

Det Miljøteknologiske Innovationssystem

Maj Munch Andersen & Mads Borup

Systems Analysis Department
Risø National Laboratory

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 INTRODUKTION	13
2 EN OVERSIGT OVER DEN ANVENDTE BEGREBSRAMME	15
2.1 INNOVATION OG MILJØTEKNOLOGI	16
3 NATIONALE INNOVATIONSSYSTEMER (NIS) BEGREBSRAMME	19
3.1 INNOVATIONSSYSTEM TILGANG – VIDENSPRODUKTION, INSTITUTIONSSAMSPIL OG GLOBALISERING	19
3.2 INNOVATIONSPROCESSER OG VIRKSOMHEDERS VIDENKILDER	21
3.2.1 Innovationsprocessens videnkilder	23
3.2.2 Forskellige former for innovation	25
4 NIS ANALYSERAMMEN OG DENS CENTRALE ELEMENTER	28
5 MILJØTEKNOLOGI	31
5.1 ANVENDTE DEFINITIONER AF MILJØTEKNOLOGI	31
5.2 FORSLAG TIL KATEGORISERING AF MILJØTEKNOLOGI	32
5.2.1 Add-on teknologier (forurenings- og ressourcehåndteringsteknologier)	33
5.2.2 Integrerede teknologier (renere teknologier og -produkter)	34
5.2.3 Miljøeffektive systemteknologier	37
5.2.4 Miljøeffektive organisatoriske systemløsninger	40
6 GRØNT NIS – ET MILJØTEKNOLOGISK INNOVATIONSSYSTEM	43
6.1 TO EKSEMPLER PÅ ANALYSER AF MILJØTEKNOLOGISKE INNOVATIONSSYSTEMER	45
6.2 VIGTIGE ELEMENTER I EN ANALYSE AF MILJØTEKNOLOGISKE INNOVATIONSSYSTEMER	47
7 KONKLUSION – PERSPEKTIVER OG UDREDNINGSBEHOV	50
8 REFERENCER	53
8.1 MILJØINNOVATION	53
8.2 MILJØTEKNOLOGISK INNOVATIONSSYSTEM	54
8.3 INNOVATIONS TEORI	54
 Bilag A	 57

Forord

Nærværende rapport er et analytisk bidrag til at modernisere og videreudvikle samfundets indsats for at fremme teknologi til løsning af væsentlige miljøproblemer.

Analysen har fokus på mulighederne for at skabe bedre sammenhæng mellem innovations- og miljøpolitikken. Der er primært tale om en metode- og teoriorienteret analyse.

Rapporten er udarbejdet af afdelingen for system analyse ved Risø, og har bl.a. fungeret som forprojekt for mere empirisk orienterede analyser i regi af Miljøstyrelsen, Nordisk Ministerråd og EU.

Sammenfatning og konklusioner

I de senere år er der kommet større fokus på behovet for at integrere miljø- og innovationspolitikken. Med EU's nye miljøteknologiske handlingsplan er der for første gang sat politisk fokus på udviklingen af en egentlig teknologipolitik på miljøområdet. Imidlertid har miljø- og innovationspolitikken endnu været meget lidt integreret, og de to politikområder tager afsæt i vidt forskellige policy rationaler og traditioner. Der er derfor behov for at udvikle en begrebsramme, der kan indfange de særlige vilkår, som den miljøteknologiske innovation er underlagt. Rammen skal bidrage til, at der kan skabes størst mulig synergi mellem den miljø- og innovationspolitiske indsats.

Det nationale innovationssystem perspektiv (NIS) fremstår her som en mulig analyseramme. Perspektivet tager udgangspunkt i innovationsdynamikkerne på markedet men ser disse i en større institutionel kontekst, ikke mindst med vægt på policyrammerne. Sigtet er at fremme innovationskapaciteten for det samlede innovationssystem

Den her rapporten foreslåede begrebsrammer for et miljøteknologiske innovationssystem bygger videre på den eksisterende innovationsforskning, men integrerer de særlige forhold, der kendetegner miljøinnovation. Hensigten er at den skal være forståelig og anvendelig både i en innovationspolitisk og miljøpolitisk sammenhæng.

Et NIS perspektiv byder på mange måder på nytænkning i forhold til vanlige måder at tænke miljøproblemer og miljøpolitik på. Det fører for vidt her at komme med policy anbefalinger på basis heraf, men et par indledende betragtninger følger.

Den europæiske kommission indfanger rammende, at NIS perspektivet har betydet et skift i policy rationale i forsknings- og udviklingspolitikken fra ”simply addressing market failures that lead to underinvestment in R&D towards one which focuses on ensuring the agents and links in the innovation system work effectively as a whole, and removing blockages in the innovation system that hinder the effective networking of its components” (EC 2002).

Tilsvarende kan NIS med det stærke systemperspektiv og fokus på de komplekse samspil mellem aktører og rammebetingelser bidrage til nye impulser i miljøpolitikken. En NIS inspireret miljøpolitik skal således sætte ind overfor identificerede koordineringsbehov og flaskehalse i det givne innovationssystem i forhold til miljøinnovation og sigte mod, at de mange forskellige aktører og de forskellige rammebetingelser indbyrdes arbejder effektivt sammen. Udfordringen er at skabe et udviklings- og selektionsmiljø, der vedvarende sikrer en høj grøn innovationskraft.

Det særlige ved NIS tilgangen er derudover at den:

- *sætter fokus på viden og læring som en afgørende parameter.* Innovationssystem tilgangen er på mange måder en indirekte tilgang til miljøproblemerne. Tilgangen er langsigtet og strategisk og går 'omvejen'

via viden og den tilhørende institutionelle udvikling. Det tager meget lang tid at bygge og ændre viden. Et videnfokus der sigter på at opbygge stærke miljøkompetencer på markedet og i de omgivende videninstitutioner mv. er et brud med det hidtidige miljøpolitiske rationale, som har fokuseret på at opnå umiddelbare miljøeffekter. Opbyggelsen af en høj grøn innovationskapacitet kan på sigt vise sig at være en mere effektiv måde at få mest miljø for pengene på.

- *skaber en kobling mellem miljøinnovation og konkurrenceevne.* NIS tilgangen er i sit sigte baseret på at integrere erhvervsmæssige og miljømæssige perspektiver. NIS perspektivet kan ikke mindst bruges til mere strategiske overvejelser omkring langsigtede satsninger og prioriteringer, der kan styrke den nationale innovationskapacitet og konkurrenceevne på miljøområdet. En NIS politik vil fokusere på de erhvervsmæssige og markedsbetydende videnudviklinger, frem for f.eks. særskilt på akademisk og forskningsmæssig viden. (Ved et styrket miljøteknologisk innovationssystem vil de miljøteknologiske industri- og produktområder få den power og robusthed, der skal til for at sikre en vedvarende og avanceret udvikling. Det vil bidrage til en forbedret eksportposition og beskæftigelse på det miljøteknologiske område.) NIS perspektivet kan herunder belyse de ændrede konkurrencemæssige betingelser i videnøkonomien og de muligheder og udfordringer, det giver for miljøinnovation og for at positionere sig i den internationale konkurrence.
- *vægtter den institutionelle side af innovationsprocessen.* Fokuseringen på sammenhængen mellem policy og markedsudvikling er interessant ikke mindst vigtigt fordi (miljø)regulering spiller en så stor rolle for miljøinnovation. NIS tilgangen kan her gå ind og belyse mulige modsætninger mellem forskellige policy områder, der hæmmer miljøinnovation og styrke arbejdet med at integrere miljøpolitik i andre politikområder.
- *sætter fokus på innovationsdynamikker relateret til den miljøteknologiske udvikling.* NIS er decideret orienteret mod vilkårene for den erhvervsmæssige innovation. NIS perspektivet kan sætte fokus på de specifikke innovationsdynamikker som de forskellige miljøteknologier er underlagt og identificere flaskehalsene på markedet eller det videre innovationssystem. Vægtningen af teknologispor og de systemiske aspekter ved innovation betyder, at perspektivet særligt kan bidrage til at bryde lock-in og fremme de vanskelige mere systemiske miljøinnovationer.

Der er dog også en række forbehold og overvejelser, der knytter sig til anvendelsen af NIS perspektivet på miljøområdet. Der er med det stærke fokus på videnopbygning i den industrielle produktion i høj grad tale om en vægtning af den 'technology push' drevne udvikling snarere end 'market pull'. Analyser af forholdene omkring markedsudvikling er ofte fraværende, hvilket er problematisk i forhold til at en opnå en forståelse af udviklingen af et "grønt" marked, hvor miljøet indgår som en markedsparameter. I den her forslåede model er markedsudviklingen derfor fremhævet. Omvendt vil en NIS tilgang, der kun fokuserer ensidigt på markedsforhold kunne gå meget galt i byen, idet den vil overse en række væsentlige udviklingsdynamikker indenfor teknologisk innovation og vidensudvikling.

Det danske nationale innovationssystem er internationalt set af de mest effektive og velfungerende, men alligevel er miljøproblemerne ikke løst og miljøet er langt fra en integreret markedsparameter. I dag er der tale om, at enkeltelementer eller brudstykker i innovationssystemet arbejder med miljøinnovation, men en lang række virksomheder og videninstitutioner er hverken bevidste eller kompetente på miljøområdet og har ikke udviklet proaktive miljøstrategier. Mange rammebetingelser virker modsatrettede. Det er med andre ord et meget langt sejt træk at udvikle et velfungerende miljøteknologisk innovationssystem, som vil kræve en række strategiske overvejelser. Begreberne om miljøeffektivitet og forskellige klasser af miljøteknologier (kap. 5) kan bidrage til en vurdering af om en innovationssystem indsats også reelt sikrer en miljømæssig forbedring.

Politisk vil et styrket miljøteknologisk innovationssystem ikke mindst kræve en bedre samtænkning af miljø- og innovationspolitikken. Det vil være nyt for begge parter og kræver nye forståelser og kompetencer. Miljøpolitikken er uvant med at beskæftige sig med konkurrenceparametre, innovationspolitikken og -forskningen er uvant med at beskæftige sig med de negative sideeffekter af innovationsindsatsen, herunder miljøproblemerne. Det er således policymæssigt ikke nogen nem proces (Andersen, 2004). Men synergipotentialerne er store, og der burde derfor være mulighed for at begge parter ser en interesse i at arbejde med at overkomme disse vanskeligheder.

Samlet set udgør NIS perspektivet et bredere og stærkere system perspektiv end hidtil praktiseret på miljøområdet. Ulempen er ikke mindst, at der er tale om krævende analyser og komplekse overvejelser i forhold til strategi- og policy anbefalinger. Et NIS perspektiv som basis for strategi- og policy anbefalinger, giver mest mening, hvis der rent faktisk foreligger en empirisk analyse af innovationssystemet og dets flaskehalse. Den nuancerede og tilpassede indsats med benyttelse af flere forskellige virkemidler kræver nøjere indblik i de specifikke miljøteknologiske områder. Som det imidlertid er søgt illustreret her, kan NIS perspektivet anvendes på flere niveauer og måder.

Der er meget, vi stadig ikke ved om miljøteknologiske innovationssystemer. Vi mangler først og fremmest empirisk viden, der kan belyse nærmere, hvordan de nationale innovationssystemer fungerer. Vi har behov for at finde ud af, hvor ens og forskellige de er og få dem kategoriseret og afgrænset. Metodemæssigt er der mange problemer i at definere og måle miljøinnovation og miljøkompetencer, som i sig selv udgør et større udredningsbehov. En del af løsningen på dette er mere dybdegående innovationssystem analyser på brancheniveau.

Vi mangler særligt indsigt i betydningen af specifikke policy initiativer såvel som de samlede (miljø- og ikke miljø)policyregimer i innovationssystemet og deres effekt på miljøinnovation. En stærk miljøpolitisk indsats giver i sig selv ikke nødvendigvis grundlag for en høj innovationskapacitet og konkurrenceevne. Ikke mindst skal vi have belyst betydningen af et stærkt miljøteknologisk innovationssystem for konkurrenceevnen. Og betydningen af internationaliseringen af økonomien og policy regimerne for udviklingen af de miljøteknologiske innovationssystemer.

Dette projekt har søgt at vise, at NIS *rationalet*, som indfanget i den begrebsmæssige ramme, kan guide politikudviklingen i forhold til

miljøinnovation på vigtige måder. NIS perspektivet kan danne en ramme for at integrere miljø- og innovationspolitikken. Herved kan der skabes et godt grundlag for at møde de nye udfordringer og muligheder, som videnøkonomien byder i forhold til miljøinnovation. Og som kan føre til betydelige konkurrencemæssige og miljømæssige gevinster for Danmark, hvis vi forstår at udnytte dem.

Summary and conclusions

There is increasing focus on the need for integration of environmental policy and innovation policy. This report describes a conceptual framework for understanding developments in environmental technologies and products through an innovation system approach. The assumption behind this is that there are considerable market-economical as well as environmental potentials in strengthening the parts of the national innovation systems that have to do with environmental technologies thereby improving its performance and contributing to the development of a 'green' innovation system. Ultimately, integration of environmental policy and innovation policy would mean making innovation and technology development go hand in hand with environmental protection and environmental safety instead of being in opposition.

An innovation system is defined as the 'elements and relationships, which interact in the production, diffusion and use of new and economically useful knowledge'. The main part of the conceptual framework described is a model of the innovation system. In this model, knowledge production and learning processes around industrial products in companies and on markets are the central aspect. The knowledge processes are not limited to a single company but shall be seen in a broader institutional set up including not only subcontractors and customers in the product supply chain but also knowledge networks and knowledge institutions such as universities, educational institutions, innovation support institutions, for example, research parks and institutions of technology diffusion and mediation, etc.

Frame conditions for the knowledge and learning processes are the structures for competition, labour markets, and capital; the school and educational system; and legislation and regulation structures within number of other areas. Also, the information technology infrastructure and the practices of use can be seen as part of the frame conditions of the knowledge and learning processes in the innovation system. Differences in competitive strength and development capacity between countries are due to differences in the specific organisation of the learning and knowledge processes in the national innovation system and differences in the institutional set-up. This includes not least differences in characteristics of industrial sectors, specific competence clusters, communities of practice, etc. Though many markets and knowledge networks are international in character, the national and socio-cultural location usually play a decisive role.

The environmental dimension of the model of the national innovation system appears firstly on the value level, i.e., in visions about a high green innovation capacity and technology development oriented in an environmentally friendly direction. In this, the concept of eco-efficiency is central. It describes the strategic practice of continuously considering relative improvements and aggravations in how much value one gets from a product per unit of environmental impact. Secondly, the environmental dimension appears through a distinction between four classes of environment technologies. The

classes are 1) add-on technologies (pollution and resource handling technologies); 2) integrated technologies (cleaner technologies and cleaner products); 3) eco-efficient system technologies; and 4) eco-efficient organisational system innovations. The two latter imply radical changes in existing production and consumption systems. It is argued that eco-efficient system technologies and organisational system innovations are better, environmentally speaking, than the former two. However, it is also clear that all four types of environmental technologies are needed if the environmental problems shall be handled. Different measures and policy instruments might be needed in connection with development of the different types of environment technology.

The conceptual framework is in the present report primarily described theoretically and in general terms. It is, however, exemplified with a number of Danish cases: Nanotechnology in catalysis is an example of add-on technology. Closed systems of water and material flows are an example of integrated technology in the paper industry. The wind power technology is an example of successful eco-efficient system technology having origins also in alternative technology development and not only in the traditional innovation communities of the established industry sector and research institutions. Out-phasing of lead in the construction sector is an example of environmental technology development where commercial developments and public regulation go hand in hand.

An environment policy inspired from the approach of national systems of innovation shall focus on environmentally related bottlenecks and coordination needs in the existing innovation system. The aim is to make the many different learning activities, institutions, and frame conditions play efficiently together all-in-all concerning the environment perspectives. Thereby, it shall be ensured that the environmental potentials can be exploited continuously and in the long run.

For further development of the policy efforts on the environmental technologies innovation system, it is suggested that a comprehensive analysis of the characteristics of the Danish system is carried out. This would include more systematic and detailed case studies within different industrial sectors and different areas of environment technology. Also, examinations are needed of the conditions for and the contents of knowledge networks and of environment as subject in the system of education and research institutions. Finally, the report recommends further examination of policy regimes and analysis of the relationship between different policy efforts and their implications for environmental innovation.

1 Introduktion

I de senere år er der kommet større fokus på behovet for at integrere miljø- og innovationspolitikken. Med EU's nye miljøteknologiske handlingsplan er der for første gang sat politisk fokus på udviklingen af en egentlig teknologipolitik på miljøområdet. Imidlertid har miljø- og innovationspolitikken endnu været meget lidt integreret, og de to politikområder tager afsæt i vidt forskellige policy rationaler og traditioner. Der er derfor behov for at udvikle en begrebsramme, der kan indfange de særlige vilkår, som den miljøteknologiske innovation er underlagt. Rammen skal bidrage til, at der kan skabes størst mulig synergi mellem den miljø- og innovationspolitiske indsats.

