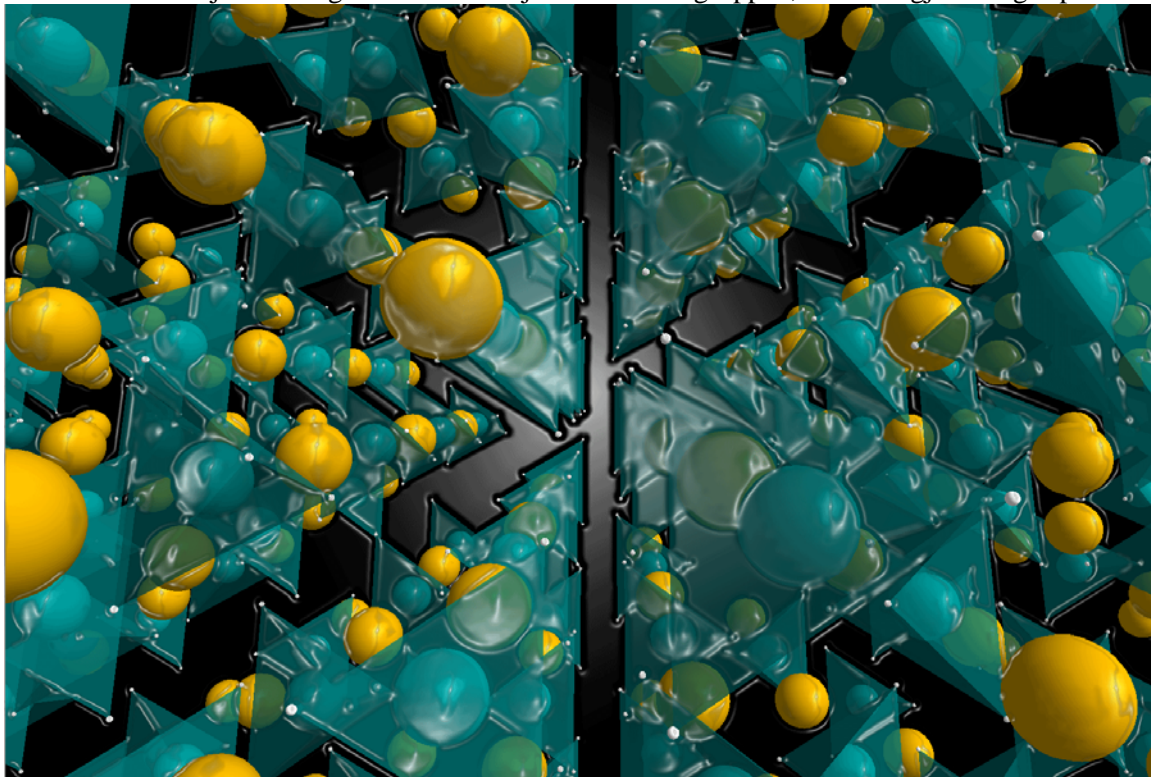


Nasjonal strategi for nanovitenskap og nanoteknologi

Versjon 11. august 2006. Godkjent av arbeidsgruppen, skal kun gjennomgå språkvask.



Sammendrag

Hovedmål: Norge skal bli en ledende forskningsnasjon innen utvalgte nisjer av nanovitenskap og nanoteknologi. Gjennom fundamental innsikt, avansert teknologi og bred tverrfaglig kompetanse skal det etableres en reell basis for økt verdiskapning, ny næringsvirksomhet og ny erkjennelse.

Nanovitenskap og nanoteknologi (nanoVT) vil på sikt gi opphav til viktige endringer som berører alle deler av samfunnet. NanoVT handler om tilsiktet kontroll av materialer på atomær og molekylær skala. Feltet er **generisk**, og vil være basis for verdiskapning og sysselsetting innen mange industrier og samfunnsområder. Samtidig åpner nanoVT store muligheter for bærekraftige energiløsninger, effektivisering og bedret helse. Vesentlige bidrag til dypere erkjennelse og grunnleggende kunnskap forventes, med betydning for videre utvikling av basisdisiplinene. **Norge** har et godt utgangspunkt for å etablere internasjonalt ledende miljøer innen flere nisjer av nanoVT, både ut fra våre naturgitte ressurser, sterke næringssektorer og fra kompetansen som finnes i forskningssektoren. Vitenskapelig og teknologisk utvikling skjer svært raskt. Samtidig er interessen i norsk industri og samfunn stigende. Tiden for å satse er derfor inne.

