktion af TI's første kommercielle "fa-

milie" af bipolære IC'er, "series 51" august dette år. Allerede i marts dette år havde Fairchild bekendtgjort, at den første familie "Micrologic" af bipolære planar-IC'er var til rådighed. IC'erne havde nu opnået de samme frekvens- og hastighedskapabiliteter som diskrete transistorkredsløb og hybride kredse. (Golding, 1971, s. 78-79)

Westinghouse Electric bekendtgjorde også sin intention om at gå ind på det kommercielle marked med en række af IC'er baseret på teknologi frembragt gennem dens molekylærelektronik-kontrakter. Virksomheden blev dog snart tvunget til at overgå til den overlegne planarproces, som anvendtes af Texas Instruments og Fairchild. Molekylærelektronik-programmet hos Westinghouse var baseret på processer, som primært anvendtes til at fremstille diskrete højeffekt-komponenter. I modsætning til planarprocessen muliggjorde denne metode ikke batch-processing og dermed produktion i stor målestok, hvilket var et klart militært krav. Westinghouse forsøgte derudover at anvende sine teknikker til germanium; men det blev snart klart, at silicium var det mest egnede materiale til IC-fremstilling. (Golding, 1971, s. 333-34) Mens adskillige andre halvledervirksomheder modtog kontrakter fra Luftvåbnet til udviklingen af IC-teknologien, var det kun Motorola, som blev involveret i et stort program. Denne virksomhed modtog en kontrakt på 2 mio. $ for en bredt anlagt undersøgelse med det endelige mål at kombinere tyndfilm- og halvlederteknologier i en eneste IC-komponent. Luftvåbnet lavede kontrakt på, at betale 3/4 af omkostningerne ved dette treårige program, som udgjorde omkring 1/3 af virksomhedens FoU-indsats i integrerede kredse. Fairchild afviste på den anden side med overlæg Luftvåbnets tilbud om FoU-kontrakter, skønt virksomheden tjente store profitter ved at sælge prototype IC'er til staten til bonuspriser.(Golding, 1971, s. 334)

På trods af Luftvåbnets bestræbelser på at fremskynde halvlederfremgangsmåden til mikroelektronik eksisterede

der i så sent som i 1962 ikke nogen enighed, hverken i militære eller elektronikindustrielle kredse, hvad angik den mest passende teknologiske kurs at følge. Helt uanset omkostningsovervejelser tøvede udstyrsdesignerne med at gøre brug af en uprøvet komponent ligegyldigt antallet. Set med tilbageblik står to beslutninger i løbet af 1962 som ansvarlige for det fornødne gennembrud, der førte til anerkendelsen af IC'erne over en bred front. NASA bekendtgjorde sin hensigt om at udnytte IC'er til prototypen af den digitale styringscomputer i Apollo-rumfartøjet. Derefter tilkendegav Luftvåbnet offentligt i slutningen af 1962, at Minuteman II, som var en forbedret version af Minuteman I ICBM, ville gøre maksimal praktisk anvendelse af IC'er i dens digitale styringscomputer. Texas Instruments havde siden oktober 1961 samarbejdet med den primære kontraktindehaver, Autonetics Division of North American Aviation (nu North American Rockwell) i en bestræbelse på at fremskynde anvendelsen af IC'er. Minuteman II indkøbsprogrammet havde mange ligheder med den tidligere Minuteman I opgave. Igen var vægten lagt fast på opnåelsen af stærkt forøget pålidelighed af komponenterne indefor et kort samlet tidsrum. En streng tidsplan fordrede design, fremstilling og levering af en familie på 22 nye typer af IC'er indenfor en periode på 6 måneder. Texas Instruments blev (med Westinghouse i en underordnet rolle) tilstået den oprindelige Minuteman II udviklings- og for-produktionskontrakt i slutningen af 1962. Der blev tilstået yderligere kontrakter i løbet af 1963 til Texas Instruments, fulgt af Westinghouse og RCA, for IC'er til priser på omkring 100 $ stykket. Igennem indkøbsperioden som begyndte i 1963, undergik kredsene en kompliceret serie af tests udformet til at identificere mulige fejlkilder efterfulgt af en passende korrektion for at eliminere svagheder i designet eller forbedre en mangelfuld procesteknologi. (Golding, 1971, s. 335-36)(Teal, 1976, s. 653)

I oktober 1963 blev det anslået at kravene fra Minuteman II projektet stod for omkring 60 % af værdien af alle IC-ordrer ind til dato. På det samme tidspunkt begyndte NASA's Apollo-ordre på en samlet mængde af 200.000 IC'er at få fremdrift. Faktisk, så førte Apollokontrakten i løbet af 1963 over Minuteman II kontrakten målt i antallet af leverede enheder, skønt ikke hvad angår dollarværdien. De fleste af Apollo-IC'erne blev produceret af Fairchild. (Golding, 1971, s. 336) Effektive masseproduktionsmetoder var nu etableret, og den planarprocesbaserede IC-fremstillingsmetode var nu blevet udvalgt som den egnede mikroelektroniske teknologi (Teal, 1976, s. 653).

Planarprocessen var meget mere kompleks og kapitalintensiv end sine forgængere. I 1971 omtalte Golding den på denne måde:

> "Silicon planar has been described as "the most complicated, high volume process ever developed by man". The entire production process is a sophisticated blend of chemistry, metallurgy, physics and electrical engineering involving in excess of fifty separate operations during a fabrication period commonly extending over several weeks." (Golding, 1971, s. 85)

Fremstillingen af IC'er bestod grundlæggende af fem forskellige trin, hvor planarprocessen (4) var hjertet i fabrikationsprocessen:

1) Design af kredsløbssystem: Opstilling af de krævede interne kredsløbsspecifikationer for den ønskede IC, samt optimering af arkitekturen for det kredsløbsmønster man ville aflejre i silicium-chip'en. Resultatet var et layout, som udgjorde "landkortet" over kredsløbsmønsteret på chip'en, og en specifikation af de krævede procestrin.

2) Fremstilling af fotografiske masker: Mønstre dannedees i tynde ark af uigennemsigtig film - et fotografisk negativ, hvor de gennemsigtige områder blev dem, der til sidst kom til at bestemme kredsløbsmønsteret på den enkelte chip. Disse originalmasker nedfotograferedes hver især. Derefter kopieredes den enkelte chip-maske, således at man fik en maske, der dækkede hele waferen - med mange identiske kredsløbsmønstre.

3) Fremstilling af wafers: Grundstoffet silicium fremstilledes på basis af råmaterialer og oprensedes til ekstrem grad. Så dyrkedes store pølseformede silicium enkrystaller, der blev skåret ud i tynde møntformede skiver - de såkaldte wafers. Der derefter finpoleredes i absolut rene omgivelser.

4) Fremstilling af chips (planarprocessen): Et antal wafers (et "batch") anbringes i en ovn. På disse dyrkedes et oxidlag ved at lade ilt eller vanddamp blæse forbi skiverne. Aflejringen af henholdsvis P og N lag i waferen foregik i en tre-trins delproces: a) Waferskiverne påførtes en fotoresist (lysfølsom lak), som hærdedes ved belysning med ultraviolet lys. b) Skiven belystes med ultraviolet lys gennem masken fra før ved hjælp af fotolitografiske metoder. Fotoresisten hærdedes i de gennemsigtige områder masken dannede. Fotoresisten fremkaldtes, og skiven ætsedes i kraftig syre. Herved fjernedes oxidlaget, hvor fotoresisten ikke var hærdet. Til slut fjernedes den hærdede fotoresist. c) Skiverne anbragtes igen i ovnen, hvor P eller N urenhederne selektivt trængte ind i de områder, hvorpå der ingen oxid fandtes. Efter den forudberegnede mængde urenheder var diffunderet ind i skiverne, så dyrkedes der igen oxid oven på skiverne. Dette oxidlag tjente dels som beskyttelse af skiverne og dels som udgangspunkt for gentagelse af delprocestrinene a-b-c, blot nu med nye urehe-

der og andre diffusionsdybder. Således indlagde man lag på lag af forskellige urenheder. Ind imellem de beskrevne processer foregik der talrige rensninger af siliciumskiverne, der hele tiden skulle være rene. Til sidst aflejredes et net af forbindelsesledninger i form af et pådampet metalmønster. Den enkelte wafer-skive var nu opdelt i et mønster af rektangulære felter - de såkaldte chips. Disse testedes derefter elektrisk.

5) Samling og afprøvning af IC'erne: Waferne blev derefter skåret op i chips, og de funktionsdygtige kredse sorteredes fra. Disse forsynedes med tilledninger og indkapsledes f.eks. i plastic. Komponenterne blev derefter udsat for en række miljøtests og elektriske tests.

Alle senere innovationer i IC-teknologien kan rubriceres indenfor et eller flere af de ovennævnte procestrin og fik, som vi skal se, karakter af optimeringer i forhold de fremherskende teknologiformende kræfter. Processen er i det væsentlige opretholdt uforandret frem til i dag. (Braun, 1979, s. 106)(Hansen, 1981, s. 74-77)

IC-teknologiens videre udvikling.

De to store statslige indkøbsprogrammer blåstemplede IC-teknologien og åbnede op for markedets ekspansion. Disse to store indkøbsprogrammer dominerede den fremkommende IC-industri gennem 1963 og begyndelsen af 1964, og tilsammen udgjorde de den statslige efterspørgsels overvældende tyngde. Opmuntret af disse programmers succes begyndte våbensystem-kontraktindehaverne at designe udstyr, som indkorporerede IC'er, og adskillig flere indkøbsprojekter blev sat i værk 1964. (Golding, 1971, s. 336) Ud over indkøbskontrakterne til styringscomputerne i Minuteman II og Apollo blev halvlederkomponentindustrien tilstået mindst

12 andre indkøbskontrakter mellem 1963 og 65, der lød på levering af bipolære integrerede kredse til militær og rumfart (Borrus, 1982, s. 16). De oprindelige deltagere Texas Instruments, Fairchild og Westinghouse opnåede yderligere militære/rumfarts kontrakter, mens den store bølge fremad i statslige indkøb også satte fremdukkende konkurrenter som Motorola og Signetics i stand til at hæve deres produktionsvoluminer. (Golding, 1971, s. 336)

De statslig-militære programmer motiverede fremkomsten af forskellige innovationer i IC-design, det vil sige i grundlæggende IC-kredsløbsstruktur (se pkt. 1, s. 133) Disse innovationer var knyttet til udviklingen af forskellige kredsløbsfamilier, som successivt afløste hinanden som ledende på markedet. Disse familier var byggesæt af elektrisk kompatible IC-kredse. De statsligt-militære behov var tydeligvis rettet mod udviklingen af automatiske databehandlingsfunktioner fortrinsvis til raketsystemer. Derfor spillede det en væsentlig rolle, at de logiske elementer indenfor en given IC-familie kunne forbindes til en komplet digital computer-konfiguration.

Fairchilds første IC-familie fra 1961 var karakteriseret ved et IC-design kaldet RCTL (Resistor-Capacitor-Transistor Logic), og Texas Instruments leverede en IC-familie karakteriseret ved et designet DCTL (Direct Coupled Transistor Logic). Disse produktfamilier havde imidlertid svagheder ved deres design, hvorfor Fairchild og TI hurtigt erstattede dem med RTL (Resistor-Transistor Logic). RTL blev imidlertid hurtigt afløst på markedet af DTL (Diode-Transistor Logic), som havde langt større modstandsdygtighed over for elektrisk støj end RTL. I 1962 fremkom den nydannede virksomhed Signetics med DTL. Året efter fremkom den første familie med TTL-design (Transistor-Transistor Logic) fra virksomheden under navnet SUHL (Sylvania's Universal High level Logic). Den første praktiske anvendelse af SUHL fulgte straks i luft-til-luft missilet Phoenix, konstrueret af primærkontraktindehaveren

Hughes. (Wilson, 1980, s. 84)(Torrero, 1972, s. 76)(Borrus, 1982, s. 20-21)

Karakteristisk for alle disse bipolære IC-familier var, at de enkelte IC'ers kredsløbskompleksitet var 1-100 komponenter per chip. Denne kompleksitet kan betegnes SSI, som står for "small scale integration". Med denne integrationsgrad realiserede de enkelte IC'er den digitale computers allermest simple grundelementer - de såkaldte logiske porte. Disse kunne udføre de grundlæggende logiske funktioner ("og", "eller", "negation" osv.) på binært repræsenteret information.

Fairchild's 930-serie DTL førte an på markedet fra 1965 til 67. Fairchild opnåede dette førerskab ved at gå over til en ny kapitalakkumulationsstrategi, der gik ud på at gennemtrænge de civilt orienterede computer- og industrimarkeder gennem kraftige prisreduktioner og herved opnå betydelige ekstraprofitter. Fairchild's andel af dette nye marked steg hurtigt fra 18% i 1964 til 24% i 1967. Adskillige andre halvledervirksomheder herunder TI og Motorola indså på dette tidspunkt potentialerne i Fairchilds nye kapitalakkumulationsstrategi og 930-serien, hvorfor de imiterede sidstnævnte og deltog i den tidlige gennemtrængning af computer- og industrimarkederne. (Borrus, 1982, s. 20-21)(Wilson, 1980, s. 84)(Golding, 1971, s. 162)

Det militære markeds betydning var klart aftagende i den sidste del af 60'erne. Texas Instruments, der i 1964 havde ført an på det fuldstændigt statslig-militært dominerede marked for IC'er (se også tabel 5.3), mistede meget store markedsandele i konkurrencen med 930 DTL. Texas Instruments genvandt i sidste halvdel af 60'erne sine store markedsandele gennem introduktionen af ny familie af IC'er med TTL design og tilegnede sig følgeligt betydelige teknoligisk betingede ekstraprofitter. Dette design viste sig mere interessant for det hurtigvoksende og civilt orienterede computermarked end DTL. TTL repræsenterede to betydelige teknologiske innovationer i forhold til DTL, som beg-

ge var væsentlige for dets markedsmæssige fremgang. TTL-kredsene havde meget hurtigere informationsbehandlingshastigheder end DTL, hvilket tillod databehandling ved endnu højere hastigheder. Dette var i allerhøjeste grad statslig-militært interessant. Desuden udnyttede Texas Instruments TTL-familie procesinnovationer (se også s. 133-35), der muliggjorde en større forøgelse af antallet af komponenter per chip. Dette var i overensstemmelse med den statslig-militære interesse i reduktion af de elektroniske sytemers størrelse og vægt - specielt hvad angik digitale computere, ligesom at strømforbruget reduceredes og pålideligheden øgedes. Denne større pakningstæthed betød da også, at TI's nye TTL-produkter indeholdt mere komplekse elektroniske delsystemer til en digital computer - de såkaldte system-byggeblokke. Disse kunne udføre mere komplekse computer-delfunktioner som f.eks. binær addition og lagring af begrænsede mængder af binær information. (Wilson, 1980, s. 84-85)(Borrus, 1982, s. 21-22)

Denne type kredse kan karakteriseres som MSI (medium scale integration) for at understrege den højere kompleksitet på 100-1000 komponenter per chip. Den højere kompleksitet betød nødvendigvis stigende omkostninger til designarbejde og innovationer i procesudstyr, som var i stand til blandt andet at realisere den fornødne grad af miniaturisering. Da produktiviteten samtidigt forøgedes bidrog de stigende omkostninger ikke til væsentligt forhøjede priser per produktenhed. Omkostningerne ved at fremstille de enkelte MSI chips var derfor i det store og hele uændrede i forhold til SSI-stadiet. Den øgede IC-kompleksitet betød derfor en yderligere realisering af et af planarprocessens iboende civilt interessante potentialer, nemlig billiggørelse af automatisk databehandlingskraft. I og med der skulle forbindes færre IC'er til at realisere en digital computer. (Cannon,1979, s. 1-19)(Borrus, 1982, s. 22)

Texas Instruments havde dermed ligesom Fairchild ændret sin kapitalakkumulationsstrategi fra at være leverandør på det statslig-militært planlagte, men i princippet begrænsede marked, til at forsyne det efterhånden dominerende civile marked (se tabel 5.3) Dette åbne marked var ikke planlagt, men karakteriseret af fri konkurrence om teknologiske ekstraprofitter. En nødvendig forudsætning for at opnå disse ekstraprofitter var, at de halvlederkomponentteknologiske innovationer indfriede betingelsen om stadig billiggørelse af elektronisk systemfunktionalitet. (Wilson, 1980, s. 84-85)(Borrus, 1982, s. 21-22)

De civilt orienterede teknologiformende kræfter var dermed ved at tage overhånd.

5.3 Konklusion - den bipolære IC-teknologis udvikling.

Selv om de teknologiformende kræfter, der dominerede 60'ernes halvlederteknologiske udvikling, lå i kontinuerlig forlængelse af 50'ernes, så udgjorde de alligevel en kvalitativ forandring. Mere generelt var halvlederudviklingen stadigvæk internaliseret i kapløbet mellem supermagterne. Dette skiftede imidlertid karakter siden 50'ernes slutning til også at indbefatte et rumkapløb, der hurtigt meldte sig som teknologiformende kraft repræsenteret ved NASA på den teknologipolitiske scene. Den halvlederteknologiske udvikling var nu kommet i fokus for to sideløbende bestræbelser i konkurrencen mellem supermagterne: langdistancemissilkapløbet og rumkapløbet. Selv om disse to kraftfulde bestræbelser umiddelbart kunne fremtræde som forskellige, var de ved nærmere eftersyn nært beslægtede. De indebar nemlig lignende langdistanceraket-teknologiske problematikker. I 60'ernes halvlederudvikling blev den dominerende teknologiformende kraft derfor, hvad der med en fællesnævner kunne betegnes som raketkapløbet mellem supermagterne. Følgen af denne statslig-militære krafts dominans blev en forandring af den halvlederteknologiske udviklings forløb.

Den modificerede teknologiformende krafts gennemslag i den halvledeteknologiske udvikling betød at denne nu afstak en ny udviklingsretning. Hvor 50'ernes transistorudvikling som tidligere vist var kendetegnet af en retning med dimensionerne:

- højere frekvenser
- højere temperaturer
- massproduktionsevne

Så betød gennemsættelsen af den modificerede teknologiformende kraft, at 60'ernes halvlederteknologiske udvikling var kendetegnet af en ny og anderledes retning. Den halvlederteknologiske udviklingsproces blev siden slutningen af 50'erne orienteret mod realiseringen af nye statsligt-militært interessante potentialer i Shockley's fladekontakt-transistorprincip, på baggrund af de efterhånden oparbejdede procesteknologiske kapabiliteter. Disse potentialer var langdistanceraket-teknologisk relevante, og den statslig-militære intervention betød derfor gennemsættelsen af en raketteknologisk problematik, som den fremherskende i det meste af 60'erne. Denne problematik udgjorde et brud med 50'ernes missilteknologiske problematik, idet 60'ernes bipolære IC-teknologiudvikling (som vist i afsnit 5.2) blev karakteriseret ved basis-dimensionerne:

- reduktion af automatiske databehandlingssystemers størrelse og vægt
- øget pålidelighed
- reduceret effektforbrug
- masseproduktionsevne

Den modificerede teknologiformende krafts gennemslag viste sig straks ved den innovative fremkomst af en kvalitativt ny teknologi i 60'ernes start, der lovede opfyldelsen af ovennævnte basale dimensioner. Denne teknologi var den

planarproces-baserede IC-teknologi, som blev udnævnt til den succesfulde teknologi af de statslig-militære instanser.

Den modificerede teknologiformende krafts gennemslag resulterede ikke i nogen forandring af hastigheden af den teknologiske udvikling. Denne lå ligesom 50'ernes udviklingshastighed på et overgennemsnitligt, højt niveau. Baggrunden for opretholdelsen af en høj teknologiudviklingshastighed var selvfølgelig, at den statslig-militære teknologiformende krafts relative styrke var uforandret. Den statslig-militære politik betød stadigvæk indrulleringen af størstedelen af den nationale halvlederindustri i en målrettet, storstilet og statsfinansieret innovationsindsats. Herved efterfulgte statsligt-militært interessante innovationer i design og/eller procesteknologi som vist i afsnit 5.2 hinanden i hastig takt i løbet af 60'ernes bipolære IC-udvikling.

Disse fortløbende procesteknologiske innovationer udgjorde i modsætning til 50'ernes procesteknologiske udvikling stadige rafinementer af den samme grundlæggende procesteknologi. Den bipolære planarprocesbaserede IC-teknologi indeholdt nemlig en række potentialer, der på længere sigt lovede en fuldt tilfredsstillende løsning af den raketteknologiske problematik. Den bipolære IC-teknologiske udvikling i 60'erne indebar derved en miniaturiseringsproces, der skred frem fra SSI over MSI. I slutningen af 60'erne havde man efterhånden oparbejdet kapabiliteter for fremstilling af LSI (large scale integration), hvilket repræsenterede IC-kompleksistetsgrader på over 1000 komponenter per chip (se også figur 6.2). Ligesom at effektforbruget var mindsket yderligere og pålidelighed og masseproduktionsevene var forøget betydeligt.

I slutningen af 60'erne meldte en gammelkendt teknologiformende kraft sig nu på alvor igen på scenen. Det var halvlederkapitalens iboende drift mod udvidelse af det markedsmæsigge grundlag for kapitalakkumulationen. Det re-

elt begrænsede statslig-militære marked virkede på længere sigt hæmmende for en ekspansiv kapitalakkumulation sammenlignet med det principielt uudtømmelige og derfor særligt motiverende civile marked. Den statslig-militære selektive forcering af den planarproces-baserede IC-udvikling havde i løbet af 60'erne skabt en ny teknologisk mulighed. En mulighed for via billiggørelse for første gang at lave en dybere gennemtrængning af det civile marked. Ved gennemtrængning af civile markedsafsnit gennem teknologisk innovation kunne der tjenes store ekstraprofitter for de først ankommende virksomheder. Følgen af denne teknologiformende krafts fremtrængen betød en toning af forløbet af den ellers statsligt-militært dominerede bipolære IC-udvikling i slutningen af 70'erne.