Det nationale innovationssystem perspektiv (NIS) fremstår her som en mulig analyseramme. Perspektivet tager udgangspunkt i innovationsdynamikkerne på markedet men ser disse i en større institutionel kontekst, ikke mindst med vægt på policyrammerne. Sigtet er at fremme innovationskapaciteten for det samlede innovationssystem

NIS begrebet opstod i slutningen af 1980'erne og starten af 1990erne indenfor det, der betegnes som den evolutionære eller institutionelle økonomiske teori (eller blot innovationsteori). Siden er begrebet blevet videreudviklet ikke mindst af OECD (1999, 2002) og EC (EC 2002) og er i de senere år et af de mest anvendte perspektiver indenfor innovations- og forskningspolitikken. Endnu har det dog kun i meget begrænset omfang fundet indpas i miljøpolitikken.

NIS forskningen har hidtil kun beskæftiget sig begrænset med miljøspørgsmål. Det er mao. et perspektiv der først er på vej frem på miljøområdet, til trods for at det har været fremme i innovationslitteraturen i ca. 15 år; et forhold der illustrerer den generelt manglende berøringsflade mellem innovations- og miljøforskning. Vi ved derfor ikke meget om, hvordan integration af miljø i innovationssystemer kan tænkes. Enkelte forskere har dog peget på inddragelsen af miljø og bæredygtighedsmålsætninger i innovationssystemerne som en af de væsentlige udfordringer innovationssystemerne og innovationspolitikken står overfor i det nye årtusind (Lundvall 2001). Miljøproblemerne ses netop at være forbundet med den høje innovations- og transformationshastighed i videnøkonomien, hvor (de negative) konsekvenser af den hastige teknologiudvikling bliver sværere at gennemskue. Der forestår derfor en del både begrebsmæssig og metodemæssig afklaring, som dette projekt indledende skal bidrage til.

En nærmere redegørelse for det danske miljøteknologiske innovationssystem og dets særlige karakteristika vil forudsætte en egentlig større empirisk analyse, som ligger udenfor dette projekts rammer. Der er i Danmark en udbredt forestilling om, at vi er langt på miljøområdet, men vi ved faktisk ikke, hvor stærkt det danske miljøteknologiske innovationssystem pt. er. Der udvikles miljøteknologiske produkter på en række områder, men sandsynligvis er der i højere grad tale om spredte aktiviteter end om et egentligt sammenhængende innovationssystem. I stedet søger projektet at udvikle en begrebsmæssig ramme for en styrkelse af det danske miljøteknologiske innovationssystem.

Dette gøres ved at diskutere rationalet og de centrale grundantagelser i NIS perspektivet og koble disse til en analyse af karakteren af miljøteknologiske innovationer. Den teoretiske diskussion om innovationsdynamikker underbygges med eksemplificerende danske cases, der illustrerer forskellige innovationsdynamikker relateret til miljøinnovation.

Endnu er NIS perspektivet ikke anvendt i miljøpolitikken. Der er gode muligheder for, at Danmark kan sætte en nye trend og blive policyførende ved adoption af et NIS perspektiv på miljøområdet.

Projektet er struktureret som følger:

Der gives i kapitel 2 et resumerende kort bud på en NIS analyseramme, der søger at trække det essentielle i det miljøteknologiske innovationssystem frem. De enkelte elementer her bliver dog først forklaret i de efterfølgende kapitler. I kapitel 3 følger en afklaring af innovationssystemets elementer og processer generelt. I kapitel 4 diskuteres og klassificeres miljøteknologier og deres forskellige dynamikker og i kapitel 5 præsenteres det miljøteknologiske innovationssystem. Endelig diskuteres perspektiver og udredningsbehov i konklusionen.

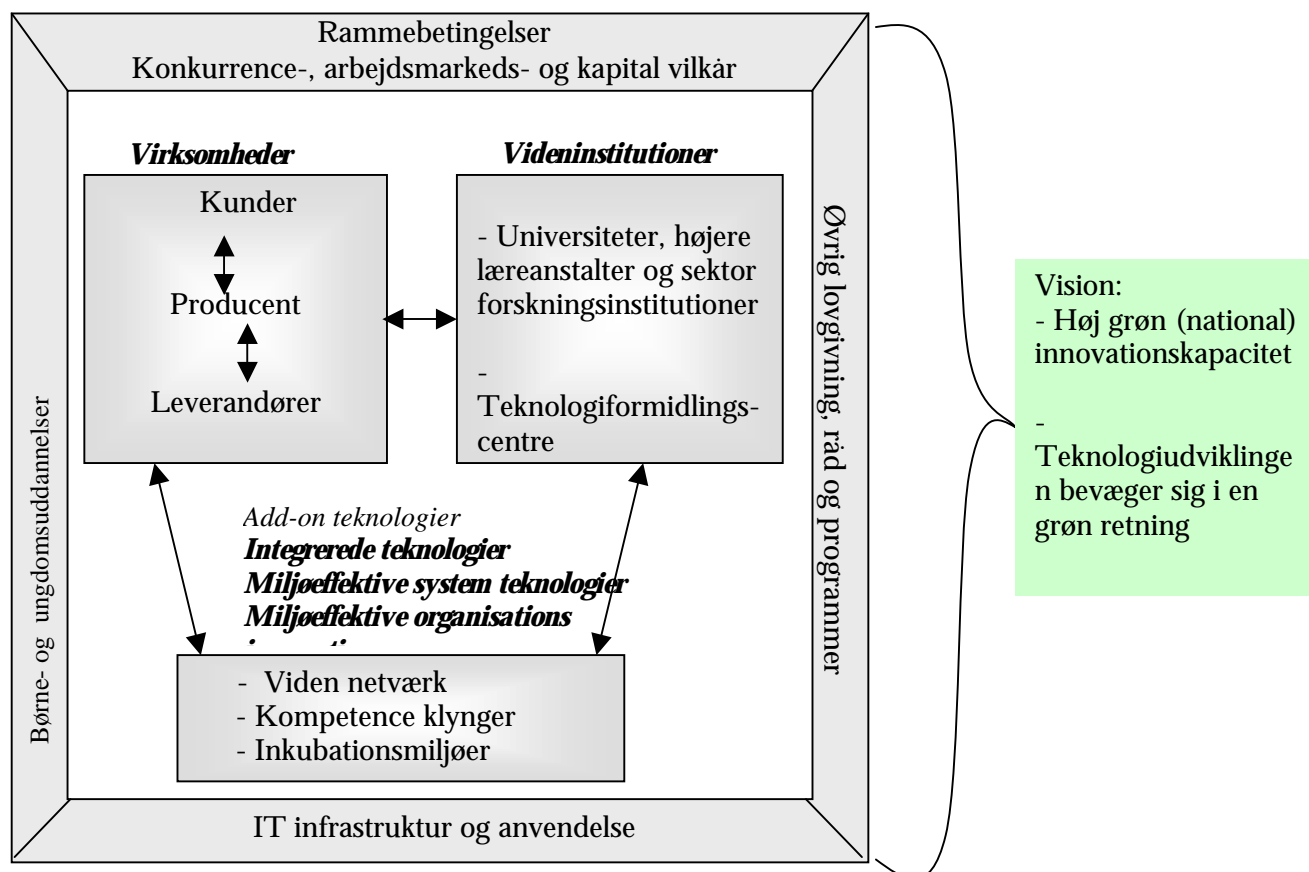
2 En oversigt over den anvendte begrebsramme

De centrale elementer i det nationale innovationssystem perspektiv kan kort opsummeres i følgende hovedpunkter:

- Systemperspektivet på innovation: At innovation ikke er en lineær proces, der udspringer af forskning, men derimod fremkommer via interaktive samspil mellem en lang række aktører: virksomheder, deres kunder og leverandører, forsknings- og uddannelses institutioner, offentlige myndigheder, som de centrale. Systemet er dynamisk og relativt stabilt, idet det struktureres af dannede sæt af rutiner, fælles forståelser og normer, etablerede praksisformer, reguleringsformer.
- Viden og interaktive læreprocesser er det centrale i samspilsdynamikkerne. Et innovationssystem defineres som de ”elementer og relationer som interagerer i produktionen, diffusionen og anvendelsen af ny og økonomisk brugbar viden” (Lundvall 1992).
- Systemerne er specifikke og lokale og præget af deres socio-kulturelle kontekst f.eks. af uddannelsessystemerne, konkurrence- og arbejdsmarkedsforhold, og traditionerne for samarbejde.
- Forskelle i landes konkurrencemæssige og udviklingsmæssige styrke tilskrives forskelle i læringsdynamikkernes og videnproduktionens specifikke organisering i innovationssystemerne og forskelle i systemernes institutionelle set-up, herunder industrisektorerens karakteristika.

Den samlede model opstillet for et miljøteknologisk innovationssystem fremgår af nedenstående figur.

Model af det miljøteknologisk innovationssystem



Den foreslåede model for det miljøteknologiske innovationssystem udgøres af de generelle antagelser om nationale innovationssystemer, men hvor de foreslåede fire typer miljøteknologier er tilføjede. Herigennem understreges det, at der ikke findes noget særskilt miljøteknologisk innovationssystem, men at det derimod handler om at diskutere det generelle innovationssystemes evne til at håndtere miljøinnovation. Via empiriske miljøteknologiske NIS analyser vil det være muligt at identificere særlige sammenhængende miljøteknologiske innovationssystemer indenfor en given region. Det kunne fx være Danmark, Nordeuropa eller EU, som udviser særlige mønstre og stor sammenhængskraft i forhold til miljøinnovation, og som derved kan betegnes som et miljøteknologisk innovationssystem.

Nedenfor opridses kort nogle centrale begreber fra de efterfølgende kapitler, der er med til at operationalisere anvendelsen af NIS begrebet på miljøinnovation.

2.1 Innovation og miljøteknologi

Miljøteknologi defineres på mange måder. Den foreslåede NIS inspirerede kategorisering arbejder med 4 typer af miljøteknologier:

1. Add-on teknologier (forurening- og ressourcehåndtering)
2. Integrerede teknologier (renere teknologi og renere produkter)

3. Miljøeffektive system teknologier
4. Miljøeffektive organisatoriske system innovationer

Kategorierne bliver nærmere forklaret i kapitel 4. Udgangspunktet for kategoriseringen er, hvilke innovationsmæssige forhold der er forbundet med miljøteknologierne, dvs. hvilke risici, lærings- og omstillingsomkostninger og markedseffekter, der forventes at være forbundet med innovationerne (snarere end hvor miljøforandrende en teknologi er).

Vigtigt er her en diskussion af karakteren af forskellige former for (miljø)innovationer. Begrebsrammen opstiller fire kriterie-par (der er tale om et kontinuum mellem værdierne snarere end et enten eller), som er med til at kaste lys over innovationernes karakter:

- Inkrementel – Radikal
- Autonom – Systemisk
- Specialiseret – Generisk
- Markedsfornyende – Markedskonform

De fire definerede miljøteknologier illustrerer det brede spektrum specielt mht. til radikalitet og systemiskhed, som teknologierne dækker over. De fire grupper af miljøteknologier er underlagt meget forskellige innovationsvilkår, som en NIS inspireret policy skal søge at adressere.

Centrale elementer i en analyse af miljøteknologiske innovationssystemer
De centrale elementer i en analyse af miljøteknologiske innovationssystemer kan opsummeres i følgende 7 punkter:

- Karakteren af miljø policyregimet, specielt med henblik på at vurdere hvor modent et policyparadigme der er tale om (mht. en preventiv og innovationsorienteret tilgang). Karakteren af miljøstrategier og forståelser hos virksomheder, videninstitutioner, investorer, forbrugere mv.
- Omfanget og karakteren af virksomhedernes miljøinnovation (udvikling og absorbering), kortlægning af virksomhedernes videnskilder, ikke mindst koordinering og udvikling i de industrielle værdikæder. Omfanget af grønne iværksættere.
- Omfanget og karakteren af videninstitutionernes miljøforskning og udvikling, deres videnmiljøer og indbyrdes samarbejder. Samt vigtige kompetenceklynger og vidennetværk mellem virksomheder og videninstitutioner indenfor miljøteknologi.
- Markedsudviklingen og anvendelsesmønstre for miljøteknologi, herunder hvor integreret og etableret (kodificeret) miljøkommunikationen er blevet på markedet.
- Miljø i finansierings- og investeringsinstitutionerne og –markeder.
- Omfanget af miljø i børne- og voksenuddannelser der bidrager til den almene miljøviden i befolkningen.

- De øvrige rammebetingelser for innovation i øvrigt, samt hvor integreret miljødimensionen er i disse.

Samlet set udgør NIS perspektivet et bredere og stærkere system perspektiv end hidtil praktiseret på miljøområdet. Det særlige ved NIS tilgangen er at den:

- sætter fokus på viden og læring som en afgørende parameter.
- skaber en kobling mellem miljøinnovation og konkurrenceevne.
- vægter den institutionelle side af innovationsprocessen.
- sætter fokus på innovationsdynamikker relateret til den miljøteknologiske udvikling.

En NIS inspireret miljøpolitik skal således sætte ind overfor identificerede koordineringsbehov og flaskehalse i det givne innovationssystem i forhold til miljøinnovation og sigte mod, at de mange forskellige aktører og de forskellige rammebetingelser indbyrdes arbejder effektivt sammen. Udfordringen er at skabe et selektionsmiljø, der vedvarende sikrer en høj grøn innovationskraft.

3 Nationale innovationssystemer (NIS) begrebsramme

- Det nationale innovationssystem perspektiv er en veludviklet og veldokumenteret tilgang til innovation i industrielle og markedsorganiserede økonomier.

Dette afsnit belyser, hvad innovationssystem begrebet indebærer generelt, dvs. uden at komme specielt ind på miljøspecifikke emner. Innovationssystemets elementer, processer og bagvedliggende grundantagelser om innovationsdynamikker gennemgås, baseret på forskning på området i ind- og udland. Først beskrives overordnede træk i videnproduktionen i videnøkonomien. Derefter diskuteres faserne i innovationsprocessen, de væsentlige videnkilder der indgår, og forskellige typer af innovationer. Til sidst opsummeres disse pointer til et forslag til en samlet NIS analyseramme.

3.1 Innovationssystem tilgang – vidensproduktion, institutionssamspil og globalisering

Et innovationssystem defineres som “de elementer og relationer som interagerer i produktionen, diffusionen og brugen af ny og økonomisk brugbar viden”.

Det særlige ved innovationssystem perspektivet (også kaldet NIS for National Innovation System) er, at det ser virksomhedens innovationsaktiviteter og handlemuligheder i et større institutionelt set-up. Fokus er på organiseringen af den i en markedsrettet forstand værdiskabende videnproduktion, der ses som afgørende for at fremme den nationale (eller regionale, branchemæssige mv.) innovationskapacitet. Det er virksomheden og dens konkurrencebetingelser, der er udgangspunkt for analysen, men de politiske og andre institutionelle rammer inddrages.

Ambitionen i NIS perspektivet er at analysere co-evolutionen af teknologi, institutioner og organisationer. Dybdegående, ofte komparative, analyser søger at identificere de aktører, elementer og rammebetingelser, der er centrale for produktionen og anvendelsen af viden. Hensigten i NIS perspektivet er ikke blot at belyse de mange enkeltelementer, som indgår i produktionen, spredningen og anvendelsen af viden, men at fokusere på deres samspil og synergi effekt. Fokus i innovationssystem tilgangen ligger derfor i relationerne og interaktionerne mellem forskellige aktører og vidensfelter. Vidensproduktionen set i innovationssystem perspektivet ses grundlæggende som en interaktiv proces, der foregår mellem en lang række aktører.

Summen af de samlede rammebetingelser og markedsmekanismer antages således at udgøre ”selektionsmiljøet” for virksomhederne. Selektionsmiljøet bestemmer, hvilke virksomheder og teknologier, der overlever på markedet, og på sigt bliver markedsdominerende. Det er selektionsmiljøet, der styrer

hastigheden og retningen på den teknologiske udvikling (Nelson og Winter, 1982).

Universiteter og andre videninstitutioner optræder i den sammenhæng som vigtige supplementter og samspilspartnere for den industrielle produktudvikling og forskning, f.eks. ved at de medvirker i dannelser af nye vidennetværk og videnområder og via uddannelse af arbejdsstyrken.

NIS analyser søger at identificere de særlige mønstre og dynamikker for innovation, som er karakteristiske i forskellige innovationssystemer. Empiriske studier viser, at innovationssystemer varierer betydeligt med hensyn til mønstrene for videnproduktion og -brug (Nelson, 1993, Christensen et al. 1998, OECD, 1999). Disse analyser kan danne basis for udviklingen af (nationale, regionale eller branchemæssige) strategier for en øget innovationskapacitet og konkurrenceevne.

Innovationssystem perspektivet er knyttet til det nationale niveau af to grunde. Dels fordi det nationale niveau udgør et naturligt niveau for inddragelse og diskussion af policy elementer. Dels fordi en stor del af de specifikke strukturer, adfærdsmønstre og normer, der i øvrigt præger og karakteriserer innovationssystemerne, er knyttet til det enkelte land og dets institutioner. Innovationssystem perspektivet anvendes dog også i stigende grad på regioner (fx EU, amter) eller på forskellige teknologiområder og brancher.

