




nanoteknologi



FOKUS PÅ FREMTIDEN

Nanoteknologi - resultat af faglig dialog



Ministeriet for Videnskab
Teknologi og Udvikling



Fokus på fremtiden

Nanoteknologi - resultat af faglig dialog

Udarbejdet af styregruppen for Videnskabsministeriets
teknologiske fremsyn om nanoteknologi

1. Sammendrag	3
2. Hvad kan nanoteknologi?	7
3. Derfor er det vigtigt for Danmark at satse på nanoteknologien	9
4. Vision for nanoteknologien i Danmark	10
5. Perspektiver og potentialer ved nanoteknologi i fokusvisionerne	11
6. Perspektiver på andre væsentlige nanoteknologiske områder	14
7. Prioritering af indsats og virkemidler	18

Nanoteknologi er et område i eksplosiv vækst verden over. Beherskelse af denne teknologi anses i verdens førende industrilande for at være en hjørnesten i bestræbelserne på at sikre den teknologiske udvikling og fastholde den økonomiske konkurrencedygtighed i det 21. århundrede. Nanoteknologien er udråbt til at ville resultere i en ny industriel revolution - på samme måde som elektriciteten, elektronikken, bioteknologien og computerteknologien tidligere har gjort det. Det forventes, at nanoteknologien vil medføre helt nye og forbedrede egenskaber i fremtidens industriprodukter samt muliggøre mere effektiv udnyttelse af vores ressourcer. Beherskelse af nanoteknologi vil således være afgørende med henblik på at fastholde og fremme vores velfærd. Udviklingen går hurtigt, og på en række områder har nanoteknologien allerede vundet indpas i kommercielle produkter.

Nanoteknologien favner bredt og vil komme til at påvirke næsten alle brancher. For mange virksomheder vil beherskelse af nanoteknologi derfor være afgørende for deres fremtidige konkurrenceevne. Disse virksomheder kan meget hurtigt tabe store markedsandele, hvis de ikke får tilstrækkelig rygstød og let adgang til forskning og kompetencer, så de kan være ajour eller på forkant med udviklingen inden for dette nye felt. Dette vil gælde virksomheder inden for både energi-, elektronik-, bygge-materiale-, medicinal- og fødevarerområderne.

Som andre revolutionerende teknologier skaber nanoteknologien en såkaldt „kreativ destruktion“. Den både udfordrer evnen til værdiskabelse i etablerede videns- og teknologiplatforme og åbner samtidig helt nye udviklingsmuligheder for eksisterende og nye virksomheder. En velovervejede satsning på nøje udvalgte områder inden for nanoteknologi vil derfor kunne skabe grundlag for, at innovative virksomheder kan opstå og blomstre.

Nanoteknologien vil - uanset om vi fra dansk side prioriterer området - inden for de næste 5-10 år få stor indflydelse på det danske samfund. Dansk forskning og industri har imidlertid gode forudsætninger for at være med fra starten og udnytte de muligheder, den ny teknologi tilbyder. På visse områder er det endda muligt, at Danmark kan blive førende og trendsættende. Men dette kræver, at der fra forskningsinstitutioner, forskningsråd og fonde fortsat støttes op om den danske grundforskning og uddannelse i nanovidenskab, der allerede har etableret sig inden for området, så den forbliver i den internationale front.

Samtidig - og endnu vigtigere - så skal der satses betydeligt inden for udvalgte områder på mere teknologisk orienteret forskning og uddannelse for at opnå en større innovations- og bundlinieeffekt af investeringen i offentlig forskning. For denne satsning er det vigtigt, at der opbygges stærke og generative vidensnetværk mellem forskningsbaserede virksomheder, forskningsinstitutioner og GTS-institutter, der sikrer en smidig og effektiv overførsel og udveksling af viden og teknologi til erhvervslivet.

I lande som Japan og USA satses der årligt milliardbeløb på meget brede dele af det nanoteknologiske område. Sådanne beløb kan vi ikke matche i Danmark, og vi bør derfor satse fokuseret, målrettet og langsigtet på nøje udvalgte og særligt løfterige områder, hvor de erhvervs- og samfundsmæssige interesser er åbenbare, og hvor Danmark har særlige forskningsfaglige og industrimæssige forudsætninger og muligheder. Ambitionen er at bringe Danmark frem i international topklasse på disse udvalgte områder.



Vision for nanoteknologi i Danmark

Danmark skal frem mod år 2020 være iblandt de absolut bedste lande i verden til - inden for udvalgte områder - at beherske og omsætte nanoteknologien til industriel anvendelse, med deraf følgende vækst, beskæftigelse og løsning af væsentlige samfundsproblemer.

Et vigtigt kendetegn ved nanoteknologi er, at den er tværvideenskabelig og udfordrer eksisterende faggrænser mellem fysik, kemi, materialevidenskab, molekylær biologi, biologi og medicin. Det er sandsynligvis netop på disse grænseflader, at mange af de største erhvervsmæssige muligheder findes. Nanoteknologi vil derfor finde anvendelse inden for vidt forskellige områder og vil desuden binde hidtil adskilte teknologi- og anvendelsesområder sammen og skabe nye kombinationer. Lægemidler uden bivirkninger doseret fra nanostrukturer, nye biokompatible materialer til implantater, optiske nanostrukturer til ultrahurtig kommunikation, biologisk produktion af materialer, nye typer byggematerialer og nye katalysatorer til miljø- og energiteknologi er eksempler på, hvad nanoteknologien vil kunne bringe i fremtiden.

En effektiv udnyttelse af nanoteknologiens tværvideenskabelige natur kræver overblik og evne til let og ubesværet at arbejde på tværs af klassiske faggrænser og organisationsskel. I forhold til mange af de lande vi sammenligner os med, er Danmark karakteriseret ved en forholdsvis flad og ikke-hierarkisk organisationskultur. Derfor har danske forskere og virksomheder særligt gode forudsætninger for at udvikle styrkepositioner inden for nanoteknologi, og det bør være en rød tråd i den danske indsats, at der sættes fokus på organisatoriske tiltag, der fremelsker interdisciplinaritet.

I forbindelse med etableringen af Højteknologifonden har Videnskabsministeriet bedt styregruppen for ministeriets teknologiske fremsyn om at udarbejde nærværende visionspapir om nanoteknologi i et højteknologisk Danmark. Til brug for udarbejdelsen af visionspapiret og til brug for det videre fremsynsarbejde har styregruppen ladet tre ekspertgrupper udarbejde notater om 1) nanobiosystemer, 2) nanomaterialer og 3) nanoelektronik og nanooptik/fotonik. Hvert ekspertnotat har efterfølgende dannet udgangspunkt for afholdelse af en workshop inden for de tre emneområder. Der er endvidere gennemført et internetbaseret survey, hvor i alt 133 virksomheder og forskningsinstitutioner har svaret på spørgsmål om udviklingstendenser og potentialer inden for nanoteknologi. Ekspertnotater, survey-resultater og yderligere information om det teknologiske fremsyn om nanoteknologi kan findes på www.teknologiskfremsyn.dk.

Det er styregruppens vision og opfattelse, at vi i Danmark via en fokuseret og koncentreret nanoteknologisk satsning vil kunne placere os blandt verdens 3-5 mest dominerende nationer i år 2020 inden for nøje udvalgte områder, som vi peger på som strategiske fokusområder for Højteknologifonden. Styregruppens fokusvisioner peger på en ønsket udvikling, som nanoteknologien kan medvirke til at håndtere. Dette vil i sig selv kunne medvirke til at fremme en positiv offentlig konsensus om nanoteknologi, da den derved vil tjene et åbenlyst gavnligt, alment formål. Fokusområderne er samtidigt områder, hvor Danmark i dag har særlige styrkepositioner i industrien og forskningsverdenen, og hvor nanoteknologi har særlige store potentialer for at fastholde eksisterende og skabe helt nye danske styrkepositioner. Gennembrud inden for de nævnte områder vil kunne give væsentlige bidrag til at løse vigtige udfordringer for samfundet.