Det begyndende gennemslag af den civilt orienterede teknologiformende kraft viste sig i en toning af den bipolære IC-teknologis udviklingsretning. De potentielle civile markeder begyndte nu at gøre sig gældende som teknologisk problematik. De skitserede fire forskellige basis-dimensioner ved den statsligt-militært dominerede bipolære IC-teknologis udvikling blev nu suppleret med en femte civil interessant dimension:

- billiggørelse af køb og anvendelse af elektroniske systemer

Også for 60'ernes bipolære IC-udviklingsfase må det understreges, at den kapitaldeterministiske grundopfattelse helt og aldeles er utilstrækkelig som instrument til at begribe den teknologiske udviklingsproces. Ejheller den bipolære IC-teknologis udvikling er monofaktorielt determineret af kapitalen. Det stik modsatte er faktisk tilfældet. Fuldstændigt svarende til 50'ernes transistor-udvikling viser kapitalen og profitabilitetskriteriet sig som i allerhøjeste grad politisk manipulerbare størrelser. Den overgribende teknologiformende kraft er dermed også i

60'ernes udviklingsfase en international politisk mekanik. Denne gang langdistanceraket-kapløbet, der er den brede fællesnævner for denne periodes missil- og rumkapløb. Dette supermagtskapløb er analogt til 50'ernes kapløb affødt af forhold af ekstern socio-kulturel art: det militære og ideologiske spændingsforhold mellem supermagterne. Den dominerende kraft er derfor ligesom i 50'ernes halvleder-udviklingsfase socio-kulturel.

Kapitalanalysens rolle indskrænker sig dermed i analogi med kapitel 4 til beskedent at være et af de teoretiske instrumenter, man har til rådighed i sin analyse. I dette tilfælde til at klarlægge, hvorfor profitabilitetskriteriet rellet sættes ud af kraft som socio-kulturel selektionsmekanisme af den langt stærkere statslig-militære teknologipolitiske kraft.

Argumentationen for, hvorfor dette synspunkt ikke fører ud i den rene politisk-deterministiske eksternalisme, er gennemført i afsnit 4.4, hvorfor den ikke skal gentages her. Også for denne halvlederteknologiske udviklingsfase er den potente analytiske tilgang derfor af kontekstualistisk art.

Endeligt skal det påpeges, at 40'ernes og 50'ernes tætte relationer mellem halvlederudviklingen og forskellige naturvidenskabelige discipliner begyndte at gå i opløsning fra 60'ernes start. En udvikling der fortsatte i takt med, at planarproces IC-fremstillingsmetoden konsolideredes, som det succesrige halvlederteknologiske grundlag. (Braun, 1979; s. 124, 167-70)

I forståelsen af 60'ernes IC-teknologiske udviklingsfase kompletteres kapitalanalysen først og fremmest af den politiske analyse af statslige instansers ageren, samt af den interne analyse af den teknologiformende proces som erkendelsesmæssig projekt. Den interne analyse af naturvidenskabelige discipliners historie som erkendelsesrettede projekter har kun sekundær betydning i analysen af denne udviklingsfase. Grunden er naturvidenskabernes mindskede rolle i 60'ernes IC-teknologiudvikling.

6. MOS IC-TEKNOLOGIENS UDVIKLING.

6.1 Den nye konstellation af teknologiformende kræfter.

Det teknologipolitiske magtskifte.

Første halvdel af 60'erne havde ligesom 50'erne været karakteriseret af, at statsligt-militære teknologipolitiske interesser havde foretaget en planmæssig styring af udviklingen af halvlederteknologien ud fra en styrkeposition. IC-produktionernes akkumulationsdygtighed var betinget af tilfredsstillelsen af de militære specifikationer og krav, og akkumulationsstrategien var indrettet derefter. Halvlederteknologiens udvikling var derfor reelt et statsligt-militært projekt, der var lagt ud til producenter i privatkapitalistisk regi. Den statsligt- militære teknologiske planlægning udspillede sig i forhold til et supermagtkapløb, hvor man på baggrund af egne interesser og forestillinger om, hvordan den sovjetiske modpart agerede, opstillede teknologipolitiske mål og midler for at komme modparten i forkøbet. De statslige instanser var således karakteriseret ved en relativt høj grad af innovationsdefinerede aktivitet.

På baggrund af innovationer i IC-teknologien kunne halvlederproducenterne i slutningen af 60'erne foretage en stigende gennemtrængning af nye civile markedsafsnit. Kapløbet om teknologisk betingede ekstraprofitter var motoren i denne udvikling, som betød at den statslig-militære styrkeposition også mindskedes. Dette medførte, at betydningen af den statslige planlægning også mindskedes. Denne proces fortsatte i løbet af 70'erne involverende en marginalisering af den statslige andel af IC-markedet. I

1974 var den statslige andel af USA-markedet 20% og i 1978 var den 10 %. Marginaliseringen fandt imidlertid ikke sted ved det statslig-militære markeds absolutte aftagen. Det udviste tværtimod en langsigtet stigende tendens. Det civile marked voksede derimod meget hurtigere, nærmest eksplosivt (se tabel 6.1).

Tabel 6.1: Ændringen i fordelingen af IC-markedet i USA, 1962-78 (Borrus, 1982, s. 18).

	%-værdi af samlede USA-salg				
Markeder for den endelige brug af IC'er	1962	1965	1969	1974	1978
statslige	100	55	36	20	10
computer	0	35	44	36	37.5
industrielle	0	9	16	30	37.5
forbruger	0	1	4	15	15
Samlede USA-salg i mio. $	4	79	413	1204	2080

Resultatet blev, at halvlederproducenterne efterhånden stod overfor et overvejende civilt privatkapitalistisk marked, der ikke var karateriseret af nogen veldefineret og samlet teknologipolitisk planlægning - ikke mindst hvad angik halvlederteknologiens udvikling. Markedet var nu blevet åbent og konkurrencen sluppet løs. Halvlederproducenterne måtte derfor nødvendigvis selv antage en mere aktiv teknologiformende rolle i samspillet med hinanden og de civile behov. De potentielle civile afsætningsmarkeder meldte sig nu for alvor som halvlederkapitalens teknologi-

ske problem. Den statslig-militære styrkepositions forsvinden betød derfor overflytningen af en væsentlig del af den innovationsdefinerende aktivitet til halvlederindustrielt regi. Denne overflytning af innovationsdefinerende aktivitet fra konsumenterne til producenterne betød samtidigt, at halvlederindustriens teknologipolitiske magt over halvlederteknologiens udvikling steg.(OECD, 1968, s. 73-74)

Hvor 50'ernes halvlederudvikling i høj grad var et envejs planmæssigt kommandoforhold fra statslige brugere til producenter, så blev 70'ernes udvikling i høj grad til i en gensidig vekselvirkning mellem halvlederproducenter og civile konsumenter.

Det ene af de to centrale momenter i dette vekselvirkningsforhold fandtes på producentside. Det var den gradvise etablering af den "sædvanlige" kapitalistiske konkurrence mellem enkeltvirksomheder på et åbent marked uden teknologipolitisk indblanding af betydning fra statslige instansers side. Gunstig kapitalakkumulation kunne kun finde sted som led i en skarp konkurrence om tilegnelsen af ekstraprofitter ved teknologiske gennembrud, der resulterede i markedsgennemtrængning og -ekspansion. De kapitaler, som først erobrede disse markedsudvidelser, tilegnede sig betydelige teknologisk betingede ekstraprofitter. Primært gennem den midlertidige monopolsituation, der opnåedes, før innovationen imiteredes af de nærmeste konkurrenter. Sekundært gennem det lavere omkostningsniveau, der opnåedes i forhold til konkurrenterne, før de eventuelt indhentede dette. Kapløbets tabere stod i fare for på kortere eller længere sigt at blive elimineret som selvstændige virksomheder. Ekstraprofitjagten blev derfor en forcerende drivkraft, som i analogi med 50'ernes og 60'ernes supermagtskonkurrence pressede på for den stadige frembringelse af teknologiske innovationer i interessante retninger. Konkurrencen om ekstraprofitter udgjorde således den nye teknologiformende krafts styrke, ligesom den be-

Skema 6.1 (Freeman, 1982 (1), s. 64-65)

Diffusion of Microelectronic Technology through the Economy: an Illustrative Table
(This table is not intended to give precise data but to illustrate some of the main trends.)

Rate of Diffusion*	*Rapid (from 1960)*	*Medium (from 1965)*		*Slow (from 1970)*		
*Depth of Impact***	*High*	*High*	*Medium*	*High*	*Medium*	*Low*
Design and redesign of products to use microelectronic technology.	Electronic capital goods. Military and space equipment. Some electronic consumer goods	Machine tools. Vehicles. Electronic consumer goods. Instruments. Some toys	Other consumer durables. Engines and motors. Other machinery	Some bio-medical products		
Process automation using micro-electronics technology	Some electronic products	Machining (batch and mass) especially in vehicles, consumer durables and machinery. Printing and publishing	Continuous flow processes already partly automated e.g. chemicals metals petroleum gas electricity	Clothing. Textiles. Food. Assembly	Building materials. Furniture. Mining and quarries	Agriculture. Hotels and restaurants. Construction. Personal services
Information systems and data processing	Specific government, business and professional systems involving heavy data storage and processing in large organisations R&D	Financial services. Communication systems. Office systems and equipment without total electronic systems. Design	Transport. Wholesale distribution. Public administration. Large retailers	Retail distribution. All-electronic office systems. Electronic funds transfer	Domestic households. Professional services	Agriculture. Hotels and restaurants. Construction. Personal services

** Definition of 'high', 'medium' and 'low': It is very difficult to obtain any reliable measures of 'depth' of applications (sometimes described as 'intra-firm' diffusion) but one possible approach is to estimate 'electronic investment' as a fraction of total capital expenditure (or a fraction of total household expenditures in the case of consumer goods). SKEMA 6.1 is illustrative but the 'high' column of depth of impact could be construed for example as 'more than 10%' and the 'low' column as 'less than 2%' on electronic capital goods or electronic consumer goods by firms or households.

stemte en dimension ved dennes retning, nemlig (I) profitabilitet på det åbne marked. Denne retning var imidlertid også kendetegnet af to andre dimensioner, som kan bestemmes gennem analysen af konsumentsiden.

Samfundsmæssige behov for mikroelektronik siden 60'erne.

Den generelle samfundsmæssige teknologiske udviklingsfase i perioden efter II verdenskrig er (som nævnt) blevet karakteriseret på flere forskellige måder. Mandel omtaler denne fase for de centrale kapitalistiske økonomiers vedkommende som den 3. teknologiske revolution. Den 3. teknologiske revolution forstås her som den lange konjunkturbølge, der i Nordamerika tager til omkring 1940, og i de øvrige centrale kapitalistiske økonomier omkring 1945-48, og som især er kendetegnet af en udbredt styring af maskiner med elektronisk udstyr. (Mandel, 1976, s. 104) Mandel hæfter sig derved i det væsentlige ved udbredelsen af proces-automation, når han karakteriserer den 3. teknologiske revolution (Mandel, 1976, kap. 4 og 6).

Når det gælder om at gøre rede for mønsteret i de industrialiserede samfunds behov for mikroelektronisk teknologi er det imidlertid for snævert at fokusere på den materielle produktion og dennes proces-automation. Christopher Freeman identificerer tre samfundsmæssige felter for udbredelsen af mikroelektronisk teknologi fra 1960 og fremad. Disse felter opstiller han som funktion af tiden i vandrette kolonner i et skema (se skema 6.1) (Freeman, 1982 (1), s. 64-65). Her udgør den materielle produktions proces-automation blot et ud af de tre behovsfelter for udbredelsen af mikroelektronisk teknologi fra 1960 og fremad. Den øverste og den nederste kolonnne i skemaet udgør de to andre felter for mikroelektronik-anvendelse. Det drejer sig om 1) større eller mindre produktinnovationer ("Design and redesign of products to use microelectronic

technology"). Endelig drejer det sig også om 3) immaterielle/symbolproducerende produktionsprocesser, hvis endemål er fremstilling af informationer og data ("Information systems and data processing").

Denne kvalitative tredeling af behovene for mikroelektronisk teknologi kan suppleres af en kvantitativ tilgang, som den tabel 6.1 angiver. Denne tabel beskriver den samme markedsudvikling som Freeman's skema med et lignende begrebsapparat, blot i kvantitative termer og med USA som genstandsområde. Her benyttes fire behovskategorier: statslige, computere, industrielle og forbruger. Tabel 6.1 viser som allerede nævnt, at de tre sidste markeder ekspanderer relativt til de statsligt-militære siden 60'erne. Det var på disse civile markeder, at markedsudvidelserne for halvlederindustrien befandt sig.

Baggrunden for fremkomsten af de industrielle behov som et betydeligt potentielt marked for mikroelektronik siden 60'erne er den materielle produktionsproces' udvikling mod stadigt stigende grader af automation. Bredden i denne bestræbelse beskrives i anden vandrette kolonne i tabel 6.1. Drivkraften bag fremkomsten af disse behov er udviklingsdynamikken i den privatkapitalistiske sektor, som siden II verdenskrig i særlig høj grad har været karakteriseret ved konkurrencekampe om teknologisk betingede ekstraprofitter (Mandel, 1976). Karakteren af behovene er betinget af overgangen fra mekanisering til automation. Det er disse industrielle behov Mandel fokuserer på med sit begreb: den 3. teknologiske revolution. Selv om de industrielle behov figurerer særskilt fra kategorien computere, så betyder det ikke, at de industrielle behov ikke benytter sig af computere. Tværtimod så indebærer del- eller fuldautomation i produktionsprocesser anvendelse af automatiske databehandlingsfunktioner i mange forskellige afskygninger, alt efter karakteren af den pågældende produktionsproces. Princippet i procesautomation er netop, at produktionsprocessens forløb reguleres på baggrund af automatisk behand-

ling af målte proces-data. (se f.eks. også J.H. Mendner)

Computerbegrebet i tabel 6.1 er derfor mere snævert. Kategorien computerbehov som mulige markeder for mikroelektronik sigyter her mod en række forskelligartede statslige og private behov. Disse behovs mangeartethed får man et billede af ved at betragte rubrikken "Information systems and data processing" i skema 6.1. Denne kategori ækvivalerer i det væsentlige med tabel 6.1's "computer". Computersystemer til administration og planlægning spiller her en væsentlig rolle, ligesom kontorautomation. Endeligt spiller forskningsmæssige EDB-systemer også en rolle. Karakteristisk for disse computeranvendelser er, at de befinder sig både i privat og statsligt regi. Her spiller store statslige og hybride statslig-private (det "grå" område mellem de to samfundssektorer) institutioner en rolle. Sådanne anvendelser lader sig ikke umiddelbart forklare ud fra de sædvanlige kapitaldeterministiske forestillinger fokuserende på den "kapitalistiske produktionsproces". Af afgørede betydning for opkomsten af disse statslige og semi-statslige behov for automatiske databehandlingsfunktioner er kategorier som udviklingen i den politiske magt og de videnskabelige discipliners udviklingsstade. De private virksomhedsmæssige computerbehov i denne indsnævrede forstand beror på at det er blevet en nødvendighed for virksomhedernes akkumulation at benytte sig af computerkraft til at håndtere informationer og data af forskellig art. Samlet kan man sige, at kræfterne bag opkomsten af "computerbehov" i snæver forstand er næsten ligeså mangeartede som behovene selv og ikke over en bred kam reducerbare til en kapitaldeterministisk forklaringstype. Dette komplicerede problem indgår da også centralt i den standende diskussion om "informationssamfundet", hvor flere forfattere aner en ny samfundstype forbundet med disse ikke-specifikt kapitalistiske socio-kulturelle kræfter. (se f.eks. Sundbo, 1982).

Baggrunden for fremkomsten af forbrugerbehov som mulige, men stadigvæk marginale, markeder for mikroelektronisk teknologi er ligeledes et sammensat og uafklaret problem. Dette gør det svært at sige noget generelt om opkomsten af disse. Vigtige faktorer har dog været

1) muligheden af at erstatte eller automatisere mange indbyrdes forskelligartede processer i forbindelse med husholdningerne (i bred forstand) med mikroelektroniske komponenter, hvis teknologiske basis primært var udviklet med henblik på at tjene statslig-militære instansers og erhvervslivets behov.

2) forbrugerbehovenes generelt irrationelle og manipulerbare karakter, der har gjort dem til passive modtagere af, hvad halvlederindustrien havde at sælge.

Med behovene for automatiske databehandlingsfunktioner i forskellige afskygninger som dominerende på de tre øvrige markedskategorier kan det ikke undre, at forbrugerbehovene i høj grad er et forsinket spejlbillede af disse behov. Forbrugermarkedet blev derfor siden 60'erne i stadigt stigende grad et marked for mikroelektronik til allehånde automatiske databehandlingsfunktioner.

En konklusion på analysen af de dominerende civile samfundsmæssige behov siden 60'erne og frem til ca. 1980 (hvor analysen afsluttes) må derfor være, at de var kendetegnet af et bestemt træk, nemlig deres inhomogenitet. Behovene for mikroelektronik udgjorde et (II) mangeartet spektrum af utallige specielle behov for særlige automatiske databehandlingsfunktioner (basis-dimension I er behandlet i begyndelsen af afsnit 6.1). Da opfyldelsen af disse mangeartede behov har været en betingelse for ekspansion på det civile marked, udgør dette karaktertræk endnu en dimension ved den nye teknologiformende krafts retning.

Forudsætningen for at forvandle de civile behov for automatisk databehandling til reelle aftagermarkeder for halvlederindustrien var imidlertid som tidligere beskrevet også, at de mikroelektroniske komponenter var (III) tilstrækkeligt billige i køb og anvendelse til, at de potentielle civile brugere var købedygtige. Den halvlederteknologiske udvikling havde nemlig i 60'ernes begyndelse haft som udgangspunkt, at komplekse elektroniske kredsløbssystemer var dyre i køb og anvendelse. Flertallet af de civile behov havde dermed ikke været i stand til at aftage mere kompleks elektronik i nævneværdig grad. Dette betød som nævnt, at kredsen af brugere reelt var eksklusiv. Mulige brugere var kun de organisationer som besad maksimale ressourcer. Det drejede sig som tidligere nævnt først og fremmest om militær og rumfart (se 1. lodrette søjle til venstre i skema 6.1). En egentlig gennemtrængning af de civile markeder fordrede derved, at elektronikkkens økonomiske eksklusivitet i stadigt stigende grad ophævedes. Billiggørelse blev derfor den tredje basis-dimension i den nye teknologiformende krafts retning.

6.2 Gennembruddet på det civile marked.

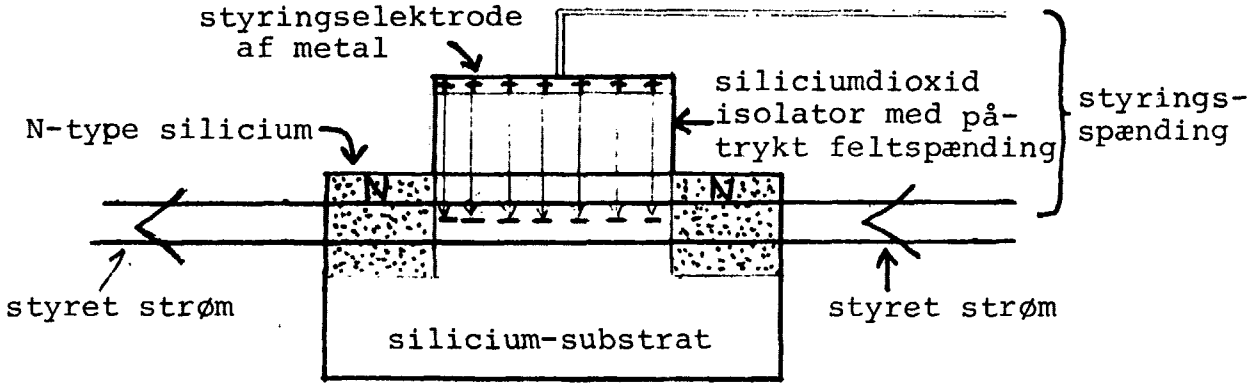
Opfindelsen af MOS.

Konkurrencen om at tilegne sig ekstraprofitter gennem frembringelsen af teknologiske innovationer, der kunne drive prisen for elektronisk system-funktionalitet langt nok ned, fik vidtgående konsekvenser. Flere virksomheder var gået ind i den kommercielle videreudvikling og realisering af en ny halvlederteknologisk innovation indenfor planarprocesgrundlaget. Det var en innovation i designet af de grundelementer som de bipolære i IC'er var bygget op

af, nemlig transistorfunktionen. Denne innovation var MOS-teknologien (Metal Oxide Semiconductor), som udgjorde en yderligere udfoldelse af potentialerne for billiggørelse af elektroniske systemer i den basale planarproces-IC-fremstillingsmetode. (Golding, 1971, s. 65)

De oprindelige bipolære integrerede kredsløb var ligesom 50'ernes transistorer baseret på Shockley's fladekontakt-princip, og den elektroniske aktivitet udspandt sig inde i dem. MOS-integrerede kredse betegnedes derimod som unipolære, idet de var baserede på Shockley's felteffekt-transistorprincip, og den elektroniske aktivitet forgik på halvlederoverfladen. (Braun, 1979, s. 143)

Figur 6.1 MOS felteffekt-transistoren som forstærker.



MOS felteffekt-strukturen var grundlæggende bygget op af en Metal-styringselektrode, et Oxidlag og et halvlederlag (Semiconductor) af silicium. Det påtrykte felt inducerer negative ladningsbærere i siliciumsubstratet. Disse foretager ladningstransporten gennem felteffekt-strukturen. Derfor betegnedes denne transistortype som unipolær i modsætning til fladekontakt-transistoren. I sidstnævnte

foregår ladningstransporten både med positive og med negative ladningsbærere. Derfor kaldtes denne transistortype bipolær.

