



# Nasjonal strategi for nanovitenskap og nanoteknologi

# Nasjonal strategi for nanovitenskap og nanoteknologi

# Innhold

Forord .....	3
Sammendrag.....	4
Summary.....	5
<b>Bakgrunn</b>	
Hva er nanovitenskap og nanoteknologi (nanoVT)? .....	7
Hva skjer internasjonalt? .....	8
Hvorfor skal Norge satse på nanoVT? .....	11
Hva skjer i Norge? .....	13
NanoVT i samfunnet.....	16
<b>Drøfting av organisatoriske tiltak</b>	
Behovsdrevet eller kunnskapsdrevet? .....	18
Koordinering .....	19
Finansieringsmodeller .....	21
Utdanning, rekruttering og kommunikasjon .....	21
<b>Forskningsstrategi for nanoVT</b>	
Prioriterte satsingsområder .....	23
Virkemidler.....	30
Organisering av satsingen .....	34
Samspill mellom ulike aktører .....	36
Budsjettforslag .....	38
Råd til ulike aktører.....	39
Ordliste.....	43
Referanser.....	44
Vedlegg 1. Norsk kompetanse i nanoVT. ....	46
Vedlegg 2. Forankring av strategien .....	50
Vedlegg 3. Svar på mandatet.....	51

# Forord

Strategien er utarbeidet av en uavhengig arbeidsgruppe oppnevnt av Forskningsrådet. Strategien omhandler og gir råd om:

1. Hvilke fagområder/forskningsmiljøer hvor Norge, på bakgrunn av nasjonale behov og forutsetninger, bør være internasjonalt ledende.
2. Identifisering og prioritering av nye satsingsområder.
3. Tiltak for å bedre rekrutteringssituasjonen innenfor ulike fag-/delområder, inkludert behov for ytterligere doktorgradsstipend og postdoktorstipend, samt andre tiltak som vil ivareta behovet for fagkompetanse i instituttsektoren og i næringslivet, samt innenfor profesjonsfagene.
4. Tiltak for videre utvikling av nasjonal koordinering og arbeidsdeling mellom fagområder og forskningsmiljøer for å oppnå bedre ressursutnyttelse nasjonalt. Nasjonal koordinering av laboratorier og utstyr bør vektlegges.
5. Tiltak for økt mobilitet av norske forskere, både nasjonalt og internasjonalt, og tiltak for økt internasjonalisering.
6. Tiltak for økt næringsvekst i relevante industri-sektorer i Norge, basert på økt samhandling mellom UoH- og instituttsektoren og næringslivet.
7. Forskningsledelse og aktuelle tiltak for videreutvikling og forbedring av dagens situasjon.

Strategien har tatt utgangspunkt i Forskningsrådets foresight-prosjekt «Avanserte materialer Norge 2020» [Norges forskningsråd 2005] og til en viss grad foresight-prosjektene Energi 2020+ [Norges forskningsråd 2005(b)], UTSIKT [Norges forskningsråd 2005(c)] og Havbruk 2020 [Norges forskningsråd 2005(d)]. Parallelt med denne strategien ble en strategi for matematikk, naturvitenskap og teknologi (MNT-strategien) utarbeidet [Norges forskningsråd 2006].

Arbeidsgruppen har bestått av

- professor Bengt Kasemo, Chalmers tekniska högskola (leder)
- assisterende forskningssjef Ralph W. Bernstein, SINTEF (IKT)

Oslo, november 2006



Arvid Hallen  
administrerende direktør  
Norges forskningsråd

- EHS Manager Inger-Johanne Eikeland, Elkem
- professor Mari-Ann Einarsrud, NTNU
- professor Helmer Fjellvåg, Universitetet i Oslo
- professor Jan Petter Hansen, Universitetet i Bergen
- avdelingsdirektør Christina I.M. Abildgaard, Norges forskningsråd (observatør)

Arbeidsgruppen har vært støttet av en referansegruppe som har bestått av

- professor Anja Boisen, Danmarks tekniske universitet
- direktør Eva Dugstad, Institutt for energiteknikk
- professor Vidar Hansen, Universitetet i Stavanger
- professor Henrik Jakobsen, Høgskolen i Vestfold
- direktør R&D Frank Karlsen, Norchip
- førsteamanuensis Unni Christine Oxaal, Universitetet for miljø- og biovitenskap
- senioringeniør Ingrid Roland, Statens forurensingstilsyn
- professor Kenneth Ruud, Universitetet i Tromsø
- førstekonsulent Roy Skulbru, Nærings- og handelsdepartementet (observatør)
- leder Tore Tennøe, Teknologirådet
- direktør Ellen Dahler Tuset, Norspace
- direktør Oddvar Aaserud, Venturos

Sekretariatet har bestått av forsker Ole Martin Løvvik fra Universitetet i Oslo, som har vært gruppens sekretær, programkoordinator Dag Høvik fra Forskningsrådet, Divisjon for store satsinger samt seniorkonsulent Agnes Aune fra Forskningsrådet, Divisjon for store satsinger. Dessuten har seniorrådgiver Aase Marie Hundere vært knutepunkt i Divisjon for Vitenskap, og rådgiver Tor Einar Johnsen knutepunkt i Divisjon for Innovasjon.

Forskningsrådet vil gjerne takke alle som har deltatt i utarbeidelsen av denne strategien. Deltakerne i arbeidsgruppen og referansegruppen har gjennom sin entusiasme og mange innspill bidratt til en meget gjennomarbeidet rapport. Vi vil spesielt takke leder av arbeidsgruppen, professor Bengt Kasemo, for et svært positivt og fast lederskap gjennom hele prosessen, og forsker Ole Martin Løvvik som har vært en meget god sekretær for arbeidsgruppen.



Anne Kjersti Fahlvik  
divisjonsdirektør  
Divisjon for store satsinger

# Sammen drag

Nanovitenskap og nanoteknologi (nanoVT) vil føre til betydelige endringer som berører alle deler av samfunnet. NanoVT handler om avansert og systematisk styring av materialer på atomær og molekylær skala. NanoVT er allmenn og generell (**generisk**), dvs. at den kan brukes på mange områder. Utviklingen av nanoVT vil føre til økt verdiskaping og flere jobber innenfor mange industrigrener, og bidra til livskraftige samfunn. NanoVT åpner store muligheter for bærekraftige energisystemer, energioptimalisering og bedre helse. Forskning på nanoVT vil også gi vesentlige bidrag til dypere erkjennelse og grunnleggende kunnskap om basisfagene fysikk, kjemi, biologi og matematikk.

**Norge** har et godt utgangspunkt for å etablere internasjonalt ledende miljøer innenfor flere nisjer av nanoVT, ut fra naturgitte ressurser, sterke næringssektorer og kompetansen i forskningssektoren. Utviklingen av vitenskap og teknologi skjer svært raskt samtidig som interessen i norsk industri og samfunn stiger. Tiden er inne for å satse for fullt på nanoVT.

«Nasjonal strategi for nanovitenskap og nanoteknologi» angir tematiske satsingsområder, påkrevde kompetanseområder, verktøyplattformer og behovet for avansert infrastruktur. De fire **tematiske satsingsområdene** representerer nasjonale fortrinn og kompetanse i tråd med prioriteringene i Forskningsmeldingen fra 2005: Energi og miljø, IKT og mikrosystemer, helse og biologi samt hav og mat. Arbeidsgruppen anbefaler en tung satsing på seks **kompetanseområder**: Materialer, grenseflate-/overflatevitenskap og katalyse, fundamentale fysiske og kjemiske fenomener og prosesser på nanometernivå, bionanoVT, komponenter, systemer og komplekse prosesser basert på nanoVT samt etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter (ELSA), herunder helse, miljø og sikkerhet. For å gjennomføre strategien kreves nye **verktøyplattformer** for nanoVT: Syntese, manipulering og fabrikasjon, karakterisering samt teori og modellering. ELSA bør integreres i relevante prosjekter og sentre, og samordnes med tilsvarende forskning på andre teknologiområder.

MiNaLab/SMN i Oslo og NTNU NanoLab i Trondheim er de to desidert største eksperimentelle installasjonene for nanoVT i Norge. Samtidig setter flere andre av landets FoU-institusjoner søkelyset

på nanoVT. Arbeidsgruppen anbefaler å opprette to nasjonale infrastruktursentre og et nettverk av verktøyplattformer. De **nasjonale infrastruktursentrene** og plattformene tilføres ressurser slik at de kan tilby en bred tilgjengelighet for hele FoU-sektoren innen eksperimentelt utstyr og metodisk kompetanse av høy internasjonal kvalitet, til en konkurransedyktig pris.

Deler av ny kompetanse om nanoVT må hentes inn fra utlandet. Individbasert finansiering kan stimulere dyktige forskere til utenlandsopphold og til karriereveier i Norge. God infrastruktur og høyt faglig nivå i robuste miljøer skal også tiltrekke internasjonale eksperter som gjesteforskere. **Internasjonalisering** vil skje gjennom nettverk som utnytter partnernes komplementære spisskompetanser.

I tillegg til vanlige forskerprosjekter bør det utvikles en ny type **storprosjekter** der grunnforskning, anvendt forskning, innovasjon og samarbeid med industrien inngår som likeverdige deler. Industribedrifter skal kunne delta i prosjektene som partnere. Storprosjekter krever god **forskningsledelse**. For å få flere gode ledere, bør det opprettes et eget opplæringstilbud.

I strategien anbefaler arbeidsgruppen å etablere et nytt forskningsrådsprogram kalt **Nytt nanoprogram**. Det skal også støtte forskning på tematiske satsingsområder, koordinert med øvrige virkemidler i Forskningsrådet. Et slikt program skal ta vare på de spesielle behovene som nanoVT har, gjennom utbygging og drift av ny og kostbar infrastruktur, oppfølging av viktige utviklingstrekk, etablering av internasjonalt samarbeid og nasjonal koordinering. Det ses som mest naturlig at det nye programmet er en utvidet og forsterket versjon av NANOMAT («Nytt nanoprogram»). På sikt kan det vurderes å opprette et nasjonalt rådgivende organ for nanoVT.

I **budsjettet** anbefaler arbeidsgruppen en tildeling til nanoVT på 140 millioner kr/år i 2007, økende til 250 millioner kr/år i 2011, deretter jevnt økende til 280 millioner kr/år i 2016. Størrelsen på budsjettet er i tråd med foresight-prosjektet Avanserte materialer Norge 2020 [Norges forskningsråd 2005]. Opptrappingen vil plassere Norge på nivå med sammenliknbare land, og er en forutsetning for å kunne iverksette de ambisiøse tiltakene og målsettingene i denne strategien.

## Hovedmål

Norge skal bli en ledende forskningsnasjon innenfor utvalgte nisjer av nanovitenskap og nanoteknologi. Gjennom fundamental innsikt, avansert teknologi og bred tverrfaglig kompetanse skal Norge etablere et solid grunnlag for økt verdiskaping, ny næringsvirksomhet og ny erkjennelse.



# Summary

Nanoscience and nanotechnology (N&N) will induce important changes in all parts of society. N&N imply advanced and systematic control of materials on the atomic and molecular scale. The field is **generic**, and will lead to value creation and new jobs in a broad range of industries. It will also contribute to a sustainable development of society, e.g. increased efficiencies and new solutions in the energy sector, as well as improved health services. Important contributions to the development of fundamental understanding and perception of the nature are also expected. Norway has strong opportunities for establishing internationally leading groups within a number of niches in N&N, based both on natural resources and existing competence. The development is rapid and Norwegian industry and society show rising interest – the time to act is now.

This N&N strategy identifies thematic areas, required areas of competence, tool platforms and the need for advanced infrastructure. The four **thematic areas** are based on a combination of identified Norwegian resources and competencies, and correspond to national priorities from the 2005 White Paper on Research: Energy and environment, ICT and Microsystems, Health and Biotechnology, and Sea and Food. In addition a strong and focused effort on the following **areas of competence** should be initiated: materials; surface/interface science and catalysis; fundamental physical and chemical processes at the nanoscale; bio nanoscience and -technology; devices, systems and complex processes based on N&N; ethical, legal, and societal aspects (ELSA) including health, safety and environment. The strategy also recognizes essential **tool platforms** for N&N: synthesis, manipulation, and fabrication; characterization; theory and modelling. ELSA should be integrated into relevant projects and centers, and should be coordinated with similar research for other technologies.

MiNaLab/SMN in Oslo and NTNU NanoLab in Trondheim are by far the largest experimental installations for N&N in Norway. The attention is at the same time increasing at several other R&D institutions. It is recommended to initiate two **national centers of infrastructure** and a set of tool platforms. The national centers of infrastructure and the tool platforms should be given appropriate resources

to offer researchers with high quality projects access, to state-of-the-art experimental tools and methodological competence at an affordable price.

Competence within some new areas must probably be imported in order to keep the desired pace. This involves systems for financing individuals, to stimulate excellent researchers to travel abroad and to create tenure tracks in Norway. Excellent infrastructure and high scientific level will be means to attract international experts as visiting researchers. **Internationalization** should also be performed through networks utilizing complementary competence of the participants.

In addition to the usual projects funded by the research council a new kind of **large projects** should be initiated, where basic and applied research, innovation and contact with the industry are equivalent parts. Partners from the industry should be allowed to participate in these projects. Such projects require competent **research management**, and education in this field should be offered.

The strategy recommends that a **new research program** for N&N, materials, and integration is established within the Norwegian Research Council. This program should also support research aimed at the thematic areas, in coordination with other programs in the Norwegian Research Council. The program should also take care of the special needs of this new research field, through installation and operation of new and expensive infrastructure, following up important development, and develop cooperation by efforts for internationalization, national coordination, etc. It should also contribute to the promotion of N&N and the natural sciences, and contribute to the exploitation of results. It is regarded as most natural that this is an expanded and strengthened version of the NANOMAT programme («New nano programme») It may be apt to initiate a national council for N&N after some time.

The **budget** recommends a financing level for N&N starting at 140 Mkr/year in 2007, increasing to 250 Mkr/year in 2011, and then steadily growing to 280 Mkr/year in 2016. This is in accordance with the Norwegian Foresight project Advanced Materials 2020. The Norwegian efforts will in this case be comparable to similar countries; this is required to implement the ambitious goals in this strategy.

## Vision

Norway will become a leading nation within selected niches of nanoscience and nanotechnology. Through fundamental knowledge, advanced technology, and broad competence a strong basis will be created for increased value creation, new industry, and new knowledge.



# Bakgrunn

## Hva er nanovitenskap og nanoteknologi (nanoVT)?

Nanovitenskap og nanoteknologi (nanoVT) har potensial til å gi like store samfunnsmessige endringer som den industrielle revolusjonen. Et spesielt trekk ved nanoteknologi er dens **generiske** karakter; den vil kunne ha innvirkning på nær sagt alle samfunnsområder, og omtales i mange sammenhenger som den neste industrielle revolusjonen [National Nanotechnology 2006].

Nanodimensjonen dekker kjemiske bindinger, molekyler og atomære fenomener innenfor kjemi og fysikk. Den omfatter også byggeklosser og elementer av biologiske makromolekyler og strukturer som bygger opp under genteknologi, cellebiologi og nevroinformatikk. Den brede beskrivelsen av nanofeltet viser at det gjennomsyrrer realfag, medisin og teknologi, og dermed også næringsliv og verdiskaping. Rapporten **avgrens**er nanoVT fra tradisjonelle disipliner og teknologi gjennom temaene som trekkes fram og gjennom den vitenskapelige tilnærming som legges i å forstå og utnytte fenomener som oppstår på nanometerskala.

### Vi benytter i dag allerede

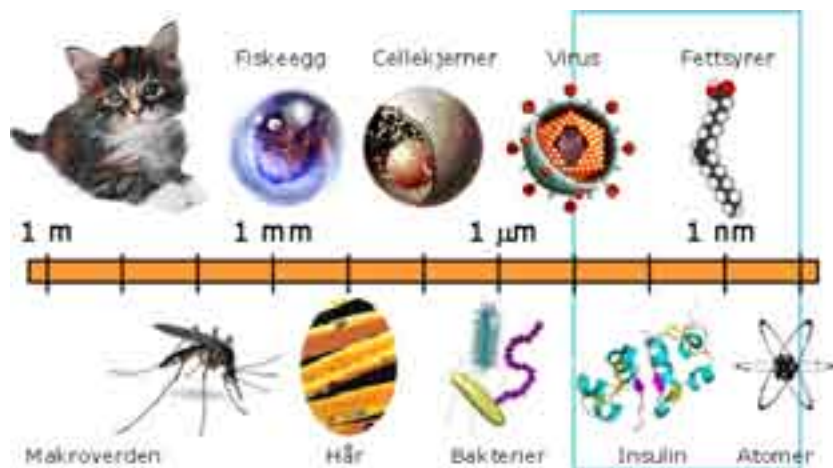
en rekke ulike produkter med basis i nanoteknologi, f. eks som komponenter for datalagring, solkremer, katalysatorer for avgassrensing, kontrastmidler for

medisinsk avbildning, nanostrukturert lakk med stor ripefasthet og tekstiler der skitten preller av. På lengre sikt vil imidlertid nanoteknologi påvirke hverdagen til alle mennesker, og det globale markedet for nye produkter ventes å bli svært stort i løpet av relativt kort tid. Eksempler på kommende produkter er billige og høyeffektive solceller, energieffektive boliger (smarte vinduer, effektiv og fleksibel belysning) samt katalysatorer og materialer for miljøvennlig energiproduksjon.

Andre produktområder bygger på teknologi hentet fra elektronikkindustrien, slik som effektive datamaskiner og datalagring med høy kapasitet, metoder for medisinsk diagnostikk (biochips) og behandling, sensorer for sikkerhet og komfort i biler samt overvåking av miljø og industriell produksjon.

Nanovitenskap åpner for **radikale gjennombrudd** i forskningen. Nye fenomener kan oppstå som følge av samvirke mellom organiserte enheter på nanonivå. Et eksempel er superfølsomme lese-hoder for magnetisk lagret datainformasjon. Ytelsen,

*Nanovitenskap og nanoteknologi ligger i området ca 0,1 til 100 nm (se ramme for definisjon av nm). Illustrert ved gjenkjennbare eksempler fra biologien.*



- **Nanoteknologi:** Utnyttelse av materialer, strukturer, komponenter og systemer basert på nanovitenskap. I noen sammenhenger omfatter nanoteknologi også nanovitenskap, men her brukes de som forskjellige begreper.
- **Nanovitenskap:** Det å måle, beskrive, modellere og systematisk manipulere og kontrollere nanostrukturer og dynamiske prosesser som foregår på nanometerskala.
- **Nanostrukturer:** Materialer, komponenter og systemer med en størrelse mellom 0,1 og 100 nm.
- **Nanometer (nm):** En milliondels millimeter. Forstavelsen nano kommer fra gresk «dverg» og betyr milliarddel. Hvis en teskje vann kunne spres jevnt utover en fotballbane, ville tykkelsen være ca. 1 nm. Neglene vokser omtrent 1 nm i sekundet, mens et virus er omtrent 100 nm i utstrekning. Fenomener og egenskaper kan på nanometerskalaen være fundamentalt annerledes enn for tilsvarende materialer, strukturer, innretninger og systemer i større målestokk. Den relativt brede definisjonen på nanoVT ovenfor vil implisitt bli avgrenset til temaer som behandles i rapporten.



stabiliteten og reaktiviteten til nanostrukturerte materialer og komponenter kan nå nye høyder: Nanorør og -kompositter kan ha unik mekanisk styrke, nanopartikler kan fremvise ekstrem bestandighet mot korrosjon og nanostrukturerte katalysatorer kan gi en ny grad av selektivitet. Utvikling av nye metoder gjør at vi nå kan stille sammen naturens byggeklosser på et kontrollert og systematisk vis. Det er først når vi behersker dette at vi virkelig opererer med nanovitenskap og nanoteknologi.

Nanostrukturerte materialer og komponenter kan fremstilles på to prinsipielt sett ulike måter: Ved å miniatyrisere (ovenfra og ned) eller ved å bygge opp fra atomære byggesteiner (nedenfra og opp). Fremtidens nanoprodukter vil bli produsert med begge metoder. Miniaturiseringen av elektronikk og mikrosystemer ved bruk av litografi, preging og direkte strukturering er en ovenfra og ned-metode. Det samme er nedmaling av pulver til nanopartikler, metoder for «skrivning» av nanostrukturer og diverse etseteknikker.

Nanostrukturer som bygges opp atom for atom, molekyl for molekyl eller partikkel for partikkel, er en nedenfra og opp-metode. Atomene, molekylene eller partiklene utgjør da byggesteiner (legoklosser) som kan stilles sammen til spesifikke nanostrukturer. Eksempler på nedenfra og opp-

metoder finnes innenfor krystallgroing og syntese basert på kjemiske metoder og selvorganisering.

Nanovitenskapen er ikke én disiplin på samme måte som fysikk, kjemi eller biologi. Disse etablerte disiplinene utgjør snarere en basis for nanovitenskap. Nanovitenskap krever stor grad av **tverrfaglighet** og konvergens mellom disiplinene. Ny erkjennelse forventes også på disse hittil lite undersøkte grenseflatene.

På samme måte er ikke nanoteknologi én teknologi, men en samling av teknologier, metoder og materialer som alle er basert på kontroll og strukturering på nanometerskala for å oppnå nye egenskaper og funksjoner.

NanoVT griper sterkt inn i naturvitenskapelige disipliner og samfunnsteknologier, og vil bli avgjørende for **konkurranseskraft** og **fornyelses-evne** i det 21. århundre. NanoVT gir uante muligheter, men samtidig et ansvar for å forvalte ny kunnskap og ny teknologi for samfunnets og fellesskapets beste. Ny kunnskap innenfor nanoVT vil i all hovedsak genereres internasjonalt (>99 %). I tillegg til at norsk FoU må evne å ta denne kunnskapen i bruk, er det avgjørende at norsk nanoVT raskt finner konkurransedyktige nisjer med potensial for ny erkjennelse og verdiskaping.

## Hva skjer internasjonalt?

- *De fleste industrialiserte land satses sterkt på nanoVT, med raskt økende offentlige forskningsmidler.*
- *EU, Japan og USA er de tre største aktørene, med tunge og brede satsinger.*
- *Mindre land har mer fokuserte og prioriterende satsinger.*

I land av ulik størrelse og med ulik grad av kompetansetungt næringsliv, er det store og viktige forskjeller mellom volum og fokus på nanoVT, se figuren neste side. **Den norske satsingen er beskjedent**, også målt per innbygger. Flere land av sammenliknbar størrelse har langt tyngre satsinger, noe som gjerne gjenspeiles i innovasjonsgrad og nyskaping.

Det er verdt å merke seg at **Irland** og **Israel**, av sammenliknbar størrelse med Norge, har verdens største offentlige satsinger på nanoVT målt per capita [European Commission 2004(b); 2005(d)].

I Irland er dette resultat av konkrete anbefalinger i «Statement on Nanotechnology» [icsti040714] fra Irish Council for Science Technology and Innovation i 2004. Rapporten legger spesielt vekt på elektronikk, fotonikk, farmasi, medisinsk teknologi, matproduksjon, polymerer og plast samt konstruksjonsmaterialer. Irland har en rekke små og store selskaper som har eller forventes å få en vesentlig aktivitet innenfor nanoteknologi.

Den globale aktiviteten kan samles i fire omtrent like store deler: USA, Japan, EU og resten av verden. Figuren på side 10 illustrerer hvordan satsingen på nanoVT i perioden 2000–2005 har gått gjennom en meget rask **ekspansjonsfase**, og nå er kommet på et høyt nivå blant de toneangivende industrinasjonene. De totale offentlige bevilgningene har fulgt hverandre tett i disse regionene, men det er likevel relativt store forskjeller mellom hvordan satsingene blir gjennomført. Utviklingen skjer raskt, og land som Kina og Sør-Korea kan fort bli svært viktige og toneangivende.

Landets størrelse fremstår som bestemmende for hvor bred satsingen er. De tre store aktørene

EU, Japan og USA har solide aktiviteter på alle områder innenfor nanoVT. De minste landene, med Sverige og Danmark som nærliggende eksempler, har **fokusert** satsingen rundt noen få områder, men har i tillegg mindre aktiviteter på flere områder for å holde en minimumsbredde [Nanoforum 2003].

Det er betydelige forskjeller mellom hvor anvendt den offentlig finansierte forskningen er. USAs nanosatsing har et langt mer **grunnleggende** preg enn EUs, selv om EU i sitt sjuende rammeprogram legger opp til en tyngre satsing på fundamental nanovitenskap. Dette kan delvis forklares ved at EU så langt har overlatt store deler av grunnforskningen til hvert medlemsland.

En annen viktig forskjell er **industriens** investeringer i nanoforskning. Her skiller også USA seg ut, med den klart største satsingen i verden. Dette gjenspeiles i den amerikanske innovasjonsevnen. 50 % av forbrukerprodukter og nyoppstartede bedrifter basert på nanoteknologi kommer i dag fra USA [Nanotechproject 2006].