Nanoteknologi vil berøre stort set alle brancher. Ud over nanoteknologi indgår også bioteknologi og IKT som indsatsområder for Højteknologifonden. Disse to indsatsområder vil anvendelses- og branchemæssigt naturligt omfatte medicin-, fødevarer- og elektronik/kommunikationsområderne. For disse tre væsentlige danske styrkeområder er det vores opfattelse, at nanoteknologi vil få en helt afgørende betydning, hvorfor disse områder også vil blive behandlet og fremhævet i det følgende.

Styregruppens nanoteknologiske fokusvisioner er:

Fokusvision 1: *Fremtidens effektive energiteknologier - fra kul/olieøkonomi til bæredygtig brintøkonomi og mere effektiv forureningsbekæmpelse.*

Fokusvision 2: *Nye forbedrede og bæredygtige materialer til fremtidens produkter - design og syntese af nye funktionsdygtige og ressourceeffektive materialer og strukturer opnået ved at skræddersy disse på nanoskalaniveau.*

Nanoteknologiske fokusvisioner, som må forventes perspektiveret og beskrevet i de inspirations- og prioriteringsnotater, som forberedes omkring bioteknologi og IKT:

Medicon: *Nye effektive behandlingsformer - hurtigere og mere præcise diagnoser, individuelt optimerede og målrettede lægemidler samt mere holdbare, nanostrukturerede biokompatible implantater.*

Fødevarer: *Sikrere, sundere og mere miljøvenlige fødevarer - fra konventionelle og økologiske fødevarer til fremtidens kvalitetssikrede fødevarer og fødevarerproduktion.*

Elektronik og optik/fotonik: *Total elektronik - mod en fremtid med uendelige muligheder i kommunikation, visualisering og i øgede funktionaliteter i alt hvad vi omgiver os med.*

Anbefaling til indsats og virkemidler

Det anbefales at iværksætte særligt målrettede nanoteknologiske oprustningsinitiativer, således at fokusvisionerne inden for energi og nye bæredygtige materialer kan omsættes til virkelighed.

Samtidig anbefales det, at nanoteknologi tænkes ind i udmøntningen af bioteknologi og IKT, da det netop er i grænselandet med nanoteknologien, at de nye gennembrud for bioteknologi og IKT vurderes at kunne ske. Her er det vigtigt, at satsningerne inden for disse områder virkelig respekterer nanoteknologiens tværfaglige og grænseoverskridende karakter ved etablering af fremtidige kraftcentre, og for eksempel ikke blot forfalder til små udbygninger af eksisterende centre.

Styregruppen anbefaler en koncentreret indsats på fokusområderne via Højteknologifonden, men anerkender også behovet for en bredere og mere differentieret indsats på flere niveauer herudover:



- > Der skal inden for de udpegede fokusområder sættes på få, koncentrerede, fokuserede og teknologisk orienterede kraftcentre, der kan opnå international synlighed, og hvor også den nødvendige - og ofte kostbare - infrastruktur i form af udstyr kan etableres. Der skal i disse kraftcentre sikres massiv involvering af dansk industri i tætte samarbejdskonstellationer, såvel finansierings- som personalemæssigt.
- > Inden for fokusområderne skal syntese, det vil sige fremstilling af nye materialer, materialesammensætninger, overflader og fysiske emner have en større andel end i tidligere danske forskningsindsatser, hvor analysearbejde traditionelt har udgjort en stor andel af indsatsen.
- > De danske forskningsmiljøer og danske virksomheder skal med i den internationale elite med hensyn til forskning og udvikling af afledte produkter inden for fokusområderne.
- > Der skal sikres effektiv videnudveksling og teknologioverførsel fra forskningsmiljøer til praktisk anvendelse af nanoteknologi bredt i industrien og i nye iværksættervirksomheder. Dette skal især opnås via ErhvervsPhD-ordningen, GTS-systemet og gennem uddannelse af forskere og teknologer med en høj, international nanoteknologisk kompetence.
- > Inden for dansk nanoteknologi og nanovidenskab skal miljø, etik, risici og sundhed være i fokus, så kritiske aspekter vurderes, og således at brugere og kunder har et grundlag for at anerkende og bakke op om produkter og anvendelser, der involverer nanoteknologi.

Den udviklingsproces, som nanoteknologien vil medføre, er fyldt med komplekse problemstillinger, usikkerhed og dynamik, og det er vanskeligt helt præcist at udpege, hvor de stærke innovationseffekter opstår inden for de næste 5-10 år. De anbefalede satsninger vil dog sikre den nødvendige kritiske masse og vil dermed styrke de generative videns- og innovationsprocesser i forsknings-, teknologi- og markedsnetværk. Man skal være indstillet på at være risikovillig og acceptere, at ikke alle prioriterede initiativer/projekter vil kunne føres igennem til succes. Omvendt skal de bedste muligheder prøves af, ligesom uventede nye anvendelser af nanoteknologi skal kunne prioriteres og understøttes over tid.

Parallelt med gennemførelse af satsningerne bør man derfor løbende forholde sig til udviklingen og vurdere behovet og relevansen af nye satsningsområder. Netop denne dynamiske monitorering er forudsætningen for en styringsmæssig fleksibilitet, der er vigtig for, at Danmark hele tiden fremmer de mest lovende områder på grænsefladen mellem forskning og kommercielle muligheder.

I den følgende del af visionspapiret uddybes, hvad nanoteknologi er, hvorfor Danmark skal sætte på nanoteknologi, og hvorledes indsatsen kan struktureres. Perspektiverne og de danske muligheder inden for de to fokusområder samt for sundheds-, fødevarer- og elektronikområderne udfoldes hver for sig i detaljer. Notatet afsluttes med en anvisning af de relevante virkemidler til den differentierede indsats, som bør tages i anvendelse for at virkeliggøre visionerne på de fem nævnte områder.

2. Hvad kan nanoteknologi?



En nanometer er en milliontedel af en millimeter. Det svarer til en afstand, der er cirka 100.000 gange mindre end tykkelsen på et hår. Når man kommer ned i den størrelsesorden, bevæger man sig ind i molekylernes og atomernes verden. Til selve naturens byggestene.

Indtil for få år siden var det nanoteknologiske område ukendt land. For relativt kort tid siden var forskerne overbeviste om, at det aldrig ville blive muligt at „se“ de enkelte atomer og da slet ikke, at det nogen sinde skulle blive muligt at flytte rundt med dem. I dag er situationen en anden. Med de nyeste mikroskoper er det nu muligt både at „se“ og flytte rundt på de enkelte atomer og molekyler.

Nanoteknologi kan defineres som:

Evnen til at arbejde på det atomare, molekylære og supramolekylære niveau, på en skala fra 0,1 til 100 nm (nanometer), med den hensigt at designe, fremstille, manipulere og anvende materialer, komponenter og systemer med nye fysiske, kemiske og biologiske funktionelle egenskaber.

Disse nye egenskaber fremkommer på grund af strukturernes lille skala, og kan derfor ikke opnås på nogen anden måde. Integration med andre længdeskalaer og anvendelsesområder vil ofte være essentiel for teknologiske anvendelser.

Nanovidenskab handler om at opnå forståelse af fundamentale fænomener, egenskaber og funktioner på nanoskalaen, som er ikke-skalérbare udenfor nanometer-domænet.

Nanoteknologi kan fuldstændigt forandre vores opfattelse af naturen og livet, og samtidig give os nye svar på store samfundsudfordringer. Med nanoteknologi kan det lade sig gøre at aflure naturen flere af dens hemmeligheder og kopiere disse til fremstilling af nye materialer på nano-niveau. Det åbner på den ene side op for at designe processer og materialer, der på en gang er langt stærkere, mere fleksible og funktionelle. På den anden side åbner det for at udvikle monitorerende, diagnosticerende og doserende værktøjer. De vil i kraft af større præcision kunne forlænge liv og øge livskvalitet ved at sikre en korrekt, forebyggende og effektiv medicinsk behandling. Oven i tegner det til, at nanoteknologi kan yde et vægtigt bidrag til mere bæredygtighed med renere teknologi, begrænset energianvendelse og mindre mængder farligt affald. Perspektiverne er med andre ord enorme.