Den simplificerende MOS-felteffekt struktur reducerede det samlede antal involverede procestrin. Desuden krævede MOS-transistorer ingen isolation mellem komponenterne, hvilket muliggjorde en betragteligt højere kredsløbstæhed på chip'en. Her har mere nøjagtigt procesudstyr givetvis også spillet en afgørende rolle. Men alt i alt muliggjorde MOS i slutningen af 60'erne LSI (large scale integration), som angiver en kompleksitetsgrad på 1000-100.000 komponeter per chip. (Golding, 1971, s. 82)(Braun, 1979, s. 144)

Opfindelsen og udviklingen af MOS-teknologien er et eksempel på: 1) hvorledes den militære teknologipolitiske planlægning selektivt undertrykte udviklingen af en bestemt gren af halvlederteknologien, og 2) at der skulle finde et teknologipolitisk magtskifte sted, som ophævede de statslig-militære teknologiformende kræfters dominerende betydning, før at MOS-teknologien realiseredes som kommercielt profitabel innovation.

Som nævnt i kapitel 3 havde man forstillet sig en felteffekttransistor så tidligt som i 1930 i en patentansøgning af Lilienfeld, og det var denne type komponent, som Shockley og hans kolleger søgte efter i 1947 og udarbejdede et teoretisk princip for. Som allerede nævnt i kapitel 4 prægede militæret 50'ernes transistor-teknologiske udvikling planmæssigt via teknologipolitiske virkemidler, som var rettet mod at fremme bestemte træk ved teknologiudviklingen. Interessen i at udvikle masseproduktioner af transistorer, der kunne arbejde ved højere frekvenser, var især stærk. Også felteffekt-transistorens udvikling prægedes kraftigt af den militære intresse. Bell fortsatte på baggrund af Shockley's arbejde med at undersøge unipolære transistorer i håbet om at opnå højere frekvenser, men indsatsen ophørte efter diffusions-innovationen i 1955. Som tidligere beskrevet (se s. 101-5) valgte militæ-

ret nu at gå kraftigt ind og selektivt forcere diffusionstransistorens videre udvikling til masseproducerbar komponent gennem en massiv ressourcemæssig indsats i sidste halvdel af 50'erne. Den senere selektive statslige satsning på udviklingen af en mikroelektronisk teknologi, der i begyndelsen af 60'erne udmundede i frembringelse af den bipolære IC-teknologi på planarproces-basis, betød yderligere undertrykkelse af den unipolære teknologis videre udvikling. MOS felteffekt-transistoren som diskret komponent fremkom først som laboratoriemodel og prototype så sent som i 1962. Skønt RCA tilkendes den oprindelige ide, fandt det første forsøg på at fremstille denne komponent sted hos Fairchild Semiconductor. Da de statsligt-militære instanser imidlertid satsede selektivt og planmæssigt på videreudviklingen af den bipolære IC-teknologi i den første halvdel af 60'erne gennem tilførsel af store ressourcer til halvlederindustrien, blev MOS-udviklingen reelt lagt på hylden hos de store halvledervirksomheder. Det var jo netop disse som indgik de store statslige kontrakter. Dette tillod små virksomheder som General Microelectronics og General Instruments at tage initiativet i udviklingen af MOS-teknologien. Disse to virksomheder var ansvarlige for at lade de første MOS-integrerede kredse løbe af stabelen i 1965. Også andre nye virksomheder deltog i udviklingen og omkring 1970 var denne teknologi blevet fuldt kommercielt profitabel. Mange af disse virksomheder dannedes ved afhopninger fra eksisterende virksomheder ligesom tidligere. Forskellen var, at det nu var det civile markeds løfter og ikke det statslige markeds, som trak spin-off virksomhederne frem. Når MOS-teknologiens markedsudsigter var blevet tilfredsstillende demonstreret, begyndte de store halvledervirksomheder også at bevæge sig ind i denne. (Golding, 1971, s. 83)(Borrus, 1982, s. 24-28)(Braun, 1979, s. 143)

Formentlig var en betydelig grund til de statslig-militære instansers manglende interesse i MOS, at den ikke kunne arbejde med nær så høje frekvenser som den bipolære IC-teknologi. Da behandling af høje frekvenser (som beskrevet i kapitel 4) i langt større grad var en militær end en civil interesse, var denne mangel ikke noget problem på det civile marked. De færre procestrin, det højere produktionsudbytte og den højere grad af kredsløbsintegration på den enkelte chip, som alle muliggjordes ved MOS-fabrikation, betød lavere produktionsomkostninger. Dette tillod en billiggørelse af prisen for komplekse integrerede kredse. Endeligt havde MOS-komponenter et meget mindre effektforbrug. Hvilket betød stærkt reducerede krav til strømforsyningen. Alt i alt muliggjorde MOS en billiggørelse af omkostningerne forbundet med køb og anvendelse af komplekse elektroniske systemer, hvilket netop var en forudsætning for indtrængen på det civile marked. (Borrus, 1982, s. 25-28)(Golding, 1971, s. 82-83)(Braun, 1979, s. 143)

Imidlertid manglede halvlederproducenterne at løse et væsentligt problem, nemlig hvilke civilt interessante elektroniske systemer der skulle have LSI-kompleksitet.

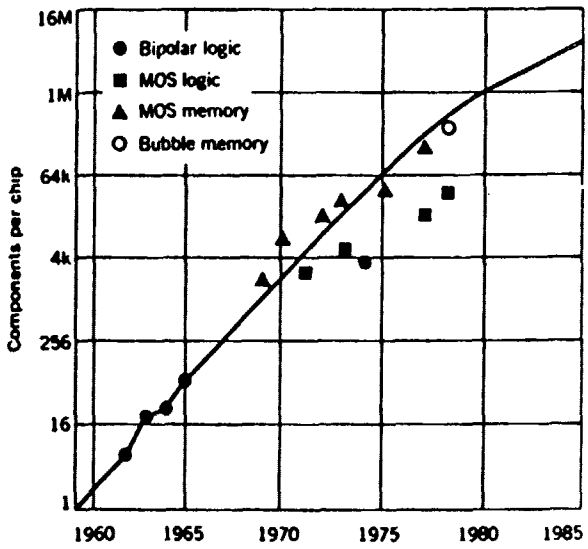
Produktdefinitionsproblematikken.

Figur 6.1 afbilder en bestemt dimension ved halvlederteknologiens udvikling, nemlig udviklingen mod stadigt stigende miniaturisering og kompleksitet af mikroelektroniske, dvs. integrerede kredse. Kurven er fra 1979 og beskriver, hvad der kaldes Moore's lov. Den første version af denne lov blev fremsat i 1964 af den daværende forskningsdirektør på Fairchild, Gordon E. Moore. Han anses for at være den første, der forudsagde den fremtidige udvikling af det integrerede kredsløb. Han fremlagde den påstand, at dets kompleksitet ville fortsætte med at for-

dobles hver eneste år, idet han tog udgangspunkt i, at antallet af grundelementer i de mest avancerede integrerede kredse var blevet fordoblet hver år siden opfindelsen af den integrerede kreds i 1959. I 1977 havde man endnu ikke set nogen betydningsfuld afvigelse fra Moore's lov, og der var ingen tegn på at udviklingsprocessen var ved at aftage i hastighed. (Noyce, 1977, s.5)

Figur 6.1 angiver dermed kompleksiteten af de mest komplekse IC-typer kommercielt tilgængelige på et givet tidspunkt siden IC'ens opfindelse i 1959. Kompleksiteten eller integrationstætheden måles i komponenter per chip. Denne akse er logaritmisk inddelt og talværdierne vokser med potenser af 16 (4K = 4000 og 1M = 1.000.000). Kurvens hældning er et mål for teknologiudviklingens hastighed.

Figur 6.2: Moore's lov (Moore, 1979).



I figuren er der et spring mellem 1965 og 69. Perioden før 65 er som beskrevet kendetegnet ved den bipolære IC-teknologi. Dette gab er ikke uvæsentligt, men optrådte, fordi det på daværende tidspunkt var vanskeligt at definere nogen som helst halvlederprodukter, hvis chip-kompleksitet komtæt på den teknisk mulige. Dette gab udvikledes

ikke, fordi der var mangel på FoU-aktivitet - det var faktisk, som vi allerede har set, en periode med intens FoU-aktivitet. Gabet udvikledes i stedet på grund af vanskeligheder med i det hele taget at definere højkomplekse IC-produkter af LSI-integrationsgråd, der var rentable på de civile markeder. (Moore, 1979, s. 31-32)

IC-industrien stod således i en skærpet situation. Konkurrencen om teknologisk betingede ekstraprofitter udgjorde et pres mod de enkelte virksomheder. De virksomheder, der først løste den civile produktdefinitions-problematik og dermed sænkede prisen for elektronisk systemfunktionalitet yderligere, kunne påregne kraftig vækst i kapitalakkumulationen. Hvorimod de, der mislykkedes, stod i fare for ikke at kunne opretholde deres akkumulationsdygtighed på længere sigt. Ikke mindst fordi nye produktgenerationer med fordel ville kunne anvendes frem for eksisterende på adskillige områder.

Den manglende profitabilitet af højkomplekse IC-produkter havde baggrund i, at de potentielle civile afsætningsmarkeder var for små og mangeartede og karakteriseret af utallige specielle varianter af automatiske databehandlingsfunktioner. Den høje kompleksitet af systemerne på LSI-chips gjorde dem dermed for specielle til, at prisen kunne drives langt nok ned til, at det civile marked kunne aftage dem. Omkostningerne forbundet med at designe sådanne specialiserede LSI-chips var meget store. Designarbejdet var omfattende og LSI-procesudstyret komplekst og kapitalkrævende. For at opnå tilstrækkeligt lave omkostninger per produktenhed var meget store produktionsserier nødvendige. Disse store produktionsserier var simpelhen ikke mulige for sådanne højspecialiserede IC-komponenter, der jo havde små markeder. Prisen for elektronisk systemfunktionalitet kunne da ikke gøres lavere end for de eksisterende SSI- og MSI-produkter, hvilket udelukkede profitabel produktion. (Borrus, 1982, s. 22)(Moore, 1979, s. 32)

Halvlederproducenternes søgeproceser efter profitable produkter til de potentielle civile afsætningsmarkeder i slutningen af 60'erne udmundede i forskellige akkumulationsstrategiske overvejelser. Der opstod en debat i halvlederindustrien, om hvilke teknologiske innovationer, der kunne skabe det nødvendige gennembrud og dermed udgøre grundlaget for fortsat ekspansion på det civile marked. Denne diskussion og afsøgning af potentielle markeder blev kaldt konflikten mellem "custom" (dvs. skræddersyet til brugernes behov) og "standard".(Borrus, 1982, s. 22-23)

Som resultat af halvlederproducenternes aktive innovationsdefinerende indsats i slutningen af 60'erne blev den fremherskende opfattelse, at fremtiden for de digitale integrerede kredse på det civile marked lå i custom-LSI. Behovet for komplekse standard-IC'er forventedes derimod at være lille. Hovedgrunden, til at LSI forventedes at blive domineret af custom snarere end af standard-produkter, var, at de fleste halvlederekspertер mente, at innoverende fabrikanter indenfor elektronisk udstyr ikke ønskede, at de komplekse integrerede kredse, som bestemte deres produkters specielle egenskaber, var tilgængelige for konkurrenterne. Med 60'ernes bipolære logiske IC-familier havde udstyrsfabrikanterne kunnet gøre sig forskellige fra deres konkurrenter ved at forbinde standard-IC'er på en smart måde. (Borrus, 1982, s. 22-23)

Der blev udviklet en række forskellige innovationsstrategier for at imødekomme den forventede efterspørgsel efter custom IC'er med LSI-kompleksitet. Både Texas Instruments og Fairchild planlagde at bygge produktionsudstyr for wafers, der indeholdt forskellige grundlæggende digitale standardfunktioner (de såkaldte logiske porte), som kunne behandles i en afsluttende afmaskning. Denne afsluttende afmaskning fandt sted gennem pådampning af et metalmønster, som forbandt de logiske portfunktioner på waferen på den specielle måde, som brugeren ønskede. (Borrus, 1982, s. 23)

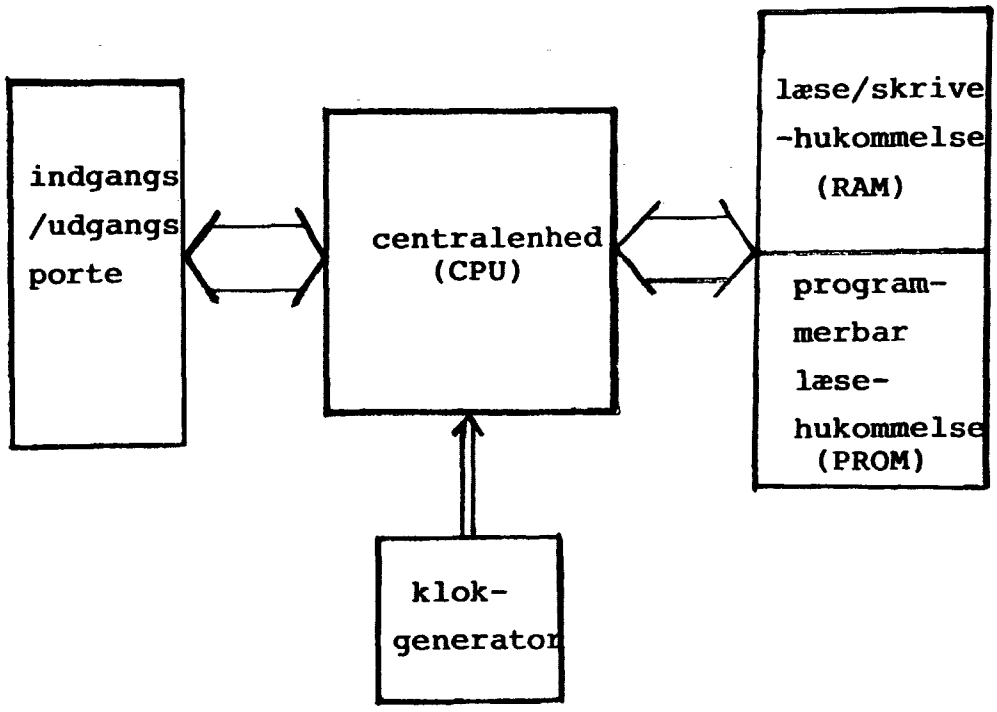
Selv om denne metode søgte at udnytte det lave omkostningsniveau ved masseproduktion af standardkredse som basis for småserieproduktioner af "specialsyede" kredse, så kunne den ikke realiseres profitabelt på det kommercielle marked. Dertil manglede et stort udviklingsarbejde med computer-aided-design metoder. (Wilson, 1980, s. 89) (Moore, 1979, s. 32-33) Custom-markedet opstod derfor aldrig rigtigt på den måde, man havde forestillet sig, og var dermed ikke løsningen på halvlederproducenternes akkumulationsstrategiske problemer.

Produktdefinitions-problematikkens løsning.

Halvledervirksomhedernes søgeproces efter passende design-innovationer indenfor MOS LSI fortsatte, og i årene omkring 70 fandt halvlederproducenter den innovative udvej af produktdefinitions-problematikken. Man løste modsætningen mellem LSI-systemkompleksitet og civile massemarkeder ved at definere to slags LSI-produkter:

1) Integrerede kredse, der var tilstækkeligt universelle i deres anvendelsesområder, til at de kunne produceres i massemålestok. Det drejede sig om computerhukommelses-IC'er og mikroprocessorer. Disse var egentlige subsystemer til den digitale computer. Endeligt havde man i 1974 oparbejdet teknologiske kapabiliteter til at at kunne anbringe et helt digitalt computersystem på en chip. Denne fik navnet single-chip computeren. Alle tre produktinnovationer opnåede deres anvendelsesmæssige universalitet i kraft af at være digitale computer-(sub)systemer. Den digitale computer kunne igennem programmering bringes til at varetage utallige specielle automatiske databehandlingsfunktioner.

Fig. 6.3: De grundlæggende funktionelle enheder i den digitale computer.



2) Integrerede kredse der, selv om de var rettede mod specialiserede behov, undtagelsesvist kunne afsættes profitabelt på massemarkeder. Disse markeder var indlysende nok i det store og hele de manipulerbare forbrugerbehov, der igennem markedsføringsstrategier kunne bringes til at benytte en række specielle LSI-baserede produkter i massemålestok. Det drejede sig om en række forskellige special-IC'er til forbrugerprodukter, nemlig specialkredse til elektronregnere (først bordregnere senere også lommeregnere), digitalure, elektroniske spil (som f.eks. TV-spil) og et antal mindre betydende anvendelser. Disse var computersubsystem-lignende produkter, der var kendetegnet ved at varetage højst specielle automatiske databehandlingsfunktioner.

Alle disse nye LSI-produkter udgjorde en betydelig billiggørelse af automatiske databehandlingsfunktioner og lignende. Forudsætningen, for at forstå hvorledes denne billiggørelse kom i stand, er imidlertid indsigt i den digitale computers grundlæggende arkitektur.

Som vist i blokdiagrammet i figur 6.3 er den digitale computers grundlæggende funktionelle enheder følgende:

1) Hukommelsen, som indeholder program-instruktionerne og data, der skal manipuleres af programmerne. Den kan opdeles i A) en (eventuelt) programmerbar læsehukommelse også kaldet PROM (en forkortelse for "programmable read-only memory") med permanente instruktioner og B) en læse/skrive-hukommelse også kaldet RAM (en forkortelse for "random access memory") til data og foranderlige instruktioner.

2) Indgangs/udgangs portene også kaldet I/O ports (en forkortelse for "input/output ports"), som forbinder computeren til perifere enheder som bruger-terminaler, store magnetiske skivelagre og skrivere,

således at start-data og eventuelle program-instruktioner kan indlæses i hukommelsen og resultaterne kan udskrives fra denne.

3) Centralenheden også benævnt CPU (en forkortelse for "central processing unit"), som kontrollerer data-flow'et gennem computersystemet og eksekverer sekvensen af program-instruktioner. Denne eksekvering indebærer:

   A) at aflæse den enkelte instruktion fra hukommelsen.

   B) at fortolke denne instruktion, for det første for at afgøre hvilke operationer, der skal udføres på hvilke data, og derefter manipulere data i overensstemmelse med disse, og for det andet for at afgøre hvilken instruktion, der derefter skal eksekveres.

Disse tre grundlæggende funktionelle enheder svarer til, at der erkendelsesteoretisk set i det væsentlige er tre typer af operationer, der kan udføres på data. De kan lagres, distribueres og bearbejdes. (Lunell, 1985, s. 24) Analogien med mennesket kan strækkes yderligere, idet den digitale computers fjerde funktionelle enhed giver et "pulsslag":

4) Klok-generatoren (en fordanskning af "clock generator") er en elektronisk tidtager, der frembringer det periodiske elektroniske signal (pulsslag), som synkroniserer alle computerens aktiviteter og afpasser dem tidsmæssigt i forhold til hinanden. Computeraktiviteternes periodiske tidsmæssige rytme kaldes maskincyklussen.

Disse fire funktioner udgør den digitale computers grundlæggende strukturelle elementer.

De nyudviklede MOS hukommelses-IC'er repræsenterede en billiggørelse af elektroniske hukommelser til digitale computere. I 50'ernes og 60'ernes digitale computere spillede ferritkerne-hukommelser en betydelig rolle. Disse hukommelser benyttede magnetiserbare kerner eller ringe af materialet ferrit med en diameter på mindre end en millimeter. Ferritringene sad i tusindvis omkring knudepunkterne på tredimensionale strømledende gitre af tynde metaltråde. Sådanne gitre udgjorde datidens RAM-hukommelser. Elektronisk information kunne lagres i en given ferritring ved at sende en elektrisk strøm gennem en særlig udvalgt metaltråd. Herved magnetiseredes ringen i en given retning. Aflæsning af information foregik tilsvarende ved at sende en elektrisk strøm via en anden udvalgt metaltråd gennem den samme ferritkerne. Kernehukommelses-elementer kunne kun produceres ved at de enkelte ferritringe sattes på de hårtynde metaltråde med hånden. Dette betød, at der var grænser for hvor meget computerhukommelser kunne billiggøres via denne teknologi. MOS IC-teknologien var derimod en egentlig masseproduktionsteknologi (ligesom den planarproces den i bund og grund byggede på), og MOS hukommelses-IC'er betød hurtigere tilgang til data, mindre fysisk størrelse og lavere effektforbrug, alt sammen til betydeligt lavere omkostninger. Dette åbnede op for en omfattende gennemtrængning af det civile markeds forskellige afsnit, sådan at digital computerhukommelseskapacitet ville kunne bruges, hvor det aldrig før havde været muligt. (Hodges, 1977, s. 55)

Mikroprocessoren repræsenterede et gennembrud i digitalt IC-design. Igennem opfindelsen af mikroprocessoren i 1971 muliggjordes for første gang placeringen af centralenheden til en digital computer på en eneste chip. Når mikroprocessoren blev elektrisk forbundet en række perifere komponenter (dens "familie" af komponenter) heriblandt en

PROM IC, udgjorde de tilsammen en mikrocomputer. Denne kunne programmeres til en lang række forskellige specielle databehandlings-anvendelser ved lagring af et program i den tilhørende PROM hukommelses-IC. I modsætning til de eksisterende generationer af digitale computere: den store mainframe-computer og den mellemstore minicomputer var anvendelsen af mikrocomputeren til nye produkter og processer ikke begrænset af størrelse, kompleksitet eller effektforbrug. Dette åbnede op for en omfattende gennemtrængning af det civile markeds forskellige afsnit, sådan at digital computerkraft ville blive brugt, hvor det aldrig før havde været muligt. Mikrocomputeren bidrog til mindskede omkostninger på flere måder:

- Mikrocomputeren bestod af ganske få masseproducerede LSI-chips.
- Udviklingstiden var kortere end ved sammensætning af mange elementære digitale byggeblokke af SSI og MSI integrationsgrad (se kapitel 5, s. 138-39) til et digitalt computersystem. For det første tog det kortere tid at forbinde så få LSI IC'er. For det andet kunne man ofte erstatte en besværlig sammenlodning af enkelt-komponenter med programmering.
- Det mindre antal forbindelsesledninger resulterede i øget pålidelighed.
- Det reducerede effektforbrug betød mere beskedne krav til strømforsyning.
- Den reducerede effektafgivelse betød mindre krav til køling.
- Miniaturiseringen betød at systemet var mindre pladskrævende og direkte bærbart.