Strategien angir tematiske satsingsområder, påkrevde kompetanseområder, verktøyplattformer og behov for avansert infrastruktur. De **tematiske satsingsområdene** representerer nasjonale fortrinn og kompetanse i tråd med prioriteringene i Forskningsmeldingen: energi og miljø, IKT og mikrosystemer, helse og biologi samt hav og mat. Det anbefales en tung, fokusert satsing på **kompetanseområder**: 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 (ELSA). Disse skal gi en nødvendig generisk basis for nanoVT og de tematiske områdene. Strategien angir videre påkrevde **verktøyplattformer** for nanoVT: syntese, manipulering og fabrikkasjon; karakterisering; teori og modellering. ELSA bør integreres i relevante prosjekter og sentre, og bør samordnes med annen tilsvarende forskning for andre teknologiområder.

MiNaLab/SMN i Oslo og NTNU NanoLab i Trondheim er de to desidert største eksperimentelle installasjonene for nanoVT i Norge. Samtidig øker fokus på nanoVT ved flere andre av landets FoU-institusjoner. Det anbefales derfor å opprette to **nasjonale infrastrukturentre** og et sett verktøyplattformer basert på Forskningsrådets rutiner. De nasjonale infrastrukturentrene og plattformene tilføres ressurser for å tilby tilgang til eksperimentelt utstyr og metodisk kompetanse av høy internasjonal kvalitet til en lav pris. Det gir bred tilgjengelighet for hele FoU-sektoren.

Deler av ny kompetanse innen nanoVT må sannsynligvis hentes inn fra utlandet. Dette innebærer et visst fokus på individbasert finansiering for å stimulere dyktige forskere til utenlandsopphold og til karriereveier i Norge. Dette forutsetter at det etableres synlige karriereløp med rekrutteringsstillinger for yngre forskere ved FoU-institusjonene. God infrastruktur og høyt faglig nivå i robuste miljøer skal tiltrekke internasjonale eksperter som gjesteforskere. **Internasjonalisering** vil videre 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. Industripartnere skal kunne delta. Storprosjekter krever god **forskningsledelse**, og det bør gis tilbud om opplæring innen dette.

Strategien anbefaler fokus på generiske kompetanseområder og verktøyplattformer gjennom et forskningsrådsprogram for nanoVT, materialer og integrasjon ("**Nytt nanoprogram**"). Dette programmet skal også støtte forskning mot tematiske satsingsområder, koordinert med øvrige virkemidler i Forskningsrådet. Et slikt program skal ta vare på de spesielle behovene som dette nye forskningsfeltet har, gjennom utbygging og drift av ny og kostbar infrastruktur, oppfølging av viktige utviklingstrekk og etablering av samarbeid gjennom internasjonaliseringstiltak, nasjonal koordinering, osv. Det skal også bidra til å profilere nanoVT-området og naturvitenskapene, samt bidra til utnyttelse av forskningsresultater fra satsingen. På sikt kan det vurderes å opprette et nasjonalt rådgivende organ for nanoVT.

I **budsjettet** anbefales en tildeling til nanoVT på 140 Mkr/år i 2007, økende i en opptrappingsfase til 250 Mkr/år i 2011, deretter jevnt økende til 280 Mkr/år i 2016. Størrelsen på budsjettet er i tråd med Foresight-prosjektet Avanserte materialer 2020 [Norges forskningsråd 2005]. Dette vil plassere Norges satsing på nivå med sammenlignbare land, og er en forutsetning for å kunne implementere de angitte ambisiøse tiltak og målsetninger.

Summary

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.

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 yield contribute to a sustainable development of society, e.g. increased efficiencies and new solutions in the energy sector and 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: (in priority order) 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; bionanoscience and -technology; devices, systems and complex processes based on N&N; ethical, legal, and societal aspects (ELSA). These provide the necessary generic basis for a strong N&N program. The strategy also recognizes essential **tool platforms** for N&N: synthesis, manipulation, and fabrication; characterization; theory and modeling. 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 thus 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. This availability goal applies to the entire R&D area.