Nanoteknologien kan bane vej for en ny industriel revolution i lighed med indførelse af dampmaskinen, elektrificeringen eller computerteknologien. Det er derfor strategisk afgørende at beherske nanoteknologien. For nanoteknologi rummer potentiale til at optimere kendte produkter, til at udvikle nye produkter eller helt nye værktøjer. Nanoteknologi kan bane vej for at fremstille produkter på fundamentalt anderledes måder eller udvikle nye medicinske behandlingsmetoder. Kendte fremstillingsmetoder og teknologier kan blive overflødiggjort, mens nye vil vinde frem. Nanoteknologien kan skabe teknologiske tigerspring og dermed redefinere kendte teknologiske platforme for mange virksomheder. Det vil give grobund for nye og samtidigt mere bæredygtige produktioner og anvendelser.



Det nanoteknologiske område befinder sig endnu på et tidligt og eksplorativt stade, hvor en bred kommerciel anvendelse stadig må forventes at ligge et stykke ude i fremtiden. Nanoteknologien er imidlertid allerede på vej til at slå igennem over en bred kam inden for materialeteknologi, bioteknologi samt informations- og kommunikationsteknologi (IKT). Den smelter endda på mange områder disse tre tværgående teknologier sammen og definerer helt nye muligheder, for eksempel inden for biosensorer. Det baner vej for, at bedre materialer, bioteknologi og IKT kan spredes yderligere og integreres inden for forskellige brancheområder som energiteknologi, farmaceutisk industri, fødevarer, køle/frys-området, elektronik, bilindustri, implantater med videre.

Men der er fortsat lang vej igen til en bred industriel anvendelse af nanoteknologi. I den henseende er vores opdagelsesrejse kun lige begyndt. Vi befinder os nu i en situation, hvor vi har viden, teknikker og instrumenter til i princippet at kunne opbygge helt nye materialer atom for atom og molekyle for molekyle, på samme måde som man sætter legoklodser sammen.

Men vejen - fra at kunne gøre dette i industriens og universiteternes forskningslaboratorier til at kunne gøre det i storskala i en industriel produktion - er stadig belagt med en række store udfordringer. Kan vi tackle dem, tegner der sig til gengæld en lang række meget perspektivrige muligheder for, at nanoteknologien kan bidrage til øget vækst og velfærd, og til at vi kan løse nogle af samfundets store udfordringer inden for sundhed, energi og miljø.

3. Derfor er det vigtigt for Danmark at satse på nanoteknologien



Alle lande med stærke forskningstraditioner og -ambitioner satser i disse år kraftigt på nanoteknologi. Med stor sandsynlighed vil der komme markante gennembrud, der på sigt kan få stor betydning for vores hverdag. Danmark kan af indlysende grunde ikke være med i fronten på alle områder. Danske virksomheder og forskningsmiljøer har imidlertid særlige styrkeområder, hvor Danmark kan være i front. Det taler for at koncentrere indsatsen, hvor Danmark allerede er førende.

Det forhold, at nanoteknologi samtidig kan underminere kendte teknologiplatforme for flere danske højteknologiske virksomheder og brancher, der i forvejen deltager i en skærpet global konkurrence, taler ligeledes meget stærkt for at prioritere nanoteknologi. Det er vigtigt at sikre et teknologisk beredskab, så danske virksomheder har adgang til relevant forskningskompetence og ikke taber momentum, hvis de må omstille deres teknologiske platform.

Hertil kommer, at der kan ligge endog meget store erhvervsmæssige muligheder med stor betydning for vækst og beskæftigelse i Danmark i at satse på udvikling af helt nye virksomheder, som anvender nanoteknologi i deres produkter. Der kan her være tale om, at helt nye brancher, der på lang sigt kan få stor betydning for det danske samfunds velstand, kan rejse sig.

Skal de store potentialer indfries, er det vigtigt med en målrettet og velgennemtænkt satsning på nanoteknologi. Der er brug for dristighed og et langt sigte. Samtidig skal der tages højde for, at det ikke kan vides, hvor de store såvel samfundsmæssigt som kommercielt interessante gennembrud kan komme. Komplexiteten og usikkerheden omkring nanoteknologiernes udviklingsforløb gør det vanskeligt at udpege, hvilke specifikke satsninger på forskning, virksomheder og anvendelser, der fører til, at vi om 5-10 år ser nano-baserede virksomheder så store som vindmøllebranchen. Det taler for, at der samtidig sker en relativ bred satsning på at bringe dansk forskning i international topklasse. Samtidig skal der hurtigt satses betydeligt inden for udvalgte områder på mere teknologisk orienteret forskning og uddannelse. Det er i denne satsning vigtigt, at der sikres opbygning af nye stærke og generative vidennetværk mellem forskningsbaserede virksomheder og forskningsinstitutioner. Det er ligeledes vigtigt, at virksomheder og forskere får bred mulighed for at knytte nanoteknologi til deres særlige anvendelsesområder og produkter.

Lidt på samme måde som amerikanernes satsning på at få en mand på månen lagde kimen til en række teknologiske gennembrud, som vi i dag nyder gavn af også i almindelige forbrugsvarer, så skal prioriteringen af nanoteknologi både være skarp og bred, så vi giver mulighed for uforudsete spin-off og innovationer også til alment brug i hverdagen, og dermed til gavn for danske virksomheders langsigtede konkurrenceevne og for det danske samfund.

4. Vision for nanoteknologien i Danmark



Danmark har tidligt markeret sig inden for nanovidenskab og har generelt et stærkt udgangspunkt inden for forskning og uddannelse i nanoteknologi samt spidskompetencer inden for særlige områder af nanoteknologi. På forskningssiden er der stærke nanoteknologiske miljøer ved de danske universiteter - endda ofte fordelt på flere forskellige institutter/centre ved det enkelte universitet, ligesom Risø særligt inden for materialeområdet er med fremme. Flere af de danske forskningsgrupper tilhører den internationale elite inden for deres områder. De forskningsmæssige styrkepositioner inden for nanoteknologi kan opdeles i tre hovedspor: Nanobiosystemer, nanoelektronik og nanooptik/fotonik samt nanomaterialer. Særligt i grænsefladerne mellem nanoteknologierne ligger et betydeligt potentiale for nye koncepter og banebrydende innovation, et potentiale som det danske forsknings- og innovationsmiljø er godt rustet til at gribe.

Dette udgangspunkt er bygget op gennem en lang række initiativer, hvor nanoteknologien blandt andet er vokset ud af tidligere aktiviteter. Inden for bioteknologi, materialeforskning og IKT er det på et tidspunkt blevet næste naturlige udviklingskridt at fokusere på teknologiske muligheder i nanostørrelse.

På særlige felter rummer nanoteknologien samtidig meget store muligheder set fra en dansk synsvinkel. Det kan enten være fordi, der allerede er etablerede stærke forskningsmiljøer, at der er sket gennembrud i Danmark, eller fordi der i forvejen er stærke danske virksomheder, som allerede er i front i en branche, men som vil have afgørende behov for at kunne trække nanoteknologien ind i deres produktudvikling for at bevare førertrøjen.

Fokusvision 1: *Fremtidens effektive energiteknologier - fra kul-olieøkonomi til bæredygtig brintøkonomi.*

Fokusvision 2: *Nye forbedrede og bæredygtige materialer til fremtidens produkter - design og syntese af nye funktionsdygtige og ressourceeffektive materialer og strukturer opnået ved at skræddersy disse på nanoskalaniveau.*

Udvikling af fokusvisionerne for områderne energi og nye bæredygtige materialer kræver en stærk nanoteknologisk satsning. Nanoteknologiske fokusvisioner, som må forventes dækket af prioriteringer inden for de to satsningsområder bioteknologi og IKT, er:

Medico: *Nye effektive behandlingsformer - hurtigere og mere præcise diagnoser, individuelt optimerede og målrettede lægemidler samt mere holdbare, nanostrukturerede biokompatible implantater.*

Fødevarer: *Sikrere, sundere og mere miljøvenlige fødevarer - fra konventionelle og økologiske fødevarer til fremtidens kvalitetssikrede fødevarer og fødevarerproduktion.*

Elektronik og optik/fotonik: *Total elektronik - mod en fremtid med uendelige muligheder i kommunikation, visualisering og i øgede funktionaliteter i alt hvad vi omgiver os med.*

Medicinal- og fødevarerområdet såvel som elektronik- og optik/fotonikområdet er meget afhængige af adgang til nanoteknologisk viden og kompetence.