## De tre store: USA, Japan og EU

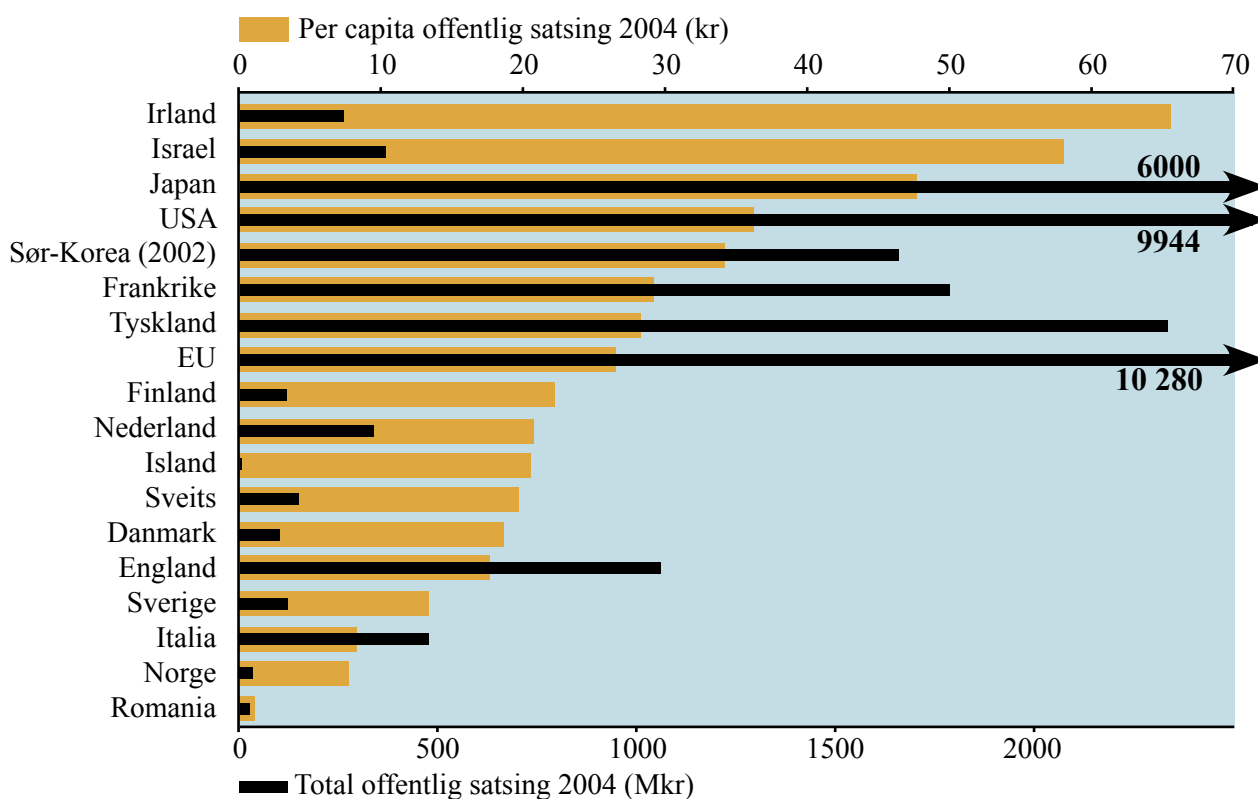
### USA

De brukte i 2005 ca. 1100 millioner dollar på nanoVT gjennom the National Nanotechnology

Initiative (NNI), som samordner de fleste offentlige satsingene [US NSTC 2004, 2005]. Bevilgningene skjer gjennom enkeltgrupper/forskere, samarbeidsgrupper og større sentre. Den nasjonale nanostrategien peker ut konkrete mål for satsingen innenfor forskning og utvikling, teknologioverføring og velstandsutvikling, utdanning og infrastruktur samt en ansvarlig utvikling av nanoteknologi. USA ønsker å være **verdensledende** innenfor de fleste områder av nanoVT, og de fleste av de sju hovedkomponentene i programmet er generiske: Fundamentale fenomener og prosesser på nanometerskala; nanomaterialer; komponenter og systemer på nanometerskala; instrumentering, måleteknikk og standarder; nanofabrikasjon; store forskningsinstallasjoner samt sosiale dimensjoner.

Hovedmålet for programmet er:

- å opprettholde forskning og utvikling i verdensklasse med mål å utnytte det fulle potensialet for nanoteknologi
- å legge til rette for teknologioverføring til produkter for økonomisk vekst, arbeidsplasser og samfunnsnytte
- å etablere ressurser for utdanning med tilsvarende avansert infrastruktur og verktøy
- å støtte en ansvarlig utvikling av nanoteknologi



Offentlige bevilgninger til nanoVT per capita (kr/år) og totalt (millioner kr/år). [European Commission 2004(b); 2005(d)].

USAs offentlige satsing legger altså vekt både på hele kjeden fra utdanning, grunnleggende forskning og utvikling til industrialisering.

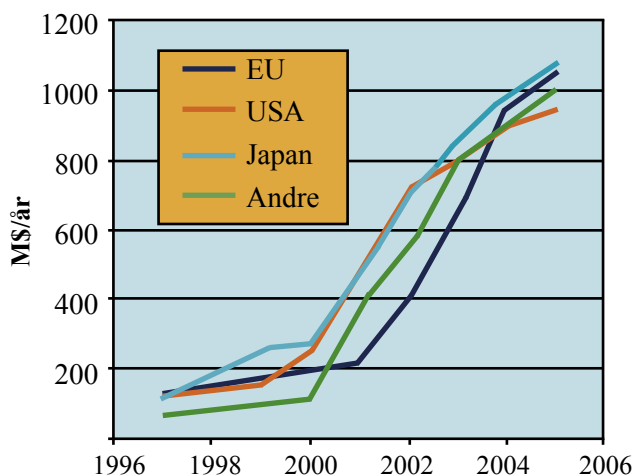
### Japan

I den femårige satsingsplanen for vitenskap og teknologi fra 2001 [National Institute 2001] defineres nanoteknologi og materialer som ett av fire hovedområder sammen med IKT, biovitenskap og miljøteknologi. Japan prioriterer på samme vis som USA grunnforskning, og har nasjonal finansiering av avansert vitenskapelig utstyr, laboratorier for syntese og fabrikasjon på nanometerskala i dedikerte nasjonale nanoVT-sentre [Japanese Council 2005, NISTEP 2005]. Driften av avanserte laboratorier er underlagt **nasjonal koordinering**. Innovativ grunnleggende teknologi som gir grobunn for ny industri er et prioritert område. New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) legger for eksempel vekt på nanoteknologi relatert til materialer, materialfremstilling, måleteknikk, bioteknologi, IKT og nano-produksjonsteknologi. Utveksling av forskere og forskningssamarbeid internasjonalt er et annet prioritert område.

### EU

Målet for EUs sjuende rammeprogrammer (RP) (2007-2013) innenfor «Nanovitenskap, nanoteknologi, materialer og nye produksjonsteknologier (NMP)» er å «...forbedre konkurranseevnen til den europeiske industrien og sørge for en overgang fra en ressursintensiv til en kunnskapsintensiv industri, ved å skape ny kunnskap med epokegjørende

Offentlig finansiering av nanoVT



Offentlige bevilgninger til nanoVT i EU, Japan, USA og resten av verden. Tallene er en blanding av friske og omdefinerte midler. [Roco 2005].

gjennombrudd for nye anvendelser i grenseflaten mellom forskjellige teknologier og disipliner» [Europ. Commission 2005].

EU har ikke etablert nanoVT som et eget tematisk område. NanoVT er en sentral del av NMP-programmet, men er samtidig tungt finansiert gjennom Information Society Technology (IST)-programmet. I 2005 utgjorde finansieringen til nanoteknologi innenfor sjette RP ca. 470 millioner euro, der andelen fra NMP var ca. 44 %, mens IST stod for ca. 38 %. Omtrent det samme nivået er ventet i 2006 og 2007 med en økning av satsingen på nanoVT mot slutten av sjuende RP. NanoVT vil i tillegg inngå i åtte av de ni tematisk prioriterte områdene i EUs sjuende rammeprogram. Hovedmotivasjonen er **teknologibehov** [COST 2005; European Commission 2005; 2005(e)].

### Naboland

#### Danmark

Danmarks strategi for nanoVT fra 2004 [Videnskabsministeriet 2004] fokuserer på anvendelser. Visjonen er å «...være blant de absolutt beste land i verden – innen utvalgte områder – til å beherske og omsette nanoteknologi til industriell anvendelse, økt vekst og sysselsetting – og til å løse vesentlige samfunnsmessige behov.»

De prioriterte teknologiområdene er valgt ut fra **industriell og samfunnsmessig relevans** i tillegg til forskningsmessige styrker og/eller potensial. De prioriterte områdene er nanomedisin og medisinerings-teknologi (drug delivery), biokompatible materialer, nanosensorer og nanofluidier, plastelektronikk, nanooptikk og nanofotonikk, nanokatalyse, hydrogenteknologi og liknende samt nanomaterialer med nye funksjonelle egenskaper. Rapporten anbefaler å etablere to nasjonale nanoteknologiske kraftsentre, som skal bli vitenskapelig og teknologisk internasjonalt forende på sine felt. Denne strategien er i ferd med å bli satt delvis ut i livet, med etablering av kraftsentre ved Universitetet i Aarhus og senere ved Danmarks Tekniske Universitet i København.

#### Sverige

Sverige har ingen overordnet nasjonal strategi for nanoVT, og har i hovedsak valgt å **integre** nanoVT i eksisterende virkemidler for forskning. I 2001 la et nettverk av svenske forskere innenfor nanoVT fram «Strategidokument för Svenska Nanonätverket» [Swedish Nano 2001]. Dokumentet er så langt ikke tatt til følge av bevilgende myndigheter. Planen peker ut de seks områdene funksjonelle materialer, nanoelektronikk, kvante-

fysikk og kvantefenomener, molekylær elektronikk, nanobiologi og nanomedisin samt nanoverktøy. Sverige har ingen forskningsprogrammer dedikert til nanoVT, men en lang rekke prosjekter og forskningskonsortier er finansiert av Stiftelsen för Strategisk Forskning sentrale for nanoVT [Stiftelsen 2000; 2001]. I tillegg kommer prosjekter finansiert av Vetenskapsrådet, Vinnova, Knut och Alice Wallenbergs stiftelse og andre finansieringskilder.

### Finland

I den første satsingen på nanoteknologi i Finland i perioden 1997–1999 ble ansvaret delt. Academy of Finland hadde ansvaret for mer teoretisk grunnleggende prosjekter mens TEKES hadde ansvar for innovasjonsrettede og brukerstyrte prosjekter. Den **totalte satsingen** skulle også fylle gapet mellom de to typene forskning. [VDI technology Zentrum, report March 2004].

I perioden 2005–2009 har Finland en ny sats-

ing på nanoteknologi – FinNano – med Academy of Finland og TEKES som hovedaktører på programsiden. Ca. 70 millioner euro investeres, hvorav 50 millioner euro skal kanaliseres gjennom TEKES. [The 1st FinNano Annual Seminar 2006, presentert ved Dr. Markku Lämsä, TEKES]. Fokus for TEKES-prosjektene er «innovative nanostructured materials», «new solutions for nanoelectronics» samt «nanosensors and actuators».

Gjennom Academy of Finland er 9 millioner euro satt av til forskningsprosjekter innenfor «direct self-assembly», «functionality in nanoscale» og «properties of single nanoscale objects». Utdanningsdepartementet i Finland bevilger samtidig 24 millioner euro direkte til å utvikle universitetsutdanning og forskning, skape «centres of excellence» og finansiere infrastruktur.

Finland har flere sterke fagmiljøer innenfor de viktige tematiske områdene ved de store universitetene i Helsinki, Jyväskylä, Turku og Tampere, samt ved forskningsinstituttet VTT.

## Hvorfor skal Norge satse på nanoVT?

- *NanoVT legger generisk grunnlag for nye teknologier og stor verdiskaping. Norge kan utnytte dette potensialet til å etablere ny verdiskaping som ikke er knyttet til råvareproduksjon.*
- *NanoVT er en sannsynlig nøkkel til bærekraftig energiforsyning, noe som kan gi energinasjonen Norge muligheten til å bli verdensledende innenfor nanoVT for fremtidens energisystemer.*
- *Norge må utvikle sin kunnskapsbase parallelt med andre lands satsinger for å kunne delta i, forstå og benytte de teknologiske og samfunnmessige endringene som vil følge av utviklingen innenfor nanoVT. Dessuten for å konsolidere næringsliv, sikre kompetanse innenfor viktige samfunnsteknologier, og for å gripe nye muligheter.*
- *NanoVT er fremdeles i et tidlig utviklingsstadium med store muligheter til å hevde seg for små land og spesielt innenfor nisjer der fortrinn kan utnyttes konstruktivt.*

**Forskningsmeldingens** ambisjon er at Norge skal bli en ledende forskningsnasjon innenfor ny teknologi, kompetanse og kunnskap [UFD 2005].

Forskningen innenfor de fire tematiske områdene energi og miljø, mat, hav og helse skal prioriteres. Nye materialer og nanoteknologi er ett av tre prioriterte teknologiområder som støtter opp under de tematiske områdene, og skal bidra til å styrke grunnforskning og innovasjon. NanoVT vil ha stor betydning for Forskningsmeldingens øvrige teknologiområder IKT, materialteknologi og bioteknologi. Forskningsrådets foresight-rapport om materialer [Norges forskningsråd 2005] peker på at «*material- og nanoteknologi er en av nøklene til at Norge skal bli en nasjon i teten internasjonalt når det gjelder teknologikompetanse og kunnskap.*»

De fleste industrialiserte land har allerede etablert strategier og satsinger på nanoVT. De forventer at nanoteknologi vil bidra til betydelig **velstandsutvikling**, blant annet gjennom økt verdiskaping og nye arbeidsplasser. Det samme perspektivet gjelder for nanoVT i Norge. I tråd med Forskningsmeldingen vil den foreslåtte strategien gjenspeile hvordan norsk nanoVT støtter de nasjonale prioriteringene og bygger en påkrevd kompetansebasis for ny verdiskaping.

Her kommer noen eksempler på forskningsutfordringer som krever nanoVT. NanoVT innenfor **energi og miljø** vil bidra til utvikling av bærekraftige løsninger [Nanoforum 2004; Institute of Nanotechnology 2005; Masciangioli 2003] i en verden med økende energibehov. Nasjonalt er

foredling og konvertering av naturgass, vannrensing og CO<sub>2</sub>-håndtering sentrale tema. Nye generasjoner katalysatorer, membraner og absorberer vil bidra til mer miljøvennlig og energieffektiv prosessindustri. Fremtidens rene energisystemer avhenger i stor grad av material- og nanoteknologiske gjennombrudd. Solceller med betydelig bedre energieffektivitet, materialer som gjør visjonene om hydrogensamfunnet mulig og løsninger for energiøkonomisering (lysdioder, supraleidere, akkumulatører) er noen av eksemplene der nanoVT kan bidra til betydelige teknologiske forbedringer og gjennombrudd.

Dimensjonene til de minste transistorene innenfor **datateknologi** er under 100 nm [Intel 2006]. Fremtidens databrikker må forholde seg til kvanteeffekter når størrelsen minker ytterligere. Nye grunnleggende prinsipper (quantum computation), nye former for raske eller permanente datalagringsmedier og tilknyttede lese- og skrivehoder, optisk kommunikasjon, bredbåndsteknologi, flatskjermer og fleksible skjermer (elektronisk papir) vil bli utviklet med basis i nanoVT. Fremtidens bilder tilsier at sensorer vil integreres i en rekke samfunnsteknologier. Det er snakk om et kommende instrumenteringssamfunn som baserer seg på distribuerte sensorer, aktuatorer og energihøsting for å oppnå autonome (selvstyrte) systemer. Nanostrukturerte funksjonelle materialer er her nøkkelkomponenter. Dagens mikroelektromekaniske systemer (MEMS) vil jevnt utvikle seg mot nanoelektromekaniske systemer (NEMS) på disse områdene.

Nanoteknologi vil sammen med bio-, material- og medisinsk teknologi være nøkkel til mange muligheter innenfor **helse** [Morrison 2003; VDI 2005]. Spesielt vil samspillet mellom en eller flere av disse teknologiene være viktig. Bionanoteknologi som ligger i skjæringsflaten mellom flere teknologier, vil gi mer treffsikker og effektiv diagnostisering og

medisinering, og ny metodikk for behandling av skader og fysiske handikap.

Utviklingen vil skje langs mange akser. Økt kunnskap om sykdomsutvikling kan føre til gode prekliniske modellsystemer for karakterisering av mekanismer og prosesser og testing av medikamenter. Diagnostikk og visualiseringsmetodikk (MR, røntgen, ultralyd, PET osv.) med basis i nanoteknologi vil kunne gi tidligere deteksjon av sykdommer, mer presis identifisering av skader og økt kontroll og styring av operative inngrep. Medisinering ved hjelp av nanokapsler kan gi mer fleksibel dosering og økt organspesifisitet, det vil si styring av medisinen til riktig plass i kroppen. Nanosensorer kan registrere helsetilstanden ved å måle kjemiske stoffer i blodet. Signalene kan utløse medisinering eller rapportere tilstand til sykehus eller fastlege. Nye legemidler vil bestå av skredersyde molekyler som vekselvirker optimalt med biokjemiske overflater på celler i spesifikke organer. NanoVT vil bidra til å utvikle nye, biokompatible materialer for implantater og kunstige organer og funksjoner, f.eks. kunstige netthinner.

NanoVT kan også bidra til løsninger for utfordringer innenfor **hav og mat**. Redusert begroing på overflater kan oppnås ved å kontrollere nanostrukturen. Kontroll av materialstrukturen på nanonivå vil føre til lettere og sterkere konstruksjonsmaterialer. Protein-programmering av egenskaper til forskjellige fiskearter kan bli en fremtidig teknikk for å utvikle et mer effektivt havbruk. Mikrosystemer og nanosensorer kan brukes til å spore opprinnelse av produkter, til å overvåke mattilstand og sågar til å varsle om optimalt tidspunkt for slaktning. Fôrproduksjon fra naturgass ved syntese av proteiner optimaliseres med nye katalysatorer. Bruk av nanostrukturerte og funksjonaliserte materialer i emballasje for næringsmidler vil forbedre produktens kvalitet og holdbarhet.

Selve de nanoteknologiske komponentene av

et produkt vil som hovedregel være usynlig for forbrukeren. Derfor er det viktig med en bevisst **dialog med befolkningen** om mulighetene og risikoene som følger i kjølvannet av nanoteknologi. Det er fundamental viktig for Norge



Nye prioriteringer i norsk forskningspolitikk. Kilde: Forskningsmeldingen.



som nasjon å ha tilstrekkelig kompetanse innenfor matematikk, naturvitenskap og teknologi og derigjennom nanoVT for å kunne møte og absorbere en ukjent fremtid.

Utviklingen i nanoVT skjer raskt, og Norge må være aktivt med for ikke å tape terreng i et stadig tøffere internasjonalt forsknings- og ut-

viklingsklima. Manglende satsing vil gi redusert kompetanse på felt som fremstår som helt sentrale for fremtidig industriutvikling, velferd og levestandard. **Spørsmålet er ikke om Norge skal satse på nanoVT, men i hvor stor grad og på hvilke områder.** Denne rapporten forsøker å gi klare anbefalinger om dette.

## Hva skjer i Norge?

- *Den norske satsingen innenfor nanoVT er per 2006 beskjedent, også i forhold til folketallet.*
- *Relevante satsinger som nanoVT kan trekke veksler på, er etablert; mikroteknologi, nye (funksjonelle) materialer, funksjonell genomikk. Relevante faglige evalueringer er foretatt av disipliner og av ledende grupper i forbindelse med sentersøknader (SFF, SFI og COE).*
- *Forskningsinstitusjonene har etablert strategiske planer for nanoVT. Flere har investert i tung infrastruktur og det foreligger nasjonale og internasjonale samarbeidsnettverk.*
- *NanoVT i forsknings- og utdanningssektoren skjer i dag først og fremst i Oslo-området (UiO, SINTEF, FFI og IFE) og Trondheim (NTNU og SINTEF), til dels i Bergen (UiB). Mindre, men relevante aktiviteter, finnes andre steder, primært knyttet til U&H-sektoren.*
- *Den etablerte industrien viser økende interesse. Både etablerte industribedrifter og SMBer har nano-relaterte aktiviteter og produkter. Nye materialer og konsepter med kommersielt potensial blir identifisert i de akademiske forskningsmiljøene.*

### Norges forskningsråd og andre støtteordninger

Norges forskningsråd startet i 2002 programmet Nanoteknologi og nye materialer (NANOMAT, [www.forskningsradet.no/nanommat](http://www.forskningsradet.no/nanommat)) som en følge av FUNMAT- initiativet. Totalt disponerte programmet om lag 290 millioner kroner til prosjekter i den første fireårsperioden, budsjettet i 2006 er 76 millioner kroner. Rundt 30 % av prosjektene i NANOMAT kan sies å falle inn under nanoVT. NANOMAT-programmet har så langt hatt hovedfokus på

nye materialer, særlig funksjonelle materialer. Det er imidlertid vanskelig eksakt å angi nanoVT-andelen, siden dette griper tett inn i materialområdet.

NanoVT, slik det er definert i denne rapporten, favner meget bredt. Det innebærer at Forskningsrådet finansierer relevant forskning også gjennom **andre virkemidler**. De viktigste programmene og ordningene er Fremtidens rene energisystem (RENERGI), Frittstående prosjekter, Storforsk, Yngre fremragende forskere (YFF), Miljøvennlig gasskraftteknologi (CLIMIT), Brukerstyrt innovasjonsarena (BIA), ESRF følgeforskning, Strategiske universitets- og instituttprogrammer (SIP/SUP) og SkatteFunn. Den totale satsingen innenfor nye materialer og nanoteknologi gjennom Norges forskningsråd var i 2005 ca. 140 millioner kroner.

NanoVT forskning finansieres i tillegg gjennom nordiske midler og ved midler fra EU.

### Forsknings- og utdanningsinstitusjonene

Parterne i FUNMAT-konsortiet, dvs. Institutt for Energiteknikk (IFE), Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), SINTEF og Universitetet i Oslo (UiO), fremmet i februar 2001 et initiativ til Regjeringen om en koordinert, integrert nasjonal satsing innenfor funksjonelle materialer og nanoteknologi, med fokus på energi, miljøvennlig prosesseteknologi, mikrosystemer og biokompatible materialer.

Den norske satsingen i nanoVT foregår i stor grad ved disse institusjonene, men har en faglig spennvidde som går utover det fokuserte material-initiativet. Eksempler på øvrige temaer er myke og komplekse materialer, polymerer, systemer for «drug delivery», teoretisk kjemi, molekylærbiologi og -medisin. Disse institusjonene mottar rundt 80% av de samlede bevilgningene i NANOMAT, hvorav 49% ligger innenfor FUNMAT-området. NANOMAT har hittil bevilget 329 millioner kroner til prosjekter for perioden 2002–2009.

Universitetet i Bergen har i dag enkeltstående aktiviteter innenfor nanoVT, men ønsker å etablere bredere aktiviteter knyttet til nanobio, nanobasic,

nanoprosess og nanoetikk. Høgskolen i Vestfold (HVE) inngår i et tett industrielt samarbeid med utspring i mikroteknologi. Forsvarets forskningsinstitutt har rådgivende funksjoner og forskningsaktiviteter på området. En mer detaljert oversikt over de norske aktivitetene finnes i vedlegg 1.

Forskningsinstitusjonene har stått sentralt i **nasjonale initiativ** knyttet til mikroteknologi, funksjonelle materialer og funksjonell genomikk. Dette har resultert i oppbygging av infrastruktur og kompetanse på disse feltene i de siste årene. Selv om oppbyggingen ikke er direkte innenfor nanoVT, vil disse satsingene gi Norge en påkrevd basis for å kunne utvikle nanoVT i retninger som avhenger av nye materialer, er innrettet mot IKT og mikrosystemer eller er biologisk/medisinsk orientert.

Forskningsinstitusjonene har selv gjort betydelige **prioriteringer** i sine interne strategier og bevilgninger (se vedlegg 1) som klart visert at de anser at nanoVT vil bli meget viktig for fremtidig kunnskapsutvikling og teknologi, og dermed for fremtidig næringsliv.

De to største satsingene på nanoVT-**infrastruktur** i Norge er MiNaLab/SMN i Oslo som åpnet i 2004 og NTNU NanoLab i Trondheim som er under etablering. Aktiviteten ved MiNaLab/SMN omfatter funksjonelle materialer, mikro- og nanoteknologi. SINTEFs virksomhet har hovedfokus på industrielle anvendelser. NTNU NanoLab etableres med nanoteknologisk infrastruktur for syntese og definisjon av nanostrukturer med kjemiske, fysiske og biologiske metoder samt karakterisering av nanostrukturer. Laboratoriene ved HVE etableres for å kunne bygge mikrosystemer. Jeep II-reaktoren ved IFE utgjør en viktig infrastruktur for norsk materialforskning, til dels også for nanoVT.

De siste årene har mange nye tverrinstitusjonelle **samarbeidskonstellasjoner** blitt utviklet med til dels betydelig innhold av nanoVT. De kommer som resultat av invitasjonene til store søknader som Senter for fremragende forskning (SFF), Senter for forskningsbasert innovasjon (SFI) og Storforsk, etablering av sterke næringsklynger i Centres of Expertise (CoE) og strategiske tiltak som Gemini-sentrene mellom SINTEF og NTNU/UiO.

Søknadsrunden for **SFF** viste at flere sterke miljøer har samlet seg rundt aktuelle temaer: Smart materials for future device technology (NTNU); Centre for solid state and nano-ionics (UiO); National centre for complex matter Science (UiO); Center for catalytic materials and surface dependent phenomena (UiO); Centre for Energy and Environmental Catalysis (NTNU); Trondheim Center for CO<sub>2</sub> Capture – Enabling Research and Technol-

ogy (NTNU); Center of Theoretical and Computational Chemistry (UiTø) og Center for multiscale molecular modelling with applications to novel structures of superior functionality (UiB). Dessuten kom søknader fra biologiske og medisinske miljøer med relevans inn mot bionanoVT.

Det samme gjaldt for SFI-søknadene der flere hadde mer eller mindre fokus på nanoVT: Innovative Natural Gas Processes and Products (UiO); Sustainable Hydrogen Energy Technology (IFE); Senter for Mikro- og Nanosystemer (SINTEF); Centre for Innovative Molecular Diagnosis and Therapy (UiO) og Wind Technology Research Centre (SINTEF Energiforskning).

## Industri og næringsliv

Norsk næringsliv kjennetegnes av råvare-, energi- og vareproduksjon. I større grad enn hos mange sammenliknbare industrinasjoner mangler Norge et FoU-basert næringsliv med fokus på forskningstunge, fremtidsrettede produkter som farmasi, bioteknologi, datateknologi og funksjonelle materialer. Det er få norske industrilokomotiver med sterk egenutvikling av ny teknologi for et ekspansivt globalt marked. Forholdet reflekteres i det norske forskningsnivået både i forhold til OECD og ved sammenlikninger mellom ulike industrisegmenter.