6.3 Udviklingen af MOS IC-teknologien.

Generelle tendenser.

Den halvlederteknologiske udvikling stod derfor i begyndelsen af 70'erne som opdelt på en række mere eller mindre betydelige felter.

Tabel 6.2: Udviklingen i salget på USA-markederne for betydningsfulde IC-produkter i 70'erne (i mio. $). (Electronics 4-1-73, 6-1-77, 13-1-81)

	1971	1975	1979
mikroprocessor-familier	0	70,9	385,5
hukommelses-IC'er	60,9	337,4	1307,3
elektronregner-IC'er	0	3,7	54,0
ur-IC'er	0	9,7	60,0
spil-IC'er	0	7,9	55,0

De rene forbrugerproduktmarkeder var af deres natur relativt begrænsede markeder. De kraftigst ekspanderende og mest voluminøse massemarkeder var derfor mikroprocessormarkedet og frem for alt markedet for hukommelses-IC'er. Det var dermed her, de største teknologiske ekstraprofitter ved konkurrence om markedsudvidelser var at hente. Ikke uventet var det også her, man oplevede den største innovationsindsats og teknologiudviklings-hastighed i 70'erne:

> "Perhaps the fastest technical advances are made in memories and microprocessors." (Hazewindus, 1982, s. 77)

Hukommelses-komponenter og mikroprocessorer udgjorde som nævnt forskellige grundlæggende funktionelle elementer i den digitale computer. De udgjorde egentlige computer-subsystemer. Den innovative bestræbelse på profitabelt at billiggøre databehandlingskraft måtte derfor få forskelligt udløb på disse to halvlederteknologiske felter. På hukommelses-komponent feltet måtte innovationsaktiviteten nødvendigvis fokusere på billiggørelse af køb og anvendelse af datalagringskapacitet. På mikroprocessor-området måtte innovationsindsatsen nødvendigvis dreje sig om billiggørelse af køb og anvendelse af databearbejdningskraft. De udviklede masseproduktionsteknologier skulle selvfølgeligt være profitable på det åbne civile marked.

Halvlederhukommelses-IC'ers interne systemopbygning var i hovedsagen blot en simpel gentagelse af samme grundlæggende element: den halvlederelektroniske hukommelsescelle. Mikroprocessorer havde derimod ikke den samme ensartede og simple interne system-struktur. Sidstnævnte var langt mere inhomogene og komplicerede som kredsløbssystemer. Den basale og kortfattede årsag til dette var (og er), at databearbejdning er en mangefacetteret og kompliceret proces sammenlignet med datalagring. Disse højkomplekse LSI-databearbejdningssystemer, som mikroprocessorer jo var, skulle både "pakkes ned" på en chip og anvendes af købedygtige civile behov. Det blev derfor meget sværere og mere arbejdskrævende at definere den interne arkitektur for mikroprocessorer. System-definitionsproblemer blev derfor den afgørende flaskehals for frembringelse af mikroelektroniske produktinnovationer i 70'ernes ekstraprofitkapløb på mikroprocessor-området. Da 70'ernes udvikling af hukommelses-IC'er ikke plagedes af de samme produktdefinitionsproblemer, blev flaskehalsen i denne udvikling følgeligt i stedet procesteknologiske problemer. Nemlig forhindringerne for at opnå ekstraprofitter gennem stadigt at anbringe flere hukommelsesceller per chip. (Moore, 1979, s. 30-37) Hazewindus og Tooker kunne derfor i 1982 konstatere, at

> "The development of memories critically depends on very advanced manufacturing technologies. In contrast, microprocessors rely more on systems know-how and software abilities." (Hazewindus, 1982, s. 77)

Et resultat af 70'ernes mikroprocessor-udvikling ville derfor komme til at blive, at den haltede bagefter i udnyttelsen af den faktisk tilgængelige maksimale integrationsgrad. Mikroprocessorudviklingens forsinkelse på dette område betød, at den i stort omfang udnyttede procesteknologiske innovationer "gratis". Disse var jo i forvejen skabt inden for halvlederhukommelses-området. Dette gælder for eksempel den for 70'erne betydningsfulde procesteknologiske innovation "poly-silicium" teknologien (denne omtales nærmere i de to sidste underafsnit i afsnit 6.2). Udviklingen af MOS hukommelses-IC'er blev derfor, som man også kan se af Moore's lov (se de små sorte trekanter i figur 6.3), den primære profitmæssige motivation bag de stadige procesteknologiske forøgelse af antallet af integrationsgraden. Denne vedvarende forøgelse var en central nødvendighed for at realisere den billiggørelse af elektronisk systemfunktionalitet, som var en betingelse for at effektivt at gennemtrænge de potentielle civile afsætningsmarkeder.

Som allerede omtalt er læse/skrive-hukommelser kaldet RAM og læsa-hukommelser kaldet ROM (read-only memory - herunder den omtalte PROM) af betydning i den digitale computer. RAM-hukommelser kan opdeles i to kategorier: statiske og dynamiske. I de statiske RAM lagres inholdet permanent i hukommelsescellerne, hvorimod de dynamiske RAM kræver kontinuerlig genopfriskning af cellernes indhold af binær digital information. Denne manglende evne til at opretholde indholdet permanent betød tilgengæld, at hukommelsescellen i MOS dynamiske RAM IC'er var særlig simpel og derfor meget lille. Dette førte i 70'erne til den laveste pris for hukommmelseskapacitet blandt hukommelses-

IC'er. Denne fordel, samt RAM-hukommelsens store betydning i den digitale computer, sikrede MOS dynamiske RAM-komponenter maksimal markedsandel i 70'ernes marked for hukommelseskomponenter (se tabellerne 6.3 og 6.4). (Hazewindus, 1982, s. 63)

Tabel 6.3: Udviklingen i USA-markedet for halvlederhukommelses-IC'er i 70'erne (i mio. $). (Electronics 4-1-73, 6-1-77, 13-1-81)

komponenttype	1971	1975	1979
RAM	15,8	201,1	734,7
ROM	17,1	101,8	522,1
andet	28,0	34,5	40,5
i alt	60,9	337,4	1307,3

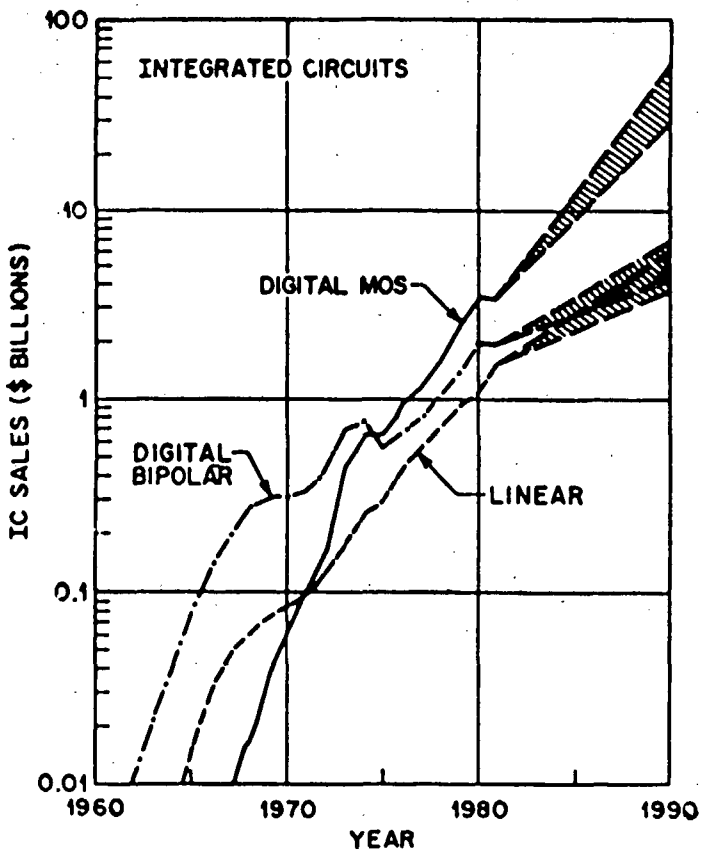
Tabel 6.4: Udviklingen i USA-markedet for RAM hukommelseskomponenter (i mio $). (Electronics 4-1-73, 9-1-75, 6-1-77, 4-1-79, 13-1-81)

komponenttype	1971	1973	1975	1977	1979
Halvledere i alt	15,8	110,3	201,1	315,0	734,7
MOS i alt	10,0	71,3	162,6	258,0	611,7
a) dynamiske	10,0	71,3	133,6	187,7	385,6
b) statiske	0	0	29,0	70,3	226,1
bipolære	5,8	39,0	38,5	57,0	123,0
Ferritkerner	20,0	30,0	30,0	20,0	63,0(*)

(*) Inkluderer andre ferritkomponenter end kerner som f.eks. spoleforme.

Ekstraprofitmulighederne ved innovation inden for fremstilling af MOS dynamiske RAM var derfor i særlig grad store sammenlignet med andre digitale computerhukommelseskomponenter. MOS dynamiske RAM blev dermed den absolutte front indenfor 70'ernes procesteknologiske udvikling på halvlederområdet. (Hazewindus, 1982, s. 8-9)

Figur 6.4: Fordelingen af salget af betydningsfulde IC-typer på USA-markedet ($ billions = mia. $) (Sze, 1983,s. 3).



Udviklingen af mikroprocessorer og MOS dynamiske RAM IC'er blev derfor særligt betydelige områder for halvlederteknologisk innovation i 70'erne. Disse skal derfor

følges på nært hold i det følgende. Resultatet af MOS IC-teknologiens gennembrud på det civile marked blev en voldsom ekspansion, der klart overgik bipolærteknologiens ekspansionstakt i salgstal. I 1974 oversteg salget af MOS-komponenter på USA-markedet salget af bipolære IC'er. En tendens der fortsatte (se figur 6.4).

Det fortsatte amerikanske monopol på halvlederinnovation.

De mangeartede civile behov for automatisk databehandlingskraft tegnede således til at blive en af de retningsgivende dimensioner for halvlederteknologiens udvikling i 70'erne. Samtidigt blev de indirekte en væsentlig betingelse for at innovationsprocessen fortsat lokaliseredes i USA. Her havde tilstedeværelsen af en udviklet national computerindustri betydning.

Forholdet mellem de amerikanske IC-producenter på den ene side og computerproducenterne på den anden er blevet betegnet som et synergistisk, dvs. samvirkende forhold. Hvor den amerikanske computerindustris kapitalakkumulation var kritisk afhængig af tilvejebringelsen af stadig innovation (i specifikke retninger) og stadigt stigende produktionskapacitet inden for IC-industrien, så var den amerikanske IC-industris kapitalakkumulation i høj grad afhængig af at have et stort, innovativt, lokalt computermarked, der efterspurgte nye halvlederteknologiske kapabiliteter. (Mackintosh, 1980, s. 87-91) I 1978 skrev Ian M. Mackintosh:

> "This must be regarded as a particularly convincing example of the benefits of industrial synergism and leaves no doubt that the simultaneous American domination of the integrated circuit, computer and professional electronics sectors are all part of the same basic phenomenon, and that this is the main -

> not the only, but the main - reason for today's domination by the United States of the worldwide IC business." (Mackintosh, 1980, s. 91)

Den manglende lokalisering af halvlederkomponent-innovationsprocessen udenfor USA indtil slutningen af 70'erne skyldtes dermed fraværet af sådanne synergistiske brugerindustrier i Europa og Japan (Mackintosh, 1980, s. 91).

Udviklingen af MOS dynamiske RAM i 70'erne.

Hukommelses- eller lagerkapacitet måles i bit. En bit er en informations-enhed, som består af det binære systems grundtal, 0 eller 1. En kilobit (1K) af lagringskapacitet svarer til 1000 bit af binære data eller 1000 hukommelsesceller.

Integrerede halvlederhukommelser har været produceret siden midten af 60'erne, men ekstraprofitkapløbet om at producere en billig hukommelse med stor ydeevne begyndte ikke for alvor før i 1968. I slutningen af 60'erne blev det klart for mange folk i halvlederindustrien, at et uhyre stort marked ville blive tilgængeligt, hvis halvlederhukommelserne kunne udvikles til at erstatte de ferritkerne-hukommelser, der siden 50'erne havde været RAM hukommelser i digitale elektroniske computere. Produktionsomkostningerne ved fabrikation af konventionelle bipolære integrerede kredsløb var som tidligere beskrevet faldet skarpt, og MOS-teknologien udviste et betragteligt potentiale som metode til erstatning af magnetiske kernehukommelser. På dette tidspunkt var det dermed uklart, hvilken teknologi: bipolær eller MOS, som havde det største potentiale for halvlederhukommelser. Der eksisterede bipolære hukommelser på markedet, men de var dyrere end magnetiske ferritkernehukommelser på de fleste anvendelsesområder. MOS-teknologien var uafprøvet, men den gav løfter om meget

lavere produktionsomkostninger end bipolær-teknologien. (Wilson, 1980, s. 91)(Hodges, 1977, s. 55)

På baggrund af disse gunstige markedsmæssige muligheder for store teknologiske ekstraprofitter formedes der adskillige nye selskaber i 1968 for at udvikle halvlederhukommelses-produkter. Dette galdt for eksempel Intel, der dannedes som et spin off firma fra Fairchild. De etablerede halvledervirksomheder udviklede også halvlederhukommelses-produkter. For eksempel bebudede Motorola i 1968 sit første MOS-produkt, en 64-bit RAM. Imidlertid undlod de etablerede virksomheder at engagere sig i større grad i halvlederhukommelses-teknologi på dette tidspunkt. Denne undladelse skabte gunstige muligheder for teknologisk betingede ekstraprofitter for nyanstigende virksomheder. (Wilson, 1980, s.91)

I begyndelsen af 1970 fremstillede eller planlagde i det mindste 18 selskaber en eller anden form for halvlederhukommelse. Det første større gennembrud var i 1970 med introduktionen af den første 1K (1000 bit) RAM. Intel var banebrydende med udviklingen af polysilicium MOS-teknologien, som var afgørende for nedbrydningen af den teknologiske barriere for produktionen af 1K RAM'en. (Wilson, 1980, s. 91)

I sin søgning efter maksimale teknologiske ekstraprofitter havde Intel investeret mere i FoU-arbejde på halvlederhukommelses-feltet end sine konkurrenter. Så snart virksomheden oprettedes i 1968, begyndte Intel's ingeniører at arbejde på et splinternyt koncept at lave hukommelseschips efter. Den grundlæggende MOS felteffekt-struktur (Metal-Oxide-Semiconductor) bestod af halvledermateriale (silicium) med siliciumdioxid som isolationslag og styringselektrode af metallet aluminium (se også figur 6.1). Men anvendelsen af metal gjorde fremstillingsprocessen så ømtålelig og upålidelig, at kun 5% af de fremstillede IC-komponenter var brugbare. Derfor besluttede Robert Noyce og Gordon Moore at erstatte metallet i styringselektroden

med "polysilicium", dvs. poly-krystallinsk silicium. Deres tidligere erfaring fra virksomheden Fairchild havde overbevist dem om, at dette skift ville muliggøre større komponenttæthed, højere produktionsudbytter, og derfor betydeligt reducerede omkostninger. De blev bekræftede, når de fik produktionsudbytter på 10 % med deres første hukommelses-chip. Men det var deres andet polysilicium MOS-produkt: 1K RAM'en 1103, som slog igennem. (Bylinski, 1973, s. 147)(Wilson, 1980; s. 179, 183)

Advanced Memory Systems var imidlertid den første virksomhed til at markedsføre en 1K RAM. Intel fulgte efter tre måneder senere, og overtog hurtigt størstedelen af markedet. Baggrunden for de derved opnåede store ekstraprofitter var følgende: Både det indhug, der blev gjort på eksisterende markeder for ferritkerne-hukommelser, og de nye markeder, der åbnedes op gennem tilvejebringelsen af en sådan billig hukommelseskomponent. Intel's komponent var desuden nemmere og dermed billigere at implementere i elektroniske systemer end AMS's enhed, men var dog ikke så hurtig som denne. Intel lagde vægt på en effektiv reklamekampagne, som understregede virksomhedens evne til at levere. AMS mislykkedes med sin markedsførsel og havde desuden finansieringsproblemer. (Wilson, 1980, s. 91)(Altman, 1972, s. 64) Et afgørende moment i accepten af 1103 som industristandard var Intel's samarbejde med den computerproducerende virksomhed Honeywell om at færdigudvikle komponenten og udtænke kredsløbsanvendelser, der passede computerindustrien (Bylinski, 1973, s. 184).

Succes'en for Intel's 1103 førte til et modsvar fra de ledende virksomheder i industrien. Fairchild, TI og andre større halvlederproducenter henvendte sig til Intel for at anmode om licenser til at kopiere Intel's produkter. Intel nægtede at give disse store virksomheder licens. I stedet tildelte Intel licens ytil et lille firma fra Canada: Microsystems International Ltd. mhp. kopiering af produktet. (Wilson, 1980, s. 92)

Advanced Memory Systems reagerede på Intel's 1103 med at introducere en hurtigere 1K RAM og give TI og Motorola licens til at kopiere. Det mislykkedes imidlertid for TI at komme i gang med at producere både dette kopierede produkt og dets eget produkt. I stedet for bekendtgjorde TI, at man ville overspringe den eksisterende teknologi og fokusere bestræbelserne på at udvikle en 4K hukommelse. (Wilson, 1980, s. 92)

Da Intel's 1103 blev fast etableret som det dominerende produkt, fremkom både American Microsystems og Fairchild med deres "egne" versioner af 1103. Intel havde allerede vundet den første runde i konkurrencen om teknologiske ekstraprofitter. (Wilson, 1980, s. 92)

Som den første halvlederkomponent til at udfordre ferritkernerne, blev den ikke kun industristandard, men også den mest solgte halvlederkomponent i verden (Bylinski, 1973, s. 147). Siden dens introduktion i slutningen af 1970 gennemtrængte denne hukommelses-IC i realiteten hver eneste computer-anvendelsesområde verden over (Altman, 1972, s. 64). I 1973 anvendtes 1103'en i computerhukommelser hos 15 af verdens 18 største computerfabrikanter (Bylinski, 1973, s. 147).

I 1973 begyndte <u>anden</u> runde af konkurrencen om <u>teknologiske ekstraprofitter</u>, da 4K MOS hukommelser introduceredes af Intel, TI og Mostek. De tre virksomheder konkurrerede indbyrdes om at blive den dominerende leverandør med deres specifikke design. Intel bebudede sin 4K hukommelse i i juli og gjorde sine første leverancer i september. Microsystems International Ltd. fra Canada modtog igen licens fra Intel til at kopiere. Både TI og Mostek bebudede deres 4K hukommelser i August.

Intel og MIL baserede deres 4K komponentinnovation på udviklingen af en hukommmelsescelle-struktur, der indeholdt tre transistorer. Dette skal sammenlignes med 1K RAM'en, hvis cellestruktur indeholdt 3-4 transistorer og en kondensator. TI's og Mostek's cellestrukturer indeholdt derimod en transistor og en kondensator.