5. Perspektiver og potentialer ved nanoteknologi i fokusvisionerne



Nanoteknologi vil få en stor og bred betydning for mange af de produkter, vi fremover vil omgive os med. Inden for mange industrielle og erhvervsmæssige brancher vil det derfor være afgørende, at danske virksomheder er i stand til at udvikle konkurrencedygtige produkter baseret på nanoteknologi. Det er oplagt at investere og satse inden for områder, hvor Danmark i dag allerede har stærke forsknings- og erhvervsmæssige styrkepositioner, og hvor nanoteknologien må forventes at få stor gennemslagskraft. I det følgende gennemgås perspektiver og potentialer inden for de to fokusvisioner og inden for de øvrige tre nævnte områder, som styregruppen vurderer som de mest lovende.

Fokusvision 1: Fremtidens effektive energiteknologier

Verdens oliereserver er svindende og prisen vil på sigt stige. Afbrændingen af fossile brændsler er den væsentligste bidrager til CO₂-udslip. Verden står overfor en meget stor udfordring med at finde nye, bæredygtige energikilder og energiteknologier, der enten ikke baserer sig på fossile brændsler, eller som i en overgangsperiode udnytter de fossile brændsler mere effektivt og med mindre CO₂-udledning. Nye energiteknologier og større energieffektivitet er nødvendigt, hvis vi skal fortsætte og forhåbentlig forbedre levestandarden i verden på en miljømæssig forsvarlig måde.

Andelen af vedvarende energi i verdens energiforsyning forventes derfor at stige fremover, ligesom brint bliver af afgørende betydning som energibærer. En attraktiv løsning for fremtidens energiforsyning er baseret på brint og brændselsceller, og både USA, EU og Japan har udnævnt det såkaldte brintsamfund som et indsatsområde og sponsorerer storstilede initiativer. Omstillingen fra olieøkonomi til brintøkonomi er i gang internationalt.

Dansk erhvervsliv, forskning og udvikling står meget stærkt på den internationale scene netop på energiområdet inden for især vindmølleenergi og brændselsceller samt i energieffektive løsninger. Internationale rapporter og danske erfaringer peger på, at en satsning på forskning inden for nanoteknologi og nanomaterialer er nødvendig for at overvinde væsentlige barrierer, som både vindmølleindustrien og brændselscelleområdet er løbet ind i.

Viden på materialeområdet kan desuden bruges til at øge energieffektiviteten for eksempel i industri med tilknytning til større industrielle køleanlæg eller byggevareremeter. Ligesom vindmølleindustrien kan få viden til yderligere at udvikle for eksempel møllevinger med nanobaserede teknologier og -materialer. Desuden vil nanoteknologi kunne fremme udviklingen i tredje verdenslande, for eksempel ved udvikling af billige solceller, og bidrage til at frembringe decentral elektricitet og energiforsyning i landområderne. Fokus på nanoteknologi er derfor nødvendigt for at tage næste tigerspring. Det vurderes desuden at kunne give betydeligt erhvervsmæssigt spin-off og nye højteknologiske arbejdspladser samt styrke etablerede danske virksomheder.

Danske virksomheder satser i dag meget på udvikling og kommercialisering af flere typer af brændselsceller med forskellig anvendelse i energisektoren, transportsektoren og elektroniksektoren i batterierstatninger. Energiomsætningen sker i en brændselscelle ved at typisk brint og ilt omdannes til elektricitet og vand. Det er samtidig muligt gennem den omvendte proces at fremstille brint fra elektricitet produceret af for eksempel vedvarende energi og således udnytte brint som energilagere.

Det altafgørende for at en markedsintroduktion af brændselsceller kan fremmes er, at deres pris bliver konkurrencedygtig, og at deres levetid forlænges. Hertil er det



nødvendigt med en langt mere effektiv omdannelse fra/til brint. Øget effektivitet i de nanopartikler, som bruges til omdannelsen, herunder nye og billigere materialer baseret på nanoteknologi, skal udvikles, for at et gennembrud kan opnås.

Derudover er der store forskningsmæssige udfordringer i at udvikle nye teknologier til en energieffektiv lagring af brint enten ved højt tryk eller i kemisk form. I begge tilfælde kræves der udvikling af nye materialer baseret på nanoteknologi og formodentlig nanopartikler.

Fokusvision 2: Nye forbedrede og bæredygtige materialer til fremtidens produkter

Nanoteknologi kan give gennembrud inden for udviklingen af nye materialer, der både har fleksible og optimale konstruktions- og funktionsegenskaber, og som samtidig vil være mere miljømæssigt bæredygtige at producere, anvende og siden bortskaffe. Nanoteknologi giver med nye materialer løfter om at mindske ressource og energi-forbrug og viser samtidig veje til helt nye og spændende produkter og anvendelser.

Danmark har ikke tradition for at være en stor producent af traditionelle konstruktionsmaterialer som stål, aluminium og standard plastmaterialer. Skal Danmark fremover gøre sig gældende på nanomaterialeområdet, er det vigtigt at satse på de *nicher*, hvor der enten i forvejen findes et stærkt forskningsorienteret industrielt engagement, som for eksempel katalyse området, eller hvor der findes en stærk anvendelsesorienteret videnskabelig basis på universiteter eller institutioner kombineret med et åbenbart markedspotentiale for nye opstartsvirksomheder. Nogle af de vigtigste nanomaterialeområder, hvor Danmark har internationale styrkepositioner, og hvor en dansk indsats vil være særdeles relevant, er nye nanobaserede kompositmaterialer og polymermaterialer, katalyse og miniaturiserede sensorer.

Nanobaserede kompositmaterialer. De meget små kornstørrelser i nanobaserede kompositmaterialer bidrager til materialernes unikke egenskaber. For et materiale vokser hårdheden normalt når kornstørrelsen reduceres. Der kan derfor fremstilles meget hårde materialer ved at vælge kornstørrelser på nanometerskala. Men når kornstørrelsen reduceres under en vis kritisk grænse (kornstørrelse 10-20 nm) bliver materialerne igen blødere. De mekaniske egenskaber af et materiale kan således styres, såfremt man kontrollerer nanostrukturen. Ved blanding af materialer med to forskellige faser eller størrelser, såkaldte to-fasede nanokompositter, kan man for eksempel fremstille materialer med hårdheder, der nærmer sig hårdheden af diamant. Disse materialer finder allerede på nuværende tidspunkt anvendelse i dansk industri til beskyttelse af værktøjer og maskindele, men potentialet er meget langt fra udnyttet, og der udvikles løbende nye typer nanokompositter, som det er vigtigt for dansk industri at være ajour med. Iblanding af nanopartikler i plastmaterialer, for eksempel små kulstof-partikler, der har unikke styrkeegenskaber, er en anden type kompositmateriale, der forventes at få meget stor betydning. Ved at blande sådanne materialer vil det blive muligt at fremstille materialer, der er lette som plast, men stærke som stål. Sådanne materialer ventes at få stort gennemslag som et af fremtidens konstruktionsmaterialer. Eksempelvis kan man forestille sig sådanne materialer anvendt til fremstilling af fremtidens vindmøllevinger.

Nanobaserede plastblandinger og plastoverflader. Danmark har ingen industri, der fremstiller de rene volumen-plastmaterialer. Til gengæld har Danmark en meget stor industri, der forarbejder plast, og som en væsentlig del af deres forretning fremstiller plastbaserede produkter. Der er en række af virksomheder, blandt andet inden for

medico-branchen, som besidder stor kompetence i intelligent at blande plastgrundmaterialer med andre specialmaterialer, og herved opnår unikke brugsegenskaber. Inden for dette område findes også en betydelig dansk forskningskompetence. Anvendelse af nanopartikler som iblandingsmaterialer byder på en række helt nye unikke muligheder. Som eksempel kan nævnes iblanding af stoffer med smertestillende eller helbredende egenskaber. Også fremstilling af plastmaterialer med veldefineret porestruktur i nanoskala, for eksempel til kontrolleret afgivelse af lægemidler eller evnen til at tilføre vanskelige plastoveroverflader nanotynde overflader med unikke funktionsegenskaber, for eksempel biokompatibilitet, ventes at få stor betydning for industrisegmenter, hvor Danmark traditionelt har stået stærkt.