Norske industribedrifter har i dag kompetanse og FoU-virksomhet innenfor nanoVT blant annet innenfor følgende områder:

- nanostrukturte materialer og nanopartikler (Swix, Madshus, Conpart, Keranor, Prototech, Nor-X Industries, Abalonyx, ScanWafer/REC, Borregaard, Borealis, Elopak, Jotun)
- mikrosilika, der egenskapene styres fra nanoskala (Elkem)
- nanorør og -kjegler av karbon (n-TEC, Carbon Cones, Elkem, Carbontech Holding)
- katalyse (Statoil, Hydro, Yara)
- spesialkomponenter innenfor IKT og optikk (Ignis Technologies, Norspace, Infeon Technologies/Sensor, NERA)
- biomagnetisk separasjon av celler (Dynamal Biotech Invitrogen)
- produkter for medisinsk billeddiagnostikk (GE Healthcare)
- «slow release» av medisiner (Nycomed)
- medisinsk diagnostikk (NorChip)

Norges forskningsråd har et sett av virkemidler rettet mot industriens behov (SkatteFunn, BIA, BIP, KMB, FORNY). NANOMAT har de siste to årene lyst ut brukerstyrte innovasjonsprosjekter (BIP) der bare næringslivet kunne søke. Ved utlysningen i 2006 var antallet søknader tredoblet samtidig som

søkt beløp var sjudoblet. Dette indikerer en **økende interesse** for nanoteknologi og nye materialer i norsk industri. Flertallet av søknadene i 2006 var innenfor nanostrukturerte materialer og overflater, og blant søkerne var bedrifter av alle størrelser. En intervjurunde i 2005 hos relevante bedrifter viste at norske bedrifter er positive til nanoteknologi, men er avventende [Sintef 2004]. Det er derfor viktig at nanoVT-satsingen ved FoU-institusjonene blir bred, robust og med høy kvalitet slik at den kan stimulere næringslivet til økt nanoVT-engasjement.

Under et seminar våren 2006 med fokus på materialteknologi for oljeindustrien i regi av PETROMAKS, ble det pekt at nanoteknologi kan bidra til å løse mange av oljeindustriens problemer, spesielt i tilknytning til materialer og sensorer. RENERGI har allerede prosjekter med materialteknologi som kan utløse ny energiteknologi, CLIMIT har tilsvarende for CO<sub>2</sub>-innfangning.

## Internasjonale kontakter

### EU

I tre utlysninger til EUs sjette rammeprogram innenfor området «Nanovitenskap, nanoteknologi, materialer og nye produksjonsteknologier (NMP)» fra 2003 til 2005 var suksessen for norske søkere økende. 45 norske partnere fra universiteter, høyskoler, forskningsinstitutter og industri deltar i 33 prosjekter innenfor NMP-området. I tillegg er det 77 norske deltakelser på i alt 34 hydrogenrelaterte prosjekter under det tematiske området «Bærekraftig energi». Norge har koordinatoransvaret for ti prosjekter; fem innenfor NMP og fem innenfor Bærekraftig energi. Innslaget av nanoteknologi er betydelig for flere av prosjektene. Gruppene med stor suksess i EUs sjette rammeprogram oppnår typisk også finansiering gjennom NANOMAT. For tiden arbeides det med å posisjonere norske FoU-miljøer og industri overfor EUs sjuende rammeprogram. Forskningsrådet deltar sammen med andre lands og regioners forskningsråd i MATERA, et EU-samarbeid for prosjektfinansiering innenfor material- og nanoteknologi.

Norske miljøer med relevans for nanoVT har meget utstrakt forskningssamarbeid med europeiske forskningsinstitusjoner innenfor kjemi, fysikk, materialvitenskap, biologi, medisin, mikro-teknologi og nanoteknologi.

### Norden

Gjennom NorForsk og Nordisk energiforskning finansieres forskerutveksling, nettverk, forskerskoler og forskningsprosjekter innenfor materialteknologi med nanoVT-innslag. Nordisk Innovasjonssenter finansierer under det nordiske mikro-

og nanoteknologiinitiativet MINT nordiske nanoteknologiprojekter, der norske aktører med SINTEF i spissen er med i flere. Målet er å finne praktiske, kommersielle anvendelser av nanoteknologi.

### Bilateralt

Norske FoU-miljøer har, på samme måte som overfor EU, et tett faglig samarbeid med spissmiljøer i USA og Japan. På sikt ventes økning i det bilaterale samarbeidet med USA og Japan, mye på grunn av teknologiavtalene med disse landene. På institusjonsnivå foreligger avtaler om samarbeid innenfor material- og nanoteknologi med ledende miljøer i USA og Japan. Enkelte norske miljøer er på grunn av sin faglige kvalitet innenfor funksjonelle materialer og nanoteknologi invitert inn i prosjekter finansiert av Department of Energy i USA og New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) i Japan. Samarbeid innenfor nanoVT ventes å øke med Canada og Kina som følge av bilaterale støtteordninger. Forskningsrådet finansierer gjennom NANOMAT prosjekter med integrert internasjonalt samarbeid.

Internasjonalt forskningssamarbeid tar mange ulike former og er ofte individbasert. En vesentlig del av slikt samarbeid er i liten grad knyttet til formelle avtaleverk og initieres og gjennomføres ved direkte kontakt mellom forskere.

### Internasjonale laboratorier – infrastruktur

Visse typer laboratorier og instrumentering er så ressurskrevende at det er lite hensiktsmessig at etableres og drives av enkeltland. Tilgang til tung infrastruktur vil være en forutsetning for forskning innenfor nanoVT på høyeste nivå, og etterspørsel etter slikt utstyr er et kvalitetstegn. Dette er spesielt viktig for små land. Norge er medlem og har dermed tilgang til viktige anlegg som European Molecular Biology Laboratories (EMBL), CERN og ESRF, og generelt til europeiske laboratorier klassifisert som «Large Scale Facilities». I EUs sjuende rammeprogram vil det være mulig for norske miljøer innenfor nanoVT å søke om støtte sammen med vertsinstitusjonen for å benytte spesiell infrastruktur ellers i Europa.

Gjennom medlemskap i European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) og Sveitsisk-norsk strålelinje (SNBL) ved ESRF har norske forskere særlig god tilgang til synkrotronstråling ved anlegget i Grenoble. Tilgangen og følgeforskningen finansieres dels gjennom Forskningsrådet, dels direkte av Kunnskapsdepartementet. Andre relevante anlegg er BESSY, ISIS, Daresbury, Hasylab, MAXlab og ILL.

# NanoVT i samfunnet

- *Fremtiden vil formes av informasjonsteknologi, bioteknologi, materialteknologi og nanoteknologi, samt samspill og konvergens mellom disse teknologiene.*
- *NanoVT åpner for fremskritt og nye muligheter innenfor områder som sikkerhet, helse og miljø, og kan dermed bidra til å løse viktige samfunnsmessige og industrielle behov*
- *Det er bare i liten grad kartlagt og forstått hvordan nanoVT i videste forstand vil kunne påvirke mennesker, samfunn og økosystemer. Systematiske risikovurderinger er derfor påkrevd.*
- *NanoVT har potensial for radikale gjennombrudd og kan stimulere til grensesprengende forskning i vekselvirkning med andre teknologier. Etske problemstillinger må derfor nøye vurderes.*
- *Lovgivning og regelverk må tilpasses nanoVT.*

## Sosial og økonomisk betydning

De Førende industriland anser at å beherske nanoteknologi er avgjørende for deres økonomiske og teknologiske **konkurransesevne** i det 21. århundre [National Science 2001; Videnskapsministeriet 2004]. De fleste av dagens nye nanoprodukter ligger innenfor mikroteknologi og avansert materialteknologi med anvendelser innenfor sport, kosmetikk, overflatebehandling og tekstiler. Veletablerte internasjonale aktører er i gang, og det finnes en underskog av SMBer som utvikler nye innovative produkter. I fremtiden kan vi vente anvendelser innenfor de fleste samfunnsområder.

Internasjonalt satses det stort på ny teknologi for å lage nye nanomaterialer og utvikle nye bruksområder. I USA arbeider nå ca 20 000 personer med nanoteknologi. [National Nanotechnology 2006]

NanoVT kan bidra til å øke kløften mellom fattige og rike land på grunn høyt krav til kunnskapnivå og store FoU-kostnader [ETC Group 2005]. Imidlertid mener mange at **nanokløften** kan unngås og at nanoVT kan fremstå som viktig verktøy for produkter og teknologi som fremmer global utvikling og utjevning. Eksempler på anvendelser som er viktige for utvikling i den tredje verden, er:

- 1 energilagring, produksjon og bruk
  - 2 økt produktivitet i jordbruk
  - 3 filtre og katalysatorer for vannrensing
  - 4 diagnose av sykdommer
  - 5 vaksiner med programmert frigjøring av medisiner
  - 6 behandling og lagring av mat
  - 7 luftforurensing og rensing
  - 8 konstruksjon og bygninger
  - 9 oppfølging av helsetilstand
  - 10 deteksjon og kontroll av pest
- [Singer 2005]

## Helse, miljø, risiko og sikkerhet

Parallelt med de mange mulighetene som følger med nanoVT, er det også usikkerhet om mulige helse- og miljøtrusler [Norges forskningsråd 2005(f)]. Visse nye anvendelser som følger av fremskritt i nanoVT, er basert på at egenskapene i materialene endrer seg radikalt når størrelsen på systemene reduseres. Nye typer nanopartikler vil kunne spres i miljøet. Hvordan slike partikler vil påvirke mennesker og økosystemer er i liten grad forstått. Det kan argumenteres for at **føre-var-prinsippet** bør brukes, men samtidig må ikke for restriktive prinsipper stoppe utviklingen av nye produkter og anvendelser/metoder. Det er derimot essensielt at systematiske risikovurderinger gjennomføres og dokumenteres for på best mulig måte å sikre kunnskap og kontroll med mulige helse- og miljøfarer.

Mulige skadevirkninger av nanostrukturerte og hybride materialer, inkludert deres **toksikologi** (giftighet for mennesker og andre organismer) og økotoksikologi (skader som skyldes opphoping i økosystemer) [Malsch 2005] må sammenholdes med kunnskap om naturlig forekommende nanopartikler, som mennesker har vært eksponert for gjennom hele sin evolusjon [Royal Soc. 2004, side 36].

I biologiske og medisinske anvendelser vil det oppstå en rekke etiske og sikkerhetsmessige spørsmål når bionanoVT kan føre til høyeffektive diagnostiske hjelpemidler, nye medisinerings-teknikker og nye metoder for dyrking av stamceller og vev.

Internasjonalt vil fremskritt innenfor nanoVT benyttes til **militære** formål. Mange militære anvendelser kan også misbrukes til terrorisme eller føre til lavere terskel for voldsbruk og angrep. Det er derfor viktig med et bevisst forhold til de utvidete muligheter som nanoVT kan bidra til [Altmann 2005].

Siden nanoteknologi bygger på etablerte disipliner og står sentralt for nasjonale tematiske og teknologiske prioriteringer, er de nevnte problematikker like sentrale for disse disiplinene og samfunnsteknologier som for nanoteknologi i seg selv. Forskning og kompetansebygging må således ses i et **helhetlig perspektiv** slik at nanoVT blir et felles gode med minimale negative ringvirkninger.

### **Etikk og samfunn**

Både de nye positive mulighetene nanoVT gir for samfunnsutvikling og velstand og en mulig uønsket bruk av nanoVT, reiser etiske problemstillinger. I dette ligger også erkjennelsen av at det ikke vil være mulig å fange opp alle problematiske sider av en teknologiutvikling med reguleringer.

I forbindelse med bioteknologiske anvendelser av nanoVT kan det reises viktige spørsmål knyttet til **normalitet** og helse (hvordan tolereres avvik), **personvern** (hvordan skal sensitive opplysninger beskyttes) og **indirekte konsekvenser** (hvilke helseeffekter overføres indirekte, via samfunn og kultur). Viktige nyvinninger kan bli for kostbare til at flere enn en liten elite får nytte av dem.

Ny medisinsk diagnostikk kan føre til økt avstand mellom det som kan diagnostiseres og det som kan eller ønskes å kunne behandles eller det som kan forsvares økonomisk. Dette er utfordringer som bør belyses.

NanoVT kan skape grobunn til en **bærekraftig** utvikling, og vil kunne bidra til at forskjellen mellom rike og fattige i verden utjevnes. Det er imidlertid ikke opplagt at slike hensyn står sentralt i forskningspolitiske prioriteringer. Når etiske vurderinger integreres i forskningen, øker muligheten for å oppnå en ønsket utvikling på spesifikke felt.

### **Juridiske utfordringer**

Antallet **patenter** der «nano» er med i tittelen, vokser kraftig, og i perioden januar 2000–april

2005 ble det globalt registrert mer enn 15 000 patenter [NanoVantage 2005]. Dette er det første nye området på lang tid hvor grunnleggende ideer patenteres helt fra starten. Patenter sikter ofte mot å være brede og generiske, og rettigheter kan dermed komme industrien til gode også på områder som ligger utenfor det opprinnelige kjerneområdet. De norske universitetene har de siste årene blitt langt mer aktive innenfor patentering, og dette vil påvirke implementeringen av innovasjoner innenfor nanoVT. IP-rettigheter er ofte en forutsetning for å lykkes i kommersialisering av FoU-resultater. Internasjonal utvikling innenfor patentlovgivning knyttet til nanoVT må derfor følges nøye også av norske aktører.

Et annet punkt med behov for juridisk klargjøring, er **ansvarsrett**. Dagens lovverk ser ikke ut til å være tilpasset nanoteknologiens nye muligheter [Davies 2006]. På dette området arbeides det nå med å lage internasjonale retningslinjer [Malsch 2005].

Foreløpig finnes ikke norsk lovgivning og retningslinjer for å ivareta etiske, samfunnsmessige og miljømessige aspekter ved bruk av nanoVT. Lover og regler er viktige å få på plass både nasjonalt og internasjonalt. Like nødvendig er det å fastlegge internasjonale tekniske **standarder**. Det finnes mange initiativ for å gjøre dette på det nasjonale plan, men så langt har ikke dette konvergert internasjonalt [Malsch 2005].

Behovet for ny **regulering** i forhold til nanoVT bør kartlegges raskt. Et rammeverk for å regulere nanoVT bør både fremme initiativ og innovasjon og klarlegge sentrale forhold knyttet til samfunn og miljø. Et slikt rammeverk vil redusere muligheten for uheldige tilbakeslag blant forbrukerne og beslutningstakerne.



# Drøfting av organisatoriske tiltak

I dette kapittelet diskuteres og analyseres visse mål og behov som skal nås gjennom faglige aktiviteter, dernest ulike modeller for organisering av nanoVT-satsingen. Dette danner bakgrunn for de valg som tas i neste kapittel, der selve strategien presenteres.

## Behovsdrevet eller kunnskapsdrevet?

- *Behovsdrevet: Forskning motivert av sannsynlige anvendelser og forskningsstrategiske prioriteringer (market pull).*
- *Kunnskapsdrevet: Nysgjerrighetsdrevet forskning initiert av forskningsmiljøene, med eller uten fokus på potensielle anvendelser (Technology push).*
- *Helhetlig: En optimal kombinasjon av behovsdrevet og kunnskapsdrevet motivasjon. En slik blandet strategi vil gi synergieffekter mellom grunnforskning og næringsrettet forskning. På grunn av tidsskalaene som gjelder for fag- og teknologiutvikling innenfor nanoVT kan dette medføre raskere implementering i næringsliv og kommersielle produkter.*

Et overordnet mål er at nanoVT skal bidra til utvikling av naturvitenskapelige disipliner, teknologier og industri. Nye ideer, materialer og komponenter kan dernest integreres i næringsutvikling knyttet til leverandører av produkter og teknologi/kompetanse til virksomheter, særlig innenfor nasjonalt prioriterte tematiske områder. Internasjonalt understrekes at sterk grunnforskning innenfor nanoVT og på grenseflater mot andre teknologier vil utgjøre basis for en bred utnyttelse av nanoVT i næringsliv og forvaltning. Et mål er å legge til grunn for innovativ grunnforskning for å få frem et bredt og konkurransedyktig register av kommersialiserbare ideer.

### Behovsdrevet motivasjon

Forskning som er motivert av anvendelser i samfunnet eller fra et overordnet forskningspolitisk ståsted (f.eks. gjennom Forskningsmeldingen), sies å ha sitt utspring i markedsbehov (market pull). Dette er ofte forskning med kort tidsskala, som motiveres av og skal føre frem til **anvendelser**.

Når industrielle produkter og anvendelser er hovedmålet, er det naturlig at relevante bedrifter tar del i forskningen og identifiserer prioriterte forskningsutfordringer (brukerstyrte prosjekter). Slik deltakelse skjer enten gjennom bedriftenes egen forskning, gjennom samarbeid med forskningsinstitusjoner eller gjennom (delvis) finansiering av stipendiater og prosjekter i UoH- eller instituttsektoren. Forskningsmeldingen legger opp til en større økning i bevilgninger til slik forskning. En kan forvente ytterligere insitamenter i fremtiden. Det er viktig å stimulere eksisterende næringsliv til å integrere nanoVT i egen FoU for styrking av konkurranseevne og utvikling av (nye) produkter. Samtidig vil man på grunn av innretningen av det norske næringslivet ha behov for spesielle tiltak til å stimulere til nytt næringsliv og økt verdiskaping på nye områder. Det vil kreve virkemidler som brukerstyrte innovasjonsprosjekter, så vel som rene innovasjonsinsentiver, for eksempel gjennom FORNY-ordningen og Innovasjon Norge.

**Forskningspolitiske hensyn** kan også ligge til grunn for behovsdrevet forskning. Disse kan tilsi at Norge bør satse på et gitt område, ut fra et rent næringslivsperspektiv og/eller et bredere samfunnsperspektiv, for eksempel energi, helse eller miljø. Motivasjonen kan også være behov for å skape nye industriområder. Dersom det finnes lite eller ingen nåværende industri på området, må målene følges opp med strategiske offentlige satsinger (dog med kvalitet i fokus).

Et internasjonalt eksempel på behovsdrevet nanoVT er elektronikkbransjen, der utviklingen innenfor nanoelektronikk drives fram av de store mikroprosessorleverandørene.

### Kunnskapsdrevet motivasjon

Forskning som er motivert av vitenskapelig interessante problemstillinger og som har utspring i forskningsmiljøene, betegnes her som kunnskaps-

drevet (technology push). Dette er ofte aktiviteter der kunnskapsutvikling skjer over lengre tid, hvor anvendelsene ikke nødvendigvis er klart definert, eller hvor forskningen legger en bred **kompetansebasis** med mange anvendelser i sikte. Slik forskning (fri eller strategisk) henter hovedsakelig finansiering fra offentlige kilder: Basisbevilgninger, frie prosjekter, programmer, strategiske satsinger, også kompetanseprosjekter med brukermedvirkning (KMB). Skillet mellom grunnforskning og anvendt/industriell forskning vil for deler av nanoVT viskes ut, med kort tid mellom oppdagelse, patent og anvendelse. Den nye universitetsloven, som gir universitetene eierskap til utnyttelse av ny kunnskap, øker samtidig oppmerksomheten omkring kommersialisering av resultater fra grunnforskning.

Nanorør av karbon er et eksempel på et produkt med stort anvendelsespotensial som har fremkommet ved kunnskapsdrevet motivasjon. Her kom oppdagelsen av materialet og dets unike egenskaper først. Siden har industrien og forskningsinstitusjoner demonstrert et bredt spekter av anvendelsesmuligheter. På grunn av nanorørens anvendelighet innenfor mange teknologiområder, forventes den industrielle produksjonen av disse å øke fra 55 tonn i 2005 til over 1600 tonn innen 2010 [Cientifica 2005].

## Helhetlig motivasjon

En god norsk strategi for nanoVT anses å inneholde elementer som **motiveres fra både markeds- og kunnskapsbehov**, det vil si de samlede nasjonale behov. Gjennom en slik helhetlig motivasjon er målet å bygge ny kunnskap innen utvalgte deler av nanoVT, utvikle kompetanse med generiske anvendelsesmuligheter og legge til rette for innovasjon og industriell utvikling. Det vil også gjøre det lettere å bygge bro mellom det korte tidsperspektivet til eierinteresser i industrien og den langsiktigheten som kreves for å lykkes i nanoVT. Det bør tilstrebes å skape forskningsmiljøer som oppnår synergi mellom disse tidsskalaene og forskjellige aktører.

For at Norge skal utvikle konkurransedyktig nanoVT for et internasjonalt marked, må det ikke renonseres på vitenskapelig kvalitet og nyskaping innen de utvalgte områdene. Dette stiller samtidig krav til at de sentrale forskningsmiljøene har vilje, evne og kapasitet til å utføre begge former for forskning, at synergi utvikles og at man lykkes i arbeidsdeling og integrering av aktiviteter ved ulike forskningsinstitusjoner. Dette stiller klare krav til implementeringsplanen for nanoVT. Spesielle tiltak foreslås i denne strategien for å tilgodese dette.

## Koordinering

- *NanoVT krever robuste forskningsmiljøer av høy kvalitet, som disponerer tilstrekkelige ressurser for samtidig å arbeide med relativt brede mål og med spissforskning. Dette forutsetter godt faglig lederskap.*
- *Satsing innen nanoVT vil gi store gevinster og synergi gjennom koordinering med andre tilgrensende nasjonale satsinger, for eksempel innen energiteknologi, petroleum, IKT/mikrosystemer, funksjonelle materialer og bio-/genteknologi.*
- *Nasjonal koordinering og dedikerte ressurser vil kunne gi optimal bygging, drift, tilgjengelighet og utnyttelse av infrastruktur og verktøy for nanoVT og derigjennom bidra til at nanoVT tas i bruk innen nye områder og i næringslivet.*

- *Gjennom forskningssystemet kan det stimuleres til aktivitet innen nye innovative temaer, samarbeid med internasjonale toppmiljøer og til faglig fornyelse, blant annet ved støtte til yngre forskere.*

### Kritisk masse – sterke forskningsmiljøer

Et gjennomgående problem i norsk forskning er de små forskergruppene, deres kritiske avhengighet av nøkkelpersoner og manglende ressurser til å drifte og utnytte avansert vitenskapelig utstyr. En slik fragmentering er spesielt uheldig for nanoVT, som kjennetegnes av høy grad av tverrfaglighet og avanserte laboratorier. Uten en fullgod løsning på dette kan ikke Norge innta den ønskede rolle innen nanoVT, ei heller forvente innovasjon og ny verdiskaping i stort monn basert på nanoVT og dens vekselvirkninger med disipliner og tematiske områder.

For å utvikle nanoVT i et robust, langsiktig perspektiv, er det påkrevd å etablere mekanismer som gir utvalgte (evaluerte, høyt kompetente) forskere og grupper internasjonalt **konkurransedyktige vilkår**. Det må vises tillit til at de dyktigste gruppene i Norge, også i fremtiden, vil levere kvalitet og kvantitet. Dette åpner for etablering av store prosjekter, eventuelt sentre (jamfør SFF, SFI, COE og svenske konsortier). Den foreslåtte satsingen bør gjennomføres av fokusering rundt visse nisjer og rundt miljøer med spesielle eksperimentelle ressurser og/eller av spesielt høy kompetanse. Dette kan bidra til at norsk nanoVT innen nisjer raskt oppnår internasjonal tyngde og kvalitet. Satsingen bør skje på bakgrunn av konkurranse og med internasjonal vurdering, for å oppnå størst mulig treffsikkerhet.

For å arbeide med komplekse problemer av tverrfaglig karakter, hvor tildels teori og eksperiment må integreres, kreves høyt kompetente miljøer med en størrelse som gir en effektiv arbeids-situasjon og samtidig rom for kreativitet. En følge av dette er god utnyttelse av forskningsmidler (value for money). Ved å styrke eksisterende grupper (eventuelt ved å initiere nye), bør det etableres **robuste miljøer og prosjekter** som samtidig driver grunnforskning, følger opp nye ideer mot kommersialisering og har kapasitet til samarbeid med næringslivet. En helhetlig motivasjon er viktig også på dette nivået. En forutsetning er langsiktig finansiering. De (gjennom konkurranse) utvalgte miljøene forventes å innta en aktiv rolle i nanoVT-utdanning og forskertrening; studenter vil dermed eksponeres mot grunnforskning og næringsrettet forskning. Slike virksomheter bør jevnlig vurderes. For å skape dynamikk i systemet bør midler styres etter denne typen vurderinger.

Det er nødvendig at en slik offentlig satsing på robuste miljøer følges opp av institusjonene med faste stillinger og infrastrukturtiltak. Samtidig må ikke etableringen av robuste miljøer fortrenge nysgjerrighetsdrevet forskning innen mindre grupper som faglig og innovasjonsmessig sett er konkurransedyktige innen sine nisjer. Dette vil måtte avstemmes budsjettmessig.

### Forskningsledelse

Store forskningsprosjekter i NanoVT innrettet mot kunnskapsoppbygging, metoder eller tematiske satsinger, vil typisk ha stor grad av tverrfaglighet. De vil også integrere teori og eksperiment, forutsette operativ infrastruktur, samhandling med industri eller oppfølging av nye ideer mot kommersialisering. **Forskningsledelse kreves for en vellykket satsing**. Dette kan inkludere sterkere

målstyring, spesielt for mer anvendte og industri-nære prosjekter, insentivordninger og bruk av porteføljeverktøy. Gode modeller for dette må forventes i store nanoVT-prosjekter. Samtidig vil det være behov for økt nasjonal koordinering av prosjekter for å utnytte komplementær kunnskap og metodikk. Det samme gjelder for tung infrastruktur, se neste avsnitt. Forskningsrådet har i så måte positiv erfaring med FUNMAT-konsortiet, som koordinerer flere store prosjekter finansiert gjennom NANOMAT. Et lignende konsortium kan spille en rolle i implementeringen av nanoVT-satsingen, spesielt hvis antall partnere (eventuelt assosierte partnere) og virkeområde utvides noe.

### Nasjonal koordinering av infrastruktur

NanoVT er avhengig av dedikerte metoder; for syntese og fabrikasjon, karakterisering, teori og modellering. Ressurshensyn tilsier umiddelbart et begrenset antall tunge nanoVT-laboratorier i Norge, noe som for øvrig også ble anbefalt i foresight-prosjektet Materialer 2020 [Norges forskningsråd 2005]. Mye av det eksperimentelle utstyret og infrastrukturen (spesielt avanserte renrom) er svært kostbart, både i anskaffelse og drift. Ikke minst er det behov for høyt kvalifisert teknisk personell. En høy utnyttelse av laboratoriene bør tilstrebes. Siden slikt utstyr er for dyrt og komplekst til å installeres ved alle institusjoner, vil det være svært gunstig for nanoforskningen totalt sett å gjøre visse godt utstyrte laboratorier **tilgjengelig** for alle interesserte aktører i Norge, både fra forsknings- og utdanningsinstitusjonene, instituttsektoren og industrien.