Andre virksomheder var tilbageholdende med at udsætte sig for den økonomiske risiko som, ekstraprofit-kapløbet indebar. Advanced Memory Systems og National bekendtgjorde, at de ville holde udviklingen og produktionen af en 4K hukommelseskomponent tilbage indtil en industristandard klart fremtrådte. (Wilson, 1980, s. 92)

Intel's 4K hukommelseskomponent arbejdede langsommere end TI's model. Den var hurtig nok til perifert computerudstyr, men for langsom til at blive 1103's efterfølger i computer-hovedlagre. Disse udgjorde det største marked. I december 1973 reagerede Intel på dette ved at modificere sin nye 4K hukommelses-IC, for at gøre den kompatibel med TI's produkt. (Wilson, 1980, s. 93)(Bylinski, 1973, s. 186) Kort tid efter stødte TI ind i produktionsvanskeligheder med sin 4K hukommelse og var ud af stand til at overholde sine leveringsforpligtelser. På dette tidspunkt blev Mostek's 16-bens design dermed det mest foretrukne frem for Intel's og TI's 22-bens design. I 1974 fremstod Mostek's hukommelse som <u>standard</u> for det meste af industrien. Med Mostek's hukommelse som standard blev nye 4K hukommelser introduceret af National, Motorola, American Microsystems og andre, og i løbet af 1976-77 steg salget af halvlederhukommelser hurtigt. Mostek, Intel og TI var blevet fast etablerede som de største producenter af 4K MOS dynamiske hukommelser, med en samlet markedsandel på mere end 80%. (Wilson, 1980, s. 93)

Baggrundene for de teknologiske ekstraprofitter, som opnåedes på dette marked var flere. Der blev gjort yderligere indhug på de eksisterende markeder for ferritkernehukommelser, og åbnet endnu flere markeder op end tidligere. Hvor ferritkerner oprindeligt var enerådende, så blev 70 % af de nye computerhukommelser designet med halvlederkomponenter, og anvendelserne strakte sig over alle typer af hukommelsessystemer (Altman, 1974). Desuden udkonkurrerede de nye 4K RAM hukommelseskomponenter den tidligere 1K MOS RAM, da de muliggjorde en yderligere <u>billiggørelse</u> af

hukommelseskapacitet. Ved at pakke fire gange så mange hukommelsesceller ned på den samme chip-størrelse, samtidigt med at 4K RAM'en arbejdede med samme hastighed som 1K RAM'erne muliggjordes en prisreduktion på en faktor fire per bit med introduktionen af 4K MOS RAM'en. Desuden reduceredes anvendelsesomkostningerne også meget, da den var simplere at indkorporere i elektroniske systemer end tidligere MOS RAM'er, uden at bruge mere effekt end disse. (Altman, 1974)

Mostek's komponent, der uden tvivl hentede de fleste teknologiske ekstraprofitter hjem, var karakteriseret af to centrale innovationer i cellestruktur, der betød billiggørelse af hukommelseskapacitet. En cellestruktur med en transistor i stedet for tre eller fire betød et forøget antal hukommelsesceller per chip, hvilket betød lavere produktionspris per hukommelses-element. Desuden havde Mostek udviklet en kontaktløs cellestruktur. Denne eliminerede alle kontakter mellem hukommelsescellerne. Denne eliminering forenklede teknologien betydeligt, da dannelse af kontakthuller var en af de betydelige faktorer i reduktionen af produktionsudbyttet ved MOS-fabrikation - der var 7000 kontakter i en konventionelt konstrueret 4K RAM på daværende tidspunkt. (Electronics, 18-12-72) Desuden betød reduktionen i antallet af tilledninger til chippen fra 22 til 16 reduktion af omkostningerne til 1) montering af chippen i hus og 2) til plads (Electronics, 13-9-73)

I 1975 begyndte tredje runde af den markedsmæssige konkurrence om teknologiske ekstraprofitter på MOS RAM feltet. Intel, Mostek og TI bebudede hver sin 16K dynamiske hukommelses-IC i 1975, men i begyndelsen af 1977 var der kun leveret relativt få enheder. Mostek og Intel udviklede "dobbelt-polysilicium" teknologien til deres 16K RAM'er; TI gjorde det ikke og måtte senere omdesigne sin komponent til at bruge denne teknologi. Resultatet af konkurrencekampen blev at Mostek's design blev industristandard. (Wilson, 1980, s. 93)

Dobbelt-polysilicium teknologien var en videreudvikling af den hidtil anvendte polysilicium teknologi, som både var anvendt til produktionen af 1K og 4K MOS dynamiske RAM hukommelseskredse. I 4K bit MOS dynamiske RAM måtte transistoren og kondensatoren i den enkelte hukommelsescelle placeres side om side, i samme plan. I dobbelt-polysilicium teknologien var cellearealet formindsket ved at lagringskondensatoren, som lagrer ladningen svarende til en logisk tilstand, var anbragt direkte under cellens enkelte transistor. Da kondensatoren og transistoren typisk var af samme størrelse, optog dobbeltniveau 16K strukturen omkring halvdelen af det siliciumareal, som den udspredte 4K enkelt-niveau struktur optog. Derudover fungerede den mere effektivt. (Coe, 1976, s. 116-17)(Altman, 1976, s. 74-77)

Baggrundene for de teknologiske ekstraprofitter var i det væsentlige flere. Der blev gjort yderligere indhug på de efterhånden reducerede markeder (relativt) for ferritkerne-hukommelser , og stadigt åbnet nye markeder op. Desuden udkonkurrerede den nye 16K MOS dynamiske RAM den tidligere 4K RAM generation, da den muliggjorde enyderligere billiggørelse af hukommelseskapacitet. Sammenlignet med de eksisterende 4K designs tilbød 16K komponenten fire gange så meget hukommelseskapacitet til den samme pris. (Coe, 1976, s. 116)

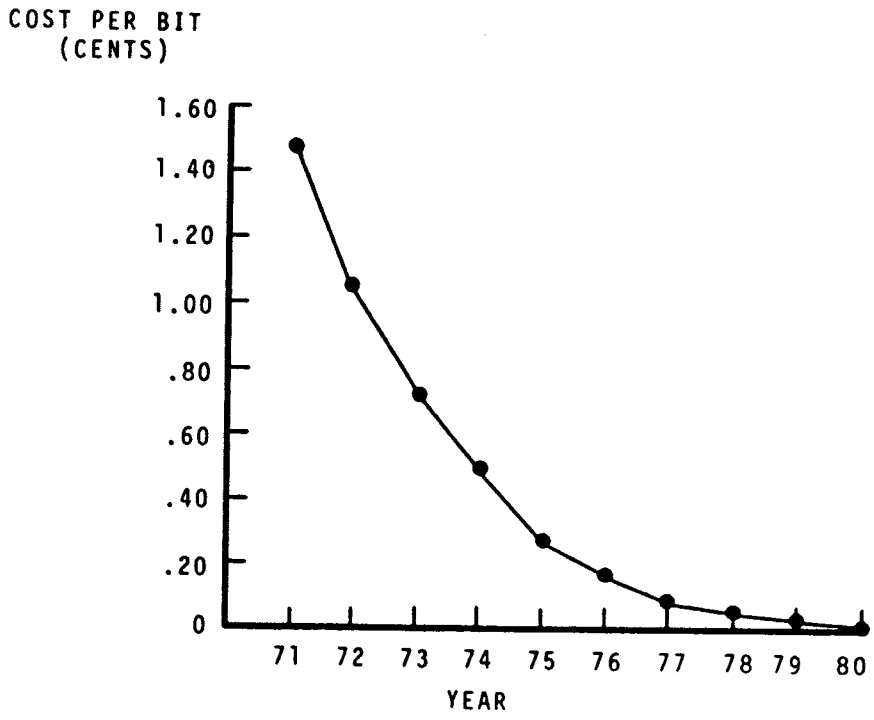
Både Intel, Mostek og TI fik imidlertid produktionsproblemer, hvilket gjorde japanske virksomheder i stand til at opnå en betydelig del af 16K salget. I midten af 1979 producerede seksten virksomheder MOS dynamiske RAM, og de japanske virksomheder stod for 42% af omsætningen. (Wilson, 1980, s. 93-94)

I 1980 var de største halvlederhukommelser, der var introduceret indtil da, 64K modeller. Fujitsu var den første virksomhed til at introducere dette produkt i USA. I slutningen af 1978 fulgte TI efter med en lignende komponent. I midten af 1979 havde to andre virksomheder: Motorola og

Hitachi også enhder i produktion og Mostek, Intel og National antydede, at de også planlagde at producere denne komponent.(Wilson, 1980, s. 94)

Indtil da havde snedige kredsløbs-designs betydet lige så meget som procesfærdigheder ved innovation inden for MOS dynamiske RAM. Siden 16K RAM'en, drejede innovationsprocessen sig i det væsentlige om ned-scaling - at gøre tingene mindre og mindre - at pakke flere bits på hver chip. (Posa, 1985, s. 41)

Figur 6.4: Faldet i omkostninger per bit for MOS dynamiske RAM IC'er (Hazewindus, 1982, s. 14).



Udviklingen af stadigt mere komplekse MOS dynamiske RAM chips i løbet af 70'erne betød efterhånden en overgang fra LSI-kompleksitet (1000 - 100.000 komponenter per chip) til VLSI-kompleksitet (over 100.000 komponenter per chip). VLSI står for "very large scale integration". En tilsva-

rende men forsinket bevægelse gjorde sig gældende i 70'ernes mikroprocessorudvikling. Denne stigende kredsløbstæthed blev kun mulig i kraft af den løbende introduktion af stadigt mere kapitalkrævende procesteknologiske innovationer. Udgifterne til at etablere et silicium-wafer fremstillingsanlæg steg fra 2 mio. $ i 1970 til 50 mio. $ i 1979, ligesom at FoU-omkostningerne til design af IC'er og procesudvikling steg voldsomt. På den anden side voksede produktiviteten også drastisk, hvilket betød, at chip-prisen tilnærmelsesvis forblev konstant. (Rosenberg, s. 181, 1982)

Resultatet af af den teknologiformende krafts aktivitet i 70'erne blev derfor et skarpt fald i prisen for elektronisk systemfunktionalitet (se figur 6.4).

Mikroprocessorudviklingen i 70'erne.

Introduktionen og den videre udvikling af mikroprocessorer var været forbundet med store teknologiske ekstraprofitter til de involverede virksomheder i takt med at stadigt nye markedsområder åbnedes. Fire hovedområder for anvendelse og afsætning af mikroprocessorer var

1) nye anvendelser, som ikke har været økonomisk mulige med tidligere teknologier.
2) erstatningen af digitale SSI- og MSI-kredse.
3) estatning af minicomputere.
4) erstatning af LSI-specialkredse.

Mikroprocessorerne fortrængte tidligere generationer af halvlederkomponenter og elektromekaniske systemer (f.eks. relæer) fra en betydelig del af deres tidligere anvendelser. Ligesåvel som at mikroprocessorerne fandt en endnu længere række nye anvendelser.

I 70'erne blev mikroprocessorernes databearbejdnings-kraft forøget voldsomt. Dette skete i det væsentlige igennem

1) forøgelse af ordlængden i bit. Dette betyder behandling af mere komplekse instruktioner og data.

2) et mere omfangsrigt instruktionssæt. Dette betyder større databearbejdnings-repertoire.

3) hurtigere maskincyklus. Hvilket betyder, at der eksekveres flere instruktioner per sekund.

4) forøgelse af kapabiliteten til at adressere hukommelsesceller. Hvilket giver en større mængde tilgængelig hukommelseskapacitet.

I alt betød disse træk ved mikroprocessorudviklingen stigende databearbejdnings-kapacitet og -effektivitet gennem større og mere sofistikerede programmer, mere komplekse data og stærkt forøget hastighed, uden den væsentlige stigning i prisen per chip (Wittie, 1983,s. 974). Denne udvikling indebar derved, at stadigt mere komplekse CPU-arkitekturer blev billiggjort gennem anbringelse på en chip. Herved fik de betegnelsen mikroprocessorer.

Mikroprocessorens opfindelse var et sideskud på udviklingen af chips til elektronregnere. I 1971 opfandt man hos Virksomheden Intel den første 4-bit mikroprocessor. Designet af Intel 4004, som den betegnedes, resulterede fra en kontrakt med en japansk fabrikant (Busicom) af bordregnere. De regnere som var i produktion krævede typisk et halvt dusin specialgjorte MOS-chips, hvor hver chip indeholdt 600-1000 transistorer. Hos Intel var man overbevist om, at virksomhedens nyudviklede polysilicum-teknologi kunne opnå tilstrækkeligt lave produktionsomkostninger ved en kompleksitet på måske 2000 transistorer per chip.

Man designede da en chip som samtidigt med, at den kunne udføre de fornødne regnemaskinoperationer, havde mere universelle anvendelsesmuligheder. (Noyce, 1981, s. 9-10) Der var tale om en hybrid mellem en specialiseret og en universel chip. Den var derfor ikke særlig databearbejdningskraftfuld, og man havde ikke særligt høje forventninger til dens salgsmuligheder. (Zaks, 1977, s. 30-31)

Intel begyndte at levere 4004 i andet kvartal 1971. Andre virksomheder var langsomme med at gå ind på mikroprocessorområdet - formentlig fordi man ikke anså, at der kunne hentes teknologiske ekstraprofitter på dette felt. Kun Rockwell og National introducerede deres egne 4-bit designs inden for et år. Fairchild introducerede også en 2-chip mikroprocessor, primært med henblik på anvendelse i elektroniske regnere. Efterhånden som mikroprocessoren blev accepteret på markedet begyndte andre virksomheder at udvikle deres egne design - tydeligvis med forhåbninger om eventuelle ekstraprofitter. (Wilson, 1980, s. 95)

Mens Intel arbejdede på at færdigudvikle 4004 og dens tilhørende "familie" af perifere komponenter, iværksatte man et parallelt udviklingsprojekt, der skulle føre til introduktionen af den første 8-bit mikroprocessor 8008. Denne resulterede af en kontrakt med en amerikansk producent af computer-terminaler. (Noyce, 1981, s. 13)

Computer Terminals Corporation (nu Datapoint) kontaktede Intel i 1969 og i 1971 var prototypen på 8008-chip'en klar. Den var designet (specielt) til at kontrollere skærmterminaler og input-tastaturer. (Wittie, 1983, s. 974) Processoren 8008 var imidlertid for langsom i forhold til CTC's behov og blev kasseret af denne virksomhed, som anvendte traditionelle bipolære logiske kredse i stedet. Intel havde da et produkt, hvis udvikling allerede var betalt, og som der ikke eksisterede noget indlysende marked for. (Zaks, 1977, s. 31) I 1972 introduceredes 8008 på markedet før andre virksomheder var begyndt at levere deres 4-bit komponenter (Wilson, 1980, s. 95) Til indu-

striens overraskelse begyndte salget af mikroprocessorer at stige hurtigt (Zaks, 1977, s. 31). I 1972 var elektronikvirksomheder begyndt at aftage 4004 og 8008 til erstatning af digitale logiske IC'er (Noyce, 1981, s. 13). Intel indså hurtigt de teknologiske ekstraprofitmuligheder og udviklede en efterfølger til 4004 og 8008 (Zaks, 1977, s. 31). Denne 8-bit mikroprocessor, som betegnedes 8080, introduceredes i 1973, endnu før de fleste virksomheder havde introduceret 4-bit mikroprocessoren. Intel skønnes at have haft 99% af mikroprocessorsalget i marts 1973 med sine 4-bit og 8-bit produkter. (Wilson, 1980, s. 95)

Hvor en 4-bit mikroprocessors databearbejdningskraft er passende for relativt simple numeriske anvendelser, som f.eks. elektronregnere og til simple kontrolfunktioner, som f.eks. elektroniske spil, så kræves 8-bit processorkraft til seriøse beregnings- og komplekse kontrolfunktioner, der anvender både ord og tal. Bare alfabetets 28 bogstaver og 10-tals systemets 10 grundtal kræver 6-bits ordlængde for at blive repræsenteret i det binære talsystem (dvs. totals-systemet).

8080 var den første komponent med tilstrækkelig databearbejdningshastighed og -kraft i øvrigt til at gøre mikroprocessoren til vigtigt redskab i design af elektroniske systemer (Noyce, 1981, s. 15). 8080 havde langt større databearbejdningskraft end 8008. Med en 2-mikrosekund instruktionscyklus og et instruktionssæt på 75 instruktioner var 8080 10 gange mere effektiv end 8008, der havde en 30 mikrosekund instruktionscyklus og 45 instruktioner. Desuden kunne 8080 arbejde direkte med en større hukommelsesmængde end 8008. Processoren 8080 kunne nemlig adressere et datalager på 64 Kbyte (64.000 ord med 8-bits længde) sammenlignet med 8008's adressering af 16 Kbyte (16.000 ord med 8-bits længde). Derudover var der forskellige design-forandringer. Ikke mindst væsentligt var, at 8080 kun krævede 6 perifere IC'er sammenlignet med 8008's 20. Denne faktor bidrog yderligere til billiggørel-

se af databearbejdningskraften. (Noyce, 1981; s. 13,15) Mikroprocessoren 8080 og dens hurtigere 1974 version 8080A blev de første alment brugte mikroprocessorer (Wittie, 1983, s. 974)

Den hurtige accept af 8080'eren og den store efterspørgsel efter mikroprocessorer betød at andre konkurrerende virksomheder også gik ind på markedet i håb om teknologiske ekstraprofitter. (Zaks, 1977, s. 31)(Noyce, 1981, s. 15)(Wilson, 1980, s. 95) Intel vedblev dog at have en høj markedsandel på 80% i 1974. Kun Motorola truede Intel på 8-bit området med markedsleverancer af sin 6800 i midten af 74. Senere dette år gik også en række andre virksomheder ind på markedet. (Wilson, 1980, s. 95-96) 6800 var en 8-bit processor med en mere effektiv måde at adressere data på i hukommelsen. Dette tillod mere komplekse programmer end for 8080, hvilket betød besparelser på hukommelseskapacitet, at instruktionerne eksekveredes hurtigere, og den menneskelige arbejdstid til programmering nedsattes (Wittie, 1983, s. 974). Desuden var 6800 den første mikroprocessor, der kun krævede en enkelt (5 volt) strømforsyning. Elimineringen af nødvendigheden af flere strømforsyninger sænkede prisen for et mikrocomputer-system og gjorde 6800 udbredt. (Noyce, 1981, s. 15) Derfor gjorde den også indhug på 8-bit markedet i 1976.

I 1975 gik en større mængde virksomheder ind på mikroprocessorområdet. Samtidigt var 8080'eren blevet så dominerende på 8-bit markedet, at den blev industristandard, og mange firmaer kopierede produktet. Motorola's 6800 lå formentlig på 2. pladsen i markedsandel. Denne blev også kopieret. Den storstilede indtræden på mikroprocessorområdet i 1975 tvang de enkelte virksomheder til at nædsætte deres priser. Motorola var den første virksomhed til at nedskære priserne på 8-bit området; i september reducerede virksomheden priserne i distributionsleddet med så meget som 60% på 6800. Intel fulgte efter i oktober med prisnedskæringer på op til 50% på ordrer efter små kvanta af 8080

og dennes perifere komponenter. Andre producenter begyndte også at nedskære priserne. (Wilson, 1980, s. 96)

I 1976 fortsatte Intel som førende i mikroprocessor-salg. Motorola forøgede med 6800 sin andel af 8-bit mikro-processor-markedet fra 10-15% i 76 til 20-25% senere i året 76. Andre virksomheder introducerede nye produkter dette år. Særligt betydningsfulde blandt disse innovationer var Zilog's modifikation af Intel 8080 og TI's 16-bit mikroprocessor. (Wilson, 1980, s. 96)

I 1974 dannede designerne af Intel's 8080A virksomheden Zilog Corporation. I 1976 introducerede denne spin-off virksomhed mikroprocessoren Z80. Denne IC var en hurtigere udgave af 8080A med flere instruktioner, mindre kostbare krav til perifere IC'er og flere andre designændringer. (Wittie, 1980, s. 974) Blandt andet indkorporerede den 8080'erens instruktionssæt. Alle programmer der kunne køres på sidstnævnte, kunne derfor også køre på Z80. Dette betød billigere overgang til Z80. (Noyce, 1981, s. 15)

Skønt der var omkring 30 fabrikater på markedet i 1977 blev 8080A, 6800 og Z80 de mest alment anvendte 8-bit mikroprocessorer (Wittie, 1983, s. 974). Intel fortsatte med at føre an på mikroprocessor-markedet i 1977 med markedsandel på 60-65%. Samtidigt havde virksomheden stadig den mest profitable mikroprocessor-produktion. Motorola fortsatte på 2. pladsen med 15-20% af mikroprocessor-markedet, og TI lå på tredjepladsen med 10-15% af de samlede salg.(Wilson, 1980, s. 97)

På grund af hård teknologisk konkurrence på 8-bit området - især fra nye mikroprocessorer som Z80, der repræsenterede mere databearbejdningskraft for pengene - introducerede Intel også mere kraftfulde 8-bit produkter. Konkurrencen og lærekurven fortsatte meed at drive mikroprocessor-priserne nedad: I 3. kvartal af 1975 var prisen på Intel's 8080A 110$, i det 1. kvartal af 1976 var den 40$, og i 1. kvartal af 1977 var den nået helt ned til 20$. (Wilson, 1980, s. 97)

I 1978 og 1979 rettedes mikroprocessor-fabrikanternes bestræbelser mod at introducere 16-bit mikroprocessorer på markedet (Wilson, 1980, s. 97). Allerede i 1975 havde virksomhedernes FoU-laboratorier været i gang med at arbejde på denne mikroprocessor-geneation. 16-bit mikroprocessorer var mere kraftfulde end 8-bit mikroprocessorerne, som så igen tilbød mere databearbejdningskraft end den første generation. (Noyce, 1981, s. 17)

Den første 16-bit mikroprocessor introduceredes så tidligt som i 1974, da National Semiconductor introducerede Pace. Derefter fulgte andre 16-bit mikroprocessorer - blandt andet TI's første 9900 processor i 1975. (Wilson, 1980, s. 97) I midten af 1978 introducerede Intel komponenten 8086, den første af en ny generation af mere kraftfulde 16-bit mikroprocessorer (Wilson, 1980, s. 97)(Noyce, 1981, s. 18). Denne processor var langt hurtigere og repræsenterede en stigning i databearbejdnings-effektivitet på en størrelsesorden i forhold til 8080. IC'en 8086 kunne arbejde med en hukommelseskapacitet, der var 16 gange større (1 mio. byte i forhold til 8080'erens 64.000 byte). Antallet af I/O porte var ligeledes langt større, ligesom andre designforandringer introduceredes (Noyce, 1981, s. 18). Zilog introducerede sin 16-bit mikroprocessor Z8000 i begyndelsen af 1979, og Motorola og National bebudede deres versioner i slutningen af 1979 (Wilson, 1980, s. 97) Motorola's 68000 mikroprocessor udmærkede sig ved, at den i begrænset omfang også kunne arbejde med 32-bit ord (Wittie, 1983, s. 974).

Skønt Intel i 1980 havde den største andel af det nye 16-bit marked, var den dog ikke i nær samme grad førende, som den var på 4-bit og 8-bit markederne. Zilogs Z8000 betragtedes almindeligvis som værende mere kraftfuld. Mens Intel havde fokuseret på at opretholde elektrisk kompatibilitet med virksomhedens 8-bit enheder, så fokuserede Zilog i højere grad på at få maksimal databearbejdningskraft ud af sin 16-bit mikroprocessor. (Wilson, 1980, s. 97)

6.4 Konklusion - MOS IC-teknologiens udvikling.

På baggrund af innovationer i den planarproces-baserede IC-teknologi kunne halvlederproducenterne i slutningen af 60'erne og i løbet af 70'erne foretage en omfattende gennemtrængning af det civile markeds forskellige afsnit. Kapløbet om teknologisk betingede ekstraprofitter var motoren i denne udvikling, som betød at den statslig-militære styrkeposition og dermed supermagtskapløbet som teknologiformende kraft marginaliseredes. Halvlederelektronik var nu blevet så billig, at de statslig-militære instanser ikke længere var nødvendige som aftagere af prototyper og de første produktionsserier. I stedet internaliseredes halvlederudviklingen i stigende grad i vekselspillet mellem halvlederproducenter og de civile behov, i takt med at det civile marked eksploderede i vækst. Den nye dominerende teknologiformende kraft blev dermed halvlederproducenternes konkurrence om teknologisk betingede ekstraprofitter i samspillet med potentielle civile markeder. Følgen af denne nye civilt orienterede teknologiformende krafts dominans blev ligesom tidligere en forandring af den halvlederteknologiske udviklings forløb.