Nano-katalyse. En katalysator er et materiale, der kan øge hastigheden af eller dirigere kemiske reaktioner mod et ønsket produkt. Katalysatorer er i dag altafgørende for rentabiliteten i de fleste industrielle kemiske processer, og mere end 90 procent af alle industrielle kemiske processer er i dag baseret på katalysatorer. Udviklingspotentialet for nye katalysatorer er enormt, og nanoteknologi er helt central i denne henseende, da en katalysators opbygning oftest består af katalytisk aktive metal- eller metaloxid nanopartikler jævnt fordelt på et porøst bærer materiale. Der er i løbet af de seneste år fremkommet eksempler på, at man nu teoretisk og eksperimentelt kan forstå forskellige nanopartiklers kemiske virkemåde og reaktivitet, og på baggrund heraf vil man kunne kontrollere og designe nye og kemisk mere reaktive nanopartikelkatalysatorer. Naturens katalysatorer, enzymerne, viser hvor fantastisk effektive katalysatorer kan være for selv meget specifikke reaktioner, idet de er grundlaget for stort set alt biologisk aktivitet, og de viser hvor stort et potentiale, der er i udviklingen af katalysatorer. På relativt kort sigt er utallige nye og forbedrede katalysatorer inden for rækkevidde med åbenlyse fordele for en effektiv og forureningsfri produktion af basiskemikalier, en bæredygtig energiproduktion, herunder brintproduktion og anvendelse i brændselsceller, bedre udnyttelse af sparsomme olieressourcer og effektiv og billig miljøbeskyttelse.

Nanosensorer. Ved at miniaturisere sensorer kan der fremstilles små nanoskopiske „analyselaboratorier“ for hurtige og specifikke analyser, hvilket blandt andet ventes at få afgørende betydning i fremtidens sundhedssektor. Der findes flere eksempler på, at sådanne sensorer også er meget følsomme, hvilket tillader en tidlig og hurtig diagnostik, der blandt andet er meget relevant i forbindelse med behandling af cancer. Derudover kan sensorerne nemt gøres bærbare, hvorved det er muligt at foretage selv avancerede analyser i felten - så som miljøovervågning og kontrol af fødevarer. Både af hensyn til følsomhed og af hensyn til funktionalitet vil det i en lang række anvendelser være hensigtsmæssigt at drive miniaturiseringen til det yderste, hvorfor beherskelse af nanoteknologisk fremstillingsteknologi vil være nødvendig. Herudover vil det også være afgørende at beherske teknologier til at påføre sensorerne nanotynde lag eller enkeltmolekyler, der selektivt kan „fange“ det kemiske stof, som sensoren skal måle.

Nanomaterialer vil i mange sammenhænge føre til mere ressourceeffektive og mindre miljøbelastende muligheder. Men nanomaterialer, og ikke mindst anvendelse af nanopartikler, kan også byde på en række miljø- og sundhedsmæssige risici. Eksempelvis er de ovenfor nævnte stærke kulstof-nanopartikler også meget reaktive, og ifølge nye undersøgelser kan der være risici forbundet med for stor optagelse af denne type partikler i den menneskelige organisme. Det er derfor vigtigt, at sundheds- og miljømæssige forhold nøje studeres og testes som en del af de forskningsprojekter inden for området, hvor der måtte være sådanne risici.

6. Perspektiver på andre væsentlige nanoteknologiske områder



Der er meget betydelige og strategiske muligheder knyttet til anvendelsen af nanoteknologi inden for IKT og bioteknologi. Perspektiver og muligheder er derfor ligeledes uddybet for tre fokusvisioner, som i et nanoteknologisk perspektiv er vigtige, og som falder inden for disse to hovedområder.

Nye effektive behandlingsformer (Medico)

Der er meget store forventninger til nanoteknologiens betydning inden for sundhedssektoren: Nye diagnosticerings- og medicineringsformer, nye behandlingsformer hvor for eksempel nanopartikler med fordel kan benyttes i forbindelse med cancersygdomme med langt færre bivirkninger til følge, nye nanostrukturerede implantater og nye bandager. Globalt iværksættes der store og meget ambitiøse projekter inden for disse nanomedicinske områder.

Gennembrud inden for dette område udspringer af et tværfagligt samarbejde mellem kemikere, fysikere, molekylære biologer og medicinere, og området er karakteriseret ved, at man designer nye enheder, der er gennemtænkte og strukturerede helt ned på nanoskala niveau med henblik på at forbedre egenskaberne. De muligheder, som nanoteknologien byder, kan føre til et paradigmeskift inden for området for eksempel i udviklingen af nye lægemidler.

Gennem et samspil mellem nano- og bioteknologi vil man kunne:

- > udvikle mere effektiv medicin/dosering med langt færre bivirkninger,
- > udvikle implantater med forbedret biokompatibilitet og dermed forbedret holdbarhed,
- > give blinde og døve mennesker deres syns- og høresanser igen ved at koble nanoskala elektronik sammen med nerverne i hjernen,
- > diagnosticere sygdomme ved lægen hurtigere og mere selektivt,
- > indoperere biosensorer i kroppen, der vil give signal om forkert medicinering, nye blodpropper eller neurologiske anfald,
- > udvikle nye materialer til brug inden for „tissue-engineering“.

Det er et område, hvor vi i Danmark kan markere os, da vi her har både en stærk erhvervmæssig og forskningsmæssig baggrund. På forskningsfronten er Danmark med helt i front ikke mindst i kraft af den forskning, der udføres inden for rammerne af nyetablerede interdisciplinære nanoteknologicentre. De erhvervmæssige anvendelsesmuligheder er fantastisk store både inden for eksisterende virksomheder og hos iværksættere inden for medicinalindustrien, elektromedicin og helt nye tværgående brancher.

Det er derfor afgørende at prioritere nanomedicin som fokusområde, da det vil bidrage til at forebygge, helbrede og effektivisere hele sygdomsbehandlingen, da det rummer betydelige eksport- og beskæftigelsesmuligheder og endelig på sigt kan resultere i nye muligheder og betydelige besparelser på de offentlige budgetter til medico området.

Som eksempler på aktuelle forskningsområder, der inden for en kortere tid vil kunne omsættes i innovation og forretning, kan nævnes:

Lokal levering af medicin til cellerne i nanopartikler: Sigtet med medicinsk behandling er, at en tilstrækkelig mængde af en aktiv komponent føres til det sted i kroppen, hvor den skal virke. Ved at pakke medicinen ind i „selv-samlende“ nanokapsler, der består af specialdesignede og bionedbrydelige polymerer, kan man hæmme nedbrydning af



medicinen i blodet, undgå at kroppens immunsystem reagerer, opnå specifik aflevering af medicinen til de celler eller områder af kroppen, der er syge, og sikre at det leveres til det rigtige sted inde i cellen. Inspirationen til opbygningen af disse nanomedicinkapsler er blandt andet opstået ved at studere virus - naturens egne pakker til uovertruffen levering af materiale til cellerne.

Nanobiosensorer. Naturens egne proteiner og nukleinsyrer er gennem milliarder af års udvikling optimeret til at binde og genkende specifikke molekyler. Ved at koble denne binding til et målbart signal, som for eksempel lys, elektricitet eller magnetisme, kan man i dag i princippet måle tilstedeværelsen af blot ét enkelt molekyle. Sådanne sensorer vil komme til at spille en stor rolle i vores hverdag, specielt inden for medicinsk diagnostik. Udformningen kan variere fra, at patienten kan teste sig selv med enkle sensorer i hjemmet til mere avancerede systemer, som den praktiserende læge kan anvende til at diagnosticere for et bredt spektrum af sygdomme og udfærdige en behandlingsstrategi optimeret til den enkelte patients genetiske baggrund. Sensorerne kan også anvendes inde i kroppen til en løbende overvågning af livstruende sygdomme. Ydermere kan der indbygges nanosensorer i ovennævnte medicinkapsler, således at de lokale omgivelser i kroppen dikterer, hvordan og hvornår medicinen frigøres.