For å kunne utvikle ny og kosteffektiv teknologi innenfor de tematiske områdene, er det viktig å kombinere nanoteknologi med annen avansert teknologi. For et lite land som Norge kan dette mest effektivt gjøres gjennom gode modeller for samarbeid.

Felles infrastruktur forutsetter mye: Moderne instrumentering med tilstrekkelig kapasitet; teknisk assistanse og gode driftsformer som sikrer tilgjengelighet; metodisk kompetanse som utnytter instrumenteringens potensial til sitt ytterste; finansieringsordninger som sikrer rimelig tilgang for eksterne brukere og som for industriens del er i henhold til internasjonalt regelverk for konkurranse.

Finansiering av nasjonal infrastruktur er en felles oppgave for institusjonene, Forskningsrådet og myndigheter. Nasjonal infrastruktur, i et virtuelt nettverk, må være underlagt overordnet styring. Forslag er drøftet mer i detalj under kapitlet «Virkemidler» på side 30.

## Finansieringsmodeller

- *Integrert modell: NanoVT realiseres gjennom dagens finansieringsordninger og virkemidler (inklusive strategiske satsinger).*
- *Dedikert modell: All nanoVT samles i ett dedikert program.*
- *Fokusert modell: En blanding av de to ovenstående; nanoVT styrkes gjennom virkemidler for nasjonale prioriteringer i Norges forskningsråd, samtidig som et fokusert program har ansvar for nanoVT.*

Det er i det foregående argumentert for at norsk satsing på nanoVT bør følge av en helhetlig motivasjon; dels behovsdrivet, dels kunnskapsdrivet. Satsingen forutsetter robuste miljøer og prosjekter av høy kvalitet, god forskningsledelse og avansert infrastruktur. Dessuten kreves det at man forholder seg til **flere tidsskalaer**, ofte på én gang. NanoVT er en integrert del av MNT-fagene, men ikke desto mindre et eget, nytt område med muligheter for utvikling av helt ny kunnskap, tildels av **tværfaglig** karakter. NanoVT må utvikles til å bli et sentralt verktøy for nyskaping og nytt næringsliv. En satsning må være robust og tilfredsstillende flere forskjellige typer utvikling.

For at norske miljøer skal være i forskningsfronten innen nisjer av nanoVT, kreves målrettede satsinger med dette for øyet. Først da vil miljøene bli reelle ressurser for næringsliv innenfor konkurranseutsatte områder og kunne frembringe nye kommersialiserbare ideer i fronten av teknologisk utvikling. De eksisterende virkemidler i Forskningsrådet for nasjonalt prioriterte tematiske og teknologiske områder har andre hovedoppgaver enn å utvikle generisk kunnskap innenfor nanoVT. En **integrert** modell kan derfor vanskelig legge til rette for en optimal utvikling av nanoVT i Norge.

Den motsatte ytterlighet er å tenke seg å samle all nanoVT i ett **dedikert**, selvstendig program. Dette kan være velegnet for å bygge ulike kompetanseplattformer. Men det kan også hindre den samhandlingen mellom forskjellige virkemidler og aktører som mest effektivt underbygger de nasjonalt prioriterte områdene.

Det synes derfor mest hensiktsmessig at nanoVT finansieres slik at begge nevnte hovedhensyn tilgodeses. I en slik **fokusert modell** skal nanoVT for nasjonale satsingsområder finansieres gjennom eksisterende virkemidler i Forskningsrådet, mens det langsiktige, grunnleggende og kompetansebyggende ansvaret legges i et eget program. Dette forutsetter at påkrevde nye ressurser blir gjort tilgjengelig.

## Utdanning, rekruttering og kommunikasjon

- *Utdanning, forskeropplæring og rekruttering er avgjørende faktorer for å kunne oppskalere nanoVT-virksomheten i ønsket takt. I tillegg til selve nanoVT-feltet, gjelder dette for tilgrensende basisfag.*
- *Nye utdanningstilbud av ulike typer innføres nå for nanoVT ved flere universiteter. Dette gir muligheter for bredt samarbeid med hensyn til kurstilbud på PhD-nivå og innenfor forskerskoler.*
- *Bred og kvalitetspreget forskning er en forutsetning for en god og tværfaglig nanoVT-utdanning.*
- *Formidling av resultater fra nanoVT er en sentral oppgave og kan bidra til økt interesse for naturvitenskaplige og teknologiske utdanninger.*

### Utdanning i nanoVT

Internasjonale trender følger to utdanningsretninger; en disiplinbasert og en multidisiplinær. Den førstnevnte integrerer nanoVT i allerede eksisterende, disiplinorienterte utdanningsløp. Den andre tilbyr eksplisitte utdanningsprogram innenfor nanoVT. **Disiplinbaserte** nanoVT-utdanninger springer ut fra en disiplin (mesoskopisk fysikk innenfor faststoffysikk, nanokjemi innenfor fysikalsk/uorganisk/organisk kjemi osv) og dekker behov for fokusert spisskompetanse. Eksempler kan være nanoskala materialfysikk knyttet til fysikk; nanoteknologi knyttet til miniaturisering innenfor mikroteknologi; fotonikk knyttet til utviklingen innenfor mikro- og kommunikasjonsteknologi, aksene fra funksjonelle materialer til nanostrukturerte funksjonelle materialer. Innenfor biologiske utdanninger er det programmer av type bioengineering og biofysikk som tar opp nanoteknologitemaer. De disiplinbaserte nanoteknologiutdanninger er særlig aktuelle på mastergrads- og doktorgradsnivå.

Den **multidisiplinære** tilnærmingen til nanoVT-utdannelse har i større grad oppstart på bachelornivå. I de første semestrene gir kjemi, fysikk, biologi og elektronikk, dedikerte fag innenfor nanoteknologi samt matematiske fag og IT, en felles faglig basis. Denne felles basisen gir muligheter for senere spesialiseringer. Det foreligger typisk et begrenset antall profilområder (studieretninger) som kan velges, men samtidig en tilstrekkelig valgfrihet i forhold til emner. Eksempler på profilområder kan være: Nanostrukturerte materialer; nanoteknologi for biologi/medisin, energi og miljø (katalyse, separasjon, energihøsting); MEMS/NEMS-aksen osv.

I senere tid er det i Europa innført multidisiplinære nanoteknologiutdanninger på masternivå i samarbeid mellom **flere institusjoner**. Disse karakteriseres ved at den multidisiplinære karakteren og den faglige fordypningen styrkes gjennom samhandling mellom komplementære disiplinbaserte studieprogrammer ved ulike institusjoner.

NTNU har nylig etablert et multidisiplinært studieprogram innenfor nanoteknologi som et femårig masterprogram innenfor sivilingeniørutdanningen. Første opptak av studenter er høsten 2006. Et femårig masterprogram er under etablering ved UiB med planlagt oppstart høstsemesteret 2007. Ved UiO etableres nå et disiplinbasert studie tilbud på master- og PhD-nivå knyttet til programmet «Materialer og energi for fremtiden» (MEF).

De tradisjonelle **basisdisiplinene** har gjerne komplementære innfallsvinkler til en rekke problemstillinger som rendyrkes innenfor nanoVT. De

vil derfor i mange tilfeller være drivende for disiplinutvikling som kommer nanoVT til gode. Det er viktig at nanoVT-utdanning blir et godt supplement til de tradisjonelle disiplinene.

## Kommunikasjon

Den vanlige borger og beslutningstaker vil bare i begrenset grad være informert om muligheter og utfordringer knyttet til naturvitenskap og teknologi generelt, og nanoVT spesielt. Kommunikasjonsaspektet er særlig viktig for nanoVT, som for en stor del er basert på produkter og bestanddeler som ikke kan ses. Samtidig vil nanoVT ha stor betydning for samfunnsutvikling, helse og velstand, og konsekvensene for enkeltmennesker vil kunne bli omfattende. Formidling og dialog vil være viktig, både for å gi befolkningen et **realistisk bilde** av mulige fremtidsfølger av nanoVT, og for å få viktig tilbakemelding fra publikum. Aktuelle virkemidler er:

- legmannskonferanser
- radio, TV, aviser
- forskningsdager
- formidlingskurs for journalister
- foredrag for bedrifter, foreninger osv.
- møteplasser for industri og FoU-miljøene
- konferanser med ledende internasjonale forskere

En slik kommunikasjonsstrategi bør koordineres av Norges forskningsråd, se kapittelet «Virkemidler» på side 30.



# Forskningsstrategi for nanoVT

Kapitlet angir forslag til innhold og størrelse av en fremtidsrettet norsk satsing innenfor nanoVT. Det innledes med hva Norge bør prioritere, deretter drøftes på sidene 30–37 hvordan satsingen bør gjennomføres og til slutt angis anbefalt størrelse på satsingen. Sidene 39–42 oppsummerer råd til forskjellige aktører i feltet. Viktige prioriteringer fremlegges på sidene 30–37, samt anbefalinger til virkemidler for å oppnå effektiv organisering og implementering. Dette er en strategi snarere enn en operativ plan, med fokus på overgripende spørsmål og virkemidler. Det gjør at institusjonene blir relativt usynlige. En rekke institusjoner har utarbeidet klare strategier for nanoVT, som er verdifulle i dette arbeidet.

## Prioriterte satsingsområder

NanoVT-strategien skal underbygge nasjonale tematiske og teknologiske prioriteringer, og peker ut fire tematiske satsingsområder:

1. Energi og miljø
2. IKT og mikrosystemer
3. Helse og bioteknologi
4. Hav og mat

Visse vitenskapelige områder utgjør en åpen og felles basis for nanoVT. Strategien peker ut følgende kompetanseområder:

- Materialer
- Grenseflate-/overflatevitenskap og katalyse
- Fundamentale fysiske og kjemiske fenomener og prosesser på nanometernivå
- BionanoVT
- Komponenter, systemer og komplekse prosesser basert på nanoVT
- Etske, juridiske og samfunnsmessige aspekter

En sentral basis for områdene ovenfor er å kunne lage nanomaterialer og nanosystemer, karakterisere og forstå deres egenskaper. Til dette kreves avansert og kostbar infrastruktur og verktøyplattformer:

- Syntese, manipulering og fabrikasjon; karakterisering; teori og modellering

En nasjonal strategi for nanoVT forutsetter en god **balanse** mellom bredde og fokus, og mellom grunnforskning og anvendelsesorientert FoU. Strategien bør samtidig ta for seg behov i både et kort og et langt tidsperspektiv. Prioriteringer er påkrevd for å oppnå tilstrekkelig fokus, tempo og konkurransekraft innenfor områdene som blir pekt ut i strategien. Samtidig åpnes det for nysgjerrighetsdrevet

forskning som skal stimulere til ny kunnskap.

Samfunn og næringsliv etterspør forskning med relativt kort tidshorisont som gir identifiserbare nytteeffekter. Disse ønskene må balanseres mot nysgjerrighetsdrevet grunnforskning på en lengre tidsskala. For fremtidig verdiskaping er det spesielt viktig å stimulere til ny kunnskap og teknologi som først på sikt gir nye produkter og nytt næringsliv. Forsknings- og utdanningssystemet må altså tilfredsstille og balansere samfunnets og industriens behov, både på kort og lang sikt. Erfaring viser at store oppdagelser og teknologisprang oftest springer ut fra nysgjerrighetsdrevet forskning. Gevinster kan altså ikke høstes ved bare å betrakte nåværende behov. Men behovsdrevet forskning kan skape betydelig ny kunnskap og grunnleggende forskning.

Forslaget til strategi søker å balansere bredde og fokus. Ved å peke ut de **fire tematiske områdene** energi og miljø, helse og bioteknologi, IKT og mikrosystemer samt hav og mat, legges grunnlaget for å styrke de tematiske områdene og teknologi-områdene som er prioritert i Forskningsmeldingen. NanoVT-forskningen på disse områdene er i hovedsak behovsdrevet, og kan følges opp gjennom en rekke programmer og virkemidler i Forskningsrådet. Radikale fremskritt innenfor nanoVT kan bringe flere av disse områdene sterkt fremover, teknologisk og verdiskapingsmessig. Nedenfor er angitt tentative anbefalinger innenfor hvert av de tematiske områdene. En påkrevd fokusering må skje i samråd med styrene og ekspertpanelene som Forskningsrådet har etablert for områdene. Dette vil sikre at nasjonale fortrinn utnyttes og at nanoVT inngår i en helhetlig strategi med marked, kvalitet og kompetanse som nøkkelord.

For at nanoVT skal stimulere til teknologisk utvikling innenfor de tematiske satsingsområdene, kreves høy kompetanse innenfor kjernen av nanoVT. Det anbefales derfor å etablere et knippe **verktøyplattformer** og **generiske kompetanseområder**. De er relevante for samtlige tematiske områder og all nanoVT, og skaper samtidig en sterk og nødvendig basis for langsiktig grunnforskning, kompetanse- og metodeutvikling. Ett eksempel er nye materialer, som står sentralt innenfor samtlige nanoVT-områder.

NanoVT krever avanserte metoder for syntese og fabrikasjon, karakterisering og manipulering samt teori og modellering, det vil si tung og integrert **infrastruktur**. Den kommer også til nytte for nanoVT i de tematiske områdene som også vil være en pådriver for metodeutviklingen. NanoVT-strategien fremmer forslag til langsiktig finansiering og koordinering av slik infrastruktur.

Eksperimentell aktivitet for å demonstrere ny teknologi stiller krav til laboratorier som går ut over det som tilbys av fasiliteter for grunnleggende forskning. Teknologidelen av nanoVT, det vil si FoU-arenaen der forskningsinstituttene, universitetene og industrien samarbeider om å legge grunnlag

for ny verdiskaping, har spesielle behov til infrastruktur. Dette må tas hensyn til ved implementeringen av satsingen.

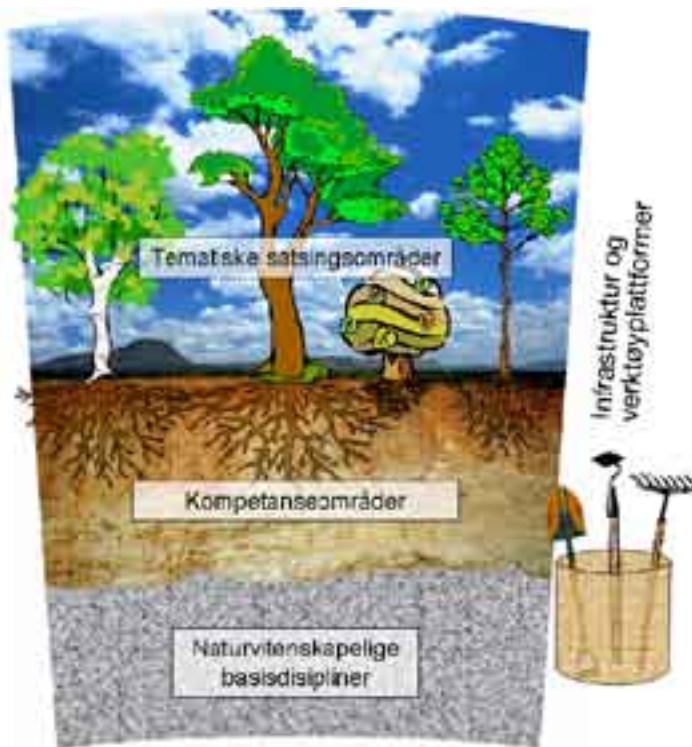
## Tematiske satsingsområder

NanoVT rettet mot de fire tematiske satsingsområdene vil først og fremst være teknologi- og anvendelsesorientert, med basis i vitenskap. I mange sammenhenger vil vitenskap og teknologi her gli over i hverandre. De er tett knyttet sammen og kan sies å gjensidig befrukte hverandre. De nasjonalt prioriterte områdene i Forskningsmeldingen er allerede delvis dekket gjennom en rekke finansieringsordninger i Norges forskningsråd. Dette gjør det mulig å ha et spesifikt nanoVT-fokus innenfor disse områdene og dermed bidra til fornyelse og utvikling. For å oppnå dette, må nye nanoVT-virkemidler legges inn i disse finansieringsordningene.

Strategien legger opp til faglig **koordinering** og brede prosjekter innenfor nanoVT for å binde sammen aktiviteter som er tematisk og teknologisk orienterte med langsiktig bygging av kompetanse. Til dette kreves et eget sett med skreddersydde virkemidler (se side 30).

NanoVT innenfor de tematisk motiverte problemstillingene vil ha et langt sterkere preg av **grunnforskning** enn det som naturlig anses å være ansvaret til de eksisterende programmene og virkemidlene. Det kan også være aktuelt å initiere ny virksomhet som ennå ikke har basis i norske miljøer. Slike valg kan avhjelpest gjennom overordnet koordinering.

De nasjonalt prioriterte satsingsområdene presenteres nedenfor i **prioritert rekkefølge**. Innenfor hvert av områdene er det gitt eksempler på temaer der nanoVT kan få betydning for teknologi og næringsutvikling. Eksempelene er ikke prioritert, siden internasjonal faglig og teknologisk utvikling skjer hurtig og krever en dynamisk angrepsvinkel. Prioritering innenfor delområdene må derfor tas hånd om under implementeringen ved hjelp av standardkriterier for faglig kvalitet. Prioritering av det enkelte forskningsprosjekt må skje på basis av strategiske valg kombinert med strenge krav til konkurransedyktig faglig kvalitet. Valg av områder for tunge satsinger innenfor nanoVT må gå etter visse generelle forutsetninger:



*De foreslåtte kompetanseområdene er generiske (felles), og bygger opp under alle de tematiske satsingsområdene. I tillegg bidrar de til ny forståelse og erkjennelse. Omvendt kan en satsing på et tematisk område føre til ny generisk innsikt som kan anvendes på mange andre områder. Kunnskapsflyten vil gå både oppover og nedover. Tilgang til avansert infrastruktur og verktøyplattformer er avgjørende for alle deler av satsingen.*

- tilstedeværelse av industrielt, råvaremessig eller kompetansemessig fortrinn
- teknologisk mulighet til gjennombrudd, nye produkter, eller ny verdiskaping
- nanoVT-forankring i miljøer som allerede besitter høy, relevant kompetanse
- vilje og evne til å trekke på nasjonal infrastruktur og plattformer når påkrevd
- egnet lederskap for prosjekter med tverrfaglig karakter

## Energi og miljø

**Mål:** Norge skal bli en verdensledende nasjon innenfor nanoVT for energisystemer. Norsk industri skal velge å bli leverandør av relevant teknologi med basis i nanoVT.

**Tiltak:** Høyest prioritet gis til energi og miljø blant tematiske nanoVT-satsinger. Ivaretagelse av bredde samtidig med fokusering på utvalgte tema.

Norge er internasjonalt en ledende energinasjon, og vår velferd og konkurransekraft er i stor grad basert på energirelatert virksomhet. Vannkraft, olje og gass utgjør nasjonale fortrinn, og det foreligger sterke forsknings- og teknologimiljøer.

Energiforsyning er samtidig intimt koblet til lokale og globale miljøeffekter. Globalt er trolig det å skaffe nok energi til en voksende verdensbefolkning vår sivilisasjons største utfordring i et relativt langt perspektiv. Norge har en usedvanlig mulighet til å utnytte sine fortrinn og sin teknologiske posisjon og samtidig nå omforente politiske målsettinger, ved å utvikle nanoteknologi og materialteknologi for energi og miljø. En realistisk ambisjon er at Norge skal bli en ledende aktør innenfor fornybar og miljøvennlig energiteknologi. Nanoteknologi kan også bidra til bedre forståelse av hvordan materialeegenskaper styres fra atom- og molekylnivå via mikro- opp til makroskala. Derved kan mer miljøvennlige produkter produseres med mindre forbruk av energi og redusert utslipp av miljøfarlige stoffer.

Følgende områder vil være spesielt lovende for sterk norsk deltakelse:

- gasskonvertering
- CO<sub>2</sub>-fangst
- petroleumsutvinning
- solceller
- hydrogenteknologi
- batterier og energihøstere
- energieffektivisering (industri, boliger, transport)

## IKT inklusive mikrosystemer

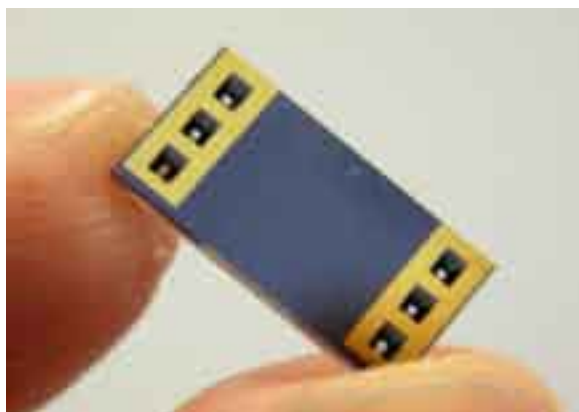
**Mål:** Norske forskningsmiljøer skal være blant Europas fremste på nanoteknologi for minst ett område innenfor IKT/mikrosystemer. Norsk industri skal effektivt utnytte nanoteknologi i kombinasjon med annen avansert teknologi i IKT-produkter.

**Tiltak:** En fokusert satsing på utvalgte områder innenfor nanoteknologi i kombinasjon med annen avansert teknologi for IKT/mikrosystemer.

Informasjons- og kommunikasjonsteknologi griper inn i nær sagt alle samfunnsområder. Teknologutviklingen har vært drevet fram av behovet for mindre, raskere og billigere datamaskiner. De siste årene har den viktigste drivkraften i stor grad dreid seg om utvidet funksjonalitet. Forskningen i EUs IST-program har vært fokusert mot paradigmet «ambient intelligence», som gjerne oversettes med «intelligente omgivelser» eller «allemestedsnærværende intelligens». I dette ligger det en utvikling mot miniatyriserte, autonome, distribuerte systemer som utfører målinger, signal- og databehandling og som kommuniserer med omverdenen. En slik utvikling krever etablering av teknologi for:

- mikroprosessorer, datalagring og elektronikk med ekstremt lavt effektforbruk
- avanserte mikrosensorer
- trådløs kommunikasjon
- distribuerte miniatyriserte strømkilder (energihøsting, mikrobrenselceller, batterier)

I Norge finnes ingen industrilokomotiver som produserer integrerte kretser og mikroprosessorer. Vi har derimot flere bedrifter som leverer mikrosystemer og mikrosensorer. Fremtidens sensorteknologi



*MIKROVENTILER: Kombinasjonen av IKT og mekanikk på små silisiumbrikker gir nøyaktig kontroll. Foto: Micostaq*



og autonome systemer blir nøkkelelementer for betydelige deler av norsk industri. Et eksempel er det enorme behovet for prosess-, struktur- og tilstandsovervåkning i olje- og gassvirksomheten når den går over til ubemannede operasjoner, går ut på store havdyp og utvider aktiviteten i nordområdene. Området er også viktig for annen forskning og industri i Norge, f.eks. knyttet til romfart og partikkelfysikk (CERN).

En norsk satsing innenfor nanoteknologi vil fokusere

- nanomaterialer og nanokomponenter for elektronikk, datalagring, optikk, sensorer, aktuatorer og radiofrekvenskomponenter.
- integrasjon av nanomaterialer i sensorer og aktuatorer (mixed technologies)
- nanostrukturering
- nanofluidikk

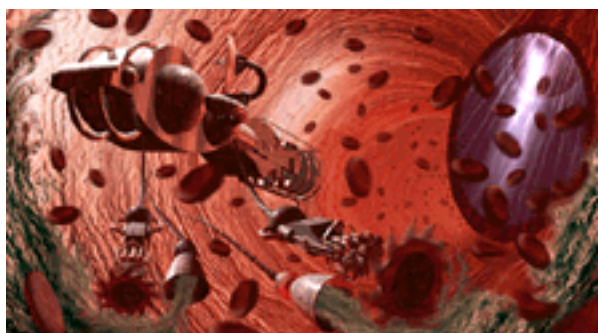
## Helse og bioteknologi

**Mål:** Norsk forskning innenfor bionanoVT skal bli internasjonalt ledende innenfor nisjer for utvikling av nye materialer og strategier for avansert forebygging, diagnostikk og terapi.

**Tiltak:** Fokuseret satsing for å styrke tverrfaglig spisskompetanse med basis i etablerte miljøer. Ny aktivitet bygges opp innenfor utvalgte nisjer via yngre forskere eller utenlandsk rekruttering.

BionanoVT omfatter grovt sett to områder. Det ene er direkte relevant for helse og velstand og omfatter regenerativ medisin som medisinske implantater, celle- og vevsdyrking, nanomedisiner, diagnostikk med nye sensorer og biobrikker samt avbildning innenfor og utenfor kroppen. Dette området prioriteres i EUs sjuende rammeprogram gjennom teknologiplattformen nanomedisin.

Det andre området omfatter biomimetiske (hermende) materialer og biologiske grenseflater i forbindelse med sjøklimate og næringsmiddelproduksjon.



*NANOROBOTER i blodomløpet kan holde årene åpne, observere helsetilstanden eller bekjempe en rekke sykdommer. Ill: Julian Baum/Foresight.org*

En felles basis er forståelse av strukturer og prosesser hos levende organismer som proteiner, DNA, subcellulære strukturer, celler og vevsstrukturer, på molekylnivå. Basisen inkluderer metoder for å analysere og påvirke. Noen av de viktigste drivkreftene i utviklingen av bionanoVT er den revolusjonerende kartleggingen av genomer, utvikling av organisk syntese av komplekse bioaktive molekyler, og konvergensen med material-, mikro- og nanoVT.

Anvendelser av nanoVT i klinisk diagnostikk, medisinske komponenter inklusive implantater, vevsgenerasjon og legemidler vil øke kraftig de nærmeste årene. NanoVT vil bidra til medisinske revolusjoner som radikalt nye strategier for målsøkende kreftbehandling, nanoroboter for karkirurgi og funksjonelle biomaterialer for vevsgenerasjon og oppbygging av nytt vev (tissue engineering). Sammenkoblingen av bedre målsøkende legemidler og bedre diagnostikk vil trolig lede til mer effektiv og individualisert behandling med færre bivirkninger.