I de senere år er NIS perspektivets anknytning til det nationale niveau i nogen grad blevet udfordret dels i Europa af den øgede rolle EU spiller og dels af den øgede globalisering og dannelse af internationale markeder. Innovationssystemer er tæt knyttet til diskussionen om *videnøkonomien*. Med videnøkonomien forstås de kvalitative forandringer i videnproduktionen, der specielt knytter sig til den stigende globalisering. Den stadigt hastigere teknologiudvikling, mere mobile kapital og den revolutionering af kommunikationen som informationsteknologien betyder giver ændrede konkurrencemæssige vilkår (OECD, 2000).

Hvor virksomhederne før kunne klare sig alene på en effektiv produktion - ved at økonomisere med ressourcer og arbejdskraft - er evnen til at udvikle, tiltrække og anvende viden i dag afgørende for konkurrenceevnen. Det gælder ikke mindst for lande som Danmark med et højt omkostningsniveau.

Globalisering og viden hænger tæt sammen. Globale koncerner spiller en stadig vigtigere rolle for videnopbygningen og den økonomiske udvikling på verdensplan. De er netop hurtige til at lægge udviklingsopgaver og arbejdspladser der, hvor mulighederne er de bedste. Adgangen til kompetente medarbejdere, højtuddannede eksperter og stærke videnmiljøer er stadig vigtigere faktorer for konkurrenceevnen (OECD, 2000).

Betydningen af videnproduktionen for konkurrenceevnen betyder, at *videnledelse* vinder stigende betydning, også på nationalt niveau. NIS perspektivet kan anvendes til at udvikle strategier for, hvordan nationale økonomier skal positionere sig i den internationale videnproduktion. Både i forhold til hvad der skal udvikles og produceres selv, eller hvad der bedst købes af produkter og kompetencer udefra. Men også i forhold til at finde

effektive veje til at opnå en høj videnudvikling, -tiltrækning og -anvendelse i det nationale innovationssystem.

Samtidig med forankringen i specifikke reguleringsmæssige og normmæssige rammer er innovationssystemer dynamiske og foranderlige. Dannelserne af viden om nye innovationer og teknologiske muligheder betyder også udviklingen af ændrede praksisformer og rutiner i virksomhederne, dannelser af nye netværk og udvikling eller videreudvikling af institutioner og vidensfelter. Udviklingen af viden, institutioner og teknologi er integrerede og genspejler hinanden.

I det følgende afsnit ser vi nærmere på, hvad innovation indebærer, og hvordan viden udvikles, lagres og spredes i innovationssystemet.

3.2 Innovationsprocesser og virksomheders videnkilder

Innovationsprocessen er en søge- og læreproces, hvor viden indhentes og anvendes på nye måder i udviklingen af procesteknologier, produkter eller serviceprodukter. *Innovation* betyder en nyskabelse, der fører til værdiskabelse på markedet. Begrebet *invention* betyder i modsætning hertil blot nyskabelse, fx når en forsker laver en opfindelse. Innovationsbegrebet dækker således over hele forløbet fra ide til kommercialisering på markedet, jf. figur 1, og skal således ses i tæt sammenhæng med konkurrenceevnen.

Virksomhederne har en central rolle i innovationssystemet, ikke blot fordi de står for en betydelig del af videnproduktionen i innovationsprocesserne, men fordi det er dem, der omsætter nyskabelserne til værdiskabelse på markedet.

Figur 1. Innovationsprocessens faser

1. Ide-formulering (potentielt marked)	2. Invention (analytisk design, demonstration)	3. Teknologiuudvikling (tidligt stadie med detaljeret design, tests)	4. Produktion (videreudvikling)	5. Markedsføring (værdiskabelse på markedet)
--	--	--	---	--

Kilde: modificeret efter Kline og Rosenberg (1986).

Figur 1 illustrerer de typiske sekvenser i en innovationsproces for den enkelte innovation. Risici og videnbehov varierer i de forskellige faser, men er typisk størst i de tidligste faser.

I ideformuleringsfasen formuleres de indledende mål for igangsættelse af innovationsprocessen baseret på forestillinger om potentielle markedsbehov og teknologisk gennemførlighed. Forskning er en vigtig kilde til nye ideer, men andre videnkilder spiller også en vigtig og stigende rolle for mange virksomheder.

I inventionsfasen indkredses opdagelsen i den første konstruktions skitse. I denne fase er der stor usikkerhed om inventionens mulige effekt og resultat, og der er et stort behov for at beskytte inventionen mod imitation. Også her vil forskning ofte spille en stor rolle.

Den tredje fase, den tidlige teknologiske udvikling, udgør overgangen til praktiske produktionsprocesser. Her udvikles den detaljerede konstruktions-skitse og prototyper. Det er her de kommercielle muligheder begynder at tegne sig, og det er muligt at begynde at tiltrække kapital. Der er stadig et stort videnbehov og ofte betydelige strukturelle mangler på markedet og derved høj usikkerhed.

Den fjerde fase udgøres af den egentlige produktionsfase, hvor produktet specificeres, forfines og introduceres til markedet. Videnbehovet og risiciene er begrænset.

Endelig følger den sidste markedsføringsfase, hvor investorerne kan forvente et udbytte af deres investeringer. En innovation har fundet sted. Også her er videnbehovet og risiciene begrænset.

Figur 1 belyser de meget forskellige vilkår, de forskellige faser i innovationsprocessen repræsenterer, men der er stadig tale om et meget simpelt billede af innovationsprocessen. I modsætning til den traditionelle lineære model, der ser innovations processen som en-strengt og udelukkende udsprunget af forskning, lægges der i NIS perspektivet vægt på *videngenerering som en interaktiv proces mellem mange aktører*. Der er feedbacks mellem hvert stadie og sekvenserne kan overlape. NIS forskningen understreger netop, hvordan *organiseringen af videnproduktionen i disse år undergår forandringer i videnøkonomien*. Den stigende innovationshastighed betyder, at innovationsprocessen bliver stadig mere kompleks. I forsøget på at nå først til markedet med de nye produkter sker der i højere grad brug af flere samtidige videnkilder og parallelløb i innovationsprocessens sekvenser (OECD 2000).

Grundlæggende antages innovationsprocessen at være styret af fire overordnede parametre: (fx Nelson og Winther, 1982, Pawitt, 1984)

1. adgang til viden
2. adgang til kapital
3. markedsforholdene og
4. tilegnelsesforholdene

Adgang til viden dækker over tilstedeværelsen af eksisterende teknologier og kilder til viden, som den teknologiske udvikling kan tage afsæt i. Adgangen til kapital bestemmes både af karakteren af de finansielle markeder og tildelingen af offentlige forskningsmidler. Markedsforholdene kan dække over en række markedsparametre, men indebærer som minimum pris og volumen og varens kvalitet, brand og tekniske ydeevne. De vigtige tilegnelsesforhold ("appropriering") dækker over mulighederne for at tilegne sig indtjening fra egne innovationer. Det gælder først og fremmest mulighederne for at beskytte eller hemmeligholde viden, fx via patentering og licenser. Det er afgørende for motivationen for at investere i videnproduktion, at videnproducenterne har mulighed for at beskytte deres viden. Oppebæringen af et teknologisk forspring ("lead time") og forskellige markedsføringstiltag er andre centrale muligheder for at profitere fra innovation.

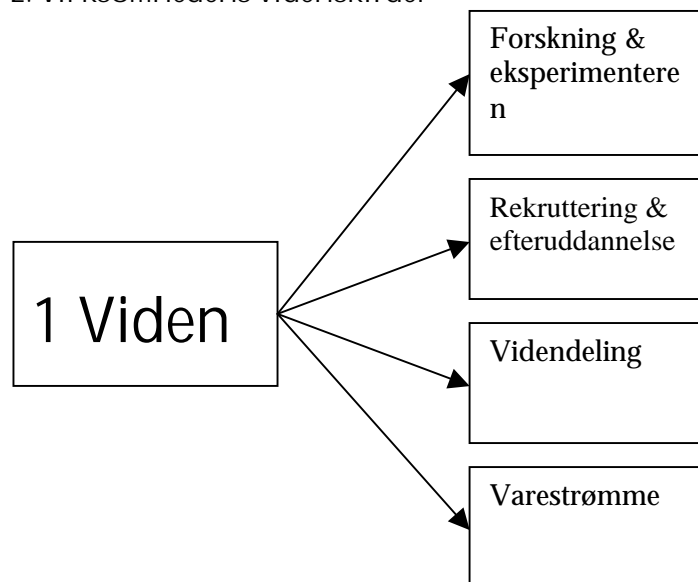
3.2.1 Innovationsprocessens videnkilder

I dette afsnit vil der blive set nærmere på, hvordan viden genereres, lagres og spredes i innovationssystemet. Viden er ikke nogen normal vare. Der gør sig nogle særlige forhold gældende vedrørende muligheden for at overføre viden over tid, steder og mellem mennesker.

En central grundantagelse i NIS perspektivet er, at tilegnelsen af viden antages at foregå som en kumulativ eller *sporafhængig* læringsproces. Ny viden skabes med udgangspunkt i aktørens (fx virksomhedens, ingeniørens eller forskerens) hidtidige erfaringer, forståelser og teorier, som er indlagret i aktørens videnbase og i de daglige rutiner.

Set fra virksomhedens vinkel er der 4 centrale kilder til viden. Alle har de stor betydning for teknologiudviklingen. Disse kilder er med til at illustrere, hvordan viden kommer rundt i innovationssystemet.

Figur 2. Virksomhedens videnkilder



Ad.1 Investeringer i *forskning* er en central kilde for den målbevidste skabelse af ny viden. Men også den mere uformelle *eksperimenteren* i de mindre højt teknologiske virksomheder er vigtig.

Ad.2 Indirekte drager virksomhederne nytte af den offentlige forskning og uddannelse via *rekrutteringen* af kompetente medarbejdere eller højtuddannede eksperter. Herudover er der stor opmærksomhed på kompetenceudvikling af medarbejderne i moderne ledelsesteori og i opbygningen af ”lærende organisationer” med fokus på kreativitet og høj intern videndeling. Adgang til videnarbejdere med de rigtige kompetencer er blevet den vigtigste knappe ressource i videnøkonomien.

Ad.3 Den eksterne *videndeling* har stor vægt i NIS teorien. Begrebet ”interaktiv læring” (Lundvall, 1988, 1992) er centralt og knytter sig først og fremmest til den hyppige videnudveksling og teknologiske afhængighed som eksisterer mellem virksomhederne (producenter og brugere) i

produktudviklingen, som anses for at udgøre den mest fundamentale drivkraft for innovationsprocessen.

Ad.4 Herudover er der de mere diffuse og indirekte kilder til videnopbygning. En vigtig kilde her er når *viden indarbejdes i varer* og spredes igennem samhandelen. Det kræver kompetencer at afkode og imitere denne viden, og ofte kan det kun delvist lade sig gøre, selv hvor varen ikke er patenteret.

IT og anden kommunikationsteknologi har en vigtig rolle som vidensspreader for virksomhederne såvel som for samfundet generelt, men kun af nogen former for viden. Det gælder den formelle ("kodificerede") viden, som er nem at kommunikere, og som ikke mindst via Internettet i dag spredes lynhurtigt globalt. Det kræver dog kompetencer at bearbejde og anvende den indkommende information, så den kan blive til viden.

Megen viden er indlejret i personer og rutiner og er "tavs". En del viden er så tavs, at den kun bliver overført via personer, der flytter arbejdsplads. Opmærksomheden på betydningen af denne tavse viden og derved investeringer i de menneskelige ressourcer via uddannelse og efteruddannelse er stigende.

Viden kan ikke prissættes på normal vis, for man ved aldrig, hvad viden er værd, før man har den. Det gælder i endnu højere grad for den tavse viden. Det betyder, at viden ofte udveksles snarere end den handles. En sådan udveksling forudsætter en vis fælles faglig og kulturel forståelse og tillid mellem parterne. Varige samarbejdsrelationer og forskellige former for netværk er her vigtige.

NIS tilgangen understreger med sin brede tilgang til videnprocesserne, at både de formelle og uformelle videnprocesser er vigtige. Begrebet "technological communities" inddrages til tider, som belyser, hvordan videnudveksling mellem aktører indenfor samme faggruppe via forskellige faglige netværk fører til fælles teknologiforståelser og søgeprocesser, som ofte er meget vigtige og styrende for innovationsprocessen.

Viden tiltrækker viden. Det er nødvendigt at have attraktiv viden for at tiltrække ny viden. Der skal stærke videnmiljøer til at tiltrække de bedste videnpersoner og investeringer. For at viden skal styrke konkurrenceevnen skal der være tale om unik viden, som vanskeligt imiteres. Videnproducenterne har derfor et samtidigt behov for at udveksle, men også beskytte deres viden. En håndtering af denne balance er central for konkurrenceevnen.

Disse forhold er med til at forklare, hvorfor den lokale videnproduktion stadig er vigtig i en stadig mere global og digital økonomi. Både i form af nationale innovationssystemer med ret høj selvforsyningsgrad af viden og i form af regionale kompetenceklynger baseret på høj videndeling mellem de regionale parter.

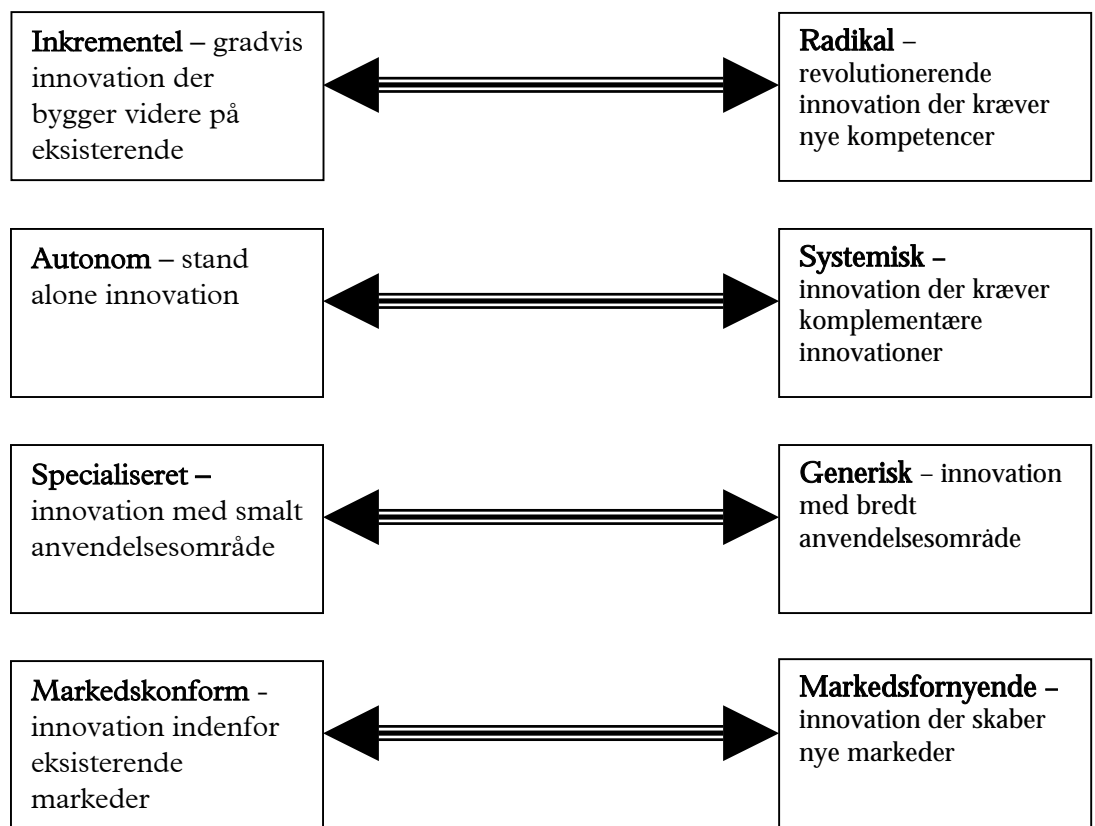
3.2.2 Forskellige former for innovation

Innovation indebærer mange ting. Det er derfor vigtigt at operere med forskellige former for innovation, som dette afsnit skal belyse nærmere.

Innovationer indebærer forskellige fornyelsesgrader både i kompetencemæssig og markedsmæssig forstand. Og de kan berøre større eller mindre dele af markedet, forhold som er afgørende for de omstillingsomkostninger og den markedseffekt, der er forbundet med innovationen.

I Figur 3 er de vigtigste innovationskriterier søgt samlet, der belyser disse forhold. For hvert kriterie-par er der tale om et kontinuum mellem værdierne snarere end et enten eller.

Figur 3 Centrale innovationsparametre



3.2.2.1 Grad af radikalitet

Innovationprocessernes sporafhængighed gør at langt de fleste innovationer er *inkrementelle*. Det er gradvise, mindre tilpasninger af produkter eller design mv. , der baserer sig på eksisterende kompetencer, teknologier og arbejdsrutiner. Det er her innovationen foregår nemmest og billigst. Det er innovatørernes bagvedliggende teorier om, hvordan et problem skal løses, der styrer opmærksomheden og søgerutinerne, hvilket begrænser nyskabelsen.

De *radikale* innovationer bryder helt eller delvist med de hidtidige kompetencer.

Der er tale om en ”teknologisk diskontinuitet” (brud eller revolution), der både kræver nyinvesteringer og en ”kreativ ødelæggelse” af eksisterende viden, hvor gammel viden skal glemmes før den nye kan vokse frem. Det radikale i en innovation skal således først og fremmest forstås kognitivt.