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. A system for recruitment of young researchers at the R&D institutions should hence be established. 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 generic areas of competence and tool platforms should be implemented through a research program for N&N, materials, and integration, 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 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 be comparable to similar countries; this is required to implement the ambitious goals in this strategy.

Forord

I mandatet til arbeidsgruppen som har utarbeidet rapporten, bes det om at strategien skal gi 7 råd:

1. Fagområder/forskningsmiljøer hvor Norge, på bakgrunn av nasjonale og behov og forutsetninger, bør være internasjonal ledende.
2. Identifisere og prioritere nye satsingsområder.
3. Tiltak for å bedre rekrutteringssituasjonen innen 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 innen 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 industrisektorer 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-prosjekter Materialer 2020 [Norges forskningsråd 2005] og til en viss grad 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]. Se hjemmesidene til Forskningsrådet for nærmere informasjon.

Rapporten er i tre deler: Kapittel 1 gir et generelt bakgrunnsbilde, mens kapittel 2 drøfter forskjellige mulige løsninger på organiseringen av en nanoVT-satsing. Kapittel 3 inneholder selve strategien, konklusjoner og anbefalinger. Rapporten avsluttes med konkrete råd til aktører i forsknings-Norge.

Arbeidsgruppen som har utarbeidet strategien, har bestått av:

- Avdelingsdirektør Christina I. M. Abildgaard, Norges forskningsråd (observatør)
- Assisterende forskningssjef Ralph W. Bernstein, SINTEF (IKT)
- EHS Manager Inger-Johanne Eikeland, Elkem
- Professor Mari-Ann Einarsrud, NTNU
- Professor Helmer Fjellvåg, Universitetet i Oslo
- Professor Jan Petter Hansen, Universitetet i Bergen
- Professor Bengt Kasemo, Chalmers tekniska högskola (leder)

Arbeidsgruppen har vært støttet av en referansegruppe som har kommet med innspill og vært invitert til å møte arbeidsgruppen. Referansegruppen 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
- Director 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, NHD (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 med Divisjon for Vitenskap og rådgiver Tor Einar Johnsen knutepunkt mot 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 virket som sekretær for arbeidsgruppen.

Innhold

Summary	3
Forord	4
Innhold	6
1. Bakgrunn	7
1.1. Hva er nanovitenskap og nanoteknologi (nanoVT)?	7
1.2. Hva skjer internasjonalt?	9
1.3. Hvorfor skal Norge satse på nanoVT?.....	13
1.4. Hva skjer i Norge?	15
1.5. NanoVT i samfunnet.....	18
2. Drøfting av organisatoriske tiltak	20
2.1. Behovsdrevet eller kunnskapsdrevet?.....	20
2.2. Koordinering.....	21
2.3. Finansieringsmodeller.....	23
2.4. Utdanning, rekruttering og kommunikasjon	24
3. Forskningsstrategi for nanoVT	25
3.1. Prioriterte satsingsområder	25
3.2. Virkemidler.....	33
3.3. Organisering av satsingen.....	37
3.4. Samspill mellom ulike aktører	39
3.5. Budsjettforslag basert på omarbeidet versjon fra Helmer.....	42
3.6. Råd til ulike aktører	44
Ordliste	47
Referanser.....	48
Vedlegg 1. Norsk kompetanse i nanoVT.	50
Vedlegg 2. Forankring av strategien	56
Vedlegg 3. Svar på mandatet.....	56