Norge har flere fortrinn på helse- og bioteknologiområdet med blant annet omfattende helseregistre og unike biobanker som kan utnyttes positivt. Teknikker i nanoskala for måling av reaktanter vil være nødvendig for utnytte biomaterialet i norske biobanker best mulig. Spesifikk bruk av bioinkompatibilitet i terapeutisk hensikt er et område med sterk norsk kompetanse. Samhandling og synergi med FUGE-satsingen er nødvendig for å bruke de norske ressursene optimalt. Blant de mange mulige områdene på dette feltet, ser noen ut til å være spesielt lovende for Norge:

- biokompatible materialer
- sensorer, diagnostikk
- medisiner

Samtidig forventes ringvirkninger for felter som immunologi, nevrobiologi og celle- og vevsdyrking.

## Hav og mat

**Mål:** Norske næringsinteresser skal bli internasjonalt ledende i å anvende nanoVT for havbruk og skipsfart.

**Tiltak:** Med utgangspunkt i kompetente miljøer innenfor hav og mat etableres nettverk som kan trekke veksler på nyvinninger innenfor nanoVT og ta dem i bruk i produkter.

Havbruk er en viktig norsk næring, spesielt i distriktene, og har stort vekstpotensial. Men næringen må bli bedre til å bygge på grunnleggende forskning dersom den skal sikre fortsatt ekspansjon i et

bærekraftig perspektiv.

I øvrig matproduksjon og skipsfart kan nanoVT bidra til løsninger på flere områder når teknologien kombineres på en smart måte med andre avanserte teknologier.

Dette er et umodent felt med relativt svak kobling til nanoVT i dag. Potensialet er imidlertid stort, og flere områder kan bli viktige for Norge på litt sikt. Eksempler på interessante områder er:

- sporing av mat
- smart emballasje
- matovervåking
- overflatebehandling
  - o redusert algevekst og begroing på skip og installasjoner
  - o redusert bakterievekst i produksjonsanlegg for mat

### Hva med andre områder?

Siden nanoteknologi er en generisk eller tilretteliggende teknologi, vil det meste av utviklingen innenfor de ovennevnte områdene også være viktig for andre felt. Verktøyplattformer og kompetanseområder som er felles for satsingsområdene vil også være viktige for nye områder for verdiskaping og for ny erkjennelse.

Spin off-effekter som ikke kan forutses i dag, er forventet som et resultat av denne strategien. Forskningsrådet bør ha en beredskap for å fange opp slike effekter. Kompetanseområder som er felles for de prioriterte satsingsområdene, og som vil bidra til slike effekter, er beskrevet nedenfor.

## Kompetanseområder

**Mål:** Etablering av en fokusert og tverrfaglig kunnskapsplattform slik at nanoVT vil gi ny kunnskap og økt forståelse av materialer, systemer og prosesser, samt vil legge basis for innovasjon og ny verdiskaping basert på nanoteknologiske anvendelser i næringslivet.

**Tiltak:** En bred satsing på generiske kompetanseområder og etablere nettverk basert på objektive kvalitetsvurderinger.

Nanovitenskap danner basis for de nanoteknologiske anvendelsene som ble presentert i forrige avsnitt. Men en satsing på nanovitenskap er også viktig for å utvikle nye erkjennelsesmessige fremskritt. Betydningen av nye grunnleggende oppdagelser og teorier i seg selv innenfor naturvitenskapen kan ikke underestimeres. Kvantemekanikken og relativitetsteorien står i dag som erkjennelses-

messige fyrtårn. De er resultater av grunnleggende forskning, dels utført av geniale enkeltpersoner og dels gjennom samhandling i gode forskningsgrupper. Selv om teorien for enkeltelementene i nanovitenskapen (atomer og molekyler) er veletablert, er det et betydelig potensial for **fundamental ny forståelse** innenfor nanoVT. Vi har i dag mangelfull forståelse av overgangen mellom rene kvantemekaniske og klassiske systemer. Vi forstår heller ikke fenomener som komplekse systemer og hvordan enkeltmolekyler organiserer seg selv slik at de kan etablere liv og bevissthet. NanoVT er en svært sentral og viktig forskningsarena for slike spørsmål, ettersom livets funksjonelle molekyler befinner seg på nanometerskalaen.

Internasjonalt har nanoVT i dag et sterkt preg av grunnforskning. Den vil utvikle ny, generisk kunnskap og økt innsikt i grunnleggende fenomener. Samtidig er forventningene til anvendelser store, og dermed også satsingen. På mange områder er det kort vei fra grunnforskning til anvendelse. Det betyr at tradisjonelle, lineære modeller om kunnskapsutvikling og forskningsmessig arbeidsdeling ikke lenger er egnet. For eksempel er både UoH-sektoren og institutter viktige bidragsyttere til forskning innenfor nanovitenskap. Det er derfor viktig å skape miljøer der grunnforskning og anvendt forskning kan kryssbefrukke hverandre. Forslaget til strategi reflekterer dette grunnsynet. Strategien legger opp til en helhetlig blanding av behovsdrivet forskning gjennom tematiske satsingsområder og kunnskapsdrivet forskning gjennom kompetanseområder og verktøyplattformer. I figuren på side 24 betyr dette at kunnskap vil flyte både nedover og oppover.

Søken etter ny kunnskap leder til nye, ofte uforutsette, anvendelser. Forskning i fronten av nanovitenskap krever spesielt sterkt og kostbart verktøy til å lage, manipulere, måle, karakterisere, modellere, forstå og anvende materialer og komponenter med utstrekning på nanometerskala. Dette har klare grenseflater mot fagdisiplinene, særlig kjemi og fysikk. Anvendelsespotensialet til nanoteknologi er stort, men grunnforskningsaspektet bør ha størst oppmerksomhet innledningsvis.

I det foreliggende forslaget skapes et rom for **grunnleggende** og **langsiktig** forskning gjennom kompetanseområdene og verktøyplattformene som presenteres nedenfor. I tillegg understrekes det at Forskningsrådets tradisjonelle virkemidler til grunnleggende forskning som forskerprosjekter, skal være tilgjengelige for mindre fagmiljøer med høy kvalitet, både gjennom nanoVT-satsingen og gjennom øvrige virkemidler.



Det er avgjørende for en optimal utvikling av nanoVT i Norge at det bygges opp en tilstrekkelig tung og bred basis innenfor fagfelt med generisk karakter. De vil stå sentralt på de aller fleste aktuelle områdene av nanoteknologi. Den tilknyttede kompetanse er svært viktig for nanoVT og for å utløse ny verdiskaping knyttet til de prioriterte tematiske områdene. Følgende kompetanseområder foreslås prioritert:

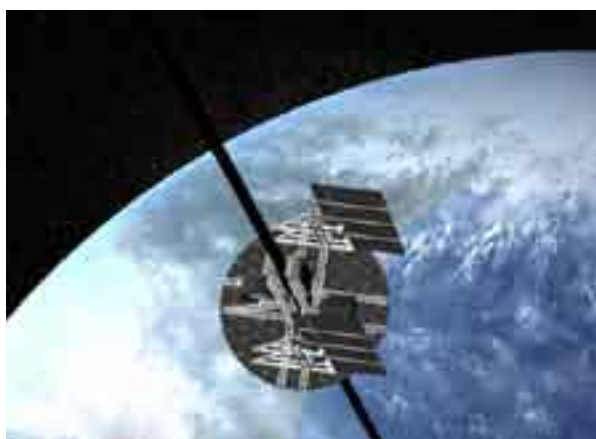
- materialer
- grenseflate-/overflatevitenskap og katalyse
- fundamentale fysiske og kjemiske fenomener og prosesser på nanometernivå
- bionanoVT
- komponenter, systemer og komplekse prosesser basert på nanoVT
- etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter, herunder helse, miljø og sikkerhet

### Materialer

Materialer er en helt sentral nøkkelteknologi enten det er nanopartikler, tynne filmer, legeringer, kompositter, hybride strukturer, biomimetiske systemer eller biomaterialer. Design av slike materialer, eventuelt satt sammen til kompositter, komponenter eller nanostrukturer, vil utgjøre kjernen av nye, nanoteknologiske produkter.

Norge har sterke teknologiske tradisjoner og stor verdiskaping knyttet til materialer. Her kan nye produkter basert på nanostrukturerte materialer forankres. Materialer har gjennom sine fysiske, kjemiske og mekaniske egenskaper en enorm betydning for samfunn og teknologier. De benyttes for konstruksjonsformål i videste forstand og til å gi komponenter en funksjonell egenskap som legges til grunn for en anvendelse.

Materialeegenskapene skyldes dels deres atomære oppbygging, dels hvordan materialet er bygget opp (nanostrukturen). Nye løsninger innenfor ulike teknologier for energi, miljø, bio og IKT er ofte



*ROMHEIS: Nye materialer basert på karbonnanorør kan bli sterke nok til at fungere som en heis fra jorda ut i rommet. Foto: HighLift Systems*

bare mulig ved å utvikle nye materialer med radikalt forbedrede egenskaper. Disse forventes i dag å komme i stor grad gjennom nanostrukturering. I tillegg vil nanostrukturering og kobling av ulike materialer på nanometerskala i seg selv gi opphav til nye egenskaper, noen av dem helt uventede. Utvikling av material- og nanoteknologi er dermed intimt knyttet sammen, og utvikling av begge er utløsende for andre samfunnsteknologier [Norges forskningsråd 2005].

### Grenseflate- og overflatevitenskap og katalyse

Ethvert materiale, komponent eller objekt har ytre overflater og indre grenseflater. Når størrelsen går drastisk ned til nanometerskala, blir forholdstallet mellom overflateareal og volum spesielt høyt. Overflaten får stor betydning for nanostrukturerte objekter. Sammensetning, morfologi og defekter i overflaten kan bestemme elektrokjemiske og mekaniske egenskaper i katalyse, korrosjon, slitestyrke og energiomdanning. Overflaten bestemmer også egenskapene som biokompatibilitet og biofouling. Implementering av nanoVT i nye produkter innenfor de tematiske prioriterte områdene forutsetter dyptgående kunnskaper om grenseflate- og overflatevitenskap, med evne til å designe, fremstille, karakterisere og forstå egenskaper på fundamentalt nivå. Økt forståelse av grenseflater mellom uorganiske, organiske og biologiske materialer er viktig for å få til synergi mellom material-, bio- og medisinsk teknologi.

Katalyse handler om å få kjemiske reaksjoner til å gå fortere eller ved lavere temperatur, noe som gir lavere energiforbruk. Målet er å få høy omsetning, få biprodukter og lite forurensing. I biologiske systemer kontrollerer enzymer (proteiner) nedbrytingen og oppbyggingen av organiske molekyler. De er bl.a. helt sentrale i fotosyntesen og cellenes livsfunksjoner. Katalyse brukes i mange forskjellige teknologier og prosesser innenfor olje- og gasskonvertering, landbasert kjemisk industri, renseteknologi og energiteknologi. Bruk av nanoteknologi vil både forbedre eksisterende katalysatorer, gi helt nye katalysatorer til nye formål, og åpne opp for rasjonell design basert på atomær innsikt. En visjon innenfor katalysatorforskningen er å utvikle katalysatorer som er like effektive og selektive som enzymer, og samtidig mer robuste.

### Fundamentale fysiske og kjemiske fenomener og prosesser på nanometernivå

De fysiske, kjemiske og mekaniske egenskapene til et materiale er avhengige av størrelsen og oppbyggingen av partiklene på nanonivå. Dette står sentralt i studiene av fundamentale fenomener og prosesser (mesoskopisk fysikk og kjemi).

For å studere slike egenskaper på nanonivå, må målinger foretas på enkeltpartikler og komponenter, noe som krever avansert og spesialisert måleteknikk og visualisering. Det er nettopp i dette størrelsesregimet at partikler og komponenter får egenskaper som gjør nanoteknologi til et kraftfullt verktøy. Her kreves utvikling av ny teoretisk forståelse, spesielt innenfor mesoskopisk fysikk. Sentrale områder er dekoherens og kontrollerbare kvanteprosesser, fenomener knyttet til spesielle vekselverkninger, trykk og temperatur samt selvorganisering og kompleks dynamikk.

### **BionanoVT**

Begrepet bionanoVT omfatter en lang rekke fenomener, metoder og strukturer som utnytter nanoteknologi til bioteknologiske og medisinske anvendelser. Eksempler er nanostrukturerte implantater, strukturer for celle- og vevsdyrking (tissue engineering) og nanomedisiner. Nanopartikler brukes som målsøkende legemiddelbærere. Andre anvendelser er biosensorer og ulike diagnostiske verktøy. Morgendagens biomatriser og «laboratorium-på-en-brikke» vil utnytte nanostrukturerte overflater og immobiliserte biomolekyler for kraftfull klinisk diagnostikk og behandling. Magnetiske nanopartikler kan anvendes til samme formål og også for presis avbildning sammen med NMR. Biomimetiske systemer kan være biomembraner og subcellulære komponenter som etterlikner sine biologiske ekvivalenter i celler og cellekommunikasjon.

### **Komponenter, systemer og komplekse prosesser som utnytter nanoVT**

Komponenter (devices) som sensorer, aktuatorer og integrerte kretser med spesifikke funksjoner blir i større og større grad benyttet i medisin, IKT, elektronikk, sikkerhet, oljeutvinning, prosessstyring og industri for øvrig. Utviklingen har akselerert som følge av nyvinninger innenfor mikroteknologi. Fremover vil nanokomponenter ta over som de aktive elementene.

Prosesser med teknologiske trinn som separasjon, membranteknologi og filtrering, brukes i stor grad i olje- og gassindustri, landbasert kjemisk industri og energiteknologi. Optimalisering og miniatyrisering av prosessene vil trekke betydelige vekst på nanoteknologi.

Fluidikk dreier seg om hvordan en væskes flyteegenskaper påvirkes av nanopartikler eller av nanoporer og nanokanaler. Etse- og litografiteknikker er velegnet til å lage nettverk av kanaler på mikro- eller nanometerskala. De kan brukes i kjemiske, biokjemiske eller biologiske anvendelser – fra verktøy for syntese (nanoreaktorer) eller analyse til

sensorsystemer og energiteknologi (f.eks. mikroreaktorer for portabel elektronikk). Egenskaper ved fluider og deres vekselvirkning med overflater på nanometerskala er av økende viktighet.

Optikk og laserteknologi er i rivende utvikling med stadig kortere og mer intense laserpulser. Attosekund-laserkilder med svært korte bølglengder vil ventelig etableres som ny mikroskop-teknologi. Alternativt kan nye avbildningsteknikker utvikles basert på multifotonprosesser. Design av nanostrukturer med spesielle emisjons- og absorpsjonsegenskaper kan få betydning for områder fra sensorteknologi til belysning. Enkeltfotoner kan også brukes til informasjonsbehandling og -transport.

### **Etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter**

Kunnskapen om hvordan nanomaterialer påvirker helse og miljø er ufullstendig. I Forskningsrådets rapport om nanoteknologi og helse, miljø, etikk og samfunn [Norges forskningsråd 2005(f)] peker på flere viktige problemstillinger med etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter, herunder helse, miljø og sikkerhet. Forskning og kompetansebygging på dette feltet er nødvendig for å forstå hvorvidt og hvordan nanoVT er et felles gode, og hvordan det kan tas i bruk sikkert og uten skadeeffekter på helse og miljø. Viktige forskningssoppgaver vil være studier knyttet til materialers egenskaper, langtidseffekter og mulig giftighet for helse og miljø. NanoVT omgis også av mange etiske spørsmål, for eksempel i forbindelse med medisinske anvendelser, som kan være urovekkende og utfordrende for samfunnet. Se også side 16 og 17. Slike spørsmål bør gis god plass i en samlet nanoVT-satsing.

## Verktøyplattformer

**Mål:** Relevante, konkurransedyktige og tilgjengelige verktøy for nanoVT knyttet til de tematiske områdene og kompetanseområdene

**Tiltak:** Etablering av nettverk for verktøyplattformene.

### Syntese, manipulering og fabrikasjon

Overforenklet gjelder at for å oppdage noe nytt, må man først kunne lage noe nytt. Dette er spesielt aktuelt for nanoVT-området. Forskerne må derfor beherske verktøy for syntese av nanomaterialer, nanostrukturerte overflater og nanopartikler samt fabrikasjon av komponenter og strukturer der nanodimensjoner står sentralt. Gjennom nettverks-tiltak bør ulike forskningsgrupper ha tilgang til metodikk og kompetanse på verktøy for syntese, manipulering og fabrikasjon. Deler av disse aktivitetene må foregå i dedikerte renrom.

### Karakterisering

Avanserte verktøy for karakterisering kreves

for å studere statiske og dynamiske egenskaper (kjemiske, fysikalske, mekaniske og biologiske) på nanometernivå. Hvis utstyret ikke finnes i det norske forskningssystemet (ikke kommersielt tilgjengelig, for krevende infrastruktur eller for kostbart), bør tilgang sikres gjennom internasjonalt samarbeid og avtaler. Nasjonalt bør bred tilgang sikres gjennom etablering av nettverk for karakterisering.

### Teori og modellering

Teori- og modelleringsverktøy er en påkrevd og integrert del av prosjekter innenfor nanoVT. Avanserte datamaskiner og velegnede beregningsprogrammer blir stadig viktigere. Tungregning og grafisk manipulering er avgjørende for å forstå egenskaper på nanonivå. Tilgang til tilfredsstillende tungregneressurser er derfor nødvendig. De kan bygges opp med prioriterte offentlige virkemidler.

Mange fundamentale fenomener på nanometer-skala er fortsatt dårlig forstått. Utvikling av grunnleggende forståelse må dermed stå sentralt i en langsiktig satsing på nanovitenskap.

## Virkemidler

- *Det innføres en fokusert og strategisk finansiering av miljøer og prosjekter av spesielt høy kvalitet og eventuelt spesielle ressurser (storprosjekter)*
- *To nasjonale infrastructuresentre og et antall verktøyplattformer opprettes som del av nettverk for nasjonal infrastruktur for nanoVT. Disse gis langsiktig finansiering, underlegges nasjonal koordinering og forpliktes til å yte nasjonal tilgjengelighet.*
- *For å legge grunnlag for utnyttelse av nanoVT i næringslivet og for å underbygge nanoVT innenfor de tematiske satsingsområdene, må næringslivet gis tilgang på nasjonal infrastruktur for nanoVT.*
- *Det satses på individbasert finansiering (internasjonale postdoktorer, rekrutteringsstillinger, gjesteforskere, startpakker) med formål å hente inn internasjonale impulser, bygge ny kompetanse, gi yngre forskere bedre vilkår samt å styrke rekrutteringen.*
- *Tiltak bør vurderes for å sikre at virkemiddelapparatet for innovasjon og kommersialisering utnyttes optimalt og bidrar til å løfte fram gode, kommersialiserbare nanoVT-ideer.*
- *For å ha god kontinuitet i hele kjeden fra idé og grunnforskning til produkter og kommersialisering, må virkemidler foreligge for anvendt forskning, både med og uten bedriftsdeltakelse. Det bør satses på patentering og annen sikring av intellektuell kapital som grunnlag for kommersiell utnyttelse.*
- *Økte krav til kompetanse innenfor forskningsledelse forventes for tverrfaglige prosjekter som involverer både grunnforskning og industrinær virksomhet. Tilbud om opplæring ivaretas gjennom generelle tiltak.*

I tillegg til faglig innhold er måten satsingen organiseres og settes ut i livet på, avgjørende for å lykkes på et internasjonalt konkurranseutsatt felt med stort vitenskapelig og verdiskapingspotensial. Strategien trekker opp retningslinjer og ramme for den faglige satsingen, men kan ikke gi alle detaljene. I dette og de to påfølgende avsnittene beskrives derfor en modell for organisering av nanoVT-satsingen og et antall prosjekt-, individ- og infrastrukturorienterte virkemidler som til sammen skal sørge for en effektiv implementering av satsingen.

## Infrastruktur og koordinering

**Mål:** Benytte etablerte og nye infrastrukturfasiliteter som nasjonale ressurser med høy tilgjengelighet for nanoVT. Høy faglig og metodisk kunnskap på generiske nanoVT-områder.

**Tiltak:** Etablere to laboratorier som nasjonale infrastrukturentre for nanoVT. Identifisere og videreutvikle et antall verktøyplattformer med utgangspunkt i spesielle fortrinn innenfor nisjer for de faglige vertsmiljøer, og organisere disse i nettverk.

Det ble under avsnittet «Koordinering» på side 19 argumentert for at satsingen på infrastruktur, laboratorier og instrumenter for nanoVT bør koordineres nasjonalt. Viktige grunner er høye investerings- og driftskostnader (og dermed krav til høy utnyttelse), behov for velkvalifisert personell og god tilgjengelighet for forsknings- og utdanningsinstitusjonene, instituttsektoren og industrien.

De klart største nåværende investeringene i infrastruktur for nanoVT i Norge er MiNaLab/SMN i Oslo og NTNU NanoLab i Trondheim. Disse har blitt/blir utført med midler fra de respektive universitetene, SINTEF, Norges forskningsråd og departementer. Dette er investeringer i størrelsesorden mange hundre millioner kroner. De to er åpenbare kandidater for å gis en rolle som **nasjonale infrastrukturentre** for nanoVT. Siden en slik rolle krever at laboratoriene blir gjort allment tilgjengelige, kan man ikke uten dialog med de ansvarlige institusjoner foreslå at disse utpekes til å bære nasjonale oppgaver. Det foreslås derfor at Forskningsrådet får i oppgave å koordinere igangsetting av slike sentre etter gjeldende retningslinjer. Den nasjonale ressursrollen til disse sentrene innebærer en rekke krav til vertsinstitusjonene:

- Tildelingen skal gjøre det mulig å tilby generell tilgang til infrastrukturen for en lav avgift.
- Tildeling av brukertid skjer på bakgrunn av søknad og kvalitetsvurdering.
- Infrastrukturen skal driftes og vedlikeholdes slik at eksterne brukere får tilgang til optimalt drevne laboratorier med personell som bistår eksperimentelt og med høy metodisk kompetanse.
- Laboratoriene skal være reelt tilgjengelige for andre enn vertsinstitusjonen. Den nasjonale ressursstatusen forutsetter at eksternt bruk overgår en viss driftsmessig andel.
- Praktiske ressurser for tilreisende forskere må stilles til rådighet.

- Laboratoriene bør stimuleres til forskning av både anvendt og grunnleggende karakter, og utstyr bør forefinnes som kan bringe (grunn)forskningen opp til demonstrasjonsnivå.
- Laboratoriene skal tilstrebes å være komplementære.

Til gjengjeld tilbys laboratoriene forutsigbarhet og midler som muliggjør god og forsvarlig drift:

- De får tilsagn om langsiktig finansiering av drift og fornyelse av laboratoriene.
- De får tilsagn om langsiktig finansiering av påkrevd teknisk personell og eventuelle metodiske spesialister.

I tillegg til de to nevnte ressursentrene har flere institusjoner høyt kvalifiserte laboratorier og høy kompetanse innenfor nisjeområder, men av vesentlig mindre omfang enn virksomhetene i Oslo og Trondheim (se vedlegg 1). Siden nanoVT er et viktig og voksende felt, er det viktig å tilby et godt og egnet virkemiddelapparat for de noe mindre nanoVT-aktørene, ikke minst for å sikre rekruttering og lokal kompetanse. Det åpnes derfor for **nasjonalt koordinerte verktøyplattformer**. De etableres på bakgrunn av åpne utlysninger med vitenskapelig kvalitet og metodikk som avgjørende kriterier. Dersom omfang eller behov skulle gjøre det aktuelt, bør det senere vurderes om disse skal få status som nasjonale sentre. Forutsetningen for å etablere nye aktiviteter er at det er et stort behov/etterspørsel for tjenester som ikke dekkes ved eksisterende fasiliteter. Detaljerte beslutninger gjøres på basis av den foreslåtte koordinerings- og utlysningsprosessen i regi av Forskningsrådet.

Det foreslås at de nasjonale infrastrukturentrene og verktøyplattformene organiseres som et **nettverk**, der brukere registreres og søker om brukertid ved de forskjellige fasilitetene. Fordeling av brukertid skjer etter eksternt kvalitetsvurdering på bakgrunn av søknad.



*INNSIKT I NANOTEKNOLOGI: Avanserte laboratorier gir mulighet for ny kunnskap om materialenes egenskaper. Foto: NTNU*



I noen tilfeller vil det være naturlig å samarbeide med andre programmer, for eksempel FUGE, om infrastruktur eller utstyr. Initiativ til dette og organisering av samarbeidet gjøres av Forskningsrådet.

## Storprosjekter og sterke forskningsmiljøer

**Mål:** Utvikle forskningsmiljøer som kan hevde seg internasjonalt.

**Tiltak:** Fokuseret og strategisk finansiering av prosjekter og miljøer som utmerker seg ved spesielt høy kompetanse og kvalitet.

Ut fra den sterke graden av tverrfaglighet i nanoVT og ønsket om å oppnå synergi mellom langsiktig grunnforskning og anvendt/ industrirettet forskning, ble det under avsnittet «Koordinering» på side 19 anbefalt å etablere faglig sterke, robuste miljøer med kapasitet til å drive langsiktig grunnforskning, anvendt forskning og industrisamarbeid i ett og samme miljø. Arbeidsgruppen foreslår derfor at en vesentlig andel av ressursene brukes til storprosjekter som kan skape sterke, robuste forskningsmiljøer med tilstrekkelig kritisk størrelse til å ta på seg slike simultanoppgaver. Dette kan være lokale miljøer som er store nok i seg selv, og som ved tilførsel av midler oppnår robust størrelse. Det kan også være nye akser eller allianser som ved å søke sammen kan oppfylle kravene til et sterkt miljø.

Mange mulige balanser mellom grunnleggende og anvendt forskning kan tenkes i slike prosjekter, alt etter graden av industriell modenhet og anvendbarhet av forskningen. Enkelte prosjekter kan være meget grunnleggende mens andre kan ha en mye høyere grad av anvendt forskning og industridel-takelse. Storprosjekter kan finnes både innenfor kompetanseområder og tematiske områder. Slike prosjekter og miljøer vil være viktige ressurser for utdanning på ulike nivåer.