De meget radikale innovationer kan indebære et *sporskifte*. Hermed menes, at der udvikles helt nye måder (et nyt paradigme) at løse et givet problem på. F.eks repræsenterer energiforsyning og tilhørende forbrugsteknologier baseret på fossile energikilder ét teknologisk udviklingsspor, mens vedvarende energikilder udgør et andet (grønt alternativt) udviklingsspor.

Der foregår hele tiden en konkurrence mellem konkurrerende spor på markedet, og det er her afgørende for konkurrenceevnen at satse på det spor, som bliver markedsdominerende (”det dominerende design”), eller man risikerer, at ens teknologier og kompetencer bliver overflødige. Nye virksomheder (iværksættere) kan være en vigtig kilde til udviklingen af radikale innovationer eller nye teknologier. De er ofte tvunget til at opdyrke nye markedsnicher, mens eksisterende virksomheder, forskningsinstitutioner og reguleringer mv. ofte virker bevarende og forsvarende af eksisterende teknologier og praksisformer.

3.2.2.2 Grad af systemiskhed

Innovationer stiller i forskellig grad fornyelseskrav til omgivelserne, hvilket i høj grad påvirker innovationens udbredelse. De *systemiske* innovationer kræver i forskelligt omfang modificeringer i innovatør- og brugermiljøet. Dvs. innovationens succes afhænger af komplementære innovationer i andre led i værdikæden, muligvis i større infrastrukturelle omstillinger eller i forbrugs/dagliglivsmønstrene. Hvor og hvor store de komplementære innovationer er, betyder meget for omstillingsomkostningerne knyttet til innovationen. De *autonome* innovationer derimod påvirker kun ét led, f.eks. selve produktionsleddet.

Der er en tæt sammenhæng mellem radikale og systemiske innovationer, men den er ikke entydig. Bl.a. betyder innovationens generiskhed også meget for, hvor systemisk en innovation er, jf. nedenfor. Et sporskifte, der slår igennem, vil dog altid kræve større systemiske omstillinger.

3.2.2.3 Grad af generiskhed

Innovationer kan have brede eller smalle anvendelsesområder, hvilket er vigtigt for markedsmulighederne. Nogle teknologier har så brede anvendelsesområder, at de ligefrem betegnes *generiske* teknologier. Det gælder fx p.t. IT, biotek og nanoteknologien. De føder ind til en lang række andre teknologier, og ændringer heri får oftest meget store effekter (teknologiske revolutioner) for teknologi- og samfundsudviklingen. Andre teknologier er meget *specialiserede* og anvendes kun af få kundesegmenter.

3.2.2.4 Grad af markedsfornyelse

Innovationens nyhedsværdi i forhold til markedet dækker over, i hvilket omfang innovationen betjener velkendte eller nye behovsområder og kundesegmenter. En *markedsfornyende* innovation vil være i stand til at opdyrke nye markeder. De *markedskonforme* innovationer derimod må enten udvide det eksisterende marked eller gennemtrænge markedet ved at udkonkurrere eksisterende produkter.

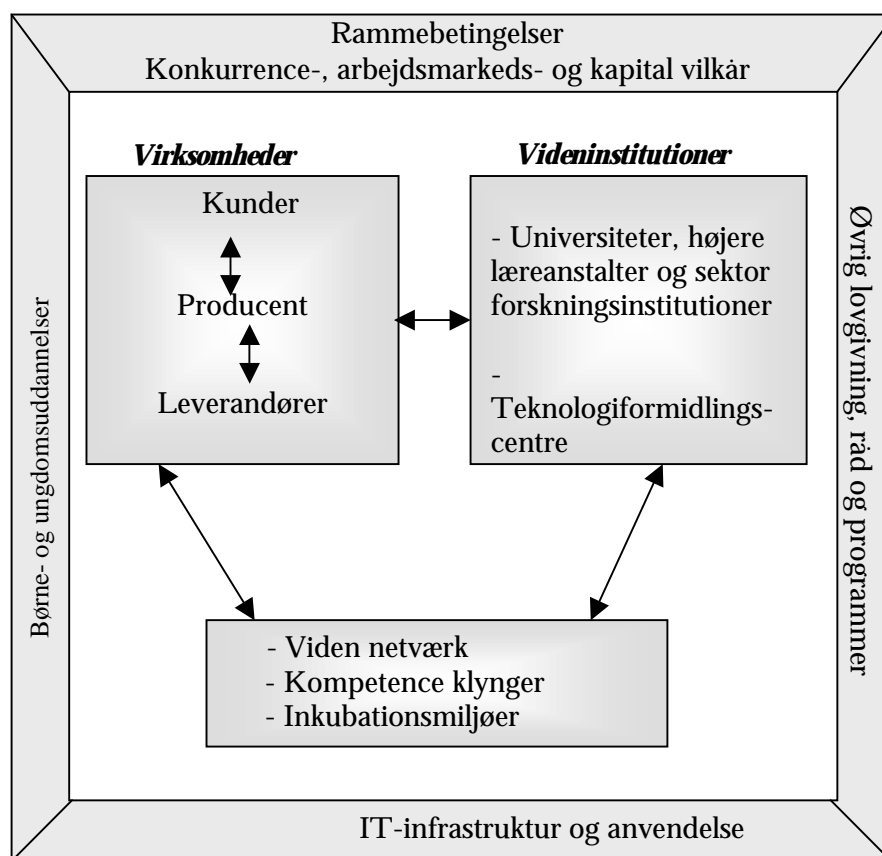
De radikale innovationer indebærer altid en stor nyhedsværdi for markedet. I modsætning hertil har de inkrementelle innovationer oftest en relativ lille nyhedsværdi for markedet. Men der er stigende opmærksomhed på, at der findes innovationer, som kompetencemæssigt ikke er særligt nyskabende, men som alligevel er i stand til at skabe helt nye markeder. Der er her oftest tale om en redefinering af et produkt ved et nyskabende design eller brand. Et eksempel herpå er udviklingen af Swatch uret som prisbillig modegenstand. Det har ikke været nogen teknologisk krævende innovation, men den har udviklet helt nye kundesegmenter og haft meget stor kommerciel succes.

4 NIS analyserammen og dens centrale elementer

NIS begrebet bredde betyder, at der ikke findes én entydig NIS model. Konkrete NIS analyser varierer en del i deres karakter, afhængigt af formålet og den valgte metode.

Gennemgående for NIS analyser er på den ene side forsøget på at identificere de centrale videnproducenter og mønstrene i deres samspil, på den anden side de vigtigste rammebetingelser for innovationsprocessen. Figur 4 illustrerer kerneelementerne i NIS analyserammen.

Figur 4. Det nationale innovationssystem



I centrum er de centrale videnproducenter, virksomhederne og videninstitutionerne samt de vidennetværk, kompetenceklynger og inkubationsmiljøer for iværksættere, der udgør vigtige samarbejdsfora mellem disse to grupper. Pilene angiver et aktivt samspil mellem aktørerne i videnproduktionen.

Empiriske NIS analyser belyser de specifikke mønstre i videnproduktionen såsom erhvervsstrukturens betydning for videnproduktionen, bl.a. mht. videnintensitet (fordeling på høj- mellem og lav-teknologiske virksomheder),

specialisering og størrelse (tilstedeværelsen af forskningstunge multinationale selskaber versus SMEer). Om innovation sker indenfor eksisterende virksomheder eller udspringer af nye. Og omfanget og betydningen af videndeling mellem virksomhederne. Nyere innovationssystem forskning trækker i høj grad på analyser af industrielle klynger og netværks- og videndelingsstudier (OECD 2001a, 2001b).

Omfanget af og strukturen i den offentlige forskning og uddannelse analyseres, både forsknings- og mere anvendelsesorienterede. Samspillet og den relative fordeling mellem den offentlige og private forskning og udvikling analyseres. Endelig kan tilstedeværelsen af vigtige vidennetværk eller fora indgå i analysen.

Omkransende de centrale videnproducenter er de socio-kulturelle og institutionelle forhold, der skaber rammerne for individers, virksomheders og videninstitutioners incitamenter for at innovere. De vigtige formelle rammebetingelser identificeres, love, råd, programmer og konkrete virkemidler. Arbejdsmarkedsvilkår (af betydning for den enkeltes kompetenceudvikling og mobilitet) og investeringsvilkår belyses ligesom det grundlæggende uddannelsesniveau og de bagvedliggende makroøkonomiske vilkår (konkurrence-, skatte- og handelspolitik mv.). Udbredelsen af IT-infrastrukturen kan indgå. Også mere uformelle forhold som karakteren af konkurrencen og virksomhedsrelationerne kan belyses.

En NIS analyse skal nå frem til de distinkte karakteristika, der kendetegner videnproduktionen i det enkelte land og som bestemmer landets innovative kapacitet. Empiriske NIS landestudier viser endog meget store forskellige i landenes innovationsmønstre (Nelson, 1993, Anderson et al. 1998, Europæiske Kommission 2003).

Danmark er f.eks. kendetegnet ved at være en lille mellem- til lavteknologisk økonomi, hvor multinationale selskaber spiller en lille rolle. Virksomhederne er de vigtigste videnproducenter og udgør 2/3 af forskning og udvikling i Danmark. Både videninstitutioner og virksomheder er relativt små. Til trods for, eller måske pga., de mange SMEer er den danske innovationskapacitet imidlertid endnu ganske godt med. Vigtige forklaringer synes her ikke mindst at være en veludviklet videndeling og samarbejde mellem virksomhederne, en god evne til at absorbere og videreudvikle andres innovationer samt en høj social sammenhængskraft og deraf stor samfundsmæssig stabilitet (Regeringens vidensstrategi, 2003).

I praksis er mange NIS analyser mere begrænsede og inddrager kun dele af de her nævnte elementer. Ofte indgår kun statiske, overordnede beskrivelser af innovationskarakteristika (R&D statistik, opremsning af videninstitutioner) kombineret med udvalgte centrale policy initiativer.

Der mangler her en egentlig analyse af kerneaktørerne og deres interaktion i videnproduktionen, ofte ikke mindst af virksomhederne og markedskræfterne. Årsagen hertil er ofte en manglende indsigt i de grundantagelser, som NIS perspektivet bygger på. Herved forbigår analyserne noget helt centralt i NIS perspektivet: Fokuseringen på det samspil, match og mismatch mellem de enkelte delelementer i innovationssystemet, som i høj grad betinger hvor

velfungerende systemet er som helhed. NIS perspektivet styrke er netop orienteringen mod de både direkte og indirekte måder, som viden kommer rundt i innovationssystemet på. Herved bliver det muligt at udvikle strategier for at opbygge effektive måder at organisere videnproduktionen på på tværs af de mange aktører og institutioner, der indgår i innovationsprocesserne.

5 Miljøteknologi

Endnu ved vi meget lidt begrebsmæssigt og empirisk om miljøteknologiske innovationssystemer. NIS litteraturen, såvel som innovationsforskningen mere generelt, indeholder endnu ikke nærmere analyser af, hvordan integration af miljø i innovationssystemerne kan tænkes. Hvis vi ved hvad et innovationssystem er, og hvad miljøteknologi er, ved vi hvad et miljøteknologisk innovationssystem er. Dette afsnit opstiller en NIS inspireret klassificering af miljøteknologier og diskuterer kort, hvad der er det særlige ved miljøinnovation. Det gøres nedenfor, idet der også inddrages viden og begreber fra studierne af sammenhænge mellem miljø og teknologiudvikling, som er et omfattende forskningsområde. Hermed bliver det muligt nærmere at afgrænse og forstå, hvad et miljøteknologisk innovationssystem indebærer. Afsnittet underbygges med eksempler på miljøinnovationer. I det efterfølgende afsnit 6 samles disse betragtninger i en overordnet diskussion af det miljøteknologiske innovationssystem.

5.1 Anvendte definitioner af miljøteknologi

Der findes mange forskellige måder at inddele miljøteknologi på, med hver deres perspektiver og niveauer. Det er i rammen af dette mindre projekt ikke muligt at diskutere disse nærmere, men i bilag 1 gives der eksempler på forskellige kategoriseringer af miljøteknologi på.

Miljødebatten, og derved også den miljøteknologiske udvikling, har nu stået på i snart 40 år. Alligevel hersker der i dag udbredt forvirring om, hvad der menes med miljøteknologier, og hvad miljøindustrien eller "grønne virksomheder" ("eco-industries") er for noget. Denne usikkerhed afspejler sig i utilstrækkelig kortlægning og statistikker på området, som er dårligt belyst i Danmark såvel som internationalt. (Ecotec, 2002)

Usikkerheden hænger sammen med, at miljøsektoren er under forandring, parallelt med at miljøagendaen har ændret karakter over tid. Miljøvirksomheder har vi traditionelt forbundet med rensnings- og affaldshåndtering. Efterhånden er også renere teknologi kommet til og også enkelte miljøvenlige produkter såsom vindmøller og genbrugspapir. Endelig er der i 1990'erne sket et skred fra de deciderede miljøvirksomheder til fremkomsten af den "grønne virksomhed", der differentierer sig på sin miljøvenlige profil og produkter relativt i forhold til konkurrenterne. Herved har opfattelsen af, hvad renere produkter er for noget også flyttet sig. Miljø er i dag i høj grad noget som i varierende grader er integreret i den almindelige teknologiudvikling.

Miljømæssigt bæredygtig udvikling er når samfundets ressourcetræk og udledninger ikke overstiger naturens langsigtede bæreevne globalt set.¹

Miljøbelastning ses som en funktion af² :

Miljøbelastning = befolkningsvækst x forbrug/person x teknologiudvikling

Nogen særlig entydig forklaring af, hvad der betegnes miljøteknologi, og hvad der ikke gør, savnes. Afgrænsningen er historisk betinget og følger, hvad der i praksis af involverede aktører betegnes som miljøteknologier, f.eks. hvilke industrielle produkter, der af virksomheder forstås som miljørelaterede produkter. Desuden følger afgrænsningen teknologiernes funktion med hensyn til miljø; altså om de på den ene eller anden måde bidrager til mindskelse af miljøbelastninger.

Tidligere miljøteknologistudiers fokusering på rense-/bortskaffelses-teknologier og på renere teknologi er imidlertid blevet kritiseret betydeligt i de senere år og fundet for snæver. Tilgangens begrænsninger består først og fremmest i, at de systemmæssige aspekter overses, idet der er fokus på mikroniveau-forandringer i enkeltteknologier. De bredere innovationsdynamikker og miljøeffektens sammenhæng med systemniveauet er ikke inkluderet.

5.2 Forslag til kategorisering af miljøteknologi

EU kommissionens nye Miljøteknologiske Handlingsplan (ETAP) opererer med en bred definition: Miljøteknologi er en fælles betegnelse for alle teknologier, der bidrager til et bedre miljø (EU Com, 2004). Der defineres herunder to kategorier:

1. Forurenings- og ressourcehåndterings teknologier.
2. Alle teknologier, produkter og services, der er mere miljøvenlige end relevante alternativer.

Sidstnævnte type miljøteknologi er relativ i sin natur. Fordelen herved er, at begrebet indfanger en udviklingstendens, hvor eksisterende teknologier løbende afløses af mere miljøeffektive teknologier. Hvilke konkrete teknologier der opfylder kriteriet er altså tids- og til dels stedspecifikt. En teknologi, der var miljøeffektiv for 5 år siden, behøver ikke være det i dag. Den hastige teknologiudvikling taget i betragtning er et sådant dynamisk begreb på sin plads. Tidligere tiders kategoriske inddeling i bæredygtige og ikke-bæredygtige teknologier bærer præg af en stærk normativ tilgang, som hæmmer en forståelse for de innovationsdynamikker, der er forbundet med den miljøteknologiske udvikling.

Miljøeffektivitet er en ledelsesfilosofi, der udtrykker forbedringer eller forværringer i miljøbelastningen i forhold til en given aktivitet.

¹ Daly, 1996. Det følger af denne definition, at det ikke giver mening at tale om enkelt teknologiers bæredygtighed.

² Foster, 1994.

$$\text{Miljøeffektivitet} = \frac{\text{produkt eller service værdi}}{\text{miljøbelastning}}$$

Miljøbelastning måles her som både ressourceforbrug (source) samt udledninger til luft, jord og vand (sink) per produceret enhed/aktivitet. Her er såvel mængde som toksitet vigtigt (WBCSD, 2000).

Med udgangspunkt i ETAPs udmærkede men noget overordnede definitioner, vil vi foreslå en yderligere uddybning til i alt 4 kategorier af miljøteknologi:

1. Add-on teknologier (forurenings- og ressourcehåndtering)
2. Integrerede teknologier (renere teknologi og renere produkter)
3. Miljøeffektive system teknologier
4. Miljøeffektive organisatoriske system innovationer

Den første kategori er sammenfaldende med ETAP'ens, de øvrige er udtryk for forskellige former for teknologier, der er mere miljøvenlige end relevante alternativer.

Den foreslåede kategorisering er præget af innovationssystem tilgangen. Udgangspunktet er, hvilke innovationsmæssige forhold der er forbundet med miljøteknologierne, dvs. hvilke risici, lærings- og omstillingsomkostninger og markedseffekter, der forventes at være forbundet med innovationerne. I modsætning til mange andre inddelinger der typisk tager udgangspunkt i, hvor miljøforandrende en teknologi er (se bilag 1).