Bortfaldet af de statslig-militære instansers dominans betød den nye teknologiformende krafts gennemslag som retningsgivende. Dette betød endnu engang et brud i forløbet af den halvlederteknologiske udviklings forløb. Gennemsættelsen af en ny og fuldstændig anderledes teknologiformende kraft betød at 70'ernes halvlederteknologiske udvikling blev kendetegnet af en ny og anderledes retning. Den halvlederteknologiske udviklingsproces blev siden slutningen af 60'erne orienteret mod realiseringen af nye civilt interessante potentialer i den planarprocesbaserede IC-teknologi,, på baggrund af de efterhånden oparbejdede procesteknologiske kapabiliteter. Denne begyndende nyorientering udgjorde svaret på fremvæksten af de potentielle civile markeder som teknologisk problematik. En problematik, der

hurtigt blev fremherskende og dominerende i det meste af 70'erne. Denne problematik udgjorde et brud med 60'ernes statslig-militære langdistanceraket-problematik, der havde været kendetegnet ved de retningsgivende basis-dimensioner:

- reduktion af automatiske databehandlingssystemers størrelse og vægt
- øget pålidelighed
- reduceret effektforbrug
- masseproduktionsevne

Så betød gennemslaget af den nye civilt orienterede teknologiformende kraft etableringen af et andet sæt af retningsgivende dimensioner. Disse var netop som fremanalyseret i afsnit 6.2 og 6.3 følgende tre basis-dimensioner:

- billiggørelse af elektroniske systemer
- tilfredsstillelse af utallige specielle behov for automatiske databehandlingsfunktioner
- profitabilitet på det civile marked

Den radikalt forandrede teknologiformende krafts igangværende gennemslag viste sig straks i 60'ernes slutning ved den innovative fremkomst af en modificeret udgave af den planarprocesbaserede IC-teknologi. Denne nye procesteknologi kaldet MOS involverede vitaliseringen af et alternativt transistordesign, der i næsten to årtier havde været lagt på hylden af de statslig-militære kræfter. Dette unipolære design var Shockley's felteffekt-transistorprincip. Baggrunden for denne reelle arkivering af en opfindelse var, formentlig primært at de statslig-militære instanser fandt MOS felteffekt-transistoren for langsom til at kunne bruges til den hurtige digitale automatiske databehandling, der nødvendigvis måtte foregå i raktters styringscomputere. Sekundært, fordi denne langsommelighed var

identisk med dårlige højfrekvensegenskaber, var denne transistoropfindelse også uegnet til militær kommunikationsteknologi. Baggrunden for de civilt orienterede teknologiformende kræfters vitalisering af denne teknologi var, at MOS lovede opfyldelsen af to af de tre ovennævnte basis-dimensioner:

- billiggørelse af elektroniske systemer

- profitabilitet på det civile marked

Hvorimod gode højfrekvensegenskaber og hurtig databehandlingsevne havde ringe betydning på de potentielle civile markeder. MOS IC-teknologien repræsenterede imidlertid kun en delvis løsning på de potentielle civile markeder som teknologisk problematik. Før at egentlig profitable produktioner kunne opnås, skulle den civile produktdefinitions-problematik løses, hvilket indebar identifikation af LSI-designs, som profitabelt opfyldte den tredje af de nævnte basis-dimensioner:

- tilfredsstillelse af utallige specielle behov for automatiske databehandlingsfunktioner.

Den civilt orienterede teknologiformende krafts endelige gennemslag i begyndelsen af 70'erne viste sig ved løsningen af produktdefinitions-problematikken. For det første definerede man LSI-kredse, der var tilstrækkeligt universelle i deres anvendelsesområder til, at de kunne opfylde ovennævnte talrige specielle behov gennem profitabel produktion i massemålestok. Det drejede sig om mikroprocessorer og hukommelses-IC'er. For det andet definerede man special LSI-kredse, der, selv om de var rettede mod specialiserede behov, undtagelsesvist kunne afsættes profitabelt på massemarkeder. Disse markeder var indlysende nok i det store og hele de manipulerbare forbrugerbehov. Men det

var først og fremmest de universelle chips, der blev 70'ernes betydningsfulde IC-produkter, svarende til at de på længere sigt virkeligt store markeder involverede de erhvervsmæssige markeder.

Den nye civilt orienterede teknologiformende krafts gennemslag resulterede imidlertid ikke i nogen skelnelig forandring af den halvlederteknologiske udviklings hastighed. Denne lå ligesom 50'ernes og 60'ernes statslig-militære planmæssigt forcerede udviklingshastighed på en overgennemsnitligt, højt niveau, idet civilt interessante halvlederteknologiske innovationer i design og procesteknologi som demonstreret i 6.2 og 6.3 i hastig takt efterfulgte hinanden i løbet af 70'ernes MOS IC-teknologiske udvikling. Dette skete ovenikøbet til trods for bortfaldet af den statslig-militære interesses forcering. Tilbagefaldet til en ordinær kapitalistisk konkurrence på et åbent marked betød således ikke opbremsning af teknologiudviklingshastigheden. Baggrunden for, at det var muligt at opretholde en innovationsindsats og en teknologiudviklingshastighed, der begge var overgennemsnitlige og derfor accelereret langt ud over, hvad en almindelig selvfinansieret privatkapitalistisk udvikling kunne præstere, var to ekstraordinære forhold: planar MOS IC-fremstillingsmetodens iboende potentialer for billiggørelse af elektroniske systemer og den digitale IC-computers karakter af universelt anvendbar nøgleteknologi. Begge disse faktorer bidrog til en helt ekstraordinær markedsmæssig vækst og dermed ditto kapitalakkumulation:

> "Rather than serving a market that grows only in pace with the gross national product or the population, the industry has served a proliferating market of ever broadening applications."(Noyce, 1977, s. 7)

Disse fortløbende procesteknologiske innovationer udgjorde i lighed med 60'ernes procesteknologiske udvikling

stadige rafinementer af den samme grundlæggende procesteknologi. Den planarprocesbaserede MOS IC-teknologi indeholdt nemlig en række civilt interessante potentialer, der på længere sigt lovede den fulde tilfredsstillelse af de potentielle civile markeder som teknologisk problematik. Den MOS IC-teknologiske udvikling i 70'erne involverede derved en miniaturiseringsproces, der skred frem fra LSI ind i VLSI (very large scale integration), som først opnåedes af MOS RAM hukommelses-chips, der var på den teknologiske front indenfor opnåelsen af højere integrationsgrad. VLSI repræsenterede IC-kompleksitetgrader på over 100.000 komponenter per chip. Disse omfattende integrerede hukommelses-systemer realiseredes i slutningen af 70'erne (se f.eks. figur 6.2). Ideologisk fremhæves denne fortløbende og omfattende integrationsproces ofte som et "højteknologisk" mål i sig selv. I virkeligheden var den kun et af midlerne til at indfri de ovennævnte, bagvedliggende tre retningsgivende basis-dimensioner. Disse var det egentlige mål med 70'ernes IC-udvikling - et mål sat af den civilt orienterede teknologiformende kraft.

I kraft af sine "normale" kapitalistiske træk er 70'ernes udviklingsfase den af de betragtede perioder, hvor - kapitaldeterminismen kommer nærmest til sandheden. Selv om dette er tilfældet,må det alligevel understreges, at den <u>kapitaldeterministiske fortolkning</u> af Marx' kapitalanalyse er <u>utilstrækkelig</u> som instrument til at begribe den halvlederteknologiske udviklingsproces. MOS IC-teknologiens udvikling er nemlig heller ikke monofaktorielt determineret af kapitalen. For det <u>første</u> fordi den teknologiske vidensopbygningsproces som argumenteret i afsnit 4.4 har en egen indre ukrænkelig logik. For det <u>andet</u> fordi denne teknologi er født af videnskab og statslig-militære institutioners interesser. For det <u>tredje</u> er det ikke muligt helt og aldeles, at udlede de tre nævnte karakteristiske basis-dimensioner af kapitalakkumulationens krav. <u>Billiggørelsen</u> af køb og anvendelse af elektroniske systemer kan

forstås ud fra de hovedsageligt kapitalistisk prægede aftagermarkeders interne funktion. Kapitalens akkumulationskrav sætter et loft over produktionsomkostningerne, som dels betyder et loft over produktionsmiddelomkostningerne, dels et loft over lønudgifterne. Ligesom profitabilitet på det åbne civile marked indlysende nok er et kapitalistisk krav. Hvorimod de mangeartede civile behov for automatiske databehandlingsfunktioner (som analyseret i 6.1) ikke kan forstås ud fra kapitalens udviklingsdynamik. Det drejer sig frem for alt om kategorien computerbehov (i snæver forstand), som blandt andet præges af store statslige og hybride statslig/private institutioners behov for computersystemer til administration, planlægning og forskning. Her spiller kategorier som udviklingen i den politiske magt og videnskabens udviklingsstade den afgørende rolle i determineringen af disse teknologiformende behov.

Kapitalanalysens rolle indskrænker sig derfor også principielt i dette kapitel til kun at være et blandt flere teoretiske instrumenter,man har til rådighed for at klarlægge grænserne for kapitalens teknologi-strukturerende effekt. MOS-udviklingens karakter af pricipielt at være et samspil mellem en flerhed af eksterne socio-kulturelle teknologiformende kræfter og en intern teknologisk vidensopbygningslogik får dermed betydning for den analytiske tilgang. Denne må nødvendigvis være af kontekstualistisk art, hvis man ønsker at begribe 70'ernes udviklingsfase.

Ad omveje kommer forståelsen af 70'ernes IC-teknologiske udviklingsfase til principielt at kræve de samme analytiske instrumenter, som der krævedes i analysen af 50'ernes og 60'ernes udviklinger. Kapitalanalysen må nødvendigvis kompletteres, med 1) den politiske analyse af statslig-bureaukratiske institutioners ageren, 2) den interne forståelse af den teknologiske vidensopbygningsproces som erkendelsesmæssigt projekt, og 3) den interne forståelse af videnskabernes historie som erkendelsesmæssige projekter.

7. KONKLUSION.

1) Den i kapitel 1 opstillede overhistoriske begrebslige ramme for teknologiudviklingsprocessen er blevet bekræftet i analysen af den halvledeteknologiske udviklingsproces:

Den halvlederteknologiske udviklingsproces kan forstås som bevæget af teknologiformende kræfter, som har retning og styrke, og hvor den enkelte teknologiformende kraft almindeligvis er systematisk virkende over en længere periode eller udviklingsfase. Ligesom det er vist, at den halvlederteknologiske udviklingsproces er en vidensopbygnings- eller søgningsproces, som er rettet mod udvidelse af de teknologiske kapabiliteter i retninger bestemt af de teknologiformende kræfters orientering. Desuden er det vist, at de teknologiformende kræfter ikke bare sætter teknologiudviklingens retning, men gennem størrelsen af deres styrke også sætter dens hastighed, og derved i samspil med den teknologiske udviklingsproces' indre logik kommer til at bestemme dennes forløb.

Derudover er den generelle model blevet yderligere elaboreret:

Det er nemlig i analysen blevet bekræftet, at de teknologiformende kræfters retning, ligesom retningen af den teknologiske udviklingsproces, er givet ved et sæt af elementære dimensioner eller del-retninger. Disse basis-dimensioner definerer simpelthen retningen af den pågældende teknologiformende kraft og af den eventuelt tilsvarende teknologiske udviklingsproces. Dernæst er det vist, at den teknologiformende krafts gennemsætning af en kvalitativt ny teknologiudviklingsretning givet ved et bestemt sæt af basale dimensioner formidles via opkomsten og etableringen af kvalitativt nye problematikker som fremherskende i den teknologiske udviklingsproces. Disse for en given udvik-

lingsfase fremherskende socio-kulturelle problematikker kaldes periodens karakteristiske problematikker. Derudover er det vist, at gennemslaget af disse karakteristiske socio-kulturelle problematikker fremprovokerer udviklingen af helt bestemte afgørende basale innovationer. Disse kan kaldes den pågældende udviklingsfases karakteristiske innovationer.

Endelig er der også opnået en generel forståelse af den teknologiske udviklingsproces' interne logik: Den teknologiske udviklingsproces er en vidensopbygnings- eller søgeproces efter teknologiske innovationer. Denne finder sted ved kontinuerlig, trinvis modifikation af det eksisterende teknologiske grundlag. Nemlig gennem sammenføjning af forskellige dele af den eksisterende teknologiske viden og erfaringsmæssig prøven sig frem, eventuelt kombineret med anvendelse af videnskabelige fag. Denne erkendelsesmæssige logik udgør den teknologiformende proces' egen indre ukrænkelige natur. Denne repræsenterer de spilleregler, som både eksterne socio-kulturelle og interne teknisk-videnskabelige kræfter må indordne sig under, når de henvender sig til den teknologiske udviklingsproces med presserende praktiske problemer.

Der ingen tvivl om, at den i dette arbejde opstillede generelle model er alment teknologihistorisk anvendelig. Ligesom den har vist sig yderst frugtbar i den gennemførte analyse.

Analysen bekræfter derimod ikke, at halvlederteknologien udvikles i analogi med et Kuhn'sk paradigme. Rigtignok har man fra disse teoretikeres side registreret at en given teknologisk udviklingsvej er karakteriseret ved bestemte grundlæggende teknologiske innovationer eller metoder. Men forestillingen om at disse basale teknologiske innovationer skulle opretholdes af en idealistisk fiksering på efterstræbelsesværdige standardmetoder er helt utilstrækkelig som forklaringsmodel og beror på en misforståelse af den teknologiformende proces. De forskellige

basale halvlederteknologiske innovationer eller metoder har i den teknologihistoriske analyse alle kunnet forstås som teknologiske gennembrud. Det vil sige som teknologiske løsninger på praktiske socio-kulturelle problematikker. Disse gennembrydende løsninger sprænger forhindringer eller åbner flaskehalse for opnåelsen af socio-kulturelt opstillede målsætninger. De teknologiske løsninger åbner så op for nye afgrænsede teknologiske mulighedsrum. Her kan forskellige udviklingsveje, givet ved forskellige "koordinatsæt" af basale retningsgivende dimensioner, følges, alt efter hvilke interesser der skal indfris.

2) En præmis for dette arbejde er, at Marx' kapitalanalyse er det mest frugtbare udgangspunkt for en humanistisk forståelse af den teknologiske udviklingsproces. Kapitaldeterminismen har som nævnt indtil for nylig været den fremherskende fortolkning af kapitalanalysen - ikke mindst hvad angår teknologiudviklingsforståelse. Kritik af denne akademiske ideologi har derfor været et gennemgående tema i dette arbejde.

Den historiske analyse af halvlederteknologiens udviklingsproces er en undersøgelse af et vor vor tid centralt teknologihistorisk eksempel. Den teoretiske kritik i de foregående kapitler er nået så vidt, at dette eksempel helt og aldeles falsificerer den kapitaldeterministiske fortolkning. Resultatet af kritikken af kapitaldeterminismen har været, at profitabilitetskriteriet er blevet henvist til en mere beskeden rolle som en af flere selektive kræfter - ja endda en kraft, der totalt har kunnet sættes ud af spillet af langt stærkere politiske kræfter. Kapitalanalysens rolle er derfor ligeså beskedent blevet indskrænket til blot at være et af flere nødvendige teoretiske instrumenter. Disse indbyrdes komplementerende tilgange kan så tilsammen benyttes til at klarlægge grænserne for profitabilitetskriteriets strukturering af teknologiudviklingen. Ja, som vi har set i kapitel 4 og 5, så kan

de benyttes til at afklare, hvorfor profitabilitetskriteriet reelt sættes ud af spillet som strukturerende kraft af den langt stærkere teknologipolitiske kraft. Kapitaldeterminismen har dermed vist sig som en i det væsentlige antihumanistisk historieopfattelse, som ikke tillader mennesket at have egentlig teknologipolitisk indflydelse over egne livsvilkår. Dette til trods for dens marxistisk-humanistiske grundlag, og at det modsatte rent faktisk gør sig empirisk gældende. Der har derfor været al mulig grund til kritisk ransagelse af denne teoretisk blokerede "humanisme", som har vist sig dybt utilstrækkelig i analysen af efterkrigstidens mest betydningsfulde teknologiske udviklingsproces. Dette er katastrofalt, for det er i analysen af nuet, at den skal vise sin praktiske potens som baggrund for en bevidst historieskabende praksis.

Det er ikke kun den kapitaldeterministiske variant af eksternalismen, som det ikke er muligt at begrunde empirisk i analysen af halvlederteknologiens udvikling. Det gælder også alle øvrige former for socio-kulturel determinisme. For det første fordi det som argumenteret gælder, at den teknologiske udviklingsproces har en egen indre ukrænkelig erkendelsesmæssig logik, som alle teknologiformende kræfter må indordne sig under. Helt basalt er det derfor ikke muligt at påstå, at den teknologiske udviklingsproces udelukkende er af økonomisk art, politisk art og så videre. For det andet fordi der, som påvist i analysen af opfindelsesprocessen i kapitel 3, rent faktisk eksisterer betydelige interne teknisk-videnskabelige teknologiformende kræfter som den rent erkendelsesrettede videnskabelige interesse og den faglige prestige. Dette er også fuldt ud forståeligt ud fra det valgte analytiske udgangspunkt, idet teknologiudviklingsprocessen på dette tidlige tidspunkt er de faglige eksperters domæne i kraft af deres eksklusive videnskabelig-tekniske specialistviden. Dette dokumenterer også den konkrete tilstedeværelse af den i kapitel 1 analyserede videnskabelig-teknologiske

fremmegørelse overfor den halvlederteknologiske udviklingsproces. De eksterne socio-kulturelle kræfters reelle gennembrydning af denne fremmedgørelsestilstand sker først på et senere tidspunkt. Nemlig på det tidspunkt, hvor den halvlederteknologiske udviklingsproces utvetydigt udviser bestemte socio-kulturelt interessante potentialer af praktisk-håndgribelig art. Det drejer sig om tiden omkring opfindelsen af transistorteknologien på Bell Labs. Først på dette relativt sene tidspunkt opfanges den halvlederteknologiske udviklingsproces for alvor op af eksterne socio-kulturelle kræfter. Selv om de socio-kulturelle kræfter i form af Bell's kapitalakkumulationskrav og militærets våbenkapløbsinteresse først bliver fuldstændigt dominerende efter opfindelsesprocessens forløb, så er socio-kulturelle teknologiformende kræfter faktisk tilstede i baggrunden i hele opfindelsesprocessen igennem. Dette dokumenteres af, at opfindernes og videnskabsmændenes stræben trods alt var rettet mod et praktisk mål: en kommunikationsteknologisk relevant faststof-forstærker, ligegyldigt om de var bevæget af profitmotivet eller ej. Ja, som argumenteret under punkt 1, så involverer de teknologiformende kræfters eksistens tilstedeværelsen af sådanne for de enkelte udviklingsfaser karakteristiske socio-kulturelle problematikker.

Tilstedeværelsen af både interne teknisk-videnskabelige og eksterne socio-kulturelle teknologiformende kræfter, samt tilstedeværelsen af en intern teknisk videnskabelig vidensopbygningslogik, peger på, at den alytisk potente humanistiske teknologihistorieforståelse må være af kontekstualistisk art.

Samtidigt viser forløbet af den teknologihistoriske analyse i kapitlerne 4-6, at disse teknologiformede kræfter langt overvejende er af socio-kulturel art. Først en international politisk mekanik: kapløbet mellem supermagterne. Dernæst en overvejende økonomisk mekanik: konkurrencekampen om teknologisk betingede ekstraprofitter i

samspillet med potentielle civile markeder. Den gennemførte teknologihistoriske analyse peger derfor på, at den analytisk potente kontekstualisme i høj grad betoner det eksterne socio-kulturelle miljø som teknologiformende kraft. De eksterne socio-kulturelle kræfter er simpelthen dominerende undtagen i den halvlederteknologiske udviklings spæde start.

For det første har den analytiske indentifikation af de socio-kulturelle teknologiformende kræfters dominerede betydning i kapitel 4 og 5 vist de politiske kræfters store betydning igennem analysen af internaliseringen af den halvlederteknologiske udviklingsproces i supermagtkapløbet. Ligesom denne analytiske identifikation i kapitel 6 har vist de kapitalistisk-økonomiske kræfters store betydning under bestemte historiske betingelser. For det andet har analysen af interne teknisk-videnskabelige forhold i den teknologiske udviklingsproces i kapitlerne 3-6 vist betydningen af den interne erkendelsesmæssige logik i den teknologiformende proces. Ligesom at den analytiske identifikation som nævnt har understeget betydningen af interne teknisk-videnskabelige kræfter i halvlederudviklingens opfindelsesfase.

Den teknologihistoriske analyse af den halvlederteknologiske udvikling bekræfter derfor ikke bare, at der både findes socio-kulturelle og teknisk-videnskabelige teknologiformende kræfter. Men også at disse kræfter er mangfoldige, og at det ikke er muligt at sige noget endeligt om antallet af disse - det er den teknologipolitiske scenes åbenhed, som præger billedet. Den analytisk potente humanistiske kontekstalisme må derfor være tilsvarende åben i den teknologihistoriske begribelse af forskellige typer af teknologiformende kræfter.