En forutsetning for robuste miljøer er **langsiktig og forutsigbar finansiering**. Fra å være ekstremt søknads- og evalueringsbasert, anbefales derfor at en del av finansieringen blir strategisk, med vurderinger basert på resultater. Miljøer med strategisk finansiering forutsettes å oppfylle et sett kriterier i løpet av en fastsatt tid:

- Forskningen er av høy internasjonal kvalitet (målt med standardkriterier).
- Miljøet har aktiviteter innenfor grunnforskning.
- Miljøet har tydelige innslag av anvendelse av resultater og innovasjon, for eksempel via samarbeid med industri, patentering av forskningsresultater eller oppstart av bedrifter.

- Aktiviteter innenfor etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter, inklusive helse, miljø og sikkerhet, er integrert i miljøet.

Det vil også være naturlig at miljøet deltar aktivt i undervisning og internasjonalt samarbeid.

Basert på objektive kriterier for kvalitets- og prestasjonsbedømmelse kan den strategiske finansieringen til storprosjekter **økes eller reduseres** med gitte mellomrom. Disse er dels standardiserte vitenskapelige kriterier (publikasjoner, siteringer, inviterte foredrag), dels innovasjonsrelevante kriterier (patenter, bedriftsetableringer, industrisamarbeid). Storprosjekter må alltid bedømmes av uavhengig internasjonal ekspertise som vurderer kvalitet og måloppfyllelse, både ved oppstart og i oppfølgingsfasen.

## Individbaserte virkemidler

**Mål:** Beredskap og evne til forskningsdynamikk gjennom å trekke på internasjonal utvikling og kompetanse. Rekruttere fremstående studenter og forskere.

**Tiltak:** Særskilt satsing på individbasert finansiering: internasjonale postdoktorer, rekrutteringsstillinger, gjesteforskere samt startpakker for yngre forskere

Den menneskelige kapitalen er sentral i byggingen av nye forskningsområder. Studenter og yngre forskere føler seg tiltrukket av nanoVT, og det er helt nødvendig å tilby dem ressurser og karriereveier. Samtidig kan det være nødvendig å hente inn relevant kompetanse fra utlandet for raskt å kunne bygge opp robust aktivitet rundt de prioriterte områdene. Oppbygging av spisskompetanse på prioriterte områder må balanseres mot eventuelle behov for å gå inn på nye områder av nanoVT. For disse formål foreslås følgende tiltak:

- **Internasjonale postdoktorstipender.** Dette bør fortrinnsvis gå til forskningsopphold ved de beste forskningsinstitusjonene i utlandet. Formålet er å hente hjem verdifull kunnskap.
- **Rekrutteringsstillinger** for yngre forskere skal gjøre det attraktivt å komme hjem fra internasjonale forskningsopphold. Det må legges til rette for tilsettinger i forskerstillinger som bidrar til å synliggjøre karriereveier og dermed økt rekruttering.
- **Attraktiv finansiering** av gjesteforskere og godt forskningsmiljø benyttes bevisst for å tiltrekke seg dyktige forskere til lengre eller kortere opphold ved norske institusjoner.

- For å tiltrekke seg topp forskere fra utlandet i nye, faste stillinger i Norge, foreslås det innført ekstern finansiering av **startpakker** for fremragende nye forskere.

Det er en betydelig utfordring å sikre at faglig kvalitet, konkurransedyktig infrastruktur og instrumentering, god mulighet for ekstern finansiering og godt miljø gjør norske universiteter attraktive.

## Innovasjon og næringsutvikling

**Mål:** Økt innovasjon, økt verdiskaping i eksisterende industri, og bedriftsetableringer med basis i nanoVT.

**Tiltak:** Tilrettelegge for at virkemiddelapparatet for innovasjon og kommersialisering utnyttes optimalt. Innføre virkemidler for anvendt forskning med og uten industrideltakelse. Fokuserer på patentering som grunnlag for kommersiell utnyttelse. Aktivt jobbe med å etablere møteplasser mellom industri og akademia.

I nanoVT kan det være meget korte og lange tidskalaer fra grunnleggende forskning til innovasjon. Dette stiller store krav til virkemiddelapparatet.

Deler av nanoVT-forskningen er rettet mot nasjonalt prioriterte områder der potensialet for nyskaping og innovasjon er høyt. Radikale teknologiske gjennombrudd kan danne basis for stor, ny verdiskaping. Dette forutsetter kompetanse og bevisstgjøring i virkemiddelapparatet og næringslivet, og vilje til å satse tungt på muligheter innen nisjer.

NanoVT er allerede integrert i deler av næringslivet gjennom prosesser og produkter (mekanisk styrke, slitestyrke, barriereegenskaper, kontrastmidler, sensormaterialer, mikrosilika osv), men teknologiutviklingen har ikke vært tuftet på fundamental, bevisst nanoVT. Næringslivet må inviteres inn i **samarbeid** rundt nanoVT-områdene, slik at de kan styrke egen kompetanse og etablere prosjekter med akademiske partnere. Omvendt kan det i noen tilfeller være naturlig at industrien inviterer til samarbeid, og stiller sine ressurser tilgjengelig.

Finansieringen forutsettes hovedsakelig å gå gjennom vanlige kanaler for brukerstyrt forskning som brukerstyrte innovasjonsprosjekter i f.eks. BIA, SkatteFUNN og i et nytt nanoVT-program. I tillegg vil en næringslivskomponent støttes via storprosjektene som foreslått i denne strategien.

De store industrilandene og mange store bedrifter er svært aktive innenfor **patentering**. Det kan blokkere norsk kommersiell satsing og utnyttelse. Det er viktig å få fram egne patenter på de områdene der vi skal søke å bli blant de ledende.

For å tilrettelegge for økt samarbeid mellom akademia og eksisterende industri, foreslås å gjøre nanoVT-laboratorier og tung infrastruktur tilgjengelig for næringslivet basert på regler for fri konkurranse. Dette vil effektivt muliggjøre nye nanoVT-produkter fra etablert industri og skape et viktig grunnlag for etablering av nye bedrifter.

NanoVT vil gi opphav til en rekke nye, kommersialiserbare **produkter**. I stor grad vil de springe ut fra institusjoner med tung aktivitet innenfor feltet. Disse institusjonene har allerede et system for kommersialisering. Men det vil være viktig med egnede virkemidler for verifisering, produktutvikling og oppstart av nye SMB-er, trolig utover det som foreligger i dag. For at institusjoner skal kunne følge ideer og produkter i større grad mot kommersialisering, bør virkemidler foreligge for anvendt forskning uten nødvendigvis bedriftsdeltakelse. Det vil si å opprette supplementer til dagens ordninger som krever bedriftsdeltakelse (KMB og BIP). Disse må også avstemmes med regler for fri konkurranse.

Et annet virkemiddel for eksisterende SMB-er, er å tilby ekstern assistanse for å identifisere og konkretisere nanoVT-muligheter og ideer som gir bedriftene nye muligheter for innovasjon.

## Forskningsledelse

**Mål:** Høy kompetanse innenfor forskningsledelse av tverrfaglige prosjekter og prosjekter der både grunnforskning og industrinær forskning inngår.

**Tiltak:** Tilbud om opplæring innenfor forskningsledelse. Ivaretas gjennom generelle tiltak.

De foreslåtte storprosjektene innebærer behov for en ny type forskningslederskap for tverrviten-skapelige prosjekter, med evne til å utvikle synergi mellom grunnleggende og anvendt forskning, inklusive innovasjon og kontakt med industrien.

Ansvar for faglig ledelse bør primært ligge hos institusjonene. Forskningsrådet bør supplere dette med et tilbud om opplæring innenfor forskningsledelse. Det kan omfatte prosjektledelse og prosjektbudsjettering, personalansvar, kunnskap om EU-systemet, medietrening, forskningsetikk, forskningspolitikk og forskningsfinansiering, forhandlingskompetanse, kunnskap om immaterielle rettigheter (IPR), oppstart av bedrifter og vekstinvesteringer (venture capital).

For å styrke rollen som forskningsleder innenfor nanoVT, foreslås det å etablere **møteplasser** for forskningsledere i regi av Forskningsrådet, for eksempel i forbindelse med fagkonferanser.

# Organisering av satsingen

- *En fokusert og langsiktig (minst 10 år fra 2007) nanoVT-satsing bør etableres. Forskning innenfor nanoVT finansieres via eksisterende programmer for de tematiske satsingsområdene og gjennom et fokusert «Nytt nanoprogram».*

**Mål:** En langsiktig, fokusert satsing på nanoVT skal gi et kompetansemessig grunnlag for økt og ny norsk verdiskaping med basis i nanoVT.  
**Tiltak:** Etablere en koordinert og langsiktig (minst 10 år fra 2007) satsing med utgangspunkt i et «Nytt nanoprogram» som skal vekselvirke med virkemidler for nasjonalt prioriterte tematiske og teknologiske satsinger.

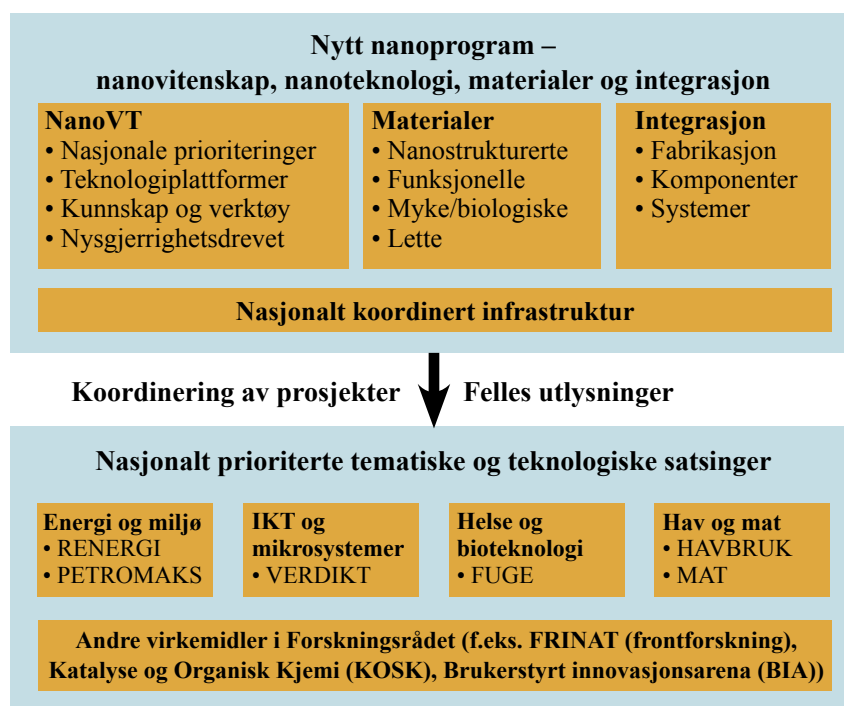
Modellen i figuren under har likhetstrekk med NMP-programmet i EUs sjettede rammeprogram (Tematisk prioritert område 3; Nanotechnologies and nano-sciences, knowledge-based multifunctional materials and new production processes and devices). Den skiller seg fra NMP-programmet ved å ha et større fokus på grunnforskning. Dette er naturlig og påkrevd siden grunnforskningsdelen av nanoVT i EU er for en stor del overlatt til nasjonale forskningsråd.

Arbeidsgruppen har vurdert om det ville være hensiktsmessig å foreslå etablering av et rent nanoVT-program, eller en bred spredning av ressurser til ulike virkemidler og programmer, med

eller uten et koordinerende ansvar lagt til et av programmene. Hovedargumentet for ikke å etablere et eget nanoVT-program, er at nanoVT grenser opp mot og inkluderer så mange forskjellige disipliner, teknologier og anvendelser at naturlige avgrensninger, for eksempel mot funksjonelle materialer eller mikroteknologi, vil være vanskelig å finne. I stedet bør den norske satsingen på nanoVT, som i EU, skje som en del av et bredere teknologiprogram med fokus på kompetanseområder. Midler tilføres, og eventuelt koordineres gjennom utlysningene, med nanoVT-finansiering av tematiske prioriterte områder (anvendelser). Modellen tilsvarer den fokuserte satsingsmodellen beskrevet under «Koordinering» på side 19, det vil si at norsk nanoVT finansieres både gjennom et program med kompetanseansvar for nanoVT og av virkemidler innrettet mot de nasjonalt prioriterte tematiske områdene. Dagens NANOMAT-program vurderes som en god kandidat til å utvides til et bredere teknologiprogram. Dermed kan man direkte trekke vekslere på kompetansen som allerede er bygd opp innenfor materialområdet som er så viktig for nanoVT. Det bidrar også til synlighet.

Siden den foreslåtte organiseringen av programmet skiller seg fra NANOMATs på flere sentrale områder, vil vi her betegne det nye programmet som inneholder nanoVT, materialer og integrasjon, for «**Nytt nanoprogram**». Programmet foreslås å ha finansieringsansvaret for infrastruktur og kompetanseområder innen nanoVT, samt for relevant nysgjerrighetsdrevet forskning. Programmet skal i tillegg finansiere grunnleggende forskning innenfor de tematiske prioriterte områdene, gjennom storprosjekter og gjennom dagens søknadstyper i Forskningsrådet. Dette vil medføre en økende andel av brukerstyrte innovasjonsprosjekter.

Satsingen må være **langsiktig** for at det skal være realisme i visjoner om basis for ny verdiskaping og for å sikre forutsigbare forhold for de nasjonale infrastruktur-sentrene. Det anbefales at satsingen minst varer fra 2007 til 2016, og at en videreføring vurderes og eventuelt planlegges i god tid før perioden er omme.



Foreslått organisering av norsk nanoVT-forskning.



NanoVT-satsingen må ha optimale **grenseflater** mot nærliggende teknologiområder, særlig de som har vært sentrale pilarer i NANOMAT. Arbeidsgruppen anbefaler sterkt at «Nytt nanoprogram» også inneholder materialforskning som ikke i seg selv direkte kan beskrives som nanoVT, og at integrasjon av nanoteknologiske komponenter får en mer synlig plass enn i dag. «Integrasjon» er viktig for å ivareta forskningsutfordringer for å ta i bruk grunnleggende resultater. I stor grad dreier det seg om metoder for integrasjon av nye generasjoner funksjonelle, smarte materialer som vekselvirker med omverdenen. Det kan være i sensorer, aktuatorer, elektroniske, optiske og biomedisinske komponenter. Forskningsrådet kan også vurdere om Nytt nanoprogram skal ta opp i seg material- og metodeelementer av mikroteknologi som i dag ikke er dekket av det fokuserte IKT-programmet VERDIKT. Dette programmet inkluderer heller ikke nanoVT for IKT.

NanoVT må videre bygges opp med en optimal **blanding** og samvirking mellom rent grunnleggende og anvendt orientert forskning. Avstanden kan være kort fra metodeutvikling og nysgjerrighetsdrevet forskning til teknologisk utvikling og praktiske anvendelser. Det er nødvendig å sikre en betydelig og vedvarende andel kunnskapsdrevet (grunnleggende) forskning. En åpen grenseflate mellom vitenskap og teknologi kreves for å utløse nye muligheter for verdiskaping. Dette forutsetter vekselvirkning med produktutvikling og kommersialisering.

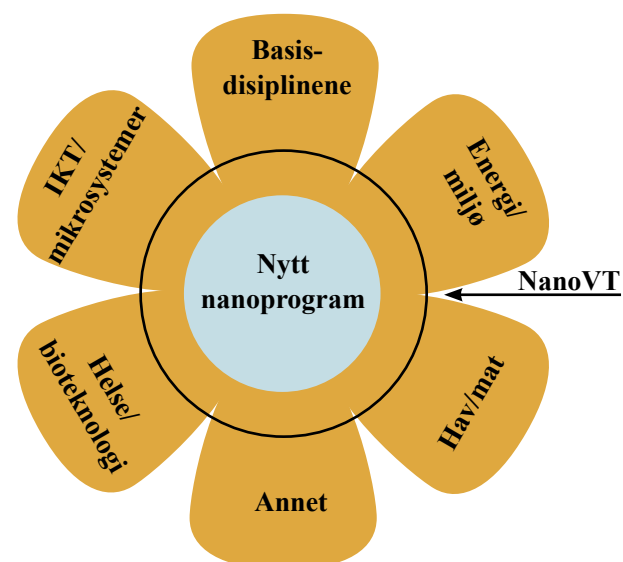
Den foreslåtte arbeidsdelingen mellom «Nytt nanoprogram» og tematiske/teknologiske virkemidler i Forskningsrådet gjør en **koordinering** av innsatsen helt nødvendig. Ansvar for koordineringen foreslås lagt til «Nytt nanoprogram», siden det får ansvar for kompetanseområder, verktøyplattformer og infrastruktur. I likhet med anbefalingene fra foresight-rapporten anbefales at Forskningsrådet oppretter en koordineringsgruppe for nanoVT (og materialteknologi) på tvers av divisjoner og programmer.

NanoVT representerer en ny teknologisk dimensjon med stort potensial for radikale utviklinger innenfor disipliner og sentrale samfunnsteknologier, og dermed verdiskaping. Da er det svært viktig å legge til grunn for en optimal utvikling av feltet i Norge, spesielt på grunn av ressursituasjonen og den sterke internasjonale konkurransen. Det bør derfor vurderes om det på sikt skal etableres et **nasjonalt råd** forankret i departementene for koordinering av nanoVT i Norge, noe liknende det som finnes for hydrogenområdet.

NanoVT for nasjonalt prioriterte tematiske og teknologiske områder foreslås implementert gjennom etablerte virkemidler. Det anbefales også her at nanoVT og nye materialer ses i tett sammenheng. «Nytt nanoprogram» vil ha grunnleggende aktiviteter innrettet mot de tematiske områdene, og foreslås tillagt et overordnet **koordinerende ansvar**. Dersom det ikke foreligger egnede programmer som kan være vertskap for nanoVT innrettet mot tematiske og teknologiområder i Forskningsmeldingen, legges ansvaret og ressursene for denne forskningen også til «Nytt nanoprogram».

Dersom NANOMAT blir gitt rollen som «Nytt nanoprogram», må organiseringen av programmet inklusive styrerepresentasjon nøye gjennomgås og tilpasses de nye, krevende oppgavene.

Det understrekes at en satsing på nanoVT ikke må skje på bekostning av tilgrensende områder, for eksempel annen materialforskning, fysikk eller kjemi, som danner en basis for nanoVT. Eksisterende, gode miljøer innenfor disse fagene verken kan eller bør forventes å bygge opp ny nanoVT-virksomhet uten tilførsel av nye ressurser, både fra eksterne og interne kilder.



«Nytt nanoprogram» finansierer både nanoVT (indre sirkel) og annen forskning (ikke vist i denne figuren). NanoVT finansieres dessuten gjennom tematiske og øvrige virkemidler i Forskningsrådet (innenfor heltrukket ring). Figuren illustrerer at en del av nanoVT, finansiert av Nytt nanoprogram, vil direkte understøtte de nasjonale prioriteringene.

## Samspill mellom ulike aktører

- *Internasjonale nettverk må styrkes ved midler til nettverksbygging.*
- *Utdanning og forsker trening i nanoVT må videreutvikles for å sikre tilgang på studenter og forskere. Tiltak for internasjonal rekruttering må vurderes, spesielt for å avhjelpe behov på kort sikt.*
- *NanoVT bør bli del av en nasjonal formidlingsstrategi.*
- *Etiske, juridiske og samfunnsmessige problemstillinger (ELSA), herunder helse, miljø og sikkerhet, adresseres gjennom integrasjon av slike spørsmålsstillinger i relevante prosjekter (for eksempel storprosjekter), gjennom infrastrukturentrene og gjennom spesielle utlysninger innrettet mot ELSA. Forskningen samordnes med tilsvarende initiativ på andre felt av Forskningsrådet.*

Dette kapittelet peker på andre sentrale aspekter for en vellykket nanoVT-satsing, spesielt tilknyttet internasjonalt samarbeid, innovasjon og næringsutvikling, utdanning og rekruttering, formidling, og etiske, juridiske og samfunnsmessige forhold.

### Internasjonalt samarbeid

**Mål:** Tett samspill mellom norske og utenlandske forskningsmiljøer innenfor nanoVT  
**Tiltak:** Midler til internasjonal nettverksbygging.

Internasjonalt er satsingen på NanoVT og tilgrensende områder av meget stort omfang. Norge har begrensede ressurser til forskning og infrastruktur, og vil internasjonalt sett trolig stå for mindre enn 1 % av kunnskapsoppbyggingen. Internasjonalt samarbeid er påkrevd; både for å sikre norske forskningsmiljøer tilgang til avansert utstyr, nye forskningsideer og deltakelse i store internasjonale prosjekter, og for at norsk industri skal kunne orientere seg og nyttiggjøre nye resultater.

Den foreslåtte NanoVT-satsingen vil legge et helt nødvendig grunnlag for at norske miljøer skal kunne bli attraktive partnere i internasjonale samarbeidsprosjekter. Det må i tillegg stimuleres til internasjonalt forskningssamarbeid. Vi har ovenfor foreslått tiltak på individnivå. Det bør legges mer konkrete ressurser inn i bilaterale samarbeidsavtaler som forskningsinstitusjonene har etablert med

ledende institusjoner i utlandet. Dessuten må internasjonale kontakter på individnivå oppmuntres, for eksempel ved økt finansiering for deltakelse på internasjonale seminarer og konferanser. Den viktigste arena for internasjonale nettverk og samarbeidsprosjekter er EUs rammeprogrammer. Både for grunnleggende forskning, utvikling og industrialisering av nanoVT er det nødvendig at institusjonene og bedriftene deltar i nettverk, forskerutveksling og prosjekter i EUs regi. Norges Forskningsråd må styrke tiltak som rådgivningstjenester, støtte til partnersøk, dialogmøter, finansiering til posisjonering (PES), samfinansieringsordningen (SAM-EU) og Brussel-kontoret. Mest sentralt er imidlertid at fagmiljøene er tilstrekkelig robuste og kompetente til å ta på seg oppgaver som partner og gjerne koordinator. Det er naturlig at det tas initiativ til å etablere nasjonale fora som speiler de Europeiske teknologiplattformene (ETP) der nanoVT er sentralt, blant annet ENIAC (nanoelektronikk), NanoMedicine, EuMaT (Advanced Engineering Materials and Technologies) og «Hydrogen and Fuel Cells Technology Platform». Det bør stimuleres til at forskningsinstitusjoner bidrar til at norsk industri deltar i aktiviteter innenfor EUs rammeprogrammer der nanoVT er tema. Dette er i linje med forslaget i avsnitt om storprosjekter.

Norske forskningsmiljøer må fortsatt sikres tilgang til store eksperimentelle installasjoner (Large Scale Facilities), herunder synkrotronstråling (hard og myk røntgen) og nøytronstråling.

### Utdanning og rekruttering

**Mål:** Attraktive utdanningstilbud som tiltrekker seg og leverer et tilfredsstillende antall gode kandidater til forskning, industri og samfunn.  
**Tiltak:** Utvikle og videreutvikle attraktive utdanningsløp innenfor nanoVT.

Rekrutteringen av norske studenter til PhD-studiet og kandidater til postdoktorstillinger i relevante fag er i dag lite tilfredsstillende. Det vil fortsette å være slik i overskuelig fremtid, det vil si over fem år på grunn av allerede foretatt studievalg. Dette blir en stor utfordring for hvordan nanoVT skal komme norsk samfunn og næringsutvikling til gode.

For å møte utfordringen, anbefales en todelt angrepsvinkel: På kort sikt utvikles en strategi for å **innhente dyktige kandidater** fra andre land. Dette kan være masterstudenter fra EU, mens PhD- og postdoktorkandidater trolig i stor grad må hentes utenfor Vest-Europa. For å tiltrekke seg de beste kandidatene, anbefales Forskningsrådet å legge grunnlag for en offensiv rekrutteringspolitikk

mot resten av Europa og Asia gjennom spesifikke samarbeidsavtaler på nasjonalt nivå med ledende universiteter og forskningsinstitusjoner.

På sikt er dette er ingen holdbar situasjon. Det er meget positivt at norske universiteter nå etablerer attraktive **utdanningsløp i nanoVT**. Søknungen til studieprogrammet i nanoteknologi ved NTNU i 2006 er meget oppløftende og i samsvar med spådommene om at nanoVT kan bli morgendagens rekrutteringsargument for studenter til realfag, slik romferd var det tilbake på 1960- og 70-tallet [Norges forskningsråd 2005]. Effekten av arbeidet med å bygge opp utdanningsløp innenfor nanoVT i Norge vil imidlertid først komme på PhD-nivå om 5–8 år, på postdoktornivå ytterligere tre år senere.

Generelt er det også for nanoVT absolutt påkrevd å øke rekrutteringsbasen til realfag i U&H-sektoren gjennom målrettede tiltak på alle nivåer i skolen, jamfør anbefalinger i NMT-rapporten [Norges forskningsråd 2006]. Dette innbefatter et bredt tilbud av høy kvalitet innenfor utdanning i de tradisjonelle disiplinene (matematikk, fysikk, kjemi, biologi).

NanoVT ved de akademiske institusjonene bør i stor grad ledes og drives av personell med dyp innsikt i fagfeltet. Det vil innebære rekruttering av yngre forskere til ledende stillinger, mens dagens etablerte forskere til en viss grad vil dekke grenseflater mot eksisterende kompetanse og teknologi. Omstilling og nyrekruttering er viktige for en suksessfull, langsiktig implementering av nanoVT i Norge.

## Formidling og dialog

**Mål:** Gi befolkningen et balansert bilde av muligheter, utfordringer og risikoer ved nanoVT.

**Tiltak:** NanoVT bør inngå i en nasjonal formidlingsstrategi for realfag og teknologi.

Befolkningens kunnskap om nanoVT er svært sprikende, og mye av den er basert på science fiction eller dommedagsprofetier. Det er viktig å unngå en polarisering av debatten rundt nanoVT, siden dette kan gjøre det vanskelig eller umulig å innføre ny teknologi, uavhengig av nytteverdi for samfunnet. En god formidlingsstrategi vil også bedre rekrutteringen til naturvitenskapene, og gjøre det lettere å få industrien på banen. En god dialog med befolkningen vil dessuten klargjøre en rekke av de etiske og samfunnsrelaterte aspektene ved nanoVT.