Biokompatible overflader. Det er af stor medicinsk interesse at udvikle overflader med bedre biokompatible egenskaber, da indkapsling og afstødning af ikke humant materiale i dag er et stort klinisk problem. Ved at modificere materialernes overflade helt ned på nanoskala niveau kan man sikre sig forbedrede egenskaber. Et eksempel er øget knoglevækst om ortopædiske implantater. Samtidig vil man kunne udvikle overflader som frastøder celler og proteiner til anvendelse (non-fouling) som for eksempel kunstige hjerteklapper ved hjertekirurgi. Perspektivet er i sidste ende udvikling af kunstige organer og materialer, der accepteres af kroppens immunsystem.

Sikrere, sundere og mere miljøvenlige fødevarer

Fødevarer sikkerhed, sundhed og miljøvenlig produktion er hjørnesten i den moderne levnedsmiddelindustri. Forurenedede eller inficerede fødevarer kan have uoverskuelige konsekvenser for både forbrugere og producenter. Fødevarer forskning skal samtidig sikre bedre ernæring af hensyn til sundhed og forebyggelse af de store folkesygdomme.

En vigtig forudsætning for udviklingen af nye nanoteknologiske metoder til at sikre fødevarer sikkerhed og optimeret ernæring er etableringen af en tværfaglig teknologiplatform, der skal integrere forskning fra gen/molekyle over biokemi til dokumentation af nanoteknologiens betydning for befolkningssundheden, den miljømæssige belastning fra produktionen samt, hvor det er muligt, produktionsomkostningerne. Som eksempler på aktuelle områder, der vil kunne bidrage væsentligt til at opnå disse mål, og som bør indgå i en satsning, kan nævnes:

Molekylær ernæring. Påvirkningen fra fødevarer er blevet udråbt som en af hovedårsagerne til udviklingen af en række livsstilssygdomme som for eksempel sukkersyge, kræft og hjertekarsygdomme. For at imødegå denne negative udvikling fokuserer man på at udvikle fødevarer, der er mere nærende og mindre skadelige. Det er visionen, at den omfattende viden, vi har om det humane genom og stofskiftet, kan bruges til at optimere egenskaber i planters og husdyrs genomer med henblik på at opnå bedre fødevarer. Disse metoder åbner desuden mulighed for, at dyrs og menneskers



respons på forskellige fødevarers egenskaber kan bestemmes på molekylært niveau i princippet helt ned til enkeltindivider. Det vil sige, man vil blive i stand til at designe fødevarer, der er skræddersyet ned til det enkelte gen og det enkelte molekyle.

Udvikling af biosensorer til fødevareanalyse. Landbruget og levnedsmiddelindustrien bruger i dag meget store ressourcer på løbende kvalitetskontrol af dyr, råvarer og produkter. Der undersøges specielt for tilstedeværelsen af en række sygdomsfremkaldende bakterier og skadelige stoffer, svamp og prioner (BSE). Undersøgelserne indebærer i dag omfattende analyser i centraliserede laboratorier, hvilket skaber en væsentlig forsinkelse i produktionen. Udvikling af små hurtige og selektive biosensorer, der bygger på nanoteknologiske principper, vil kunne detektere og udlæse målingerne inden for få sekunder, hvilket betyder, at analysen vil kunne foregå løbende under produktionen, og ved hjælp af sensorer vil man kunne følge produkter helt ud til forbrugeren, der aldrig længere vil være i tvivl om, at det er friske fødevarer han/hun køber.

Udvikling af nanomodificerede overflader til produktionsapparatet. Inden for fødevarerindustrien, for eksempel mejerisektoren, slagterier og bryggerier, er det et velkendt problem, at fødevarerester sætter sig på overfladen af produktionsapparatet (rør, maskiner og så videre), hvor det giver anledning til bakteriel vækst. Den dannede biofilm kan i uheldige tilfælde føre til forurening af fødevarerne. En måde at undgå dette problem vil være at designe nanomodificerede overflader, hvis evne til at binde biologisk materiale, for eksempel bakterier, er kraftigt formindsket.

Total elektronik

Overskriften „Total elektronik“ hentyder til og betyder, at elektronik og kommunikation fremover vil blive indbygget, ofte usynligt, i alle de ting vi omgiver os med og vil betyde stærkt forbedret nytte- og funktionsværdi for disse ting. Den elektroniske revolution har allerede nu betydet meget for vores hverdag, og de fleste af de brugsting, vi omgiver os med i dag, indeholder elektronik i en eller anden udstrækning. Men fremtiden vil byde på meget mere - en næste elektronisk revolution i vores hverdag - og alt sammen muliggjort af nanoteknologiske fremskridt:

- > Computere med uhørt kraft og kapacitet til „ingen penge“, som blandt andet muliggør mere effektiv og meget lettere adgang til og anvendelse af computere.
- > Multi-Gigabit-kommunikationskapacitet til enhver computer i hjemmet og på arbejdspladsen.
- > Plastikelektronik og mikrosensorer, der muliggør, at elektronik fremover ikke kun anvendes i „brugsting“, men fremover også vil anvendes i mere forgængelige sammenhænge, som for eksempel fødevarerovervågning og sikkerhed ved at følge fødevarer fra fremstilling til forbrug, bedre og mere sikker medicinanvendelse og så videre.
- > Nye billige plastlyskilder og -displays, som for eksempel hvidlysplastdioder til erstatning af mange af dagens lyskilder (bedre lys).
- > Nye fleksible displays i form af papirlignende skærme til nye former for aviser og til visning af levende billeder (TV).

Betydningen af disse nanoteknologiske udviklingsmuligheder er enorme og vil få stor gennemslagskraft i vores samfund. For eksempel vil det betyde, at vi via selv-testværktøjer selv kan være med til at stille diagnose omkring personligt helbred, eller at der kommer større trafikikkerhed med sensorer, der forebygger kollisioner.



Denne „total elektronik“ udvikling har uhørt stor betydning for os i Danmark og vil præge hele samfundsudviklingen inden for stort set alle sektorer: Vores helbred og sundhed, vores fødevarsikkerhed, vores trafiksystemer, vores ældreomsorg, undervisningssektoren med mere. Mange af vores traditionelle industrielle styrkepositioner som for eksempel fødevarer- og „life science“ området vil blive kraftigt præget af denne udvikling. Vi har i forvejen stærke industrielle positioner inden for kommunikationsteknologi, for eksempel den optiske klynge i Københavnsområdet, hvor vi også har et af verdens absolut førende forskningscentre, og vi har mange innovative opstartsvirksomheder inden for mikrosensorområdet, blandt andet rettet mod „life science“-sektoren.

Med hensyn til computerområdet, herunder specielt udvikling af nye stærkere processorer og lagermedier, så er disse udviklings- og produktionsområder så kapitalintensive, at det vil være urealistisk at satse på en dansk industriel placering inden for disse områder.

De oplagte danske satsningsområder i relation til total integreret elektronik vil være under hensyntagen til eksisterende erhvervsmæssige og forskningsmæssige styrkepositioner:

- > Industriel-offentlig fællessatsning inden for de anvendelsesnære og oplagte områder: Nanooptik og nanosensorer. Inden for optisk kommunikation findes der en globalt set stærk klynge af virksomheder og forskningsmiljøer i Danmark, som vil være i stand til at udnytte nye nanoteknologiske muligheder. Udsprunget af dette forskningsmiljø har der udviklet sig et stærkt innovations- og forskningsmiljø inden for sensor- og laserteknologi, som også har stort udviklingspotentiale baseret på nanoteknologi.
- > Primært offentlig satsning inden for det potentielt meget store område: Polymerelektronik og -optik. Dette er et område, hvor der er meget store perspektiver for brede dele af dansk erhvervsliv: Fødevarerindustrien, lægemiddelindustrien og medieindustrien. Det er ikke et område, hvor der findes internationalt stærke danske forskningsmiljøer, så sådanne må bygges op.
- > En - i første omgang - begrænset offentlig satsning (og overvågning) inden for det potentielt store, men endnu også meget usikre område: Molekylær elektronik. Dette er et område med en stærk dansk forskningskompetence, men det er endnu for tidligt at vurdere, hvorvidt området inden for en overskuelig tid vil kunne føre til erhvervsmæssige muligheder.