En praktisk forpligtet humanistisk kontekstualisme må derfor ud over kapitalanalysen benytte sig af et alsidigt instrumentarium af forskellige teoretisk-analytiske tilgange, der tilsammen kompletterer hinanden. Dette instru-

mentarium spænder brobyggende over erkendelser fra begge de "to kulturer" - både den humanistisk-samfundsfaglige og den teknisk-naturvidenskabelige. Den eksemplariske underbyggelse af denne påstand har været en af de overordnede intentioner med det foreliggende arbejde.

Dette kontekstualitiske instrumentarium må i analysen af halvlederudviklingen, som frem for alt demonstreret i kapitlerne 4 og 5, blandt andet benytte sig af politisk analyse af statslige instansers ageren som supplement til kapitalanalysen. Desuden demonstrerer kapitlerne 4 og især 3 nødvendigheden af den videnskabshistoriske analyse som et vigtigt supplement. Derudover understreger den samlede undersøgelse (kapitlerne 3-6) nødvendigheden af analysen af den indre ukrænkelige logik i den teknologiske vidensopbygningsproces - dvs. den teknologiformende proces som erkendelsesmæssigt projekt. Denne analytiske tilgang er, som demonstreret under den i konklusionens punkt 1 opstillede overhistoriske begrebsramme, en generel nødvendighed ved teknologihistorisk analyse.

Påvisningen af den politiske analyse som uundværlig og central komponent i den analytisk potente kontekstualisme, ligesom påvisningen af den teknologipolitiske scenes åbenhed, understreger i særlig grad denne tilgangs humanisme. Idet politiseringen af teknologihistorien åbner op for den teknologihistorisk bevidste menneskelige handlings konstruktive indvirkning på teknologiudviklingens forløb.

Endeligt har mangfoldigheden af de teknologiformende kræfter og derfor nødvendigheden af et alsidigt analytisk instrumentarium bestående af hinanden kompletterende teoretiske tilgange eksemplarisk underbygget et af dette arbejdes grundlæggende og almene teser. Nemlig at en egentlig humanistisk teknologihistorie er en totalhistorie, som udforsker samspillet mellem videnskab, teknologi og samfund i det historiske helhedsperspektiv.

3) Det er nu muligt at give et uddybende svar på, hvorfor den halvlederteknologiske udvikling er <u>højteknologisk</u>, og hvad højteknologisk udvikling <u>egentlig vil sige</u> ud over rent overfladiske karaktertræk. Som omtalt i kapitel 2 kan man uddestilere en højteknologisk "etiket", som består af følgende fire ydre empiriske kendetegn: Idet den højteknologiske udvikling er karakteriseret ved

1) relationen til et videnskabeligt grundlag

2) at være en ekspansiv industri

3) en overgennemsnitlig innovationsindsats

4) en overgennemsnitlig teknologiudviklings-hastighed

Hvorfor har den halvlederteknologiske udvikling haft disse kendetegn gennem sin historie?

<u>Den vedvarende, men i 60'erne og 70'erne mindskede relation til forskellige naturvidenskabelige discipliner</u> har baggrund i flere forhold. For det første at faststoffysikkens, ligesom kemiens og matallurgiens udviklingsstade omkring II verdenskrig tillod, at halvlederteknologien i sit transistorteknologiske udspring kunne dannes som produkt af videnskabelig forskning. For det andet at halvlederfysiske fænomener var så komplicerede, at de overskred den umiddelbare og håndværksmæssigt overleverede erfaring. De kunne først begribes efter lang tids videnskabelig træning. (se f.eks. Braun, 1979, s. 19) Virkeligt fundamentale innovationer i det halvlederteknologiske grundlag måtte uvægerligt indebære videnskabelige problemstillinger, og de virkeligt basale innovationer blev netop gjort i 4o'erne og 5o'erne - frem for alt som resultat af den af politiske kræfter gennemtvungne hastige afsøgning af en række fundamentale procesteknologiske innovationer.

Baggrunden for, at halvlederindustrien i den betragtede periode var en ekspansiv industri, var den samme som baggrunden for, at den var karakteriseret ved en overgennemsnitlig innovationsindsats og teknologiudviklingshastighed. I 50'erne og 60'erne var forudsætningen for dette halvlederteknologiens strategiske betydning for amerikanske statslig-militære kræfter, som indrullerede den nationale radiorørs- og halvlederindustri i en storstilet, statsfinansieret og planmæssig innovationsindsats. Men i 70'erne var det anderledes. Denne periode var kendetegnet ved bortfaldet af den statslig-militære forcerende krafts betydning. Alligevel var ekspansionen, den overgennemsnitlige innovationsindsats og den overgennemsnitlige teknologiudviklings-hastighed stadigvæk opretholdte, som om intet var hændt. Baggrunden var som tidligere nævnt to ekstraordinære forhold: planar MOS IC-fremstillingsmetodens iboende potentialer for billiggørelse af digitale elektroniske systemer og den digitale IC-baserede computers karakter af universelt anvendelig nøgleteknologi. Begge disse faktorer var afgørende for opnåelsen af den helt ekstraordinære markedsmæssige vækst, der fandt sted indenfor integrerede halvlederkomponenter i løbet af 70'erne. Denne vækst skabte rum for en storstilet kapitalakkumulation, der igen tillod en optrappet innovationsindsats og den dermed forbundne høje teknologiudviklings-hastighed.

Disse er de umiddelbare baggrunde for, at den halvlederteknologiske udvikling kan tildeles den højteknologiske "etiket". Men hvilken dybere substans i dette begreb gemmer der sig her?

Den halvlederteknologiske udviklings karakter af at være nøgleteknologi for efterkrigstidens teknologiudvikling betyder at denne højteknologis udviklingsproces derfor har været helt speciel i sammenligning med andre højteknologiers. Ingen andre højteknologiske grene har i samme grad oplevet sådanne ekspanderende massemarkeder. Hvis man f.eks. skal sammenligne med flyvemaskine-teknologiens

udvikling, så er det klart, at denne teknologiudvikling ikke har tilladt nogen væsentlig markedsmæssig eksplosion. Flyvemaskiner har ikke kunnet gøres så billige, at de bare tilnærmelsesvist har kunnet blive hver mands eje, ligesom at flyvemaskiner ikke er universelt anvendelige. Forceringen af flyvemaskinteknologiens udvikling i specifikke retninger har derfor hele tiden været dybt afhængig af tilstedeværelsen af statslig-militære kræfter. I USA, Storbritannien og Frankring har flyindustrien stået for mere end en fjerdedel af de samlede erhvervsmæssige FoU-udgifter i løbet af det meste af efterkrigsperioden. Langt den største del af disse udgifter blev betalt af statslig-militære instanser. Den statslige anerkendelse af, at det ikke længere var ønskværdigt at give den militære fly-udvikling så høj prioritet, blev ofte efterfulgt af endnu større statslige udgifter til civil flyvemaskine-udvikling. Concorden var et barn af denne udvikling. Flyvemaskinteknologiens udvikling er derfor aldrig i samme omfang blevet internaliseret i samspillet mellem producenter og det civile marked. (Freeman, 1982 (2), s. 189-91)

Hvis man skal give et uddybende svar på, hvad højteknologisk udvikling egentlig vil sige ud over rent overfladiske karaktertræk, så er metoden følgende:

Højteknologiske udviklinger adskiller sig øjensynligt fra hinanden ved deres evne til i en senere fase at lade sig drive af det "normale" kapitalistiske samspil mellem producenter og et civilt åbent marked. Et fællestræk ved højteknologiske udviklinger er derimod opkomsten og etableringsfasen. Grundlæggelsen af højteknologi indebar en massiv statslig forceret innovationsindsats, som i halvlederteknologiens tilfælde involverede afsøgning og afprøvning af en lang række mulige felter for teknologiske gennembrud. Denne søgningsproces indebar følgeligt som skildret både fiaskoer (f.eks. mikromodul- og molekylærelektronik-programmerne) og successer (f.eks. diffusions- og oxidafmaskningsprocessen). Hvis disse omfattende kapi-

taltilførsler ikke var fundet sted, så ville udviklingen af halvlederteknologien enten slet ikke være fundet sted eller kun være foregået utroligt meget langsommere. Idet der ikke fandtes profitable afsætningsmuligheder på de potentielle civile markeder for halvlederkomponenter. Disse komponenter var så tilpas dyre i denne fase, at de ikke kunne indgå profitabelt som produktionsmidler i en produktionsproces. Ligesom de ikke kunne aftages af andre (amerikanske) statslige instanser med mere begrænsede midler. Endnu mindre kunne halvlederelektroniske systemer af denne karakter aftages af almindelige individuelle forbrugere, som jo generelt set kun rådede over stærkt begrænsede økonomiske midler.

Et manglende statsligt-militært marked i USA ville således have betydet profitabilitetskriteriets bremsning af innovationsprocessen. Dette ville have haft omsiggribende betydning for hele forløbet af den efterfølgende 3. teknologiske revolution set i sin fulde bredde. Dette til trods for at den halvlederteknologiske udvikling tog omvejen over de statslig-militære behov.

Den højteknologiske udvikling kan derfor defineres uddybende:

Højteknologisk udvikling er rettet mod at løse komplekse praktisk-teknologiske problemer af politisk relevans, hvis løsning blokeres af profitabilitetskriteriets innovationsforhindrede kraft. Sådanne komplekse problematikkers løsning indebærer derved en massiv, planmæssig forceret teknologiudviklingsindsats med naturvidenskabeligt islæt. Den højteknologiske udviklings særlige kendemærke er derfor også opkomsten af den statslige teknologipolitik i større stil, ligesom at den højteknologiske udvikling i sit inderste væsen er antikapitalistisk eller kapitalisme-manipulatorisk.

Den teknologipolitiske lære, der kan drages af den statslig-militære politik, er ikke den antihumanistiske, at netop sådanne institutioner med antihumanistiske mål-

sætninger nødvendige for realiseringen af højteknologiske projekter. Den lige vej til indfrielsen af humanistisk-teknologiske mål er altid mere ressourcerationel end omvejen over statslig-militære antihumanistiske projekter. I stedet er opkomsten af højteknologiske udviklinger fremtrædende og aktuelle teknologihistoriske eksempler på noget helt andet. Nemlig, at det nu er menneskeligt muligt ad politisk vej, at gennemføre ambitiøse teknologiudviklingsprojekter, der er rettet mod opfyldelsen af humanistiske mål, på tværs af profitabilitetskriteriets innovationsforhindrende kraft. Betingelsen for gennemførsel er følgeligt iværksættelsen af en massiv ressourcemæssig og organisatorisk indsats. Disse projekter kan jo designes, således at de, ligesom i mikroelektronikkens tilfælde, på længere sigt viser sig privatøkonomisk rentable og alment samfundsmæssigt brugbare.

APPENDIX: Materialefrembringelses-problematikken.

Et generelt problem ved tilgangen til kilder har været, at en yderligere underbygning af de fremanalyserede tendenser reelt ikke har været mulig på europæisk grund. Her spiller de manglende udvekslingsordninger via det danske biblioteksystem med amerikanske biblioteker en væsentlig rolle. Den eneste reelle mulighed for fremskaffelse af centrale kilder, der kun var tilgængelige i USA og på biblioteker derovre, var at man som dansk låner købte disse bøger/skrifter i USA i fald det var muligt. Hvilket jeg som studerende ikke på nogen måde havde mulighed for. Ligeledes har mangelen på "inside information" om militærets og NASA's ageren begrænset min forskningsproces. Ligesom formidlingsprocesserne mellem statslig-militære instanser og halvlederindustri har været uhyre vanskelige at få dækket kildemæssigt ind.

Derudover opløser halvlederforskningens historie efter 1950 sig i et uoverskueligt og for det meste utilgængeligt virvar af enkeltartikler i de respektive naturvidenskabelige og teknologiske fagtidsskrifter, som det er praktisk taget umuligt at få hold på.

Endeligt har en klar tendens i kildematerialet været, at det blev tyndere jo længere man skred frem i tiden efter 1945. Faktisk er det sådan, at de virkeligt dybtgående værker (Braun, 1979/82), (Golding, 1971) og (Tilton, 1971) alle har deres empiriske tyngde i perioden 1945-65. Før og derefter tynder det kraftigt ud. Dette skyldes ikke mindst, at to af disse værker i vidt omfang bygger på det tredje, som er den egentlige autoritet på det halvlederteknologihistoriske felt, nemlig (Golding, 1971). I tiden efter 1965 tynder kildematerialet kraftigt ud, og MOS-udviklingsfasen i 70'erne er virkeligt tyndt belagt, ikke

mindst hvad angår gennerbejdede analyser af udviklingen som helehed. De eneste skrifter, der har kunnet give indblik i mere generelle tendenser i perioden 65-80 er (Borrus, 1982) og (Wilson, 1980). Her gælder det igen, at den ene i et vist omfang bygger på den anden, som er den egentlige autoritet, nemlig (Wilson, 1980). Halvlederelektroniske fagskrifter er da også i stort omfang anvendt til at supplere disse hovedværker. Dette har i særlig høj grad været nødvendigt for perioden 1965-80.

Der er flere årsager til, at kildematerialet er tyndt i den sidstnævnte periode. For det første er dissse begivenhedsforløb så relativt nutidige, at de ikke i nævneværdig grad er nået at blive behandlet. For det andet spiller halvledervirksomhedernes hemmeligholdelse af teknologisk viden givetvis en stor rolle på det halvlederteknologiske felt i den betragtede periode, som netop par excellence har været kendetegnet af en skarp konkurrencekamp og teknologiske ekstraprofitter. Endelig betyder det formentlig også en rolle, at halvlederteknologiens kompleksitet som beskrevet er vokset enormt siden 60'erne. Det gælder både produkter og processer. Det har gjort det vanskeligt for iaggtagere at opnå overblik over de generelle tendenser. Dette forhold genspejler sig også i min teknologihistoriske analyse.

Derudover har jeg benyttet mig af enkelte standardværker indenfor det 20. århundredes historie, som primært omhandler kapitalismens udvikling, våbenkapløbets udvikling og den internationale politiske udvikling. Endeligt har jeg benyttet mig af tekniske beskrivelser af våbenteknologi og rumfart.

LITTERATURLISTE.

Agrell, Wilhelm: "Rustningens drivkrafter - En diskussion av den militärteknologiska utvecklingen". Studentlitteratur, Lund 1981

Altman, Lawrence: "Special Report: Semiconductor RAMs land computer mainframe jobs". Electronics 28-8-1972, s. 63-77

Altman, Lawrence: "Semiconductor random-access memories". Electronics 13-6-1974, s. 108-110

Altman, Lawrence: "Advances in designs and new processes yield surprising performance". Electronics 1-4-1976, s. 73-81

Asher, Norman J. og Strom, Leland D.: "The role of the Department of Defense in the Development of Integrated Circuits". Institute for Defense Analyses, Arlington, Virginia 1977

Borrus, Michael; Millstein, James og Zysman, John: "U.S.-Japanese Competition in the Semiconductor Industry". Institute of International Studies, University of California - Berkeley 1982

Braun, Ernest og MacDonald, Stuart: "Elektronik Revolutionen", Teknisk Forlag, 1979

Braun, Ernest og MacDonald, Stuart: "Revolution in Miniature" 2nd edition. Cambridge University Press 1982

Bylinski, Gene: "How Intel Won Its Bet on Memory Chips". Fortune nov. 1973, s. 142-47, 184, 186

Cannon, Don L. og Luecke, Gerald: "Understanding Microprocessors". Texas Instruments Learning Center 1979

Christensen, Leif: "Teknologioverførsel via multinationale selskaber", dif 1986

Cochran, Thomas B.; Arkin, William M. og Hoenig, Milton M.: "Nuclear Weapons Databook - Volume I, U.S. Nuclear Forces and Capabilities". Ballinger, Cambridge, Massachusetts 1984

Coe, James E. og Oldham, William G.: "Enter the 16,384-bit RAM". Electronics 19-2-1976, s. 116-121

Dickson, David: "Alternativ teknologi", NNF Arnold Busk 1976

Dosi, Giovanni: "Technical Change and Industrial Transformation - The Theory and an application to the Semiconductor Industry". Macmillan Press 1984

Dummer, G.W.A.: "Electronic Inventions and Discoveries - 2nd revised and expanded edition of Electronic Inventions 1745-1976". Pergamon Press 1978

Electronics 5-1-62. "Our growing nonmilitary federal markets", s. 56-59

Electronics 18-12-72. "Mostek does away with cell contacts", s. 30

Electronics 4-1-73. "US Markets Forecast 1973"

Electronics 13-9-73. "Electronics newsletter", s. 35

Electronics 9-1-75. "US Markets Forecast 1975"

Electronics 6-1-77. "US Markets Forecast 1977"

Electronics 4-1-79. "US Markets Forecast 1979"

Electronics 13-1-81. "US Markets Forecast 1981"

Elliot, David og Elliot, Ruth: "Kontrol med teknologien". NNF Arnold Busk, København 1979

Ernst, Dieter: "The Global Race in Microelectronics". Campus Verlag, Frankfurt 1983

Freeman, Christopher: "The Economic Implications of Microelectronics" i Cohen, C.D. (editor): "Agenda for Britain 1: Micro policy choices for the 80's". Philip Allan, 1982

Freeman, Christopher: "The Economics of Industrial Innovation". Frances Pinter, London 1982

Galbraith, John K.: "Det nye industrisamfund". Gyldendal 1968

Gatland, Kenneth W.: "Rumfart i farver - satelliter og sonder". Politikens forlag, København 1973

Golding, A.M.: "The Semiconductor Industry in Britain and the United States: A Case Study in Innovation, Growth and the Diffusion of Technology". D. Phil. Thesis, University of Sussex 1971

Gosling, W.: "The pre-history of the transistor". The Radio and Electronic Engineer, Vol. 43, No. 1/2, jan./feb. 1973, s. 10

Hansen, Finn: "En chips bliver til". Naturkampen nr. 22 dec. 1981, s. 74-77

Hazewindus, Nico og Tooker, John: "The U.S. Microelectronics Industry". Pergamon Press 1982

Hodges, David A.: "Microelectronic Memories" i "Microelectronics" en Sientific American bog. W.H. Freeman, San Francisco 1977

Jørgensen, Ulrik: "Dansk elektronikproduktion international sammenhæng", Arbejdsnotat nr. 1, Institut for samfundsfag DTH, 1986

Kaldor, Mary: "The Baroque Arsenal". Blackwell, London 1982

Lunell, Hans: "Datalogi - en indledande øversikt". Studentlitteratur, Lund 1985

MacKenzie, Donald og Wajcman, Judy: "Introductory Essay" i MacKenzie, Donald og Wajcman, Judy (editors): "The Social Shaping of Technology", Open University Press 1985

Mackintosh, Ian M.: "Micros: The Coming World War" i Forester, Tom (editor): "The Microelectronics Revolution", Basil Blackwell, Oxford 1980

Mandel, Ernest: "Senkapitalismen". Finn Suenson Forlag, Oslo/Gjøvik 1976

McNeill, William H.: "The Pursuit of Power - Technology, Armed Force and Society since A.D. 1000". Basil Blackwell, Oxford 1983

Mendner, Jurgen H.: "Teknologisk utveckling i den kapitalistiska arbetsprocessen". Røda bokførlaget, Gøteborg 1976

Misa, Thomas J.: "Military Needs, Commercial Realities, and the Development of the Transistor, 1948-1958" i Smith, Merrit Roe (editor): "Military Enterprise and Technological Change". MIT Press 1985

Moore, Gordon: "VLSI: some fundamental challenges". IEEE Spectrum april 1979, s. 30-37

Noyce, Robert: introducerende artikel i "Microelectronics" en Scientific American bog, W.H. Freeman, San Francisco 1977

Noyce, Robert N. og Hoff, Marcian E.: "A History of Microprocessor Development at Intel". IEEE Micro feb. 1981, s. 8-21

Obenchain, I.R. og Galloway, W.J.: "Transistors and the Military". Proceedings of the IRE vol. 40, nov. 1952, s. 1287-1288

OECD: "Gaps in Technology - Electronic Components". Paris 1968

Pearson, G.L. og Brattain, W.H.: "History of Semiconductor Research". Proceedings of the IRE dec. 1955 s. 1794-1806

Polmar, Norman (editor): "Strategic Air Command - People, Aircraft and Missiles". The Nautical and Aviation Publishing Company of America, Annapolis, Maryland 1979

Posa, John G.: "The Megabit Ram: Made in Japan?". High Technology juni 1985, s. 37-41

Rateksa Nr. 2, 1964. "Transistor-stamtræet"

Rerber, Steven C. og Smith, Merrit Roe: "Contextual Contrasts: Recent trends in the History of Technology", materiale fra konferencen "Contemporary Technology in Its Historical Context", København, August 28-29, 1986

Rosenberg, Nathan: "Inside the Black Box: Technology and Economics". Cambridge University Press 1982.