1. Bakgrunn

1.1. Hva er nanovitenskap og nanoteknologi (nanoVT)?

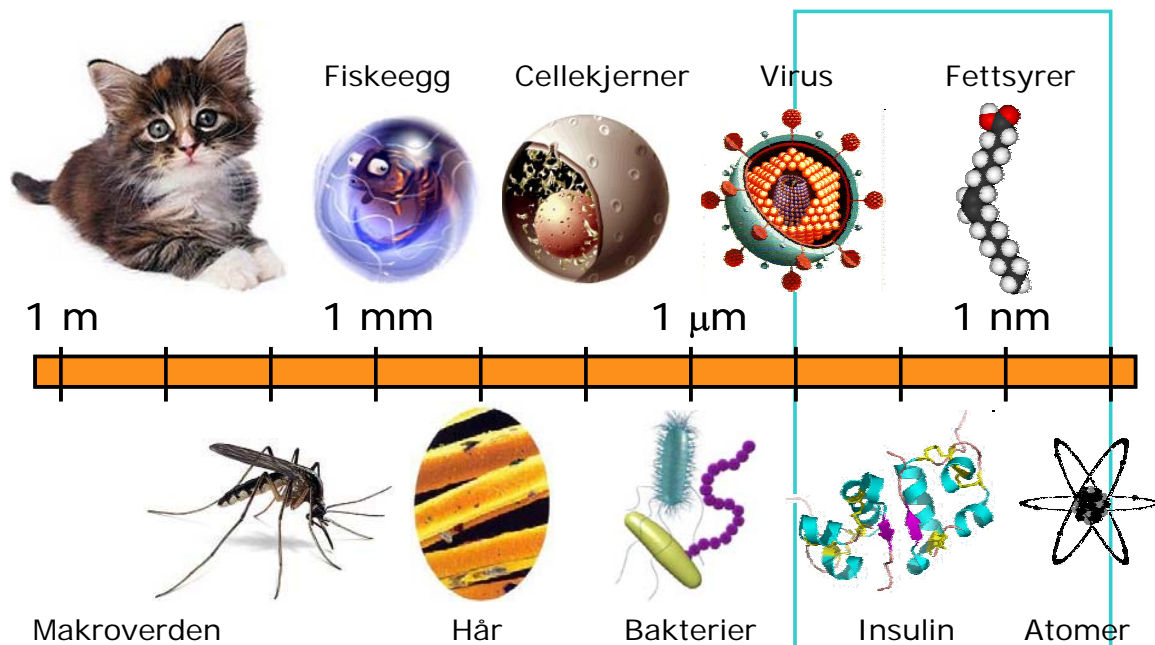
Nanoteknologi: Utnyttelse av materialer, strukturer, komponenter og systemer basert på nanovitenskap. I noen sammenhenger omfatter nanoteknologi også nanovitenskap, men her brukes de som forskjellige begreper.

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. Se Figur 1.

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.



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

Nanovitenskap og nanoteknologi (nanoVT) har potensial til å gi tilsvarende 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 innen kjemi og fysikk; videre omfattes byggeklosser og sentrale elementer av biologiske makromolekyler og strukturer

som igjen bygger opp under genteknologi, cellebiologi og nevroinformatikk. Denne brede beskrivelse av nanofeltet viser med tydelighet at dette gjennomsyrrer realfag, medisin og teknologi, og dermed også næringsliv og verdiskaping. Denne rapporten avgrenser nanoVT fra tradisjonelle disipliner og teknologi implisitt gjennom de temaer som trekkes frem og gjennom den vitenskapelige tilnærming som legges i å forstå og utnytte fenomener som nettopp oppstår på nanometerskala.