7. Prioritering af indsats og virkemidler



Hvis Danmark frem mod år 2020 skal være blandt de absolut bedste lande i verden til - inden for udvalgte områder - at udnytte og omsætte nanoteknologien til industriel anvendelse, kræves en differentieret indsats. På den ene side skal der fokuseres og igangsættes kraftfulde initiativer inden for fokusområderne, sådan som det her foreslås. Men samtidig er det også vigtigt at respektere fremtidens uforudsigelighed, og sikre at der er en underskov af forskningsaktiviteter, der følger og udforsker mulighederne i andre områder.

Det er centralt, at den danske forsknings- og innovationspolitik varetages ud fra en relevant indstilling til og forståelse af innovationsprocessers karakter. Komplexiteten og usikkerheden omkring nano-teknologiernes udviklingsforløb gør det vanskeligt, selv inden for de specifikke satsninger, at identificere hvilke konstellationer af forskning, virksomheder og anvendelser, der vil føre til, at vi om 5-20 år ser nano-baserede virksomheder så store som vindmøllebranchen. Som det er kendetegnende for alle kendte innovationsområder, kræver det en vis portion dristighed, held og accept af mislykkede forsøg på at skabe succes'er, og det sker ofte gennem processer, som sjældent er lineære og „efter bogen“. Der er heller ingen automatisk sammenhæng mellem at være forskningsmæssigt i front og så kunne udvikle virksomheder og kompetencer, der kan hjemtage den kommercielle gevinst.

Alligevel er det kun gennem denne vifte af initiativer, vi får skabt muligheder for at bringe dansk forskning og anvendelse af nanoteknologi i international topklasse. Denne udviklingsproces for dansk forskning og erhvervsliv vil styrkes væsentligt med en massiv indsprøjtning af midler fra Højteknologifonden. Styregruppen anbefaler, at indsatsen håndteres på fem niveauer.

Niveauer i en prioriteret nanoteknologisk indsats:

1. Prioritering af fokusområder, hvor danske virksomheder og forskningsmiljøer er i international front og har gode muligheder for at omsætte nanoteknologien i praktiske industrielle anvendelser.
2. Etablering af nogle få nanoteknologiske platforme og kraftcentre (for eksempel to, ét øst og ét vest for Storebælt) med en avanceret infrastruktur i form af koncentrerede udstyrsinvesteringer, som både kan udnyttes af offentlig forskning og virksomheder og dermed danne rammen om nye samspil og netværk. Det er vigtigt, at der i disse kraftcentre lægges stor vægt på syntesearbejdet, det vil sige udvikling af nye materialer og frembringelse af produktmuligheder. Det kan kombineres med forpligtende involvering af virksomheder i samarbejde om teknologiplatforme såvel finansielt som mandskabs- og kompetencemæssigt.
3. Der skal i forbindelse med kraftcentrene etableres gode betingelser for iværksættere, der vil benytte nanoteknologien i deres produkter. Disse kan både komme fra etablerede virksomheder og direkte fra forskningsbaserede aktiviteter. Det kræver adgang til en eksperimentel teknologisk infrastruktur, hvor afprøvning og anvendelse af nanoteknologi i industrielle innovationer kan ske. Samtidig bør man sikre et institutionelt set-up, der kan sikre iværksættere adgang til relevante kommercielle partnere i form af kapital, patentvejledning og ledelses- og organiseringskompetencer.
4. Prioritering af at skabe et bredt nanoteknologisk beredskab. Udover en fri forskning indebærer dette krav om en bred vidensformidling og -deling om nanoteknologiens potentialer i forskningsmiljøerne inden for forskellige teknologidiscipliner. Hertil kommer en bred diffusionsindsats overfor virksomheder - gennem GTS-systemet og ved at uddannede teknologer, kandidater og ErhvervsPhDer på højt internationalt niveau.
5. Prioritering af at have fokus på risici i relation til sundhed, miljø og etiske problemer i forbindelse med industrielle processer, materialer eller andre anvendelser af nanoteknologi, således at eventuelle risici kan minimeres.

Prioritering af fokusområder

Styregruppens anbefaling er, at midlerne i Højteknologifonden i hovedsagen skal tildeles på en måde, så man på den ene side styrker en forskningsbaseret nyudvikling af nanoteknologi rettet mod anvendelser, og på den anden side styrker forskningen på anvendelsesområder hvor virksomheder er godt etableret og har muligheder for at trække nano-forskningen ind på avancerede udviklingsspør. På denne måde bliver der ikke alene tale om overførsel af ny viden fra forskningsmiljøer, som har fokus på at finde anvendelser, der potentielt kan nyttiggøres industrielt og af samfundet inden for fokusvisionerne. Der bliver også fokus på, hvordan forskningen kan understøtte avancerede omstillinger og udviklinger i virksomheder på områder, hvor man har gode markedspositioner.



Denne tilgang vil sikre, at den forsknings- og innovationspolitiske indsats vil udvikle flere metoder til at etablere generative vidennetværk mellem forskning og erhvervsliv. Samtidig vil man arbejde efter områder, hvor det kan sandsynliggøres, at den danske forskningsverden og/eller det danske erhvervsliv har struktur, bredde og kompetencer til at gøre sig særligt gældende. Ikke mindst hvis der er et samfundsbehov, der samtidig kan imødekommes. Der er brug for at prioritere hovedindsatsen i relation til fokusområder, som skal være en rettesnor for hvilke områder, der prioriteres midler og faciliteter til. I forlængelse heraf skal styregruppen pege på de to fokusvisioner samt visionerne for medico, fødevarer og elektronik-optik/fotonik, jævnfør ovenfor.

Styregruppen anbefaler i øvrigt, at der udvikles kriterier og retningslinier for at tildele midler til forskningen i fokusvisionsregi. Det foreslås, at udvikle separate udviklingsprogrammer i tilknytning til hver enkelt vision, således at indsatsen kan forstærkes successivt og bygge ovenpå opnåede resultater og en samlet strategi for at realisere fokusvisionerne. Her vil det kommende teknologiske fremsyn om nanoteknologi fra Videnskabsministeriet kunne yde et betragteligt og mere præcist detaljeret bidrag, når det foreligger til efteråret 2004.

Grundforskning, interdisciplinær videndeling og basis beredskab

Styregruppen lægger samtidig vægt på, at der nationalt kan tildeles midler til forskningsprojekter, der har et tværdisciplinært fokus på generiske nanoteknologiske gennembrud, der kan binde forskellige videnskabelige fagområder sammen. Nanoteknologi vil givetvis betyde udvikling af helt nye teknologier, selvom nanoteknologi i høj grad også er en naturlig fortsættelse af udviklingen inden for traditionelle områder såsom mikroteknologi, bioteknologi og materialeforskning.

Det er derfor af central betydning, at der udvikles en bred videnbase på tværs af forskningsmiljøerne i relation til forskellige discipliner med henblik på at få identificeret muligheder for at anvende nanoteknologiske udviklingsmuligheder inden for en bred vifte af industrielle anvendelser. Og det er vigtigt at sørge for, at der kan udvikles industrielle applikationer med brug af nanoteknologi inden for andre brancher, som ikke på forhånd kan forudses.

Koncentrerede udstyrsinvesteringer

Man skal være opmærksom på, at investeringskravene i forsknings-, eksperiment- og prototypeapparat er betragtelige i forbindelse med nogle af de nanoteknologiske områder. Det er derfor vigtigt, at der investeres i udstyr, gerne i form af etableringen af nationale centre, som kan forestå de mest udgiftstunge investeringer. Disse vil yderligere kunne virke som samlings- og knudepunkter for vidennetværk for forskere og teknologer fra etablerede virksomheder og samle uddannelses-, forsknings- og iværksættertalenter.