Rothwell, Roy og Zegveld, Walter: "Reindustrialisation and Technology". Longman 1985

Ryder, R.M.: "Ten Years of Transistors". Radio-Electronics, maj 1958, s. 34-37

Shepherd, A.A.: "Semiconductor device developments in the 1960's". The Radio and Electronic Engineer, vol. 43. No. 1/2. jan./feb. 1973, s. 11-20

Shockley, William: "The Path to the Conception of the Junction Transistor". IEEE Transactions on Electron Devices, vol. ED-23, No. 7, juli 1976, s. 597-620

Silk, Leonard: "The Research Revolution". McGraw-Hill 1960

Smith, Michael L.: "Selling the Moon: The U.S. Manned Space Program and the Triumph of Commodity Scientism" i Fox, Richard W. og Lears, T.J. Jackson (editors): "The Culture of Consumption: Critical Essays in American History, 1880-1980", Pantheon Books, New York 1983

Sundbo, Jon; Hull Kristensen, Peer og Baiardelli, Giorgio: "INTEL-arbejdspapir nr. 2: Informationsteknologi og samfundsformation". Institut for Samfundsøkonomi og Planlægning, RUC 1982

Sze, S.M. (editor): "VLSI Technology". McGRaw-Hill, New York 1983

Teal, Gordon K.: "Single Crystals of Germanium and Silicon - basic to the Transistor and the Integrated Circuit". IEEE Transactions on Electron Devices, vol. ED-23, No. 7, juli 1976, s. 621-639

Thernøe, K.A.: "Raketter, satelliter og drabanter". Berlingske forlag, København 1959

Thomsen, Hans Jørgen: "Rammer for en forståelse af teknologisk udvikling under kapitalistiske produktionsforhold" efterskrift i Bahr, Hans-Dieter og Vahrenkamp, Richard: "Teknologi og kapital". Rhodos, København 1976

Thuren, Torsten: "Kold krig og fredelig sameksistens - stormagtspolitikken 1945-75" 2. udgave. Munksgaard 1977

Thyssen, Ole: "Teknokosmos". Gyldendal 1985

Tilton, John E.: "International Diffusion of Technology: The Case of Semiconductors". The Brookings Institution, Washington DC 1971

Torrero, Edward A.: "Trusty transistors and ICs dethrone the power-demanding vacuum tube". Electronic Design 24, Nov. 23, 1972

Wilson, Robert W.; Ashton, Peter K. og Egan, Thomas P.: "Innovation, Competition, and Government Policy in the Semiconductor Industry". A Charles River Associates Research Study, Lexington Books 1980

Wittie, L.D.: "Microprocessors and microcomputers" i "Encyclopedia of Computer Science and Engineering" 2nd edition, 1983

Zaks, Rodnay: "Microprocessors - from chips to systems" 2nd edition, Sybex 1977

1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt. Projektrapport af: Anne Jensen, Lena Lindenskov, Marianne Kesselhahn og Nicolai Lomholt. Vejleder: Anders Madsen

2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund. Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Krenøe og Peter H. Lassen Vejleder: Bernhelm Boss.

3/78 "OPGAVESAMLING", breddekursus i fysik. Af: Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer og Jens Højgaard Jensen.

4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen. Af: Mogens Niss Nr. 4 er p.t. udgået.

5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE". Af: Helge Kragh. Nr. 5 er p.t. udgået.

6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINDLÆG OM - lærer-uddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret". Af: Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.

7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN". Af: B.V. Gnedenko. Nr. 7 er udgået.

8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen. Af: Peder Voetmann Christiansen.

9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariom". Projektrapport af: Lasse Rasmussen. Vejleder: Anders Madsen.

10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET". Projektrapport af: Jan Christensen og Jeanne Mortensen, Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.

11/79 "STATISTISKE MATERIALER". Af: Jørgen Larsen.

12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER". Af: Mogens Brun Heefelt, Nr. 12 er udgået.

13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET". Projektrapport af: Gert Kreinøe. Vejleder: Albert Chr. Paulsen.

14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of". Af: Else Høyrup. Nr. 14 er p.t. udgået.

15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt". Specialeopgave af: Leif S. Striegler. Vejleder: Peder Voetmann Ckristiansen.

16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN". Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen. Vejleder: Jørgen Larsen.

17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen". Af: Albert Christian Paulsen.

18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings af an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978. Preprint. Af: Bernhelm Booss og Mogens Niss (eds.)

19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED". Projektrapport af: Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen. Vejleder: Mogens Niss.

20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER". Projektrapport af: Michael Olsen og Jørn Jensen. Vejleder: Jørgen Larsen

21/79 "KONTROL I GYMNASIET-FORMÅL OG KONSEKVENSER". Projektrapport af: Crilles Bacher, Per S.Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.

22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)". 1-port lineært response og støj i fysikken. Af: Peder Voetmann Christiansen.

23/79 "ON THE HISTORY AF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role af realitivity". Af: Helge Kragh.

24/80 a+b "MATEMATIKOPFATTELSER HOS 2.G'ERE". 1. En analyse. 2. Interviewmateriale. Projektrapport af: Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen. Vejleder: Mogens Niss.

25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/fysik 1974-79.

26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER". En projektrapport og to artikler. Af: Jens Højgaard Jensen m.fl.

27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY AF SCIENCE IN PAUL DIRAC's PHYSICS". Af: Helge Kragh.

28/80 "DIELEKTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber". Projektrapport af: Gert Kreinøe. Vejleder: Niels Boye Olsen.

29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentialligningsmodeller". Projektrapport af: Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen. Vejleder: Mogens Brun Heefelt.

30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION". Af: Oluf Danielsen. Nr. 30 er udgået.

31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE". Projektrapport af: Troels Lange og Jørgen Karrebæk. Vejleder: Stig Andur Pedersen. Nr. 31 er p.t. udgået.

32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMÅLINGER MÖSSBAUEREFFEKTMÅLINGER". Projektrapport af: Crilles Bacher og Preben Jensen. Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.

33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK - NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II". Af: Arne Jakobsen.

34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT AF WIND ENERGY UTILIZATION". ENERGY SERIES NO. I. Af: Bent Sørensen Nr. 34 er udgået.

35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".
Af: Helge Kragh.

36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN?".
Fire artikler.
Af: Mogens Niss.

37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".
ENERGY SERIES NO. 2.
Af: Bent Sørensen.

38/81 "TIL EN HISTORIETEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".
Projektrapport af: Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.
Nr. 38 er p.t. udgået.

39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN".
Af: Jens Højgaard Jensen.

40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".
Projektrapport af: Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.
Vejleder: Per Nørgaard.

41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".
ENERGY SERIES NO. 3.
Af: Bent Sørensen.

42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".
Af: Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.

43/81 1."COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".
2."ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".
ENERGY SERIES NO. 4.
Af: Bent Sørensen.

44/81 "HISTORISKE UNDERSØGELSER AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".
Projektrapport af: Niels Thor Nielsen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.

45/82 Er aldrig udkommet.

46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDESE-
1+11 ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".
Projektrapport af: Torben O.Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.
Vejleder: Bent C. Jørgensen.

47/82 "BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".
ENERGY SERIES NO. 5.
Af: Bent Sørensen.

48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedesen, Laust Rishøj, Lill Røn og Isac Showiki.
Vejleder: Mogens Niss.

49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".
Projektrapport af: Preben Nørregaard.
Vejledere: Jørgen Larsen og Rasmus Ole Rasmussen.

50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY".
ENERGY SERIES NO. 6.
Rapport af: Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen.

51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PIGERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK ?"
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Røn og Susanne Stender.

52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.

53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".
Af: Arne Jacobsen og Stig Andur Pedersen.

54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.
Af: Stig Andur Pedersen og Johannes Witt-Hansen.

55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi.
Af: Else Høyrup.

Vedr. tekst nr. 55/82 se også tekst nr. 62/83.

56/82 "EN - TO - MANGE" -
En undersøgelse af matematisk økologi.
Projektrapport af: Troels Lange.
Vejleder: Anders Madsen.

57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET"-
Skjulte variable i kvantemekanikken?
Projektrapport af: Tom Juul Andersen.
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
Nr. 57 er udgået.

58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger over spredning af dyr mellem småbiotoper i agerlandet.
Projektrapport af: Per Hammershøj Jensen og Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

59/83"THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES NO. 7.
Af: Bent Sørensen.

60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE"- et eksempel.
Projektrapport af: Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og Preben Nørregaard.
Vejleder: Anders Madsen.

61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION, SOM ET EKSEMPEL PÅ EN NATURVIDENSKAB - HISTORISK SET".
Projektrapport af: Annette Post Nielsen.
Vejledere: Jens Høyrup, Jens Højgaard Jensen og Jørgen Vogelius.

62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde Universitetsbibliotek.
En biografi 2. rev. udgave.
Af: Else Høyrup.

63/83 "CREATING ENERGY FUTURES:A SHORT GUIDE TO ENERGY PLANNING".
ENERGY SERIES No. 8.
Af: David Crossley og Bent Sørensen.

64/83 "VON MATEMATIK UND KRIEG".
Af: Berhelm Booss og Jens Høyrup.

65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Kirsten Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejledere: Bernhelm Booss og Klaus Grünbaum.

66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I ESCHERICHIA COLI".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Ole Richard Jensen og Klavs Frisdahl.
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen.

67/83 "ELEPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEÆR PROGRAMMERING?"
Projektrapport af: Lone Biilmann og Lars Boye.
Vejleder: Mogens Brun Heefelt.

68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK" - til kritikken af teoriladede modeller.
Projektrapport af: Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid og Frank Mølgård Olsen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"
- en test i 1.g med kommentarer.
Af: Albert C. Paulsen.

70/83 "INDLÆRINGS - OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUNDERVISNINGSNIVEAU".
Projektrapport af: Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Åge Houmann, Helle Glerup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.
Vejleder: Klaus Grünbaum og Anders Hede Madsen.

71/83 "PIGER OG FYSIK"
- et problem og en udfordring for skolen?
Af: Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich og Mette Vedelsby.

72/83 "VERDEN IFØLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S Peirce.
Af: Peder Voetmann Christiansen.

73/83 ""EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"
- økologisk contra traditionelt.
ENERGY SERIES NO. 9
Specialeopgave i fysik af: Bent Hove Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.

74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik.
Projektrapport af: Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.

75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"
- Case: Lineær programmering.
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank Mølgaard Olsen.
Vejledere: Mogens Brun Heefelt og Jens Bjørneboe.

76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et høringssvar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.
ENERGY SERIES No. 1o
Af: Niels Boye Olsen og Bent Sørensen.

77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller.
Projektrapport af: Svend Åge Houmann, Keld Nielsen og Susanne Stender.
Vejledere: Jørgen Larsen og Jens Bjørneboe.

78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUT I AMORFT GERMANIUM".
Specialrapport af: Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen og Finn C. Physant.
Vejleder: Niels Boye Olsen.

79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE".
Projektrapport af: Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Povl Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.
Vejleder: Bernhelm Booss.

80/84 "KURSUSMATERIALE TIL MATEMATIK B".
Af: Mogens Brun Heefelt.

81/84 "FREKVENSAFHÆNGIG LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM".
Specialerapport af: Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen.
Vejleder: Niels Boye Olsen.

82/84 "MATEMATIK - OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTOMATISERÆDE SAMFUND".
Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983.
Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss.

83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY":
PEACE RESEARCH SERIES NO. 1
Af: Bent Sørensen
nr. 83 er p.t. udgået

84/84 "NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE".
Af: Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.

85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK".
Specialerapport af: Per Hedegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.

86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 2
Af: Bent Sørensen.

87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS".
Af: Jeppe C. Dyre.

88/84 "RISE, FALL AND RESURRECTION OF INFINITESIMALS".
Af: Detlef Laugwitz.

89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING".
Af: Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.

90/84 "ENERGI I 1.G - EN TEORI FOR TILRETTELÆGGELSE".
Af: Albert Chr. Paulsen.

91/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
1. Lærervejledning
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.

92/85 "KVANTETEORI FOR GYMNASIET".
2. Materiale
Projektrapport af: Biger Lundgren, Henning Sten Hansen og John Johansson.
Vejleder: Torsten Meyer.

93/85 "THE SEMIOTICS OF QUANTUM - NON - LOCALITY".
Af: Peder Voetmann Christiansen.

94/85 "TREENIGHEDEN BOURBAKI - generalen, matematikeren og ånden".
Projektrapport af: Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl og Frank M. Olsen.
Vejleder: Mogens Niss.

95/85 "AN ALTERNATIV DEFENSE PLAN FOR WESTERN EUROPE".
PEACE RESEARCH SERIES NO. 3
Af: Bent Sørensen

96/85 "ASPEKTER VED KRAFTVARMEFORSYNING".
Af: Bjarne Lilletorup.
Vejleder: Bent Sørensen.

97/85 "ON THE PHYSICS OF A.C. HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.

98/85 "VALGMULIGHEDER I INFORMATIONSALDEREN".
Af: Bent Sørensen.

99/85 "Der er langt fra Q til R".
Projektrapport af: Niels Jørgensen og Mikael Klintorp.
Vejleder: Stig Andur Pedersen.

100/85 "TALSYSTEMETS OPBYGNING".
Af: Mogens Niss.

101/85 "EXTENDED MOMENTUM THEORY FOR WINDMILLS IN PERTURBATIVE FORM".
Af: Ganesh Sengupta.

102/85 OPSTILLING OG ANALYSE AF MATEMATISKE MODELLER, BELYST VED MODELLER OVER KØERS FODEROPTAGELSE OG - OMSÆTNING".
Projektrapport af: Lis Eilertzen, Kirsten Habekost, Lill Røn og Susanne Stender.
Vejleder: Klaus Grünbaum.

103/85 "ØDSLE KOLDKRIGERE OG VIDENSKABENS LYSE IDEER".
Projektrapport af: Niels Ole Dam og Kurt Jensen.
Vejleder: Bent Sørensen.

104/85 "ANALOGREGNEMASKINEN OG LORENZLIGNINGER".
Af: Jens Jæger.

105/85 "THE FREQUENCY DEPENDENCE OF THE SPECIFIC HEAT AF THE GLASS REANSITION".
Af: Tage Christensen.

"A SIMPLE MODEL AF AC HOPPING CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.
Contributions to the Third International Conference on the Structure of Non - Crystalline Materials held in Grenoble July 1985.

106/85 "QUANTUM THEORY OF EXTENDED PARTICLES".
Af: Bent Sørensen.

107/85 "EN MYG GØR INGEN EPIDEMI",
- flodblindhed som eksempel på matematisk modellering af et epidemiologisk problem.
Projektrapport af: Per Hedegård Andersen, Lars Boye, CarstenHolst Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.
Vejleder: Jesper Larsen.

108/85 "APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATEMATICS CUR - RICULUM" - state and trends -
Af: Mogens Niss.

109/85 "COX I STUDIETIDEN" - Cox's regressionsmodel anvendt på studenteroplysninger fra RUC.
Projektrapport af: Mikael Wennerberg Johansen, Poul Katler og Torben J. Andreasen.
Vejleder: Jørgen Larsen.

110/85 "PLANNING FOR SECURITY".
Af: Bent Sørensen

111/85 JORDEN RUNDT PÅ FLADE KORT".
Projektrapport af: Birgit Andresen, Beatriz Quinones og Jimmy Staal.
Vejleder: Mogens Niss.

112/85 "VIDENSKABELIGGØRELSE AF DANSK TEKNOLOGISK INNOVATION FREM TIL 1950 - BELYST VED EKSEMPLER".
Projektrapport af: Erik Odgaard Gade, Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen, Annette Post Nielsen og Finn Physant.
Vejleder: Claus Bryld og Bent C. Jørgensen.

113/85 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS 11".
Af: Bernhelm Booss og Krzysztof Wojciechowski.

114/85 "ANVENDELSE AF GRAFISKE METODER TIL ANALYSE AF KONTIGENSTABELLER".
Projektrapport af: Lone Biilmann, Ole R. Jensen og Anne-Lise von Moos.
Vejleder: Jørgen Larsen.

115/85 "MATEMATIKKENS UDVIKLING OP TIL RENESSANCEN".
Af: Mogens Niss.

116/85 "A PHENOMENOLOGICAL MODEL FOR THE MEYER-NELDEL RULE".
Af: Jeppe C. Dyre.

117/85 "KRAFT & FJERNVARMEOPTIMERING"
Af: Jacob Mørch Pedersen.
Vejleder: Bent Sørensen

118/85 "TILFÆLDIGHEDEN OG NØDVENDIGHEDEN IFØLGE PEIRCE OG FYSIKKEN".
Af: Peder Voetmann Christiansen

119/86 "DET ER GANSKE VIST - - EUKLIDS FEMTE POSTULAT KUNNE NOK SKABE RØRE I ANDEDAMMEN".
Af: Iben Maj Christiansen
Vejleder: Mogens Niss.

120/86 "ET ANTAL STATISTISKE STANDARDMODELLER".
Af: Jørgen Larsen

121/86 "SIMULATION I KONTINUERT TID".
Af: Peder Voetmann Christiansen.

122/86 "ON THE MECHANISM OF GLASS IONIC CONDUCTIVITY".
Af: Jeppe C. Dyre.

123/86 "GYMNASIEFYSIKKEN OG DEN STORE VERDEN".
Fysiklærerforeningen, IMFUFA, RUC.

124/86 "OPGAVESAMLING I MATEMATIK".
Samtlige opgaver stillet i tiden 1974-jan. 1986.

125/86 "UVBY,β - systemet - en effektiv fotometrisk spektralklassifikation af B-,A- og F-stjerner".
Projektrapport af: Birger Lundgren.

126/86 "OM UDVIKLINGEN AF DEN SPECIELLE RELATIVITETSTEORI".
Projektrapport af: Lise Odgaard & Linda Szkotak Jensen
Vejledere: Karin Beyer & Stig Andur Pedersen.

127/86 "GALOIS' BIDRAG TIL UDVIKLINGEN AF DEN ABSTRAKTE ALGEBRA".
Projektrapport af: Pernille Sand, Heine Larsen & Lars Frandsen.
Vejleder: Mogens Niss.

128/86 "SMÅKRYB" - om ikke-standard analyse.
Projektrapport af: Niels Jørgensen & Mikael Klintorp.
Vejleder: Jeppe Dyre.

129/86 "PHYSICS IN SOCIETY"
Lecture Notes 1983 (1986)
Af: Bent Sørensen

130/86 "Studies in Wind Power"
Af: Bent Sørensen

131/86 "FYSIK OG SAMFUND" - Et integreret fysik/historie projekt om naturanskuelsens historiske udvikling og dens samfundsmæssige betingethed.
Projektrapport af: Jakob Heckscher, Søren Brønd, Andy Wierød.
Vejledere: Jens Høyrup, Jørgen Vogelius, Jens Højgaard Jensen.

132/86 "FYSIK OG DANNELSE"
Projektrapport af: Søren Brønd, Andy Wierød.
Vejledere: Karin Beyer, Jørgen Vogelius.

133/86 "CHERNOBYL ACCIDENT: ASSESSING THE DATA.
ENERGY SERIES NO. 15.
AF: Bent Sørensen.

134/87 "THE D.C. AND THE A.C. ELECTRICAL TRANSPORT IN AsSeTe SYSTE
Authors: M.B.El-Den, N.B.Olsen, Ib Høst Pedersen, Petr Visčor

135/87 "INTUITIONISTISK MATEMATIKS METODER OG ERKENDELSESTEORETISKE FORUDSÆTNINGER"
MASTEMATIKSPECIALE: Claus Larsen
Vejledere: Anton Jensen og Stig Andur Pedersen

136/87 "Mystisk og naturlig filosofi: En skitse af kristendommens første og andet møde med græsk filosofi"
Projektrapport af Frank Colding Ludvigsen
Vejledere: Historie: Ib Thiersen
Fysik: Jens Højgaard Jensen

137/87 "HOPMODELLER FOR ELEKTRISK LEDNING I UORDNEDE FASTE STOFFER" - Resume af licentiatafhandling
Af: Jeppe Dyre
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.

138/87 "JOSEPHSON EFFECT AND CIRCLE MAP."

Paper presented at The International Workshop on Teaching Nonlinear Phenomena at Universities and Schools, "Chaos in Education". Balaton, Hungary, 26 April-2 May 1987.

By: Peder Voetmann Christiansen

139/87 "Machbarkeit nichtbeherrschbarer Technik durch Fortschritte in der Erkennbarkeit der Natur"

Af: Bernhelm Booss-Bavnbek
Martin Bohle-Carbonell

140/87 "ON THE TOPOLOGY OF SPACES OF HOLOMORPHIC MAPS"

By: Jens Gravesen

141/87 "RADIOMETERS UDVIKLING AF BLODGASAPPARATUR - ET TEKNOLOGIHISTORISK PROJEKT"

Projektrapport af Finn C. Physant

Vejleder: Ib Thiersen

142/87 "The Calderón Projektor for Operators With Splitting Elliptic Symbols"

by: Bernhelm Booss-Bavnbek og
Krzysztof P. Wojciechowski

143/87 "Kursusmateriale til Matematik på NAT-BAS"

af: Mogens Brun Heefelt

144/87 "Context and Non-Locality - A Peircan Approach

Paper presented at the Symposium on the Foundations of Modern Physics The Copenhagen Interpretation 60 Years after the Como Lecture. Joensuu, Finland, 6 - 8 august 1987.

By: Peder Voetmann Christiansen

145/87 "AIMS AND SCOPE OF APPLICATIONS AND MODELLING IN MATHEMATICS CURRICULA"

Manuscript of a plenary lecture delivered at ICMTA 3, Kassel, FRG 8.-11.9.1987

By: Mogens Niss

146/87 "BESTEMMELSE AF BULKRESISTIVITETEN I SILICIUM"

- en ny frekvensbaseret målemetode.

Fysikspeciale af Jan Vedde

Vejledere: Niels Boye Olsen & Petr Viščor

147/87 "Rapport om BIS på NAT-BAS"

redigeret af: Mogens Brun Heefelt

148/87 "Naturvidenskabsundervisning med Samfundsperspektiv"

af: Peter Colding-Jørgensen DLH
Albert Chr. Paulsen

149/87 "In-Situ Measurements of the density of amorphous germanium prepared in ultra high vacuum"

by: Petr Viščor

150/87 "Structure and the Existence of the first sharp diffraction peak in amorphous germanium prepared in UHV and measured in-situ"

by: Petr Viščor

151/87 "DYNAMISK PROGRAMMERING"

Matematikprojekt af:
Birgit Andresen, Keld Nielsen og Jimmy Staal

Vejleder: Mogens Niss

152/87 "PSEUDO-DIFFERENTIAL PROJECTIONS AND THE TOPOLOGY OF CERTAIN SPACES OF ELLIPTIC BOUNDARY VALUE PROBLEMS"

by: Bernhelm Booss-Bavnbek
Krzysztof P. Wojciechowski