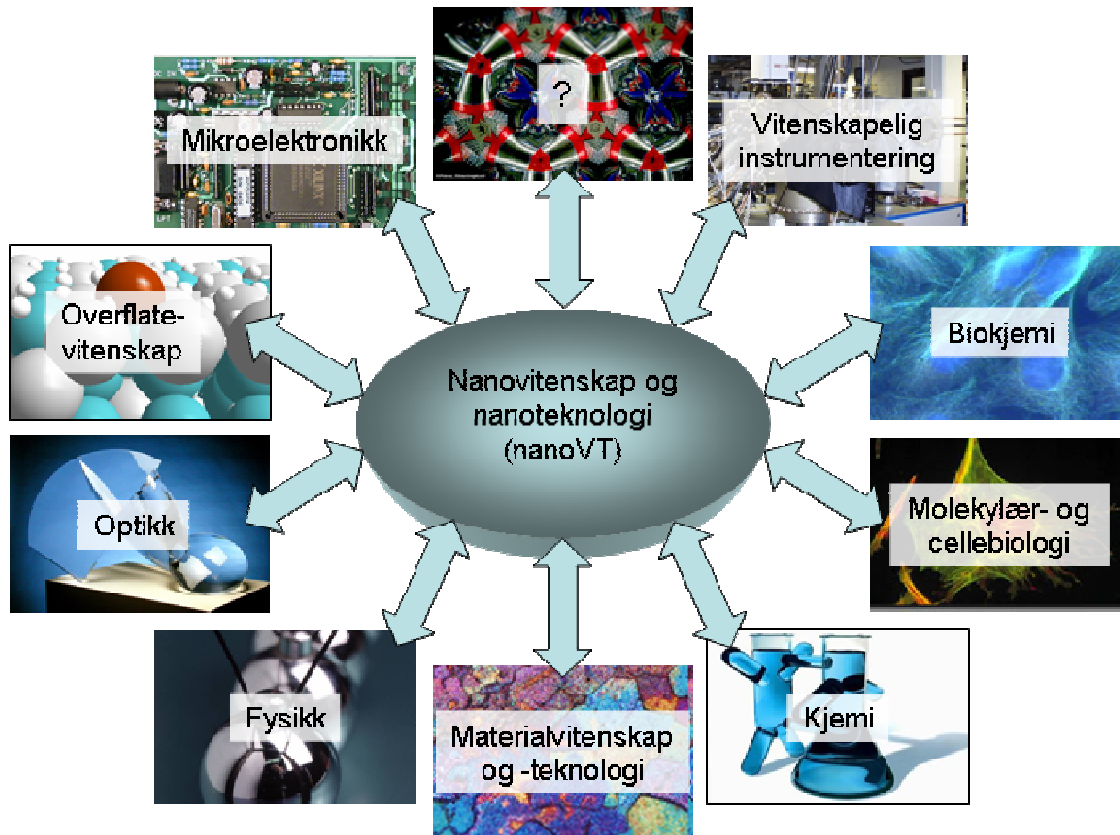
Vi benytter allerede en rekke **produkter** som kan sies å ha basis i nanoteknologi. På lengre sikt vil imidlertid nanoteknologi påvirke hverdagen til alle mennesker, og det er sannsynlig at det globale markedet for nye produkter blir svært stort i løpet av relativt kort tid. Nanoteknologi benyttes i dag i såvidt forskjellige produkter som komponenter for datalagring, solkremer, katalysatorer for avgassrensing, kontrastmidler for medisinsk avbildning, nanostrukturert lakk med stor ripefasthet og tekstiler der skitten preller av. 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 med rivende utvikling bygger til dels 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.

Forskningsmessig åpner nanovitenskap for **radikale gjennombrudd**. Nye fenomener kan oppstå som følge av samvirke mellom organiserte enheter på nano-nivå. Superfølsomme lesehoder for magnetisk lagret datainformasjon baseres nettopp på dette. Ytelse, stabilitet og reaktivitet til nanostrukturerte materialer og komponenter kan nå uovertrufne 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 meget kontrollert og systematisk vis. Det er når vi behersker dette at man virkelig opererer med nanovitenskap og -teknologi.

Nanostrukturerte materialer og komponenter kan fremstilles på to prinsipielt sett ulike vis; ved å miniatyrisere ("ovenfra og ned") eller ved å bygge opp fra atomære byggesteiner ("nedenfra og opp"). Framtidens nanoprodukter vil fremkomme gjennom

begge angrepsvinkler. Ofte blir miniatyriseringen innen elektronikk og mikrosystemer ved bruk av litografi, preging og direkte strukturering omtalt som en ovenfra og ned-metode. Andre eksempler er nedmaling av pulver til nanopartikler, metoder for "skrivning" av nanostrukturer og diverse etseteknikker. Når man konkret bygger opp nanostrukturer atom for atom, molekyl for molekyl eller partikkel for partikkel, kaller vi det 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 innen krystallgroing og syntese basert på kjemiske metoder og selvorganisering.