EU-rammeprogram

Nanosatsningen i Danmark skal også knyttes til aktiviteter på den internationale forskningsarena herunder specielt EU's forskningsprogrammer. Det skal i den forbindelse bemærkes, at en forudsætning for at kunne deltage i de internationale forskningssamarbejder er, at man allerede har en aktivitet, som er interessant i et internationalt perspektiv.

Uddannelse af ph.d. og master-kandidater

Nanoteknologi skal integreres bredere i den indledende undervisning, og der bør oprettes specialiseringer i nanoteknologi inden for flere studieretninger. Et væsentligt element er desuden en satsning på forskeruddannelse, som sikrer, at behovet for nanoteknologer kan imødekommes. Forskerskoler bør anvendes som et instrument til at sikre en veludbygget forskeruddannelse på nanoområdet. Opmærksomheden henledes generelt på, at samarbejde mellem industri og forskningsinstitutioner samt videnoverførsel ikke mindst skal ske gennem uddannelse af kandidater og ph.d.ere.

Tværfaglig mobilitet

For den fortsatte udbygning og succes er det vigtigt, at vi stimulerer til yderligere mobilitet mellem grundfag og tværgående „nano-fag“ på masterniveau, ligesom det er vigtigt med en fri mobilitet mellem universiteter herunder også interaktion med for eksempel universitetet i Lund. Ligeledes er det vigtigt, at innovation indbygges som et led i undervisningen og herunder at sikre de studerende et godt kendskab til patenteringsområdet. Især på den eksperimentelle front er der behov for, at uddannelserne styrkes, således at studerende kan opnå praktisk erfaring. Beløbene, som er nødvendige for en opgradering af den eksperimentelle del af uddannelserne, er forholdsvis beskedne.

Forpligtende samarbejde mellem virksomheder og forskere

Skal dansk erhvervsliv kunne deltage i denne næste industrielle revolution med nanoteknologi, er det meget vigtigt, at samarbejdet mellem virksomheder, institutioner og universiteter styrkes og udbygges, idet nanoteknologi i mange år fremover vil have sit udgangspunkt i de stærke universitære miljøer inden for nanovidenskab. Det er i forlængelse af ovenstående vigtigt, at der sikres opbygning af nye stærke og generative vidennetværk mellem eksisterende og nyetablerede forskningsbaserede virksomheder og forskningsinstitutioner. Disse vidennetværk skal være pulserende, dynamiske og kreative i deres bearbejdning af forestillinger om anvendelser, muligheder for teknologisk at lave eksperimenter og prototyper og både igangsætte, efterspørge og trække på forskningsbaseret viden. Dette kendetegner innovative miljøer i Silicon Valley, den nordjyske mobiltelefoni, de første 10 år af vindmølleindustrien samt centre som DTU's MIC-center med videre. I konkurrencen med lande som Kina og Indien, som har lave arbejdslønninger, er det vigtigt, at danske virksomheder i så stort omfang som muligt satser på produkter med så stort et videnindhold som muligt.

Det foreslås, at der dannes en række institutions- og industrisamarbejder, som sikrer en direkte kobling mellem den langsigtede universitetsforskning og anvendelserne. Her bør også GTS-institutter kunne medvirke som partnere. Et andet vigtigt aspekt er innovation og koblingen til industrielle aktiviteter i den etablerede industri. Det foreslås derfor at lægge stor vægt på forpligtende deltagelse fra virksomheder i de forskningssamarbejder, som skal fortsættes eller sættes i gang. Virksomhederne skal således, mod at stille med egne ressourcer i form af finansiering, forskningskompetence og mandskab i fælles konsortier, kunne få adgang til den forskningsmæssige viden, som skabes. Det kan for eksempel ske ved at deltage i nye teknologiplatforme eller i forbindelse med udvikling af kommercielle applikationer som spin-off fra forsknings- og udviklingsindsatsen.

Dette forudsætter samtidig udvikling af instrumenter til at håndtere intellektuelle rettigheder, fælles patenter, målrettede ErhvervsPhD-stipendiater, royalties med videre.



Herudover kan der være behov for at kunne starte eller deltage i fællesejede iværksættervirksomheder.

En del af bevillinger over en vis størrelse (eksempelvis over 7 millioner kroner om året) kunne knyttes til en forudsætning om samarbejde med industrien i form af etablerede virksomheder såvel som opstartsvirksomheder.

Videnoverførsel til industrien og iværksættere

Specielt små- og mellemstore virksomheder, som har nanomaterialer som deres kerneområder, vil møde adskillige forhindringer under udviklingen og markedsføringen af nye nanomaterialer. De skal investere betydeligt i FoU og må nødvendigvis beskytte deres know-how gennem en aggressiv patenteringspolitik. Begge dele er overordentligt kostbart, og en vis offentlig støtte må forudses for især „kuvøse-firmaerne“. Det er vigtigt, at kunne udnytte det at være først på markedet for at sikre sig den nødvendige profit til at kunne finansiere FoU aktiviteter på kommende produkter. Konkurrencen fra globale spillere, som er ivrige efter at fylde deres produktportefølge med nye nanomaterialer, vil være massiv, og de mindre virksomheder bør i deres forretningsstrategi overveje muligheden for joint ventures eller anden form for strategisk samarbejde, licensiering af deres opfindelser til andre virksomheder, salg af patenter og så videre. Da disse processer er komplicerede og dynamiske, er det vigtigt, at nystartede virksomheder får adgang til ledelses- og organiseringskompetencer i relation til forskning og udvikling, produktion og salg. Det kan både ske gennem dannelsen af „erfa-netværk“, samt gennem relevante uddannelsestilbud.

Det er derfor vigtigt at fokusere på incitament- og teknologitransfer elementer, der kan styrke dette. GTS-institutterne (herunder også innovationskonsortium-initiativet) er et helt centralt instrument, når det gælder teknologioverførsel til brede dele af erhvervslivet. GTS-institutterne har sammenlignet med universiteterne større kompetencer til at lægge kræfter i at få spredt viden til erhvervslivet. Flere GTS-institutter herunder Teknologisk Institut, Delta, Bioneer og Force arbejder allerede med nanoteknologi.

I forbindelse med innovative tiltag bør Tech-trans loven udnyttes mest hensigtsmæssigt, ligesom patentmuligheder skal udnyttes optimalt. Nanoområdet er på mange måder stadig et relativt nyt felt i patentsammenhæng, og der er oplagte muligheder for at få en god national position på nanopatenter, hvis vi rykker nu. Endelig er det af betydning for innovationsprocessen, at der også tilvejebringes midler til produktmodning og til markedsanalyser.

Fokus på sundhed, risici miljø og etik

Styregruppen lægger meget vægt på, at de eventuelle negative sider ved nanoteknologi nøje overvejes. Kan der være risici i forbindelse med forarbejdning, brug eller bortskaffelse af produkter, der baserer sig på nanoteknologi? Det er i styregruppens øjne meget vigtigt, at risikoelementet indarbejdes i forskning og industriel udvikling. Befolkningen har således krav på at blive fuldt oplyst om risici og informeret om de gevinster, som nanoteknologi kan tilbyde. Det er samtidig magtpåliggende for styregruppen at pege på, at risikovurderingen bør være relativ, det vil sige afveje fordele og ulemper sammenholdt med eksisterende produkter - for eksempel inden for kemikalieområdet. Risici skal således bedømmes i sammenhæng med eksisterende eller andre alternativer. Det er styregruppens vurdering, at troværdighed i forbindelse

>

med brug af nanoteknologi er afgørende for, at teknologien vil vinde accept og almindelig udbredelse. Det er samtidig vigtigt, at åbenlyst farlige anvendelser indstilles eller eventuelt underlægges regulerende rammer, i fald der skulle være meget stærke forhold, der taler for alligevel at anvende nanoteknologi i forbindelse med produktionsprocesser.

Styregruppen foreslår, at der i tilknytning til bevillinger stilles krav om udarbejdelse af en risikovurdering i henhold til en nøjere specificeret procedure, både med hensyn til fremstilling, brug og senere bortskaffelse, samt sammenholdt med alternativer.

>

ISBN 87-91469-17-1