I det følgende vil vi redegøre for, nuancere og eksemplificere den foreslåede kategorisering nærmere. Hver kategori vil blive belyst i forhold til væsentlige innovationsparametre (hvor radikal, systemisk, generisk mv.) , og konsekvenserne heraf vil blive diskuteret.

Der kan i praksis være et vidst overlap mellem klasserne, hvad der hænger sammen med, at flere af teknologierne har indflydelse på hinanden. Det afgørende for klassificeringen er, hvad der er den primære årsag til at innovation må betegnes som en miljøinnovation.

5.2.1 Add-on teknologier (forurenings- og ressourcehåndteringsteknologier)

Den første gruppe, add-on eller forurenings- og ressourcehåndteringsteknologier, er den mest velafgrænsede og veldokumenterede kategori. Der er tale om at levere tekniske løsninger til afhjælpning af miljøproblemerne *uden for* virksomheden/produktionsenheden, når de er opstået. Det er de mange teknologier, der rydder op, renses, fortynder, genbruger, måler og flytter udledninger til luft, jord og vand. Og det er teknologier, der står for udvinding og forsyning af naturressourcer (vand, metaller ect.). Også naturpleje kan indgå her. Disse teknologier udvikles blandt det der traditionelt forstås som "miljøsektoren".

Det er kendetegnende, at der er tale om teknologier, der bidrager til at forbedre andres (kundernes) miljøpræstation. Produktet i sig selv behøver ikke at være produceret miljøvenligt. Teknologierne er temmelig specialiserede,

men en del er mere generiske, der kan anvendes af en bred gruppe af kunder. Denne teknologigruppe har typisk ikke nogen eller en begrænset systemisk effekt på det videre produktionssystem eller samfund, i det teknologierne netop kan tilføjes (add-on) til eksisterende produktions- og forbrugsmåder uden at påvirke disse nævneværdigt. Der er tale om modne teknologier, der har været snart 40 år undervejs, men der foregår også her løbende både inkrementelle og mere radikale innovationer.

Box 1. Case: Anvendelse af avanceret nanoteknologi i katalysatorer

Udvikling af nye katalysatorer og katalytiske processer er vigtige for afhjælpningen af en række miljøproblemer, og verden over foregår der en intensiv forskning og udvikling. At det i dag er muligt at leve i mange tætbefolkede millionbyer, skyldes effektiv brug af katalysatorer i bl.a. biler, kraftværker og raffinaderier. Rent vand, mindskelse af CO₂ udslip, mindskelse af kviksølv- og dioxinforurening vil kræve udvikling af nye, mere effektive katalysatorer baseret på nanoteknologi.

En katalysator består som oftest af nanopartikler på nogle få nanometers størrelse på hvilken de kemiske reaktioner forløber. Partiklernes størrelse er altafgørende, jo mindre de er, jo større relative overflader har de, og jo mere effektive er de. Ved at placere nanopartiklerne på et passende (keramisk) bæremateriale er det muligt at manipulere med de kemiske og fysiske egenskaber. Katalysatorerne gennemgår en løbende forbedring for dels at undgå forurenende biprodukter og dels for at nedsætte energiforbruget. Indtil for få år siden blev udvikling af katalysatorer baseret på intuitive teknikker, men i dag har nye eksperimentelle og teoretiske metoder revolutioneret dette område, og rationel nano-skala design af katalysatorer foregår nu på basis af en atomar forståelse og beskrivelse af de strukturelle og kemiske forhold.

Katalyse er måske den vigtigste kommercielt anvendte nanoteknologi i dag. Katalysatorudvikling foregår især i den etablerede kemiske industri, i Danmark hos Haldor Topsøe A/S, som er blandt verdens førende leverandører af katalysatorer, men også mindre spind-off virksomheder spiller vigtige roller.

Kilde: "Nanomaterialer", Del rapport til VTUs Nano teknologiske fremsyn, 2004.

De mere radikale produktinnovationer blandt add-on teknologier kan betyde komplementære innovationer hos produktionsvirksomheder, så helt autonom behøver denne teknologigruppe ikke at være. NIS perspektivet er m.a.o. med til at fremhæve komplementariteten, snarere end modsætningsforholdet, i udviklingen af add-on og de integrerede teknologier. Teknologiuudviklingen trækker ofte på de samme kompetencer og udspringer til tider fra de samme virksomheder.

5.2.2 Integrerede teknologier (renere teknologier og -produkter)

Integrerede teknologier er integrerede i den forstand at de bidrager til at mindske miljøproblemerne *indenfor* virksomheden. Det er energi- og ressourcebesparende teknologier, genanvendelsesteknologier og teknologier,

der muliggør substitution af toksiske stoffer. Der er tale om innovationer som gør enten produktionsprocessen eller produktet mere miljøskånsom³. Der er primært tale om tekniske innovationer, men organisatoriske innovationer kan også være vigtige, f.eks. ændringer i tilrettelæggelsen af produktionen, indførelse af miljøledelsessystemer, som ofte suppleres med tekniske innovationer, f.eks. udvikling af software værktøjer til miljøledelse.

Med den større udbredelse af miljøvenlig produktion spiller en stadig bredere kreds af produkter ind overfor udviklingen af renere teknologi. Fx kan der være behov for nye typer pumper, rør, kemikalier, test- og monitoreringsudstyr. Disse produkter kan være fremstillet specifikt med henblik på at løse et miljøproblem, men det kan også være, de blot har fundet anvendelse i en miljøsammenhæng. I takt med at miljø bliver stadig mere integreret i produktionen har virksomhederne svært ved at afgrænse mellem miljøteknologi og ikke-miljøteknologi. En stadigt større del af teknologien til integrerede miljøløsninger produceres således udenfor den egentlige miljøsektor. Renere teknologi er imidlertid ikke blot noget virksomhederne indkøber, men noget de i høj grad også selv er med til at udvikle, og som indgår i mange virksomheders løbende bestræbelser på at mindske deres produktionsomkostninger (Erhvervsministeriet, 2000, Kemp, Andersen og Butter, 2004).

Box 2 Case: Lukning af stof – og vandkredsløb i papirindustrien

Papirproduktion hører til blandt de mest miljøbelastende produktioner og har tidligt været genstand for kraftig miljøregulering. De fire danske papirfabrikker er alle noget langt med hensyn til indførelse af integrerede teknologier. En dansk fabrik (en bølgepapproducent) blev i 1980'erne mødt af skrappe krav til spildevandsudledningen. For at møde disse krav skulle fabrikken investere omfattende i både renere og add-on teknologier. I stedet valgte fabrikken at satse på at lukke sit vandsystem fuldkomment, hvilket påbegyndtes i 1986 og fuldførtes i 1991. På det tidspunkt var der kun tre papirfabrikker i verden, der havde lavet en sådan radikal innovation, som indebærer ændringer i hele produktionssystemet på de store papirmaskiner og også influerer på produktets egenskaber. De kemiske forhold i produktionen ændrede sig markant, så nye kemikalier og rørsystemer var nødvendige. Mange procesinnovationer skulle foretages, nye doseringsmetoder, ændrede vandkredsløb mv., hertil kom indførelsen af et nyt internt lille rensesystem.

Fabrikken har ikke selv nogen egentlig forskningsafdeling. Udviklingen af denne innovation er overvejende sket via fabrikkens egen eksperimenteren i et tæt samarbejde med deres to kerne kemikalieleverandører, som begge er store multinationale selskaber med betydelig forskningskapacitet og testfaciliteter. Et leverandørskift var nødvendigt for at få adgang til en bestemt teknologi. Også deres udstyrsleverandører og et par førende konkurrenter har spillet vigtige, men mindre roller.

³ Se Malaman (1996) for en nærmere redegørelse.

Den innovationsmæssige bedrift skal ses i lyset af, at de fleste innovationer er foregået mens papirmaskinerne er fortsat med at producere 24 timer i døgnet. Fabrikken er i dag kendt for at være blandt de teknologisk førende på verdensplan, bl.a. pga. denne innovation, som der konstant arbejdes på at forbedre. Såvel fabrikken som leverandørerne ser en stor interesse i at samarbejde for at oparbejde de kompetencer, som er et helt nødvendigt grundlag for deres konkurrenceevne, og hvor miljøkompetencer i øvrigt bliver stadig vigtigere. Samarbejdet er baseret på en hårfin balance mellem hvilken viden der gives videre, og hvad der beskyttes, og forudsætter tætte relationer og stor gensidig tillid.

Box 2 fortsat: En anden dansk fabrik udviklede i starten af 1990'erne et 100 pct. kvalitets genbrugspapir (kontorpaper), som sit nye kerneprodukt, som skulle markedsføres på miljøparametre. Også her krævedes der omfattende innovationer, da genbrugs- teknologien var mest udviklet indenfor papproduktion. Der blev (og bliver fortsat) arbejdet systematisk med at gøre slutproduktet såvel som produktionsprocessen så miljøvenlig som muligt med erstatning af kemikalier, reducere af materiale og energiforbrug og en delvis lukning af vandkredsløbet. Produktets egenskaber har ændret karakter i et vist omfang, hvilket har givet problemer med kompatibiliteten i videreforarbejdningen (bl.a. trykkermaskiner) såvel som hos slutbrugeren (ved brug i printer- og kopimaskiner mv.). Hver gang der foretages større innovationer i f.eks. trykke- og limtyper, som ender op i papiraffaldet, påvirker det produktionsprocessen på fabrikken, som fortsat må arbejde med at optimere sin teknologiudvikling. Innovationen er særligt foregået som en kombination af eksperimenteren på fabrikken og udviklingsarbejde i forsknings- og udviklings afdelingen hos moderkoncernen i Sverige. Der er tale om en af verdens største papirkoncerner, som den danske fabrik dengang var en del af (fabrikken er nu selvstændig), og som er omgivet af et meget stærkt videnmiljø med papiruniversiteter mv. i Sverige. Virksomheden satser meget på at beskytte sin viden og er generelt mere selvforsynende i sin videnproduktion, men har også løbende dialog med sine leverandører om det fortsatte arbejde med at optimere produktionen. De to fabrikker udviser således to meget forskellige innovationsstrategier, som hver synes at være konkurrencedygtige og have ført til interessante miljøinnovationer.

Kilde: Andersen (1999, 2001)

Der kan innovationsmæssigt være en vigtig forskel på udviklingen af renere teknologi og renere produkter. Sidstnævnte foregår i de midterste faser i innovationsprocessen (fase 3 teknologiudvikling og fase 4 produktion), hvor der overvejende foregår inkrementelle innovationer, der optimerer eller justerer produktionsprocessen. Langt de fleste miljøinnovationer er sådanne inkrementelle ændringer, men ikke desto mindre kan disse have endog meget stor miljøforbedrende effekt. Renere teknologi spredes kun langsomt og det miljømæssige potentiale herfra er langt fra udtømt, heller ikke i et miljømæssigt avanceret land som Danmark, selvom potentialet er større i de mindre udviklede økonomier (Erhvervsministeriet 2000a, Ecotec, 2002).

Renere produkter udvikles på to måder. Enten er det som konsekvens af en virksomheds målbevidste arbejde med egentlig grønt design og produkt eller koncept udvikling, dvs. der sættes ind allerede i fase 1 idegenerering og fase 2 udvikling af det analytiske design. Eller det er resultatet af mere radikale innovationer i produktionsprocessen, som også betyder et mere miljøvenligt

produkt f.eks. hvis der er foretaget en substitution af miljøskadelige stoffer. Fx kan papir, der produceres mere miljøvenligt via renere teknologi opnå miljømærker og markedsføres som miljøvenlige produkter, uden at virksomheden har søgt specifikt at designe et miljøvenligt produkt. For mange virksomheder er der overlap eller tæt sammenhæng mellem det at forbedre produktionsprocessen og det at forbedre produktet. Det gør det svært at skelne mellem proces- og produktinnovationer, og derfor foreslås de betragtet som én gruppe i denne kategorisering.

De mere radikale produktinnovationer, hvor der sker en redefinering af det analytiske design i forskelligt omfang, forudsætter en indsats allerede i ide- og inventionsfasen, (jf også næste gruppe, de miljøeffektive systemteknologier). I de senere år er livscyklusperspektivet vundet frem, hvor virksomhedens miljøeffektivitet ikke længere blot ligger i produktionsprocessen, men i produktet set i dets fulde livscyklus. Det sætter øget fokus på den grønne produktudvikling og de mere systemiske effekter af innovationen, ikke mindst mellem virksomhederne i varekæden. Både leverandørernes og erhvervskundernes miljøpræstation influerer på virksomhedens egen miljøprofil.

En vigtig gruppe af teknologier for renere teknologiudviklingen er de generiske teknologier som nano, biotek og IKT. Der er store forventninger til, at disse teknologier kan føre til omfattende og revolutionerende miljøinnovationer, men der rejser sig også usikkerhed omkring mulige miljörisici forbundet med dem. Endnu er viden på dette område begrænset (Kemp, Andersen og Butter, 2004).

De integrerede miljøteknologier dækker således over en bred gruppe af teknologier, der er mere miljøvenlige end lignende tilsvarende teknologier. De er oftest inkrementelle, men kan være mere radikale. De kan have fra begrænset til ganske stor systemisk effekt, dog sjældent ud i infrastruktur- og livsstils ændringer, jf figur 5 nedenfor. De mere radikale produktinnovationer kan være markedsfornyende ved at udvikle nye grønne kundebehov, hvor der efterspørges ”grønne/etiske” produkter som en selvstændig salgsparameter .

5.2.3 Miljøeffektive systemteknologier

De miljøeffektive systemteknologier er produkter, der leverer helt nye (alternative) miljøvenlige løsninger i forhold til en eksisterende måde at levere en teknisk løsning på. Der er tale om udviklingen af et helt andet idegrundlag og analytisk design (et nyt ”teknologisk spor” baseret på et nyt paradigme), som er baseret på helt nye forståelser, teorier, kompetencer og teknikker.

Eksempler på disse radikale grønne innovationer er vindmøller og anden vedvarende energimateriel (i modsætning til energifremstilling baseret på fossile energikilder) og elbiler (i modsætning til producenter af biler baseret på forbrændingsmotorer)

De adskiller sig væsentligt fra de mere radikale grønne produkter fra gruppe 3. De baserer ikke deres miljøvenlighed på at gøre et produkt renere, men på udviklingen af et helt anderledes analytisk design. Selve produktionsmåden behøver derimod ikke at være miljøvenlig. Faktisk har der indtil for nylig været

meget lidt opmærksomhed på, hvorvidt disse produkter, f.eks. vindmøller, overhovedet blev produceret miljøvenligt.

Det er primært i deres brug disse produkter er mere miljøvenlige qua deres anderledes produktionskoncept end alternative produkter, der kan opfylde samme funktion, f.eks. levere energi. Der er netop tale om "alternative" og ikke "lignende" produkter som i gruppe 3, for disse produkter ligner ikke hinanden udviklingsmæssigt og bygger på forskellige teorier og kompetencer.

De miljøeffektive systemteknologier er per definition meget radikale og udtryk for en kognitiv og teknologisk diskontinuitet. Disse teknologier er alle meget systemiske. De kræver betydelige komplementære innovationer i de andre led i værdikæden og nogle helt ud i den tekniske infrastruktur og privatsfæren. De er stærkt markedsfornyende og fordrer typisk en ændring af forbrugsmønstre. Omstillingsomkostningerne er meget store og tidsperspektivet typisk meget langt, i det radikale systemforandringer kan være meget længe om at slå igennem. Også for disse teknologier gælder, at den hurtige teknologiudvikling betyder, at de ikke nødvendigvis vil vedblive at være mere miljøvenlige end alternative fremkommende teknologispor.

Iværksættere og andre mindre virksomheder spiller som nævnt en vigtig rolle for udviklingen af sådanne nye teknologispor i deres forsøg på at udvikle nye markedsnicher, mens de eksisterende virksomheder og forskere mv. ofte forsvarer de etablerede teknologier. Men også de store virksomheder kan i kraft af deres betydelige forskningsindsats være vigtige både som igangsættere eller ikke mindst videreudviklere (fase 3 i innovationsprocessen med opskalering til egentlig industriel produktion) af nye teknologispor. F.eks. ser man nu den etablerede bilindustri som en vigtig drivkraft i udviklingen af brintbilen og andre elbiler.

Box 3 Case: Vindmøller

Vindmølleteknologien og de seneste 20-30 års udviklingen på vindmølleområdet kan i vid udstrækning ses som et eksempel på sjældnen succesrig miljøeffektiv systemteknologi. Vindmølleindustrien er i dag en af Danmarks væsentlige eksportsektorer, har en markedsandel på omkring 40% af verdensmarkedet og beskæftiger i størrelsesorden 20.000 personer (inkl. underleverandører). I 2003 stod vindenergien for 16% af det danske el-forbrug. Miljø- og klimaproblemer og visionen om med vindmøller at skabe mindre miljøbelastende energisystemer, har været en central drivkraft for dette områdes udvikling.