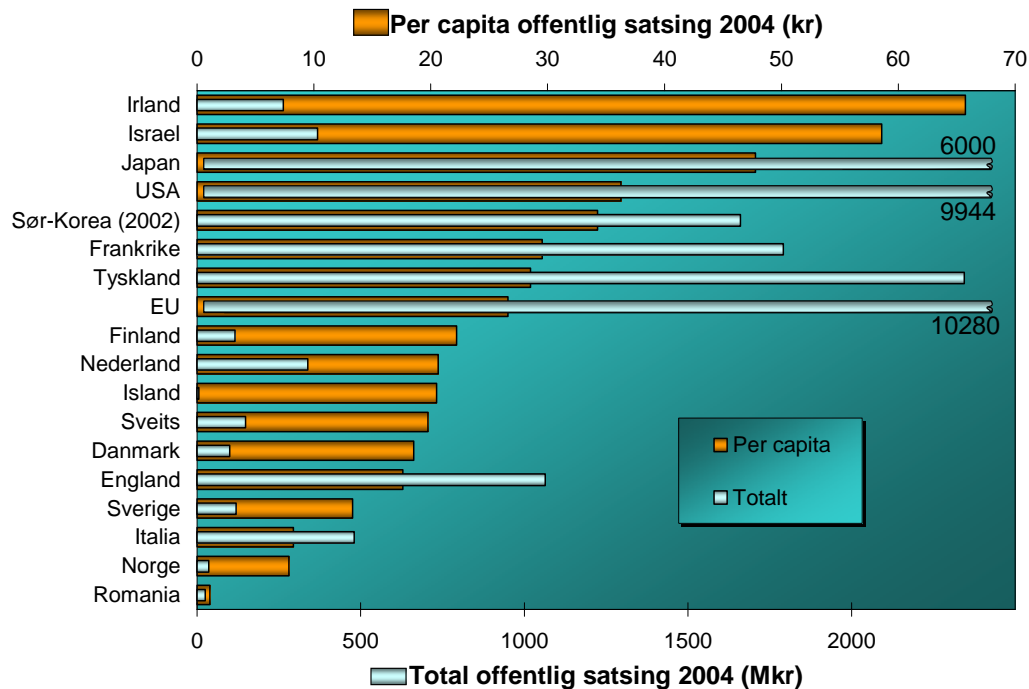
Nanovitenskapen er ikke én disiplin på samme måte som fysikk, kjemi eller biologi. Disse etablerte disiplinene utgjør snarere en basis for nanovitenskap. Nanovitenskap krever stor grad av **tverrfaglighet** og konvergens mellom disiplinene. Ny erkjennelse forventes også på disse hittil lite undersøkte grenseflater. 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 med det formål å oppnå nye egenskaper og funksjoner. Dette fundamentet til nanoVT er skissert i Figur 2. NanoVT griper sterkt inn i naturvitenskapelige disipliner og samfunnsteknologier, og vil bli avgjørende for **konkurranseskraft** og **fornyelsesevne** 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 innen 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 viktig at norsk nanoVT raskt finner konkurransedyktige nisjer som med potensial for ny erkjennelse og verdiskaping.



Figur 2. Nanovitenskap og nanoteknologi er basert på de fleste naturvitenskapelige disipliner, og vil samtidig være nyttig eller relevant for fortsatt utvikling av de samme disiplinene.

1.2. Hva skjer internasjonalt?

- De fleste industrialiserte land satser 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.



Figur 3. Offentlige bevilgninger til nanoVT per capita (kr/år) og totalt (Mkr/år). [European Commission 2004(b); 2005(d)].

Man finner store og viktige forskjeller mellom volum og fokus på nanoVT i land av ulik størrelse og med ulik grad av kompetansetungt næringsliv. Figur 3 viser offentlige bevilgede midler til nanoVT forskning for en del industriland. **Den norske satsingen er beskjeden**, også målt per innbygger. Flere land av sammenlignbar størrelse har langt tyngre satsinger, noe som gjerne gjenspeiles i innovasjonsgrad og nyskaping.

Det er verdt å merke seg at Irland og Israel, av sammenlignbar 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. Der fokuseres spesielt 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 innen nanoteknologi.

Figur 4 viser at den globale aktiviteten kan samles i fire omtrent like store deler: USA, Japan, EU og resten av verden. Figuren 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 industrinasjoner. 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.

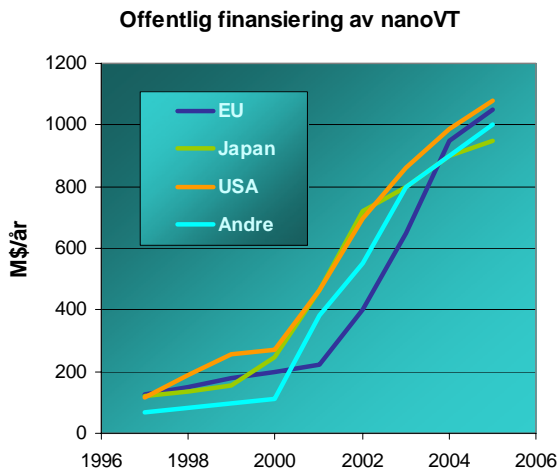
Landets størrelse fremstår som bestemmende for hvor bred satsingen er. De tre store aktørene (EU, Japan og USA) har solide aktiviteter på alle områder innen nanoVT. De minste landene, med Sverige og Danmark som nærliggende eksempler, har **fokusert** satsingen rundt noen få områder, men har også mindre 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 7. 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 de enkelte 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



Figur 4. Offentlige bevilgninger til nanoVT i EU, Japan, USA og resten av verden. Tallene er en blanding av friske og omdefinerte midler. [Roco 2005].