Det anbefales derfor at Forskningsrådet oppretter en **nasjonal formidlingsstrategi** for realfag og teknologi. Formålet er å gi et balansert bilde av de

mulighetene og utfordringene vi står overfor ved innføringen av nanoprodukter i samfunnet. Dette krever bidrag fra forskere og kompetansepersoner både fra teknologimiljøene og fra de etiske og samfunnsfaglige miljøene som finnes i Norge. Et viktig punkt er å etablere kontakter i massemedia. Dessuten kan det være fornuftig å involvere legfolk så tidlig som mulig, både for å informere og for å få en uhildet tilbakemelding fra publikum.

## Etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter

**Mål:** Sikre en etisk, juridisk og sosialt forsvarlig utvikling av nanoVT.

**Tiltak:** Integre etiske, juridiske og samfunnsmessige problemstillinger i relevante prosjekter og sentre. Samordne forskning på dette feltet med tilsvarende initiativ andre steder i Forskningsrådet.

De etiske, juridiske og samfunnsmessige utfordringene (ELSA), herunder helse, miljø og sikkerhet, som er beskrevet på side 16 og 17, må følges opp på alle nivåer i satsingen. Allerede i dag skal slike aspekter ved et prosjekt ha blitt vurdert på søknadstidspunktet, men dette følges sjelden opp med konkrete undersøkelser eller uavhengige vurderinger av risiko, toksikologi osv. Slike oppfølginger og jevnlig gjennomføring av risikovurderinger må være en del av prosjekter der dette er relevant, og rapporteres på lik linje med andre resultater. Det er særlig viktig ved utvikling av kommersielle produkter. Strategien foreslår at kompetanse for etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter ved nanoVT knyttes til de nasjonale infrastrukturentrene for nanoVT.

Det er nødvendig å øke den generelle kompetansen i dette feltet. Dette både for å kunne stå bedre rustet når teknologiene blir innført, og for å kunne handle proaktivt overfor konkrete prosjekter eller produktideer. Det bør derfor lysnes ut rene prosjekter innenfor ELSA.

Forskningsrådet bør samordne faglig aktivitet innenfor etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter med liknende aktiviteter hos tilgrensende områder, i første rekke bioteknologi og IKT. De kan føre fram til et **nasjonalt senter** for slik kompetanse. Senteret vil kunne koordinere forskning rundt materialer og teknologier der norske miljøer har fortrinn, og bistå med forsknings- og utredningsoppgaver til forvaltning og næringsliv. Det kan også bidra med formidling om etiske og samfunnsrelevante aspekter til forskere, forvaltning, næringsliv og legfolk.

# Budsjettforslag

- *Anbefalt totalramme for nanoVT: 140 millioner kroner i 2007, jevnt økende til 280 millioner kroner i 2016.*
- *70–80 % av de totale midlene til nanoVT kanaliseres gjennom Nytt nanoprogram, resten gjennom andre eksisterende virkemidler.*

Arbeidsgruppen anbefaler en betydelig og langsiktig satsing på nanoVT. Det vil kunne være et viktig forskningsselement for å oppnå det nasjonale målet om 3 % av BNP til forskning. NanoVT forventes på sikt å stimulere næringslivets investeringer i FoU, noe som er viktig for å nå de overordnede nasjonale forskningsmålene. I høringsdokumentet for den nasjonale MNT-strategien anbefales at Staten skal gå foran gjennom å styrke de offentlige bevilgningene til frontforskning i MNT-fagene. Arbeidsgruppens anbefalinger underbygges videre av Forskningsrådets foresight-studie på materialer og nanoteknologi fra 2005 [Norges forskningsråd 2005]. Denne anbefaler at «NANOMAT skal være Forskningsrådets hovedsatsing de nærmeste årene innenfor nanoteknologi, funksjonelle og nye materialer» og at satsingen på materialer og nanoteknologi økes fra 200 millioner kroner i 2004 til 600 millioner kroner i 2010, hvorav opptrappingen i regi av NANOMAT er fra 150 millioner kroner i 2007 til 250 millioner kroner i 2010.

Arbeidsgruppen finner anbefalingene i foresight-studien **realistiske og påkrevde**. Det foreslås en totalramme for den nasjonale satsingen på nanoVT gjennom Forskningsrådet på 140 millioner kroner i 2007, jevnt økende i en oppbyggingsfase til 250 millioner kroner fra og med 2011 (prisjusteres). Det bør klart signaliseres at satsingen er langsiktig, med en varighet på minst ti år fra 2007. Det synes svært sannsynlig at satsingen bør videreføres også etter den tid, med uforminsket eller økende styrke.

Tallene i tabellen er brutt ned på områder og tiltak etter skjønn. Den eksakte dimensjoneringen bør treffes av Forskningsrådet basert på strategiske beslutninger, kvalitetsvurderinger osv. Tallene i tabellen reflekterer prioriteringene som er foretatt i strategiarbeidet, og antyder ønsket nivå for de forskjellige virkemidlene.

**Investeringsbehovet** for nanoVT-verktøy er svært høyt, til tross for at forskningsinstitusjonene har gjort betydelige prioriteringer mot nanoVT. Dette gjelder nytt, dedikert utstyr, kapasitetsoppbygging for å dekke nasjonale behov og etter hvert fornyelser. Det foreslås avsatt 50 millioner kr/år i oppbyggingsfasen, minkende til 40 millioner kr/år

Budsjettforslag for nanoVT				
Mkr/år	Nullvekst	2007	2011	2016
<b>Energi</b>	6	17	48	57
<b>IKT</b>	4	14	40	48
<b>BionanoVT</b>	3	9	25	30
<b>Hav/mat</b>	0	2	5	6
<b>Kompetanse-områder</b>	8	28	62	69
<b>Tilgjengelighet</b>	10	20	25	30
<b>Investeringer</b>	0	50	45	40
<b>Sum</b>	<b>31</b>	<b>140</b>	<b>250</b>	<b>280</b>

*Budsjettforslag for nanoVT. Tallene for 2007–2016 inkluderer øremerkede midler til nanoVT utenfor Nytt nanoprogram (gjelder de tematiske satsingsområdene i de øverste fire radene). Det er ikke rom for disse i nullvekstforslaget. Annen virksomhet innenfor «Nytt nanoprogram» utover nanoVT (ca. 50 millioner kr/år) er ikke inkludert i tabellen. Midler til tilgjengelighet gjelder for de nasjonale infrastrukturentrene. Investeringer inkluderer fornyelse og innkjøp av nytt vitenskapelig utstyr til nanoVT (særlig verktøyplattformer).*

i 2016. Avskrivningstiden for deler av utstyret er kort, noe som nødvendiggjør anselige midler til fornyelse.

For å kunne gi midler som sikrer forskerne tilgang til avansert utstyr og tjenester ved de nasjonale infrastrukturentrene og verktøyplattformene, må tiltakene organiseres og koordineres. Det forutsettes her at utgifter til generell drift av infrastrukturentrene dekkes gjennom andre støttetiltak, enten fra Forskningsrådet eller egne bidrag.

Arbeidsgruppen er kjent med prosesser for å avklare **driftstøtte** til de tyngste laboratoriene. Det foreslås i dette budsjettet en viss opptrapping, fra 20 til 30 millioner kr/år, dels på grunn av økende foretatte investeringer, dels økt etterspørsel fra forskningsmiljøer og industri. Beløpet må revurderes hvis antallet nasjonale sentre/plattformer økes.

Andelen prosjektmidler (summen av tematiske områder og kompetanseområder) foreslås å øke fra ca. 50 % i 2007 til ca. 75 % i 2016 i takt med opptrappingen. Fordelingen mellom de tematiske områdene i budsjettet er basert på vurderinger av hvor Norge best kan lykkes, faglig og innovasjonsmessig. Fordelingen er holdt konstant i budsjettforslaget. Det er behov for revisjoner over tid basert på vurderinger av kvalitet, resultater og muligheter.

Prosjektmidler til tematiske områder og kompetanseområder kan deles inn etter type virkemid-



del: storprosjekter, «normale» prosjekter og individfinansiering. Den relative fordelingen i prosent foreslås å være 35/45/20 i 2007, justert til 50/35/15 i 2016. Det innebærer eksempelvis 3 storprosjekter å 8 millioner kroner i 2007, og 11 å 10 millioner kroner i 2016. Andelen av innovasjonsprosjekter blant disse forventes suksessivt å øke.

Arbeidsgruppen foreslår at ca. 70–80 % av midlene til nanoVT kanaliseres gjennom Nytt nano-program. De øvrige midlene budsjettert til nanoVT fordeles gjennom andre virkemidler i Forskningsrådet. Det understrekes at de øremerkede midlene til nanoteknologi for tematiske prosjekter i de andre programmene og virkemidlene, må være friske, slik at nanoVT ikke fortrenger prioritert tematisk forskning. Det er behov for overordnet koordinering av nanoVT for tematiske områder. Det foreslås at ansvaret for dette legges til «Nytt nanoprogram» (se side 34).

Det understrekes at nanoVT-satsingen må skje med friske midler, slik at forskning som danner basis for satsingen (funksjonelle materialer, bioteknologi, basisdisiplinene, tematiske områder, osv.) ikke svekkes.

Selv om det er utenfor arbeidsgruppens mandat, pekes her på viktigheten av å øke de generelle bevilgningene til **materialforskning** i tråd med foresight-studiens anbefalinger [Norges Forskningsråd 2005]. Dette vil ha positiv betydning for nanoVT

og en lang rekke andre områder, især de tematiske. Som omtalt på side 34, anbefales at Nytt nano-program gis ansvar for deler av materialfeltet og integrasjon. Forskningsrådet anbefales å vurdere en opptrapping på disse feltene i sammenheng med implementering av nanoVT-satsingen. Budsjettet for Nytt nanoprogram vil, med den foreslåtte satsingen på nanoVT og en videreføring av dagens nivå på øvrig materialforskning, øke fra ca. 160 millioner kroner i 2007 til 250 millioner kroner i 2016.

NanoVT finansieres i dag i stor grad gjennom forskningsinstitusjonenes egne budsjetter, til en viss grad gjelder dette også næringslivet. Det forventes at denne finansieringen videreføres på minst dagens nivå. Dette innebærer betydelige egenbidrag til den offentlige nanoVT-satsingen.

**Nullvekstbudsjettet** er utarbeidet på basis av nåværende budsjett for NANOMAT. Dette har ikke rom for midler til de tematiske områdene utover det som legges til Nytt nanoprogram, Muligheten for spissing, koordinering, kompetanse- og metodeoppbygging er svært begrenset. En viss spissing kan oppnås ved å nedprioritere midler til Hav/mat. Det vil ikke være rom for nyinvesteringer, noe som medfører at store investeringer som allerede er gjort, vil bli dårlig utnyttet. Midler til tilgjengelighet er så marginale at det er tvilsomt om det vil være mulig å etablere nasjonale infrastructuresentre. Det vil ikke være rom for storprosjekter.

## Råd til ulike aktører

### Råd til Norges forskningsråd

Arbeidsgruppen har kommet fram til at en fokusert modell (side 21) er mest hensiktsmessig for satsingen i Norges forskningsråd og har følgende anbefalinger og forslag:

- *NanoVT for de tematiske satsingsområdene spesifisert i denne rapporten, styrkes ved friske, øremerkede midler til nanoVT rettet mot de eksisterende virkemidlene for disse områdene.*
- *Samtidig bør et forskningsrådsprogram for nanoVT, materialer og integrasjon etableres. Dette programmet bør også ha ansvar for koordinering og samordning av nanoVT i Forskningsrådet. Det ses som mest naturlig at det nye programmet er en utvidet og forsterket versjon av NANOMAT («Nytt nanoprogram»).*

Dette vil innebære en håndgripelig endring av NANOMAT.

- *Organiseringen inklusive styrerepresentasjonen i dette programmet bør gjennomgås.*
- *En koordineringsgruppe for nanoVT bør opprettes, og ledes av Nytt nanoprogram.*

NanoVT er et nytt felt med et langt tidsperspektiv.

- *Satsingen må være langsiktig og vare minst ti år fra 2007.*

Prioriterte virkemidler for å gjennomføre strategien:

- *Fokusert og strategisk finansiering av storprosjekter og miljøer som utmerker seg med spesielt høy kvalitet og som arbeider både innenfor grunnforskning, mer anvendt rettet forskning og innovasjon.*
- *Sikring av langsiktig og forutsigbar finansiering av innkjøp, fornyelse og drift av tungt vitenskapelig utstyr for nanoVT og til skreddersydde nisjelaboratorier for de tematiske satsingsområdene. Driftsbevilgningene må også være dimensjonert slik at industribedrifter og spesielt oppstartsbedrifter kan benytte infrastrukturen og laboratoriene.*
- *Satsing på individbasert finansiering, spesielt rettet mot yngre forskere (internasjonale postdoktorer med repatrieringsbidrag, rekrutteringsstillinger, gjesteforskere, startpakker), for å sikre rekruttering og internasjonale kontakter.*
- *Innføring av virkemidler for innovasjon ved FoU-institusjonene som fremmer samarbeid med eksisterende industri eller fører til etablering av ny industri.*
- *Over tid styrking av finansieringen av brukerstyrte innovasjonsprosjekter.*

Det er et økende behov for forskningsledelse både innenfor nanoVT og liknende felt. Å lede storprosjekter eller tverrfaglige prosjekter som inneholder komponenter som grunnforskning, innovasjon, samarbeid med industri osv., krever en form for lederskap som det finnes liten kompetanse for ved institusjonene i dag.

- *Forskningsrådet bør initiere/videreutvikle tilbud om opplæring innenfor forskningsledelse, som kan tilbys forskere innenfor nanoVT og andre områder med tilsvarende krav.*

For å sikre en høy kvalitet av satsingen er det viktig med evaluering.

- *Implementeringen av strategien bør evalueres etter tre–fem år, deretter fortløpende. Evalueringen bør utføres av en uhildet, internasjonal komité. Målene for oppfølging skal være standardiserte mål for vitenskapelig kvalitet (publikasjoner, siteringer, inviterte foredrag,*

*kandidater) og for næringsutvikling og innovasjon (patenter, nystartede bedrifter, industrisamarbeid). Den første evalueringen bør vurdere hvordan strategien har kommet i gang, senere bør hva som har blitt produsert, evalueres.*

Formidling av resultater og dialog med befolkningen er sentralt for å skape støtte for satsingen og for å sikre en forsvarlig utvikling av feltet.

- *Forskningsrådet bør etablere en nasjonal strategi for formidling av nanoVT og liknende fagfelt.*

Det vil være formålstjenlig å arbeide mer inngående med innovasjonsaspektet.

- *Den nasjonale strategien for nanoVT bør følges opp med en egen innovasjonsplan for de tematiske områdene der ledende nasjonale bedrifter inviteres til å være med på å utforme planene.*

## Råd til universitets-, høyskole- og instituttsektoren

Betydningen av nanoVT forventes å øke i årene som kommer, og vil påvirke utvikling av disipliner og tverrfaglige teknologier. Arbeidsgruppen har følgende anbefalinger og forslag:

- *Ta steg allerede nå for å kunne utnytte den forventede utviklingen innenfor nanoVT til positivt å underbygge ny kunnskap og nye muligheter innenfor disipliner, teknologier og anvendt forskning.*
- *NanoVT representerer et nytt utviklingssteg innenfor tverrfaglig forskning. Dette gir nye muligheter, men stiller samtidig krav til omstilling og evne til å utvikle grenseflater mellom tradisjonelle disipliner og teknologier. Dette krever bevissthet og tilrettelegging.*
- *Internasjonal konkurransedyktighet innenfor nanoVT, både vitenskapelig og innovasjonsmessig, stiller krav til meget høy faglig kvalitet. Det anbefales å legge forholdene til rette for utvikling av spissmiljøer som baseres på fortrinn ved institusjonene, samt for nasjonal nettverksbygging.*

Fullgod drift, vedlikehold og fornyelse av de store eksperimentelle installasjonene og tungt utstyr er avgjørende for en positiv utvikling innenfor nanoVT. Investeringene er ofte så kostbare at samordning av nanoVT infrastruktur er nødvendig.

- *Institusjonene bør ta på seg ansvar for visse deler av tung infrastruktur for nanoVT. Ansvarsfordelingen for drift, vedlikehold, tilgang og fornyelse av slike installasjoner må avklares mellom institusjonene og Forskningsrådet.*

For å sikre fremtidig kompetanse, er det påkrevd å styrke utdanningstilbudene innenfor nanoVT. Det er videre påkrevd å finne tiltak som bidrar til å sikre rekrutteringen til master-, PhD- og postdoktornivå.

- *De største utdanningsinstitusjonene bør utvikle og videreutvikle studieprogrammer innenfor nanoVT. Det bør vurderes om gevinster kan oppnås gjennom nasjonal koordinering. Aktivt engasjement i EU-masterprogrammer bør vurderes som en ny rekrutteringsvei for PhD-studenter.*

Aktiviteter innenfor etiske, juridiske og samfunnmessige aspekter (ELSA) innenfor nanoVT, herunder helse, miljø og sikkerhet, bør ses i sammenheng med andre teknologiområder som IKT, bioteknologi og kognitiv forskning.

- *Det bør etableres aktiviteter innenfor ELSA som dels integreres i den øvrige virksomheten. Samarbeid med grupper som forsker innenfor disse temaene i andre teknologiområder, bør styrkes.*

## Råd til departementene

Forskningsrådets totale satsing innenfor nye materialer og nanoVT utgjorde i 2005 ca. 140 Mkr, hvorav NANOMAT forvaltet 65 Mkr. Av dette er andelen til nanoVT 30–50 Mkr, hvorav 20–35 gjennom NANOMAT. Foresight-prosjektet ”Avanserte materialer Norge 2020” har anskueliggjort hvordan material- og nanoVT vil være utløsende for ny vitenskap, fremskritt innenfor en rekke samfunnsteknologier og dermed innovasjon. På den bakgrunn ble en kraftig økning av rammene for slik forskning anbefalt. Disse anbefalingene er helt i tråd med den sentrale rolle som material- og nanoVT nå har innenfor EUs forskningsprogrammer.

For å kunne utnytte forventede fremskritt som følger av nanoVT og dens tverrfaglige inngripen i disipliner og andre teknologier, anbefaler arbeidsgruppen:

- *en total økonomisk ramme for satsingen innenfor nanoVT på 140 millioner kr/år fra 2007, jevnt økende til 250 millioner kr/år i 2011 og 280 millioner kr/år i 2016. Midlene til faglige aktiviteter innenfor basisfagene utenfor selve nanoVT-området, som kjemi og fysikk, underbygger feltet, og må opprettholdes på minst dagens nivå.*

NanoVT underbygger de tematiske satsingene i Forskningsmeldingen, grunnforskning og innovasjon. NanoVT har både en grunnforskningsdimensjon og en kommersiell dimensjon. For at Norge skal lykkes i sterk internasjonal konkurranse, kreves langsiktighet, fokusering og samordning. Dekning og sikring av både den grunnleggende dimensjonen og næringslivsdimensjonen krever en samordning mellom ulike departementer.

- *Kunnskapsdepartementet anbefales å etablere og lede en tverrdepartemental gruppe som arbeider for å sikre langsiktig bevilgningsgrunnlag til nanoVT i henhold til foreliggende plan. NanoVT har bredt nedslagsfelt, og sektordepartementene anbefales å ta ansvar for aktuelle tematiske satsingsområder, grunnforskning og innovasjon. Hydrogenplattformen kan være et mønster for en slik samordning.*

NanoVT kan bli et viktig verktøy for ny norsk verdiskaping. Slik forskning avhenger av avanserte laboratorier, tung instrumentering og høy metodisk kompetanse. For å lykkes, må ressurser disponeres i henhold til en helhetlig, ambisiøs plan.

- *En tverrdepartementalt oppnevnt gruppe gir råd til Forskningsrådet, universiteter og forskningsinstitutter om tildelinger og ressurser for å skape best mulige synergieffekter. Den bør på årlig basis innhente resultater og rapporter knyttet til nanoVT fra disse aktørene.*
- *Alternativt bør det vurderes å opprette en nasjonal plattform for nanoVT som kan fylle disse funksjonene og samtidig gi råd til Forskningsrådet, beslutningstakere, forskningsinstitusjoner, forvaltning og næringsliv. Sekretariatsoppgaven for en slik gruppe/plattform bør tillegges Forskningsrådet.*



Rekruttering av nye studenter og personell til alle nivåer (bachelor, master, PhD, postdoktor, forsker) er allerede en begrensende faktor innenfor sentrale realfag. NanoVT kan virke rekrutterende dersom satsingen blir betydelig, vellykket og profilert. Imidlertid må et tilstrekkelig rekrutteringsgrunnlag etableres allerede nå, slik at de nevnte gevinster kan oppnås senere.

- *Det bør initieres en nasjonal rekrutteringsstrategi for realfagene, med fokus på master- og doktorstudenter.*
- *Det bør etableres mekanismer for internasjonal rekruttering, slik at oppbygging av norsk nanoVT kan skje i anbefalt tempo og med anbefalt faglig og teknologisk profil.*
- *Det bør legges til rette for tilsetninger i forskerstillinger som bidrar til å synliggjøre karriereveier og dermed økt rekruttering.*

For å ivareta næringslivsmulighetene innenfor NanoVT, er det ytterst viktig at det finnes både kunnskap om det industrielle potensialet og operative verktøy for implementering. Disse består blant annet av innovasjonssystemet, oppstartkapital og tversgående prosjekter mellom academia og industrien.

- *Departementene anbefales i samråd med andre aktører å se hvordan de operative verktøy kan benyttes for optimalt å ivareta de kommersielle potensialene innenfor nanoVT. Den tverrdepartementalt oppnevnte gruppen nevnt over, kan tildeles et slikt oppdrag.*

## Råd til næringslivet

Satsingen på nanoVT har en langsiktig karakter. Ny teknologi, komponenter og materialer av betydelig kommersiell og industriell interesse vil suksessivt følge av utviklinger innenfor nanoVT, og vil være knyttet til en rekke samfunnsteknologier.

NanoVT er ennå i en tidlig fase, og dermed sterkt fundamentalt og teknologisk orientert. Det innebærer blant annet fokus på metoder for fremstilling og karakterisering av nanoVT-produkter – men også dette byr på kommersielle muligheter.

Økt satsing på nanostrukturerte materialer, overflater og partikler i nanometerskala kan gi flere kommersielle produkter med nye eller sterkt forbedrede egenskaper. Teknologi basert på pros-

esser og innretninger («devices»), inkludert katalysatorer, sensorer, mikrosystemer og målesystemer) vil etter hvert bli mer kommersielt interessante. Industrier innenfor disse områdene kan oppnå konkurransemessige fordeler om man tidlig kan stipulere når nye produkter, prosesser, teknikker osv. som utnytter nanoVT er modne for kommersialisering. På samme måte vil den gryende industrien med fokus på bionanoVT på sikt kunne vokse sterkt, med produkter av relevans for helsesektoren (implantater, biosensorer, nanodrugs osv).

Aktivitetsnivået for ulike industrier vil variere, fra overvåking til ledende roller i utviklingen. En nasjonal satsing på nanoVT vil gi industrien reelle muligheter til å følge og delta i utviklingen av området. Spesielt legges det opp til at industrien skal få tilgang til den investerings- og driftstunge infrastrukturen ved akademiske institusjoner. Brede forskningsprosjekter sikter mot generering av kompetanse og produkter av direkte relevans for en rekke teknologiområder, noe som gir store kommersielle muligheter. I den første fasen vil industrien ha store muligheter for å påvirke investeringene som gjøres i vitenskapelig utstyr og infrastruktur. Muligheter til å delta i prosjekter vil være god; særlig gjennom de foreslåtte storprosjekter, som skal romme både grunnforskning og industrisamarbeid.