Vindmølleteknologiens fremvækst kan ikke siges at starte med en grundlæggende ny og stærk idé; idégrundlaget var gammelt og velkendt. Men i forhold til de i 1970'erne og 1980'erne fremherskende energisystemer og -teknologier var vindmøllevisionerne og vindmølleteknologien radikalt nye og anderledes. Viden- og teknologiudviklingen knyttet til de eksisterende energisystemer drejede sig primært om olie-, kul- og gasteknologi, kombinerede el- og varmesystemer og om en infrastruktur byggende på effektive centrale kraftværker. Bl.a. integration af strøm fra vindmøller i elektricitetssystemerne var (og er) kompliceret og krævede nye teknikker og forståelser af systemet. Innovations-aktørerne på vindmølleområdet var omkring 1980 i højere grad end de eksisterende energivirksomheder en række interesserede borgergrupper, foreninger og små metalindustri virksomheder. Aktiviteterne var i første omgang decideret eksperimenter og ikke økonomisk rentable på de eksisterende markedsvilkår.

Box 4 fortsat: En lang række viden- og teknologiområder er blevet udviklet efterhånden og komplementerer hinanden i vindmølleteknologien f.eks. vingeaerodynamik/-design, stærkstrøms system-elektronik, off-shore konstruktioner, og vindsimuleringsmodeller (vind-udsigter). Det stærke danske kompetencekluster om vindmøller tiltrækker andre landes industrier. F.eks. har en stor spansk vindmølleproducent for nylig oprettet udviklingsafdeling i Jylland.

En væsentlig faktor for den markante udvikling af vindmølleteknologien i Danmark er de reguleringsmæssige rammer. Rammerne er på strategisk vis bragt til at spille sammen med, og integreret i, de markedsmæssige forhold. Løbende er de blevet tilpasset det aktuelle stade i systemets teknologiske udvikling og institutionalisering. Der har ikke mindst været fokus på markeds- og konkurrenceprægede virkemidler og den økonomiske effektivitet. Synergieffekterne på vindmølleområdet er desuden blevet fremmet af det tætte samspil mellem private og offentlige innovations- og videnprocesser bl.a. via forskningsindsats samt via institutionalisering af test- og certificeringssystemer. Også de bredere kulturelle uddannelses- og videntraditioner har spillet en vigtig rolle. Udviklingen af vindmølleteknologien er forbundet med højskole og andelstraditioner (bl.a. vind- og brintsystem omkring Poul la Cour og Askov Højskole i 1800-tallet, Tvindmøllen i 1970erne, ejerlaug osv.) og præget af en eksperimenterende og inkrementelt orienteret tilgang til innovation (i forhold til f.eks. en big science tilgang i USA). Analytikere har udpeget dette til en af grundene til den relativt stærke position af den danske vindmølleindustri.

Kategoriseringen af vindmølleteknologien som et miljøeffektivt systemteknologi betyder ikke, at der ikke kan være miljøproblemer knyttet til vindmøller. F.eks. er vindmøllernes optagelse af plads og landskabelige indflydelse, blevet set som et miljøproblem. Dette er bl.a. søgt løst ved i stigende grad at placere nye møller til havs (add-on og end-of-pipe karakter).

Kilder: Vindmølleindustrien (www.windpower.dk), Hemmelskamp et.al. 2000, Eikeland et.al. 1999, Karnøe & Jørgensen 1995.

5.2.4 Miljøeffektive organisatoriske systemløsninger

De miljøeffektive organisatoriske systemløsninger indebærer nye koncepter for en mere miljøeffektiv organisering af samfundet. Der er tale om nye måder at organisere vores produktion og forbrug på på systemniveau, som indebærer nye funktionelle samspil mellem organisationer (f.eks. mellem virksomheder, familier mv.) med inddragelse af ændringer i den regionale og fysiske planlægning og tekniske infrastruktur i forskellige grader. Begrebet *industriel symbiose* dækker over sådanne organisatoriske innovationer, hvor samlokalisering mellem virksomheder danner grobund for en udvidet genanvendelse af hinandens restsprodukter, som ellers ikke ville være økonomisk. Sådanne ordninger forudsætter at disse virksomheder har komplementære affaldsstoffer eller kan udnytte hinandens overskudsenergi mv. Disse innovationer forudsætter således i høj grad interaktiv læring mellem de involverede enheder.

Begrebet *byøkologi* dækker over nye miljøeffektive måder at indrette byen og regioner på, specielt omkring organiseringen af arbejde og fritid. F.eks. boligområder med mere eller mindre lukkede stof- og energikredsløb (hvoraf nogle er lavteknologiske andre højteknologiske), samlokalisering af arbejde-hjem-børnepasning-fritid, boformer baseret på samforbrug (dele-værksted, dele-vaskeri, dele-køkken mv.) og ”chain mobility” (nye måder at koble forskellige transportformer sammen på). Byøkologien er ikke kun funktionel, men har også et kognitivt sigte. Synliggørelsen af miljøelementer i folks dagligdag skal skabe øget miljøbevidsthed.

Hidtil har byøkologiske initiativer imidlertid i høj grad været fokuseret på at designe enkelte miljøvenlige huse eller få flere planter og mere genbrug i byerne, mere end at fokusere på, hvordan miljøeffektive byer og regioner kan designes, så den almene forståelse af begrebet er ikke særligt dækkende for denne forståelse af organisatoriske system innovationer.

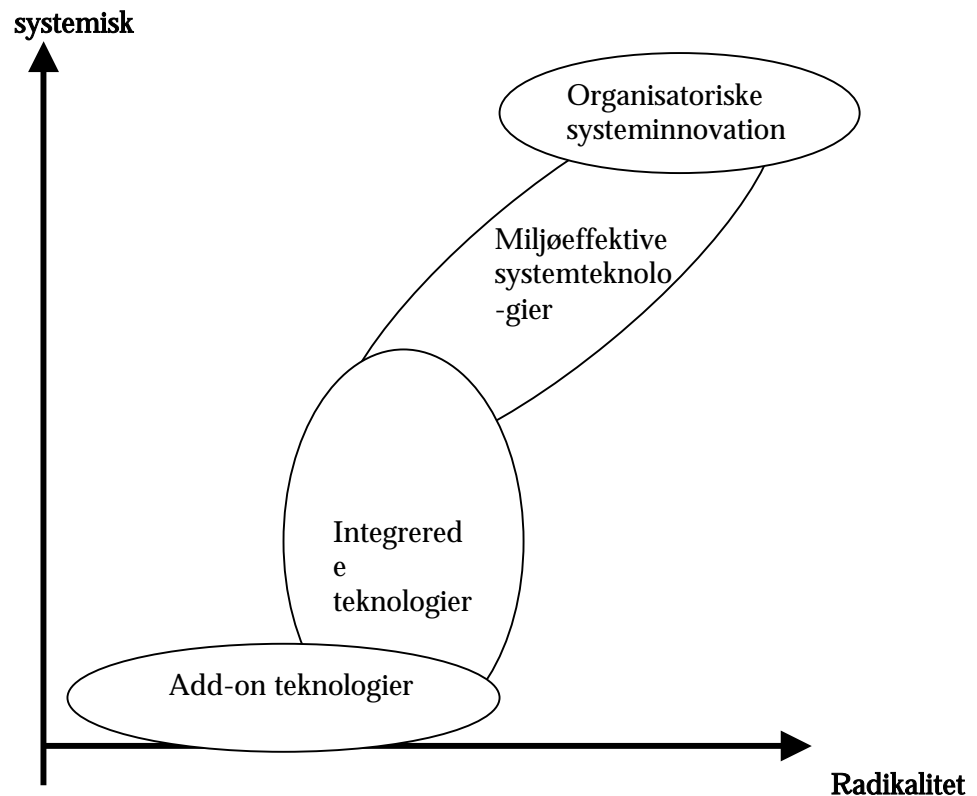
Selve innovationen er i høj grad organisatorisk i form af nye koncepter for, hvordan forskellige aktører, materiale- og energistrømme kan fungerer sammen, men der vil ofte være en relateret teknologiudvikling knyttet hertil. Den store betydning den tekniske infrastruktur og fysiske planlægning har her med dertil knyttede forvaltningsmæssige og lovmæssige praksisser, betyder, at det offentlige, snarere end markedet, er en central spiller for denne type innovation, og at samspillet mellem det offentlige (som skal sætte de strategiske og forvaltningsmæssige rammer) og virksomhederne (som skal udvikle og producere den nødvendige teknologi) er afgørende.

De miljøeffektive organisatoriske system innovationer er konceptuelt meget radikale (indsats i idegenerering og analytisk design faserne) og kan tillige være forbundet med en tilsvarende betydelig radikal teknologisk diskontinuitet. Men ikke altid, mange af de teknologiske innovationer vil være inkrementelle eller vil bygge på eksisterende teknologi og kompetencer, der blot skal bruges eller kombineres på nye måder. De er meget systemiske specielt i forhold til at berøre samfundets tekniske infrastruktur og privatsfæren. Lock-in i eksisterende dyr infrastruktur og planlægnings-, forvaltningsmæssige og juridiske praksisser betyder, at disse innovationsformer ikke er kommet ret langt, selv om ikke mindst de

presserende trafikmæssige problemer betyder øget opmærksomhed på denne type miljøinnovation.

Figur 6 opsummerer de 4 miljøteknologiske kategorier i forhold til de to væsentligste innovationsparametre, hhv. hvor systemiske (hvor stor omstillingsflade) og hvor radikale (hvor stor kompetencefornyelse) innovationerne er udtryk for.

Figur 6 Kategorisering af miljøteknologier



Figuren illustrerer det ganske brede spektrum mht. til radikalitet og systemiskhed, som teknologierne dækker over. Men også at de fire grupper af miljøteknologier adskiller sig markant fra hinanden, hvilket understreger de meget forskellige innovationsvilkår, de er underlagt.

Ny teknologi er et tveægget svær i forbindelse med miljø. På den ene side er teknologiudvikling med til skabelsen af miljøbelastninger og miljørisici. På den anden side kan ny teknologi være med til at løse eksisterende miljøproblemer og forøge miljøeffektiviteten af ydelser og tilfredsstillelse af givne behov. Komplexiteten, flertydigheden og usikkerheden i innovation rækker dog videre end kun til miljødimensionen.

I det efterfølgende afsnit, vil vi se nærmere på de vilkår, der kendetegner det samlede miljøteknologiske innovationssystem.

6 Grønt NIS – Et miljøteknologisk innovationssystem

Et grønt NIS – et miljøteknologisk innovationssystem – skal ikke forstås som et særskilt funktionelt system som sådan. Det skal derimod forstås som de vilkår et givet (nationalt) innovationssystem giver for udviklingen og udbredelsen af miljøteknologier, dvs. for de definerede add-on teknologier, integrerede teknologier, teknologiske system innovationer og organisatoriske systeminnovationer. Udvikles eller absorberes der mange eller innovative miljøteknologier har innovationssystemet en høj grøn innovationskapacitet og omvendt.

Empiriske grønne NIS analyser skal belyse de særlige vilkår og mønstre for miljøinnovation i det givne innovationssystem, hvor langt forskellige innovationssystemer er kommet mht. til miljøinnovation, og hvilke potentialer der er for fremover at udvikle miljøteknologi. Herved bliver det muligt at udvikle strategier for en stærkere grøn innovationskapacitet, herunder hvilke teknologier og kompetencer der skal sættes på i forhold til en international positionering.

Anvendelsen af et miljøteknologisk innovations system perspektiv bør indebære, at man forholder sig til de særlige vilkår som kendetegner miljøinnovation. Fra kategoriseringen af miljøteknologierne ved vi, at miljøinnovation dækker over endog meget forskelligartede innovationer, fra de meget autonome til de meget systemiske, fra de meget inkrementelle til de meget radikale, fra de markedskonforme til de markedsfornyende. Der kan dog samlet set siges at være tre forhold, der kendetegner miljøteknologiske innovationssystemer:

1. Den store masse af miljøinnovationer må betegnes som inkrementelle.
2. De radikale og systemiske elementer spiller ikke desto mindre en fremtrædende rolle for nogle miljøinnovationer.
3. Regulering og andre former for policy har en særlig stor betydning som katalysator for miljøinnovation⁴.

Via empiriske miljøteknologiske NIS analyser kan det vise sig, at der funktionelt set er tale om særlige sammenhængende miljøteknologiske innovationssystemer indenfor en given region. Det kunne være Danmark, Norden, Nordeuropa eller EU, som udviser særlige mønstre og stor sammenhængskraft i forhold til miljøinnovation, og som derved kan betegnes som miljøteknologiske innovationssystemer. Forskellige brancher eller grupper af brancher kan ligeledes udvise fælles innovationsmønstre mht. til miljøinnovation og derved med rette betragtes som et miljøteknologisk innovationssystem.

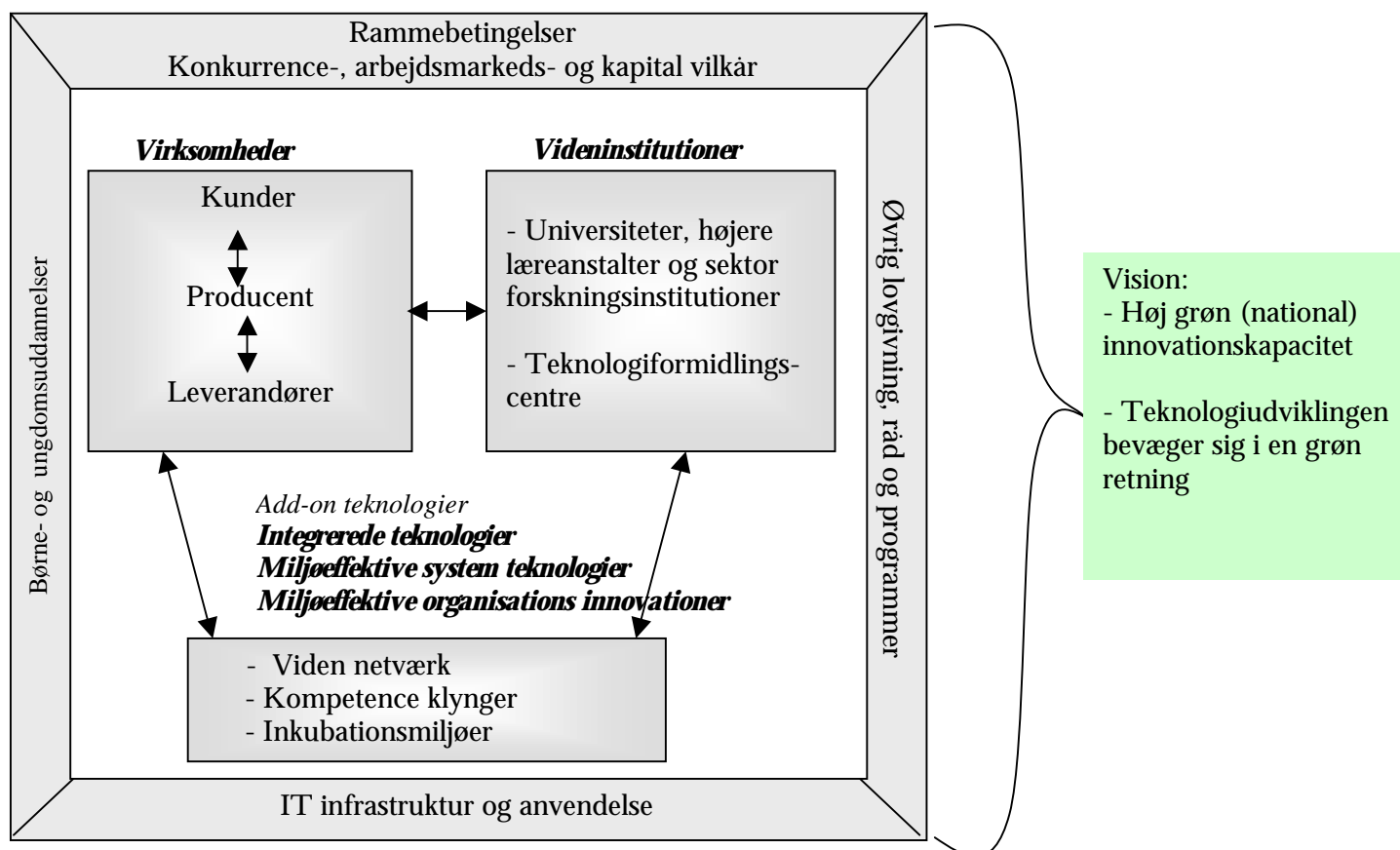
⁴ For en nærmere redegørelse se Andersen, 1999.

Sammenhængskraften vil særligt bestemmes af tilstedeværelsen af lignende policy regimer og udbredelsen af en fælles vidensbase, hvor der via samhandel og samarbejder trækkes på de samme teknologier og kompetencer. Miljøreguleringens store betydning for miljøinnovation må betyde, at forskelle i policy regimer altid vil gøre sig meget gældende i disse analyser. Der er derfor god ræson i at tale om nationale miljøteknologiske innovationssystemer. Internationaliseringen af miljøpolitikken, ikke mindst EUs stigende betydning på miljøområdet, vil dog formodentlig betyde, at vi indenfor en årrække vil tale om et EU miljøteknologisk innovationssystem.

Men samtidig bliver Danmarks og EU's økonomi stadig mere integreret i den globale økonomi, hvor de nye teknologier spredes stadigt hurtigere. Meget tyder på, at der er en sammenhæng mellem en generel høj innovationskapacitet og en høj grøn innovations kapacitet (Erhvervsministeriet 2000). De førende teknologiudviklere handler meget med hinanden og anvender i høj grad den samme teknologi, og de er også godt med mht. den miljøteknologiske udvikling, det gælder f.eks. Nordamerika og Japan. Måske kan et asiatisk og nordamerikansk miljøteknologisk innovationssystem forestilles som en konkurrent til det europæiske. Eller måske bliver billedet af mønstrene og styrkerne i den globale miljøteknologiske innovation væsentligt mere komplicerede.

På grund af manglen på empiriske miljøteknologiske NIS analyser kendes grupperingerne i de miljøteknologiske innovationssystemer imidlertid ikke nærmere. Måske er de forestillinger vi har om, hvem der er førende, og hvilke systemer, der spiller sammen eller ligner hinanden, forkerte. Nedenfor er det miljøteknologiske innovationssystem søgt illustreret. Det er vanskeligt grafisk at illustrere det meget komplekse miljøteknologiske innovationssystem, idet det ideelt set både skal indeholde de særlige miljøelementer og de almindelige innovations betingelser. Vi har valgt her at understrege, at miljøinnovation indgår i det bredere innovationssystem på følgende vis:

Figur 7. Det miljøteknologiske innovationssystem



De fire kategorier af miljøteknologier er indplaceret i det generelle innovationssystem.

En fare ved en miljøteknologisk innovationssystem analyse er, at der kun fokuseres på de rammebetingelser og aktører, som fremmer miljøinnovation. Herved kommer det nemt til at se ud som om, at innovationssystemet er domineret af miljøhensyn og -kompetencer, hvad der jo langt fra er tilfældet. Pointen i innovationssystem perspektivet er netop, at miljøinnovation indgår i de bredere innovationsdynamikker, herunder hvordan samspillet er mellem de rammebetingelser og aktører, der specifikt virker fremmende for miljøinnovation, og de der ikke gør.

6.1 To eksempler på analyser af miljøteknologiske innovationssystemer

Før vi redegør for indholdet i den foreslåede model for det miljøteknologiske innovationssystem, gives her i det følgende en kort gives beskrivelse af to metodisk meget forskellige analyser af miljøteknologiske innovaitonssystemer.

- En international komparativ analyse der inkluderer Danmark.
- En tysk mere dybdegående landeanalyse.

NIS begrebets bredde betyder, at NIS analyser kan gribes forskelligt an, hvilket kan give meget forskellige fremstillinger hvad der forstås ved miljøteknologiske innovationssystemer.

1. *“Stimulating industrial innovation for sustainability: An international Analysis”* (Rand.Europe 2000).)

Rapporten analyserer 9 landes⁵ programmer og initiativer til fremme af innovation og bæredygtig udvikling ud fra et NIS perspektiv. Hensigten er at diskutere, hvorvidt den hollandske regering kan lære af disse tiltag og inkorporere nye elementer i deres programmer.

Analysen kortlægger på den ene side rammebetingelserne og de offentlige hovedaktører, på den anden side produktionen af viden og innovation. Der er overvejende tale om en analyse af miljøpolicy instrumenter, der sættes ind i en større institutionel sammenhæng. Resultaterne præsenteres dels i en hovedrapport, der opsummerer kortlægningen på tværs af landene, dels i landerapporter, der hver beskriver den institutionelle kontekst, en klassificering af forskellige policy instrumenter og en detaljeret beskrivelse af de mest interessante initiativer. Der er forsøg på at karakterisere de forskellige landes policy regimers ”modenhed”, ikke mindst i forhold til omfanget af samspil mellem innovations/teknologipolitikken og miljøpolitikken.

Innovationsaktiviteter og vilkårene for videnproduktion er belyst generelt via R&D statistik uden at belyse omfanget eller karakteren af miljøinnovation. Der er heller ingen kortlægninger af videninstitutioner eller vidennetværk mv.

Den hollandske analyse er et vellavet og udmærket eksempel på en mere overordnet NIS, hvor den stærke policyorientering sker på bekostning af en egentlig analyse af betingelserne og mønstrene for miljøinnovation, ikke mindst erhvervslivets rolle.

2. *”Greening of the Innovation System? Opportunities and Obstacles for a Path Change towards Sustainability: The Case of Germany”* (Hübner et al. 2000).

I modsætning til ovenstående rapport er denne analyse mere dybdegående og forsøger at kortlægge ”forgrønningen ” af innovationssystemet over tid i et enkelt land (Tyskland).

Udviklingen i centrale miljøindikatorer (energi- og materialeproduktivitet, svovlemissioner, statslige R&D udgifter og miljøinvesteringer), analyseres og perspektiveres med en kort analyse af det tyske innovationssystem struktur og aktører. Der suppleres med et case studie af miljøinnovation i bilindustrien. Artiklen diskuterer også de betydelige metodiske og datamæssige problemer der er forbundet med at måle miljøinnovation. Der er her tale om en mere fuldstændig men kortfattet NIS analyse, der har fat i de centrale NIS elementer, men dog ikke bearbejder disse særligt dybdegående.

Begge typer af analyser er spændende, og bør ideelt set kombineres, hvis der er ressourcer til det. Herved bliver det muligt at opnå et klarere billede af de særlige karakteristika, styrker og svagheder der kendetegner det givne (fx danske) miljøteknologiske innovationssystem, som er historisk betingede men i høj grad foregår i en international kontekst.

⁵ Østrig, Belgien, Danmark, Finland, Frankrig, Tyskland, Sverige, Storbritannien og USA.

6.2 Vigtige elementer i en analyse af miljøteknologiske innovationssystemer

På listen nedenfor er angivet en oversigt over, hvad der vil være centrale elementer i en empirisk analyse af miljøteknologiske innovationssystemer:

- Karakteren af miljø policyregimet, specielt med henblik på at vurdere hvor modent et policyparadigme der er tale om (mht. en preventiv og innovationsorienteret tilgang). Karakteren (reaktiv-proaktiv) af miljøstrategier og forståelser hos virksomheder, videninstitutioner, investorer, forbrugere mv.
- Omfanget og karakteren af virksomhedernes miljøinnovation (udvikling og absorbering), kortlægning af virksomhedernes videnskilder, ikke mindst koordinering og udvikling i de industrielle værdikæder. Omfanget af grønne iværksættere.
- Omfanget og karakteren af videninstitutionernes miljøforskning og udvikling, deres videnmiljøer og indbyrdes samarbejder. Samt vigtige kompetenceklynger og vidennetværk mellem virksomheder og videninstitutioner indenfor miljøteknologi.
- Markedsdannelser og anvendelsesmønstre for miljøteknologi, herunder hvor integreret og etableret (kodificeret) miljøkommunikationen er blevet på markedet.
- Miljø i finansierings- og investeringsinstitutionerne og –markeder.
- Omfanget af miljø i børne- og voksenuddannelser og miljøkommunikation via medier og internettet, der bidrager til den almene miljøforståelse og –viden i befolkningen.
- De øvrige rammebetingelser for innovation i øvrigt, samt hvor integreret (formelt og uformelt) miljødimensionen er i disse.

Punkterne svarer i vid udstrækning til relationerne og interaktionsprocesserne mellem elementerne i figur 7, s.27.

Den foreslåede model her er mere omfattende end de to nævnte analyser, men i god overensstemmelse med disse. System tilgangen skal indfange samspillet mellem policy impulser, aktørkonstellationer og innovationsdynamikker. Der er særlig fokus på, *hvordan viden kommer rundt i innovationssystemet*. Dels ved at sætte fokus på de direkte centrale videnproducenter og deres samspil, men også de mange indirekte kilder som den bagvedliggende uddannelse og de erfaringsbaserede forståelser og værdier relateret til miljøinnovation, der er lagret hos de mange forskellige aktører.

Systemperspektivet skal synliggøre de mange konflikter, lock-in og store koordineringsbehov, der er i det miljøteknologiske innovationssystem, som i høj grad er medvirkende til den langsomme udbredelse af selv kommercielle miljøteknologier (Erhvervsministeriet, 2000a). Integreringen af miljøhensyn i forskellige politikområder såvel som på markedet er et større tekno-økonomisk

paradigme skifte, der indebærer en langvarig og konfliktfyldt omstillings- og læringsproces. De forskellige aktører befinder sig på vidt forskellige stadier med hensyn til miljøstrategier, kompetencer og forståelser. Policy udfordringen går derfor i høj grad ud på at få de forskellige aktører og subsystemer i innovationssystemet til samtidigt at trække i samme ”grønne” retning (Andersen, 1999, 2004).

Identificeringen af de fire miljøteknologier er med til at understrege de forskelligartede innovationsprocesser, der skal understøttes. Systemperspektivet kan her sætte fokus på den gensidige afhængighed, der er mellem disse teknologier, et forhold der ofte overses. Udviklingen af integrerede teknologier trækker ofte på de stærke ”add-on” miljøkompetencer, der er tilgængelige i ”miljøsektoren”, herunder blandt den voksende gruppe af miljørådgivere.

NIS analyser skal bidrage til at identificere de innovationsdynamikker og derved de drivkræfter og barrierer, der gør sig gældende for et givent miljøteknologisk innovationssystem på et givet tidspunkt. Visionen for det miljøteknologiske innovationssystem er at opbygge en høj grøn innovationskapacitet for det samlede nationale innovationssystem. Udbredte proaktive miljøstrategier og miljøkompetencer suppleret med stærke videnmiljøer kan danne platform for en fortsat høj grøn innovationskapacitet, som kan føre til udviklingen og anvendelsen af avancerede og konkurrencedygtige miljøteknologier.

I det velfungerende miljøteknologiske innovationssystem er miljø blevet et så integreret element i hele systemet, at teknologiudviklingen generelt bevæger sig i en grøn retning. Givet den stærke internationale sammenhæng i økonomien vil dette dog ikke kunne ske før der er en høj grad af udgligning i miljøstrategier og kompetencer mellem landene. Det er derfor centralt at se det danske miljøteknologiske innovationssystem i en større international sammenhæng, ikke mindst i forhold til vores vigtigste samhandelspartnere, som primært er indenfor EU, selv om udflytning til og samhandel med lavindkomst økonomier i bl.a. Østeuropa og Asien bliver stadig vigtigere. F.eks. må EU's snarlige udvidelse forventes at få stor betydning for den miljøteknologiske udvikling, når så mange østeuropæiske lande med betydeligt mindre udviklede miljøkompetencer skal indpasses i EU's policyregime såvel som i innovationsprocesserne. Asymmetrien i miljøstrategierne og kompetencerne internationalt set gør det sværere at udvikle et stærkt nationalt miljøteknologisk innovationssystem, men betyder på den anden side også, at det er muligt at positionere sig i den internationale konkurrence. NIS perspektivet kan bidrage til strategiske overvejelser omkring prioritering. Stærke miljøkompetencer qua et velfungerende miljøteknologisk innovationssystem kan blive en vigtig konkurrenceparameter fremover, når vi i Danmark skal blive bedre til at konkurrere på andet end prisen.

7 Konklusion – perspektiver og udredningsbehov

Den her foreslåede begrebsrammer for et miljøteknologiske innovationssystem bygger videre på den eksisterende innovationsforskning, men integrerer de særlige forhold, der kendetegner miljøinnovation. Hensigten er at den skal være forståelig og anvendelig både i en innovationspolitisk og miljøpolitisk sammenhæng.

Et NIS perspektiv byder på mange måder på nytænkning i forhold til vanlige måder at tænke miljøproblemer og miljøpolitik på. Det fører for vidt her at komme med policy anbefalinger på basis heraf, men et par indledende betragtninger følger.

Den europæiske kommission indfanger rammende, at NIS perspektivet har betydet et skift i policy rationale i forsknings- og udviklingspolitikken fra ”simply addressing market failures that lead to underinvestment in R&D towards one which focuses on ensuring the agents and links in the innovation system work effectively as a whole, and removing blockages in the innovation system that hinder the effective networking of its components” (EC 2002).

Tilsvarende kan NIS med det stærke systemperspektiv og fokus på de komplekse samspil mellem aktører og rammebetingelser bidrage til nye impulser i miljøpolitikken. En NIS inspireret miljøpolitik skal således sætte ind overfor identificerede koordineringsbehov og flaskehalse i det givne innovationssystem i forhold til miljøinnovation og sigte mod, at de mange forskellige aktører og de forskellige rammebetingelser indbyrdes arbejder effektivt sammen. Udfordringen er at skabe et udviklings- og selektionsmiljø, der vedvarende sikrer en høj grøn innovationskraft.

Det særlige ved NIS tilgangen er derudover at den:

- *sætter fokus på viden og læring som en afgørende parameter.*
Innovationssystem tilgangen er på mange måder en indirekte tilgang til miljøproblemerne. Tilgangen er langsigtet og strategisk og går ’omvejen’ via viden og den tilhørende institutionelle udvikling. Det tager meget lang tid at bygge og ændre viden. Et videnfokus der sigter på at opbygge stærke miljøkompetencer på markedet og i de omgivende videninstitutioner mv. er et brud med det hidtidige miljøpolitiske rationale, som har fokuseret på at opnå umiddelbare miljøeffekter. Opbyggelsen af en høj grøn innovationskapacitet kan på sigt vise sig at være en mere effektiv måde at få mest miljø for pengene på.
- *skaber en kobling mellem miljøinnovation og konkurrenceevne.* NIS tilgangen er i sit sigte baseret på at integrere erhvervmæssige og miljømæssige perspektiver. NIS perspektivet kan ikke mindst bruges til mere strategiske overvejelser omkring langsigtede satsninger og

prioriteringer, der kan styrke den nationale innovationskapacitet og konkurrenceevne på miljøområdet. En NIS politik vil fokusere på de erhvervsmæssige og markedsbetydende videnudviklinger, frem for f.eks. særsomt på akademisk og forskningsmæssig viden. (Ved et styrket miljøteknologisk innovationssystem vil de miljøteknologiske industri- og produktområder få den power og robusthed, der skal til for at sikre en vedvarende og avanceret udvikling. Det vil bidrage til en forbedret eksportposition og beskæftigelse på det miljøteknologiske område.) NIS perspektivet kan herunder belyse de ændrede konkurrencemæssige betingelser i videnøkonomien og de muligheder og udfordringer, det giver for miljøinnovation og for at positionere sig i den internationale konkurrence.

- *vægter den institutionelle side af innovationsprocessen.* Fokuseringen på sammenhængen mellem policy og markedsudvikling er interessant ikke mindst vigtigt fordi (miljø)regulering spiller en så stor rolle for miljøinnovation. NIS tilgangen kan her gå ind og belyse mulige modsætninger mellem forskellige policy områder, der hæmmer miljøinnovation og styrke arbejdet med at integrere miljøpolitik i andre politikområder.
- *sætter fokus på innovationsdynamikker relateret til den miljøteknologiske udvikling.* NIS er decideret orienteret mod vilkårene for den erhvervsmæssige innovation. NIS perspektivet kan sætte fokus på de specifikke innovationsdynamikker som de forskellige miljøteknologier er underlagt og identificere flaskehalsene på markedet eller det videre innovationssystem. Vægtningen af teknologispor og de systemiske aspekter ved innovation betyder, at perspektivet særligt kan bidrage til at bryde lock-in og fremme de vanskelige mere systemiske miljøinnovationer.

Der er dog også en række forbehold og overvejelser, der knytter sig til anvendelsen af NIS perspektivet på miljøområdet. Der er med det stærke fokus på videnopbygning i den industrielle produktion i høj grad tale om en vægtning af den 'technology push' drevne udvikling snarere end 'market pull'. Analyser af forholdene omkring markedsudvikling er ofte fraværende, hvilket er problematisk i forhold til at opnå en forståelse af udviklingen af et "grønt" marked, hvor miljøet indgår som en markedsparameter. I den her forslåede model er markedsudviklingen derfor fremhævet. Omvendt vil en NIS tilgang, der kun fokuserer ensidigt på markedsforhold kunne gå meget galt i byen, idet den vil overse en række væsentlige udviklingsdynamikker indenfor teknologisk innovation og vidensudvikling.

Det danske nationale innovationssystem er internationalt set af de mest effektive og velfungerende, men alligevel er miljøproblemerne ikke løst og miljøet er langt fra en integreret markedsparameter. I dag er der tale om, at enkeltelementer eller brudstykker i innovationssystemet arbejder med miljøinnovation, men en lang række virksomheder og videninstitutioner er hverken bevidste eller kompetente på miljøområdet og har ikke udviklet proaktive miljøstrategier. Mange rammebetingelser virker modsatrettede. Det er med andre ord et meget langt sejt træk at udvikle et velfungerende miljøteknologisk innovationssystem, som vil kræve en række strategiske

overvejelser. Begreberne om miljøeffektivitet og forskellige klasser af miljøteknologier (kap. 5) kan bidrage til en vurdering af om en innovationssystem indsats også reelt sikrer en miljømæssig forbedring.

Politisk vil et styrket miljøteknologisk innovationssystem ikke mindst kræve en bedre samtænkning af miljø- og innovationspolitikken. Det vil være nyt for begge parter og kræver nye forståelser og kompetencer. Miljøpolitikken er uvant med at beskæftige sig med konkurrenceparametre, innovationspolitikken og -forskningen er uvant med at beskæftige sig med de negative sideeffekter af innovationsindsatsen, herunder miljøproblemerne. Det er således policymæssigt ikke nogen nem proces (Andersen, 2004). Men synergipotentialerne er store, og der burde derfor være mulighed for at begge parter ser en interesse i at arbejde med at overkomme disse vanskeligheder.