- *Bedriftene anbefales å forholde seg aktivt overfor eierne av de eksperimentelle fasilitetene (infrastrukturen) og derigjennom søke å utnytte ekspertise og metodikk til å styrke og videreutvikle egne produkter.*
- *Næringsliv og kommersielle aktører anbefales å forholde seg aktivt overfor de akademiske forskningsmiljøene og delta i deres forskningsprosjekter (spesielt storprosjekter), for derigjennom å kunne bedømme teknologisk modenhetsgrad og kommersielle muligheter.*
- *Bedriftene anbefales selv å initiere brukerstyrte innovasjonsprosjekter innenfor sitt viktigste strategiske teknologiområde. Samarbeid med norske FoU-miljøer bør tilstrebes.*
- *Som motytelse for at industrien skal få tilgang til den nasjonale infrastrukturen innenfor nanoVT, bør industrien delta med investeringer og ekspertise i oppbyggingsfasen.*

# Ordliste

- basisdisipliner** de grunnleggende fagdisiplinene fysikk, kjemi, biologi osv.
- behovsrevet** motivert fra anvendelser, brukes om forskning initiert av næringsliv eller samfunn
- biokompatibel** som kan samvirke med biologisk vev
- biomimetisk** som etterlikner eller likner på metoder eller systemer i naturen
- bionanoVT** nanovitenskap og nanoteknologi basert på eller innrettet mot biologi og medisin
- BIA** brukerstyrt innovasjonsarena, program i Norges forskningsråd
- BIP** brukerstyrte innovasjonsprosjekter, søknadstype i Norges forskningsråd
- COE** Centre of Expertise, program for støtte til næringsmiljøer for å fremme regional innovasjon og kommersialisering, utviklet av SIVA (Selskapet for industrivekst), Forskningsrådet og Innovasjon Norge
- COMPLEX** norsk samarbeidsprosjekt rundt komplekse systemer og myke materialer, [www.complexphysics.org](http://www.complexphysics.org)
- ELSA** etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter, herunder helse, miljø og sikkerhet
- fluidikk** her: nanofluidikk, som omhandler fluider med endrede egenskaper på grunn av tilsatte nanopartikler eller små dimensjoner i miljøet rundt fluidet
- FoU** forskning og utvikling
- FUGE** funksjonell genomforskning, program i Norges forskningsråd
- generisk** allmenn og generell
- genom** betegnelsen for en arts fullstendige arvemateriale
- genomikk** studiet av en organismes genom
- FUNMAT** norsk strategisk samarbeid og nasjonal satsing innenfor funksjonelle materialer, [www.funmat.no](http://www.funmat.no)
- IKT** informasjons- og kommunikasjonsteknologi
- infrastruktur** bygninger, installasjoner, eksperimentelt utstyr og ekspertise som til sammen utgjør et helhetlig utgangspunkt for avanserte eksperimenter
- innretninger** «devices», bestanddeler i mikroelektronikk, kretser og forskjellige systemer, for eksempel sensorer og aktuatorer
- karakterisering** det å observere materialer, prosesser og fenomener med dedikert utstyr, for eksempel ved hjelp av mikroskopi, diffraksjon, spektroskopi osv.
- katalyse** å sette fart i kjemiske reaksjoner, oftest større utbytte av ønsket produkt og ved bruk av mindre energi
- KMB** kompetanseprosjekt med brukermedvirkning, virkemiddel i Norges forskningsråd
- kompetanseområde** del av nanoVT som har relevans for mange tematiske områder
- kunnskapsdrevet** motivert fra nysgjerrighet, brukes om forskning initiert av forskere
- manipulering** håndtering av materialer og strukturer på nanometernivå
- mesoskopisk** som omhandler fenomener i området mellom den atomære (kvantefysiske) og den makroskopiske (klassiske) verden
- Mkr** millioner kroner
- modellering** det å beskrive og forutsi materialer, prosesser og fenomener ved hjelp av beregninger utført på (tung-)regnemaskiner
- N&N** nanoscience and nanotechnology
- nano-** forstavelse, milliarddel
- NANOMAT** Nanoteknologi og nye materialer, program i Norges forskningsråd, [www.forskningsradet.no/nanomat](http://www.forskningsradet.no/nanomat)
- nanometer** milliarddels meter, milliondels millimeter
- nanoteknologi** utnyttelse av materialer, strukturer, komponenter og systemer basert på nanovitenskap
- nanovitenskap** det å måle, beskrive, modellere og systematisk manipulere og kontrollere nanostrukturer og dynamiske prosesser som foregår på nanometerskala
- nanoVT** nanovitenskap og nanoteknologi
- nm** nanometer
- R&D** research and development
- RP** rammeprogram
- SFF** senter for fremragende forskning, virkemiddel i Norges forskningsråd
- SFI** senter for forskningsdrevet innovasjon, virkemiddel i Norges forskningsråd
- SMB** små og mellomstore bedrifter
- U&H** universiteter og høyskoler
- VT** vitenskap og teknologi

# Referanser

- Altmann, Jürgen, *Nanotechnology and Preventive Arms Control*, 2005. Deutsche Stiftung Friedensforschung, [www.bundesstiftung-friedensforschung.de](http://www.bundesstiftung-friedensforschung.de)
- Cientifica, *Nanotubes for the Composite Market*, 2005.
- CORDIS Thematic Supplement, *Exploring the nano-world*, Issue 22, March 2006. [cordis.europa.eu](http://cordis.europa.eu)
- COST Strategic Group on Nanoscience and Nanotechnology, *Strategy of COST Interests in the Multidisciplinary Field of Nanosciences and Nanotechnologies within the European Research Area*, 2005.
- Davies, J. Clarence, *Managing the effects of nanotechnology*, 2006. A Woodrow Wilson International Center for Scholars Report, [www.wilsoncenter.org/nano](http://www.wilsoncenter.org/nano)
- ETC Group, *A tiny primer on nano-scale technologies and "the little bang theory"*, 2005. [www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org)
- European Commission, *Nanotechnology, Innovation for tomorrow's world*, 2004. [www.cordis.lu/nanotechnology](http://www.cordis.lu/nanotechnology)
- European Commission, *Towards a European strategy for nanotechnology*, 2004(b).
- European commission, *Proposal for a decision of the European parliament and of the council concerning the seventh framework programme of the European Community for research, technological development and demonstration activities (2007 to 2013)*, 2005.
- European Commission, *Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005–2009*, 2005(b).
- European Commission, *European Technology Platform on NanoMedicine, Nanotechnology for Health*, 2005(c). [www.cordis.lu/nanotechnology/nanomedicine.htm](http://www.cordis.lu/nanotechnology/nanomedicine.htm)
- European Commission, *Some Figures about Nanotechnology R&D in Europe and Beyond*, 2005(d). [cordis.europa.eu.int/nanotechnology](http://cordis.europa.eu.int/nanotechnology)
- European Commission, *Looking forward to FP7*, Industrial Research Sept. 2005(e). [www.europa.eu.int](http://www.europa.eu.int)
- FUNMAT, *Et manifest om Nanoteknologi*, 2005. [www.funmat.no](http://www.funmat.no)
- FUNMAT, *Funksjonelle Materialer: Veien mot 2020*, 2006. <http://www.funmat.no>
- Irish Council for Science, Technology & Innovation, *Statement on Nanotechnology*, 2004. [www.forfas.ie/icsti](http://www.forfas.ie/icsti)
- The Institute of Nanotechnology, *Road Maps for Nanotechnology in Energy*, 2005. [www.nanoroadmap.it](http://www.nanoroadmap.it)
- Intel, [www.intel.com/technology/silicon/nanotechnology.htm](http://www.intel.com/technology/silicon/nanotechnology.htm) 2006.
- Japanese Council for Science and Technology, *Report on Mid- and Long-term Research and Development Strategies for Nanotechnology/Materials Science Field in Japan*, 2005.
- Malsch, Ineke (Editor), *Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology*, 2005. A Nanoforum report, [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)
- Malsch, Ineke, *International Societal Potential of Nanotechnology*, talk at NanotecForum 22 June 2005(b), Stockholm, Sweden. [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)
- Masciangioli, Tina and Zhang, Wei-Xian, *Environmental Technologies at the Nanoscale*, Environmental Science & Technology, March 1, p 102, 2003.
- Morrison, Mark (Editor), *Nanotechnology and its Implications for the Health of the EU Citizens*, 2003. A Nanoforum report, [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)
- Morrison, Mark (Editor), *European Nanotechnology Infrastructure and Networks*, 2005. A Nanoforum report, [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)
- Nanoforum, *Nanotechnology in the Nordic Region, An introduction*, 2003. [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)
- Nanoforum Energy Report, *Nanotechnology helps solve the world's energy problems*, 2004. [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)
- Nanotechproject, 2006. [www.nanotechproject.org](http://www.nanotechproject.org)
- NanoVantage, referert til i Nanotech WireNews, May 5, 2005.
- National Institute of Science and Technology Policy, *The Seventh Technology Foresight, Future Technology in Japan toward the Year 2030*, 2001. [www.nistep.go.jp](http://www.nistep.go.jp)
- National Nanotechnology Initiative, 2001. [www.nano.gov](http://www.nano.gov)

National Science Foundation, *Societal implications of nanoscience and nanotechnology*, March 2001.

NISTEP, *Future image of Nanotechnology-according to results of the latest foresight program in Japan – NISTEP report No. 94 -99*, 2005. [www.nistep.go.jp/index-e.html](http://www.nistep.go.jp/index-e.html)

Norges forskningsråd, *Avanserte materialer Norge 2020, Sluttrapport fra et foresight-prosjekt*, 2005.

Norges forskningsråd, *Energi 2020+, Sluttrapport fra et foresight-prosjekt*, 2005(b).

Norges forskningsråd, *Havbruk 2020, Grensesprengende – hvis ... En foresightanalyse* 2005(d).

Norges forskningsråd, *Det norske forsknings- og innovasjonssystemet – statistikk og indikatorer*, 2005(e).

Norges forskningsråd, *Nanoteknologier og nye materialer: Helse, miljø, etikk og samfunn, Nasjonale forsknings- og kompetansebehov*, 2005(f).

Norges forskningsråd, *MNT-strategien*, 2006.

Norges forskningsråd, *Avanserte materialer Norge 2020, Vedlegg I: Materialforskning i Norge*, 2006.

Alle rapportene fra Norges forskningsråd finnes på [www.forskningsradet.no](http://www.forskningsradet.no)

Roco, M. C., *International perspective on government nanotechnology funding in 2005*, J. Nanoparticle Res. 7, 707, 2005.

The Royal Society and the Royal Academy of Engineering, *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*, 2004.

Saxl, Otilia, *Nanotechnology – a Key Technology for the Future of Europe*, 2005.

NTNU, *Nanotechnology at NTNU*, 2003. [www.ntnu.no](http://www.ntnu.no).

Senter for materialvitenskap og nanoteknologi, Universitetet i Oslo, *SMNano*, 2006. [www.smn.uio.no](http://www.smn.uio.no)

Singer, Peter, referred to in BBC News, UK Ed., April 11th, 2005.

SINTEF, *Nanotechnology in SINTEF: Overview, Strategy and Recommendations*, 2004.

Soria Moria-erklæringen, *Politisk plattform for en flertallsregjering utgått av Arbeiderpartiet, Sosialistisk Venstreparti og Senterpartiet*, 2005.

Stiftelsen för Strategisk Forskning, *Forskningsprogram Inom Mikroelektronikk*, 2000.

Stiftelsen för Strategisk Forskning, *Forskningsprogram Inom Materialvetenskap*, 2001.

Swedish Nano Network, *Strategidokument för Svenska Nanonätverket*, 2001.

Universitetet i Bergen, «Towards nanotechnology», *A strategy for nanoscience at the University of Bergen 2005-2010*, 2004. [www.nano.uib.no](http://www.nano.uib.no)

Universitetet i Oslo, *Nanotechnology at the University of Oslo*, 2004.

Universitetet i Oslo, *Strategiplan nanoteknologi 2005–2010*, 2005. [www.uio.no](http://www.uio.no)

US National Science and Technology Council, *National Nanotechnology Initiative, Strategic Plan*, 2004. [www.ostp.gov/nstc/index.html](http://www.ostp.gov/nstc/index.html).

US National Science and Technology Council, *The National Nanotechnology Initiative, Supplement to the President's 2006 Budget*, 2005. [www.ostp.gov/nstc/index.html](http://www.ostp.gov/nstc/index.html)

US President's council of advisors on science and technology, *The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel*, 2005. [www.ostp.gov](http://www.ostp.gov)

Utdannings- og forskningsdepartementet, Stortingsmelding nr. 20, *Vilje til forskning*, 2005.

van Rheenen, Arthur D., *Nanoteknologi – En innføring*, 2005. FFI rapport, [www.ffi.no](http://www.ffi.no)

VDI/VDE – Innovation und Technik GmbH, *Impact of Nanotechnology in Health and Medical Systems*, 2005. [www.nanoroadmap.it](http://www.nanoroadmap.it)

Videnskabsministeriet i Danmark, *Teknologisk fremsyn om dansk nanovidenskab og nanoteknologi, Handlingsplan*, 2004. [www.teknologiskfremsyn.dk](http://www.teknologiskfremsyn.dk)

Willems & van den Wildenberg (W&W), *Materials roadmaps*, 2005. [www.nanoroadmap.it](http://www.nanoroadmap.it)

# Vedlegg 1. Norsk kompetanse i nanoVT

*I forbindelse med foresight-studien «Avanserte materialer Norge 2020» foretok Norges forskningsråd en grunnleggende analyse av materialforskningen i Norge, der nanoVT inngår som et viktig element [Norges forskningsråd: «Avanserte materialer Norge 2020 Vedlegg I: Materialforskning i Norge». Mai, 2006]. Der er flere detaljer om nanoVT-forskningen i Norge gitt. Oppsummert utfører for eksempel 550 forskere i dag forskning innen materialteknologi og den materialrelaterte delen av nanoVT. Eksakte tall for antall forskere innen nanoVT totalt er vanskelig å anslå.*

*I tabellen nedenfor gis informasjon om forsknings- og utviklingsaktiviteten innen nanoVT ved de ulike institusjonene. Tabellen er basert på informasjon fra institusjonenes egne nettsider, Forskningsrådets åpne hjemmesider og i enkelte tilfeller direkte kontakt med institusjonen. Den er ikke ment å være utfyllende, men er tatt med for å vise den mulige bredden i en storstilt satsing på nanoVT i Norge. Institusjoner med aktiviteter er listet i alfabetisk rekkefølge.*

Hvem	Beskrivelse
Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI)	Hovedoppgaven til FFI er å gi råd til Forsvarets militære og sikkerhetspolitiske ledelse om konsekvensene av den vitenskapelige og teknologiske utviklingen for forsvars- og sikkerhetspolitikken, og å bidra til at denne utviklingen utnyttes til landets beste. Instituttet har også egne forskningsaktiviteter innen nanoVT, i første rekke innen sensorer, optiske systemer og innen strukturelle materialer.
Høgskolen i Vestfold (HVE)	<p>Institutt for mikrosystemteknologi (IMST) ved HVE utdanner ingeniører innen mikro- og nanoteknologi (MNT) på bachelor- og masternivå forskerutdanning på doktorgradsnivå i samarbeid med Universitetet i Oslo. Forskningen ved HVE er orientert mot innovasjon.</p> <p>Satsingen omfatter mikro- og nanostrukturering av silisium, overflatebehandling og tyntfilmteknologier, bruk av biokompatible materialer for kapsling av mikrosystemer og metoder for bygging og test av tredimensjonale heterogene mikrosystemer.</p> <p>Anvendelser omfatter måling av trykk, ultralyd og bevegelse, elektrooptiske mikrokomponenter, mikroenergikilder for høsting og lagring av energi og mikrosystem for bioteknologi og medisin.</p> <p>HVE satser på laboratorier med kombinert teknologi for bygging, testing og karakterisering.</p> <p>HVE leder «Norwegian Centre of Expertice – Microsystems» på vegne av 13 bedrifter innen IKT og mikrosystemer. Utnyttelse av nanoteknologi for IKT/ mikrosystemer er viktig for denne satsingen.</p>

<p>Institutt for energiteknikk (IFE)</p>	<p>IFE har nanorelevante aktiviteter ved følgende avdelinger: Fysikkavdelingen, Material- og korrosjonsteknologi, Nukleær sikkerhet og pålitelighet, Energisystemer og Metallurgi. IFE har en strategi rettet mot nanoVT under utarbeidelse, og har definert «grunnforskning i fysikk basert på Jeep II-reaktoren på Kjeller» som en av sine fire hovedoppgaver – dette er i all hovedsak grunnleggende materialvitenskap. Forskningsreaktoren JEEP II er en av ytterst få nøytronkilder for materialforskning i Europa. Forskingen omfatter følgende områder innen nanoVT:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nanostrukturerte materialer</li> <li>• komplekse og myke materialer, fluider</li> <li>• selvorganisering av nanopartikler</li> <li>• målsøkende nanomaterialer som sporstoffer og innen korrosjonsinhibisjon og overflatemodifikasjon</li> </ul>
<p>Norges geologiske undersøkelser (NGU)</p>	<p>NGU driver med forskning og utvikling rundt naturlig forekommende nanostrukturerte materialer, inkludert anvendelse av slike materialer.</p>
<p>Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)</p>	<p>NanoVT ved NTNU dekker teoretisk og eksperimentell virksomhet samt fundamental og anvendt forskning. Fakultet for naturvitenskap og teknologi har størst aktivitet, men det er også aktivitet ved Fakultet for informasjonsteknologi, matematikk og elektroteknikk, Det medisinske fakultet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi samt Det historisk-filosofiske fakultet (etikk). NTNU NanoLab har som mål å etablere et tverrfaglig forskningsmiljø i NanoVT og fokuserer på fire områder:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nanoelektronikk, nanofotonikk og nanomagnetisme</li> <li>• nanostrukturerte materialer</li> <li>• bionanoteknologi</li> <li>• nanoteknologi for energi og miljø</li> </ul> <p>NTNU NanoLab etablerer state-of-the-art laboratorieinfrastruktur, inklusive renrom for nanoVT. Dette omfatter syntese ved hjelp av kjemiske, fysikalske og biologiske metoder samt avansert karakterisering. NanoVT er også viktig innen NTNUs tematiske satsingsområder Materialer, Medisinsk teknologi, Informasjons- og kommunikasjonsteknologi samt Energi og petroleum – ressurser og miljø.</p>
<p>Papir- og fiberinstituttet (PFI)</p>	<p>PFI har omfattende aktiviteter på nanostrukturerte biomaterialer. Disse materialkonseptene utvikles og anvendes i ulike produkter. Av lovende applikasjoner kan nevnes kompositteknologi, flytmodifikasjon, emulsjonsstabilisering, filmer, emballasje og belegning. I tillegg til disse ligger flere andre interessante fremtidige anvendelser klare for å utforskes. Denne strategiske satsingen foregår i nært samarbeid med industripartnere, STFI-Packforsk, SINTEF, Matforsk og NTNU.</p>

<p>SINTEF</p>	<p>SINTEF har sine hovedaktiviteter innen nanoVT i to enheter: SINTEF Materialer og kjemi og SINTEF IKT. SINTEF ser mulige markeder både på produksiden, innen forskning og utvikling samt teknologiformidling. Viktige lenker med NTNU gjennom NTNU NanoLab og UiO gjennom SMN MiNaLab gjør at SINTEF også er en viktig aktør i grunnleggende forskning og har inngrep med sentral infrastruktur.</p> <p>SINTEFs aktiviteter innenfor nanoVT er mangfoldige og omfatter både grunnleggende og spesielt anvendt forskning.</p> <p>SINTEFs strategirapport om nanoVT peker på noen sentrale områder:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nanopartikler med spesielt fokus på kontrollert frigjøring av komponenter og belegg</li> <li>• nye, smarte materialer, med spesielt fokus på katalyse</li> <li>• sensorer basert på mikro-/nanosystemteknologi (inkludert biosensorer)</li> </ul> <p>Det oppfordres også til å bygge opp nanobiorelatert kompetanse hvor det er også påbegynt en god del aktiviteter.</p> <p>SINTEF legger også vekt på HMS og etikk, både som selvstendige områder og som en integrert komponent i nanoteknologiprosjekter og - aktiviteter.</p>
<p>Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB)</p>	<p>Institutt for plante- og miljøfag ved UMB har kompetanse innen partikkeldeteksjon, økotoksikologi og etiske vurderinger av ny teknologi.</p>
<p>Universitetet i Bergen</p>	<p>Aktiviteten er i dag organisert som et flerfaglig sett av forskningsprosjekter under paraplyen NanoUiB [UiB 2004]. Følgende enheter er representert i samarbeidet: Institutt for fysikk og teknologi, Kjemisk institutt, Matematisk institutt, Avdeling for beregningsvitenskap (BCCS), Molekylærbiologisk institutt, Institutt for biomedisin, Institutt for biologi samt Institutt for indremedisin og klinisk odontologi. Universitetet i Bergen vedtok en strategi i nanoVT i 2005 basert på en rapport fra oktober 2004 [UiB 2004]. Det foreslås der å etablere nanoVT som et langsiktig satsingsområde ved UiB. Perioden 2005-2010 skal brukes til å bygge opp denne virksomheten, og strategien anbefaler et internt finansieringsnivå på til sammen 100 millioner kroner i denne perioden. Prosjektene faller innenfor fire områder:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bionanoteknologi</li> <li>• nanostrukturerte funksjonelle materialer</li> <li>• fundamental/modelleringsbasert nanovitenskap</li> <li>• nanoetikk</li> </ul>



<p>Universitetet i Oslo, inkl. Radium- og Rikshospitalet (UiO)</p>	<p>Hovedtyngden av aktivitetene innen nanoVT på UiO er samlet i Senter for Materialvitenskap og Nanoteknologi (SMN). En viktig del av aktiviteten foregår ved Mikro-nano-laboratoriet (MiNaLab), som ble bygget i samarbeid med SINTEF og stod ferdig i 2004. SMN kom med sin strategi i nanoVT «SMNano» i januar 2006 [SMN 2006]. Denne baseres på strategien for den sentrale satsingen FUNMAT@UiO [UiO 2005] hvor faglige detaljer er bredt beskrevet i en utredning fra 2004 [UiO 2004]. Nanoteknologi ved UiO skal underbygge aktiviteter innen grunnleggende problemstillinger, materialer og komponenter knyttet til</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• energiteknologi</li> <li>• miljø- og prosess teknologi (inklusive olje og gass)</li> <li>• IKT (inklusive mikrosystemer)</li> <li>• biomaterialer og medisinsk teknologi</li> <li>• etikk</li> </ul> <p>Spesifikt for SMN beskrives fem satsingsområder:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• energi, miljø og prosess: Katalyse i nanovolum og på nanopartikler</li> <li>• nanostrukturerte materialer: Design og fremstilling av nanostrukturer</li> <li>• generisk kompetanse: Funksjonelle overflater</li> <li>• generisk kompetanse: Mesoskopisk fysikk</li> <li>• anvendelser: Nanokomponenter og nanosensorer</li> </ul>
<p>Universitetet i Stavanger (UiS)</p>	<p>Universitetet i Stavanger driver forskning innen nanoteknologi blant annet via samarbeidsprosjekter med FFI/UiO og Høgskolen i Agder/UiO. Prosjektene er knyttet til karakterisering med transmisjonselektronmikroskopi.</p>
<p>Universitetet i Tromsø (UiT)</p>	<p>Ved Universitetet i Tromsø er det relevante aktiviteter innen utvikling og anvendelse av teoretiske modeller, selvorganiserende prosesser for produksjon av (bio)molekyler, integrert optikk til mikrosensorer, medisintransport (drug transport) og medisinering (drug delivery).</p>
<p>Universitetsstudiene på Kjeller (UNIK)</p>	<p>UNIK driver med FoU innen optikk, der nanoVT benyttes for å lage fremtidens optiske sensorer (bedre og billigere). Aktiviteten drives i samarbeid blant annet med UiO.</p>

I tillegg foregår det aktiviteter som på sikt kan gi grobunn for satsing innen nanoteknologi og nye materialer ved følgende institusjoner:

- Høgskolen i Agder (HiA)
- Høgskolen i Narvik (HiN)
- Høgskolen i Sør-Trøndelag (HiST)
- Høgskolen i Telemark (HiT)
- NORUT Teknologi

# Vedlegg 2. Forankring av strategien

Det har blitt lagt stor vekt på åpenhet og bidrag fra de norske forskningsmiljøene under utarbeidelse av denne strategien. Det ble tidlig i prosessen åpnet en nettside på NANOMATs hjemmeside ([www.forskningsradet.no/nanomat](http://www.forskningsradet.no/nanomat)) med bakgrunnsinformasjon og fortløpende orientering om status i prosessen. Det ble samtidig etablert en e-postkasse for innspill vedrørende strategien, nærmere 200 innspill har kommet inn. Møtereferater og flere midlertidige versjoner av rapporten har vært tilgjengelig gjennom nettsiden, og arbeidsgruppen har mottatt innspill gjennom to høringsrunder. Det ble også den 9. juni 2006 arrangert et åpent høringsmøte med rundt 40 deltakere.

# Vedlegg 3. Svar på mandatet

Rådene det blir bedt om i mandatet, er her gjengitt med tilhørende kommentarer om hvordan dette har blitt fulgt opp i rapporten

1. Fagområder/forskningsmiljøer hvor Norge, på bakgrunn av nasjonale behov og forutsetninger, bør være internasjonalt ledende. *Det har ikke vært rom for en omfattende evaluering av de norske miljøene i dette arbeidet, så konkrete miljøer er ikke pekt ut. Det er identifisert og til en viss grad prioritert viktige fagområder for Norge på side 23. Innenfor disse områdene anbefales det at midler tildeles basert på konkurranse og internasjonale vurderinger.*
2. Identifisere og prioritere nye satsingsområder. *De tematiske satsingsområdene og generiske kompetanseområdene som er presentert i kapittelet «Prioriterte satsingsområder» på side 23, utgjør de prioriterte områdene i denne strategien.*
3. Tiltak for å bedre rekrutteringssituasjonen innenfor ulike fag-/delområder, inkludert behov for ytterligere doktorgradsstipend og postdoktorstipend, samt andre tiltak som vil ivareta behovet for fagkompetanse i instituttsektoren og i næringslivet, samt innenfor profesjonsfagene. *Det er foreslått et knippe virkemidler for å bedre rekrutteringen. Dette er diskutert på side 21, og anbefalte tiltak er listet på side 32 og 36.*
4. Tiltak for videre utvikling av nasjonal koordinering og arbeidsdeling mellom fagområder og forskningsmiljøer for å oppnå bedre ressursutnyttelse nasjonalt. Nasjonal koordinering av laboratorier og utstyr bør vektlegges. *Koordinering og arbeidsdeling er drøftet på side 19, og anbefalinger er gitt på side 31.*
5. Tiltak for økt mobilitet av norske forskere, både nasjonalt og internasjonalt, og tiltak for økt internasjonalisering. *Anbefalinger om dette er gitt på side 32 og 36.*
6. Tiltak for økt næringsvekst i relevante industrisektorer i Norge, basert på økt samhandling mellom UoH- og instituttsektoren og næringslivet. *Anbefalte tiltak for innovasjon og næringsutvikling er gitt på side 30 og 36.*
7. Forskningsledelse og aktuelle tiltak for videreutvikling og forbedring av dagens situasjon. *Forskningsledelse er diskutert på side 20, og anbefalinger er gitt på side 33.*

© Norges forskningsråd 2006

Norges forskningsråd  
Postboks 2700 St. Hanshaugen  
0131 OSLO  
Telefon: 22 03 70 00  
Telefaks: 22 03 70 01  
[bibliotek@forskningsradet.no](mailto:bibliotek@forskningsradet.no)  
[www.forskningsradet.no](http://www.forskningsradet.no)  
Publikasjonen kan bestilles via internett:  
[www.forskningsradet.no/bibliotek/publikasjonsdatabase](http://www.forskningsradet.no/bibliotek/publikasjonsdatabase)  
eller grønt nummer telefaks: 800 83 001

Grafisk design omslag: Melkeveien Designkontor AS  
Forsideillustrasjon: Ole Martin Løvvik

Redaksjonell rådgiver: Claude R. Olsen  
Layout: Atle Abelsen  
Trykk: Gan Grafisk AS  
Opplag: 1000

ISBN trykksak: 82-12-02351-6  
ISBN nettversjon: 82-12-02352-4

Oslo, november 2006

 **Norges forskningsråd**

Stensberggata 26  
Postboks 2700 St. Hanshaugen  
0131 OSLO

Telefon +47 22 03 70 00  
Telefaks +47 22 03 70 01

[www.forskningsradet.no](http://www.forskningsradet.no)

ISBN: 82-12-02351-6 (trykksak)  
ISBN: 82-12-02352-4 (pdf)