Samlet set udgør NIS perspektivet et bredere og stærkere system perspektiv end hidtil praktiseret på miljøområdet. Ulempen er ikke mindst, at der er tale om krævende analyser og komplekse overvejelser i forhold til strategi- og policy anbefalinger. Et NIS perspektiv som basis for strategi- og policy anbefalinger, giver mest mening, hvis der rent faktisk foreligger en empirisk analyse af innovationssystemet og dets flaskehalse. Den nuancerede og tilpassede indsats med benyttelse af flere forskellige virkemidler kræver nøjere indblik i de specifikke miljøteknologiske områder. Som det imidlertid er søgt illustreret her, kan NIS perspektivet anvendes på flere niveauer og måder.

Der er meget, vi stadig ikke ved om miljøteknologiske innovationssystemer. Vi mangler først og fremmest empirisk viden, der kan belyse nærmere, hvordan de nationale innovationssystemer fungerer. Vi har behov for at finde ud af, hvor ens og forskellige de er og få dem kategoriseret og afgrænset. Metodemæssigt er der mange problemer i at definere og måle miljøinnovation og miljøkompetencer, som i sig selv udgør et større udredningsbehov. En del af løsningen på dette er mere dybdegående innovationssystem analyser på brancheniveau.

Vi mangler særligt indsigt i betydningen af specifikke policy initiativer såvel som de samlede (miljø- og ikke miljø)policyregimer i innovationssystemet og deres effekt på miljøinnovation. En stærk miljøpolitisk indsats giver i sig selv ikke nødvendigvis grundlag for en høj innovationskapacitet og konkurrenceevne. Ikke mindst skal vi have belyst betydningen af et stærkt miljøteknologisk innovationssystem for konkurrenceevnen. Og betydningen af internationaliseringen af økonomien og policy regimerne for udviklingen af de miljøteknologiske innovationssystemer.

Dette projekt har søgt at vise, at NIS *rationalet*, som indfanget i den begrebsmæssige ramme, kan guide politikudviklingen i forhold til miljøinnovation på vigtige måder. NIS perspektivet kan danne en ramme for at integrere miljø- og innovationspolitikken. Herved kan der skabes et godt grundlag for at møde de nye udfordringer og muligheder, som videnøkonomien byder i forhold til miljøinnovation. Og som kan føre til betydelige konkurrencemæssige og miljømæssige gevinster for Danmark, hvis vi forstår at udnytte dem.

8 Referencer

8.1 Miljøinnovation

Andersen, M. M. (1999) *Trajectory Change through Interorganisational Learning*. On the Economic Organisation of the Greening of Industry, Ph.d. dissertation, The Copenhagen Business School Ph.D. series 8.99, Copenhagen.

Andersen, M. M. (2002) “*Organising Interfirm Learning – as the Market Begins to Turn Green*”, in de Bruijn, T.J.N.M. and A. Tukker (eds.), *Partnership and Leadership – Building Alliances for a Sustainable Future*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp.103-119.

Beise, M. K. Rennings (2003), “*Lead Markets of Environmental Innovations: A Framework for Innovation and Environmental Economics*”. ZEW Discussion Paper No. 03-01, Mannheim

Daly, H. (1996), “*Beyond Growth*”, Boston: Beacon Press.

Erhvervsministeriet (2000), ”*Virksomheders Miljøadfærd, kortlægning og analyse*”, Kbh.

ESTO (2000a). “*Eco-design; European state of the art - Part I: Comparative analysis and conclusions*”, by Tukker, A., Haag, E., Eder, P. ESTO project report, EUR 19583 EN, Joint Research Centre Seville, EUR 19583 EN.

European Commission (2003): “*Developing an Action Plan for Environmental Technology*”. Website <http://europa.eu.int/comm/environment/etap>

Kemp, R (1997), “*Environmental Policy and Technical Change, Edward Elgar*”, Cheltenham

Kemp, R, Schot, J. W. and Hoogma, R. (1998), “*Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management*”, *Technology Analysis and Strategic Management* **10**, 175-196

Kemp, R and Andersen, M. M. (2004), “*Strategies for eco-efficiency innovation*”, IMR Strategielijnen project voor VROM. (Strategy paper for the Informal Environmental Council Meeting, July 16-18 2004 Maastricht).

Kemp, R, Andersen, M. M. and Butter, M. (2004) ”*Background report about strategies for eco-innovation*”, Report for VROM, zaaknummer 5060.04.0041. (Background report for the Informal Environmental Council Meeting, July 16-18 2004 Maastricht).

Porter, M. (1991), "America's green strategy". Scientific American, April, p. 96.

Porter, M.E., C. van der Linde (1995), "Green and Competitive. Ending the Stalemate". In: Harvard Business Review, pp. 120-134

Rennings, K. et al, (2003) "Blueprints for an Integration of Science, Technology and Environmental Policy".

World Business Council for Sustainable Development (2000): "Eco-efficiency – creating more value with less impact".

8.2 Miljøteknologisk innovationssystem

Andersen, M. M. (2004) "Innovation system dynamics and sustainable development – Challenges for policy". Paper præsenteret på "Innovation, Sustainability and Policy Conference", 23-25 May 2004, Kloster Seeon, Germany.

Kemp, R. (2002). *Synthesis Report of 1st Blueprint Workshop on „Environmental Innovation Systems“*. Brussels, www.blueprint-network.net

Rand Europe (2000), "Stimulating industrial innovation for sustainability: An international Analysis". Report for the Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Leiden.

Rand Europe (2000), "Stimulating industrial innovation for sustainability: An international Analysis", nine country reports, Leiden.

Hübner, K., et al. (2000), "Greening of the Innovation System? Opportunities and Obstacles for a Path Change towards Sustainability: The Case of Germany", Working paper 47/00, Institute for Ecological Economy Research, Berlin.

ICCEPT (2003), *The UK innovation Systems for New and Renewable Energy Technologies*, report to DTI, Imperial College London, London.

Smith, K. (2002), Environmental Innovation in a Systems Framework. Paper presented on the 1st Blueprint Workshop "Environmental Innovation Systems", Brussels, January 2002, www.blueprint-network.net

8.3 Innovations teori

Beise, M. (2001). "Lead Markets. Country-Specific Success Factors of the Global Diffusion of Innovations". ZEW Economic Studies, Vol. 14, Heidelberg/ New York

Brown, J. and P. Duguid (1991), "Organisational Learning and Communities of Practice", *Organization Science*, 2, pp.40-57.

David, P (1985), 'Clio and the economics of QWERTY', *American Economic Review* 75, 332-337

- Dosi, G. (1982), "Technological Paradigms and Technological Trajectories", *Research Policy*, 11, pp.147-162.
- EC (2002), *Report on Research and Development*, EC Economic Policy Committee Working group on R&D, EPC/ECFIN/01/777-EN Final, Brussels, January 2002
- Ecotec (2002) "*Analysis of the EU Eco industries, their employment and export potential*", report for DG Environment of the European Commission. ECOTEC Research & Consulting Limited.
- Erhvervsministeriet (2000b), "*Byggeriets fremtid – fra tradition til innovation*", Redegørelse fra Byggepolitisk Task Force, Copenhagen.
- Edquist, C (2001), 'Innovation policy – a systemic approach', in *The Globalizing Learning Economy*, Archibugi, D and Lundvall, B-A (eds.), Oxford University Press
- Freeman, C (1988), 'Japan: a new national system of innovation?', in Dosi, G *et al.* (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publishers, London
- Kline, S, Rosenberg, N (1986), 'An overview of innovation', in Landau R (ed.), *The positive sum strategy: Harnessing technology for economic growth*, pp. 275-306
- Lundvall, B-A (1988), 'Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation', in Dosi, G *et al.* (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Pinter Publishers, London
- Lundvall, B-A (ed.) (1992), *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Pinter Publishers, London
- Nelson, R (1993), *National Systems of Innovation: A comparative analysis*, Oxford University Press, New York
- Pavitt (1984), "Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory", *Research Policy*, 3(6), pp.343-373.
- OECD (1999), *Managing National Innovation Systems*, OECD, Paris
- OECD (2000), *Knowledge management in the Learning Society*, OECD, Paris
- OECD (2002), *Dynamising National Innovation Systems*, OECD, Paris
- Porter, M.E. (1990), *The Competitive Advantage of Nations*, NY, Free Press.
- Regeringen (2003), "*Staten som bygherre – vækst og effektivisering i byggeriet*", Copenhagen.

Smith, K. (1997), 'Economic Infrastructures and Innovation Systems', in Edquist C. (ed.), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, Cassel.

Stern, S., Porter, M.E., and J. Furman (2000), "*The determinants of the National Innovative Capacity*", Working Paper 7876, NBER, Cambridge.

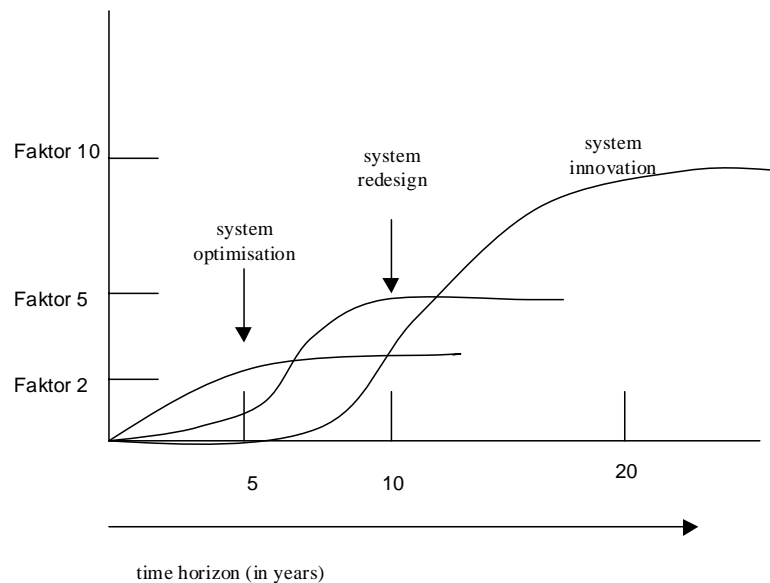
Kategorisering af miljøteknologier

En mængde miljø-innovations studier har tidligere hovedsageligt fokuseret på rense-/bortskaffelses-teknologier og på renere teknologi (kategori 1 og 2). Denne tilgang er imidlertid blevet kritiseret betydeligt i de senere år og fundet for snæver. Tilgangens begrænsninger består først og fremmest i at de systemmæssige aspekter overses, idet der er fokus på mikroniveau-forandringer i enkeltteknologier. De bredere dynamikker indenfor teknologiske regimer og miljøeffektens sammenhæng med systemniveauet er ikke inkluderet (Berkhout 2004).

Parallelt til dette har analytikere påpeget, at der på mange måder er gjort en betydelig indsats i forbindelse i produktion indenfor givne produktområder (jvnf. renere teknologi indsatsen, produktfokus i livscyklusvurdering osv.) medens systemiske forhold i forbindelse med forbrug af produkter, forbrugsmønstre og markedsmæssige forhold i mindre grad er inkluderet i håndteringen af miljø-innovation relationerne. Det er, som det metaforisk er blevet formuleret, høstet en mængde væsentlige lavt hængende frugter i form af renere teknologi indsatser og miljømæssige forbedringer i industrielle produktionsprocesser. Men de frugter der er sværere at nå, men som i længden er nødvendige at få fat i, i form af sammenhængende omlægninger af forbrugs- og produktionsmønstre, ikke i større omfang er blevet håndteret (Williams og Markusson 2002).

Under kategorien med sociotekniske systemforandringer indgår teknologisystemer og innovationssystemer, hvor miljøproblemstillingerne og normen om bæredygtighed er integreret. Et aspekt af dette er erhvervs- og markedsudvikling, der afspejler miljødimensionen. Betydningen (i form af en 'faktor' for nedsættelse af miljøbelastningen) af forskellige forandringer i systemperspektiv er illustreret på Figur 1. Her skelnes mellem tre typer af systemmæssige innovationer: system optimering, system redesign og system innovation, hvor nye systemer afløser de gamle.

Figur 1. Tre typer miljøbetydende systemmæssige innovationer (Vollenbroek et al 1999).



Pointen i undersøgelsen (Vollenbroek et al 1999) er at system innovation er nødvendig, hvis man skal forbedre afgørende på miljøproblemerne (Faktor 10 anses for nødvendig). Denne og tilsvarende kategoriseringer af systemforandringer er til dels parallel til og overlappende med klassificeringen ovenfor. Den understreger tids- og procesperspektivet i forbindelse med teknologis miljøbetydning.

Det kan i nogle sammenhænge, f.eks. ved fokusering på detaljer indenfor et område, være relevant at arbejde med mere detaljerede kategoriseringer af miljøteknologier end den generelle inddeling i de tre klasser nævnt ovenfor. F.eks. arbejder Malaman (1996) med en underinddeling af renere teknologi i grupperne:

1. Inputs reduction
2. Energy saving technology
3. Inputs substitution
4. Cleaner production process
5. Recovery and recycling technologies
6. Cleaner consumer products
7. Cleaner intermediary products

Fokus er ligesom i andre renere teknologi tilgange på det industrielle produkt og produktionen af det. Et systemisk perspektiv, der indbefatter markeds- og forbrugsmønstre, vil dog muligvis kunne udvikles ved at betragte de syv klasser samtidig. Navnlig kategorierne 6 og 7 understøtter dette. For vores generelle formål her i denne tekst er den principielle tre-klasse inddeling med de tilføjede kommentarer dog mest egnet.

Det hollandske Program for Bæredygtig Teknologiudvikling arbejder med begrebet bæredygtig teknologi. Programmets perspektiv på teknologi i forbindelse med miljø bygger på videnen om teknologiudviklings og innovationsdynamikker samt om miljøudfordringerne og forholdet mellem miljø og teknologisk forandring. Bæredygtig teknologi defineres som teknologi, der er i stand til at tilfredsstille behov ved kun at bruge en brøkdel - mindre end en tiendedel, måske mindre end en halvtredsindstyvende del - af ressourcerne og miljøkapaciteten, der bruges af nutidens teknologier. I sammenhæng med strategisk udvikling vil bæredygtig teknologi ofte betegne en målsætning for fremtiden snarere end nutidige realiteter. Bæredygtig teknologi svarer på mange måder til kategorien miljøeffektive sociotekniske systemforandringer, og betragtes som noget helt andet end end-of-pipe teknologi og procesintegreret renere teknologi.

Bæredygtig teknologi er i det hollandske program forbundet med økokuapacitet og øko-effektivitet, altså at der dels er begrænsninger i visse ressourcer og i miljøets evne til at absorbere udledninger mv., og dels at formindskelse af belastningen af økologiske systemer fra resourceforbrug og udledninger fra de enkelte ydelser, produktions- og forbrugssystemer, er et central punkt for en orientering mod bæredygtighed. Betydeligt øget øko-effektivitet på systemniveau og i langsigtet perspektiv er her det væsentligste kriterium for om teknologier og innovationer er bæredygtige eller ej. Også det britiske program for bæredygtig udvikling benytter betegnelsen bæredygtige teknologier, dog i en mindre fastdefineret form.

Endelig skal det nævnes, at begrebet miljøteknologi også er benyttet af EU Kommissionen jvnf. f.eks. den miljøteknologiske handlingsplan. Miljøteknologier afgrænses i handlingsplanen til:

”... at inkludere alle teknologier, hvis anvendelse er mindre miljøskadelig end relevante alternativer... . De omfatter teknologier og processer til forureningshåndtering (f.eks. luftforurenings kontrol, affaldshåndtering), mindre forurenende og mindre resourceintensive produkter og services samt metoder til at forvalte ressourcer mere effektivt (f.eks. vandforsyning, energispare-teknologier).” (EU Com 2004, vores oversættelse).

Det er en funktionsmæssig afgrænset definition, hvor funktionen vurderes relativt i forhold til alternativer. Definitionen bygger på antagelsen at man kan sammenligne alternativer, og vil først og fremmest kunne benyttes i forbindelse med gradvise ændringer i miljøbelastninger, mens radikale ændringer i mindre grad kan belyses. I forbindelse med problemstillinger med betydelig usikkerhed f.eks. langsigtede og strategiske perspektiver vil definitionen formodentlig være mindre velegnet. EU handlingsplanens definition angives at være baseret på definitionen på miljøvenlige teknologier givet i Agenda 21 (kapitel 34). Der er dog betydelig forskel på disse to definitioner, idet sidstnævnte er langt mere systemorienteret og benytter et bæredygtighedsperspektiv:

“Environmentally sound technologies protect the environment, are less polluting, use all resources in a more sustainable manner, recycle more of

their wastes and products, and handle residual wastes in a more acceptable manner than the technologies for which they were substitutes. Environmentally sound technologies in the context of pollution are "process and product technologies" that generate low or no waste, for the prevention of pollution. They also cover "end of the pipe" technologies for treatment of pollution after it has been generated. Environmentally sound technologies are not just individual technologies, but total systems which include know-how, procedures, goods and services, and equipment as well as organizational and managerial procedures." (Agenda 21, Chapter 34, 1992)