USA

USA brukte i 2005 ca. 1100 M\$ på nanoVT gjennom the National Nanotechnology Initiative (NNI), som samordner de fleste offentlige satsingene [US NSTC 2004, 2005]. Bevilgningene skjer gjennom tre komponenter: enkeltgrupper/forskere, samarbeidsgrupper og større sentre. Den nasjonale nanostrategien peker ut konkrete mål for satsingen innen forskning og utvikling, teknologioverføring og velstandsutvikling, utdanning og infrastruktur samt en ansvarlig utvikling av nanoteknologi. USA ønsker å være **verdensledende** innen de fleste områder av nanoVT, og de fleste av de syv hovedkomponentene i programmet er generiske: fundamentale fenomener og prosesser på nm-skala; nanomaterialer; komponenter og systemer på nm-skala; instrumentering, måleteknikk og standarder; nanofabrikasjon; store forskningsinstallasjoner; sosiale dimensjoner. Programmet har som hovedmål:

- 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
- Etablere ressurser for utdanning med tilsvarende avansert infrastruktur og verktøy.
- Å støtte en ansvarlig utvikling av nanoteknologi

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

Japan

I den 5-årige 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. For eksempel har New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) fokus 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 7. rammeprogram (RP) (2007-2013) innen "Nanovitenskap, nanoteknologi, materialer og nye produksjonsteknologier (NMP)" er å [European Commission 2005]

"...forbedre konkurransevnen til den europeiske industrien og sørge for en overgang fra en ressursintensiv til en kunnskapsintensiv industri, ved å skape ny kunnskap med epokegjørende gjennombrudd for nye applikasjoner i grenseflaten mellom forskjellige teknologier og disipliner"

EU har valgt ikke å etablere 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 innen 6. RP ca. 470 M€ der andelen

fra NMP var ca. 44 %, mens IST stod for ca. 38 %. Det er forventet omtrent det samme nivået i 2006 og 2007 og deretter en økning av satsingen på nanoVT mot slutten av 7. RP. NanoVT vil i tillegg inngå i åtte av de ni tematisk prioriterte områdene i EUs 7. rammeprogram, der teknologibehov er hovedmotivasjon [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 teknologiområder 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 nanofluid; plastelektronikk; nanooptikk og nanofotonikk; nanokatalyse, hydrogenteknologi og lignende; nanomaterialer med nye funksjonelle egenskaper. Rapporten anbefaler å etablere to nasjonale ”nanoteknologiske kraftsentre” som begge skal ha kritisk masse til å bli vitenskapelig og teknologisk internasjonalt førende på sine felt. Denne strategien er nå i ferd med å bli satt delvis ut i livet, med etablering av kraftsentre ved Universitetet i Aarhus og senere også ved Danmarks Tekniske Universitet i København.

Sverige

Sverige har ingen overordnet nasjonal strategi for nanoVT, og har i hovedsak valgt å integrere nanoVT i eksisterende virkemidler for forskning. I 2001 ble ”Strategidokument för Svenska Nanonätverket” [Swedish Nano 2001] fremlagt av et nettverk av svenske forskere innen nanoVT. Dokumentet er så langt ikke tatt til følge av bevilgende myndigheter. Planen peker ut seks områder: funksjonelle materialer, nanoelektronikk, kvantefysikk og kvantefenomener, molekylær elektronikk, nanobiologi og nanomedisin, samt nanoverktøy. Sverige har ingen forskningsprogrammer dedikert til nanoVT. Ikke

desto mindre er en lang rekke av prosjekter (og forskningskonsortier) som 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

Den første satsingen på nanoteknologi i Finland var i perioden 1997-1999, der Academy of Finland hadde ansvaret for mer teoretisk grunnleggende prosjekter og TEKES ansvar var innovasjonsrettede og brukerstyrte prosjekter. Hensikten med en slik dobbel satsing var også å fylle gapet mellom de to typer forskning. [VDI technology Zentrum, report March 2004].

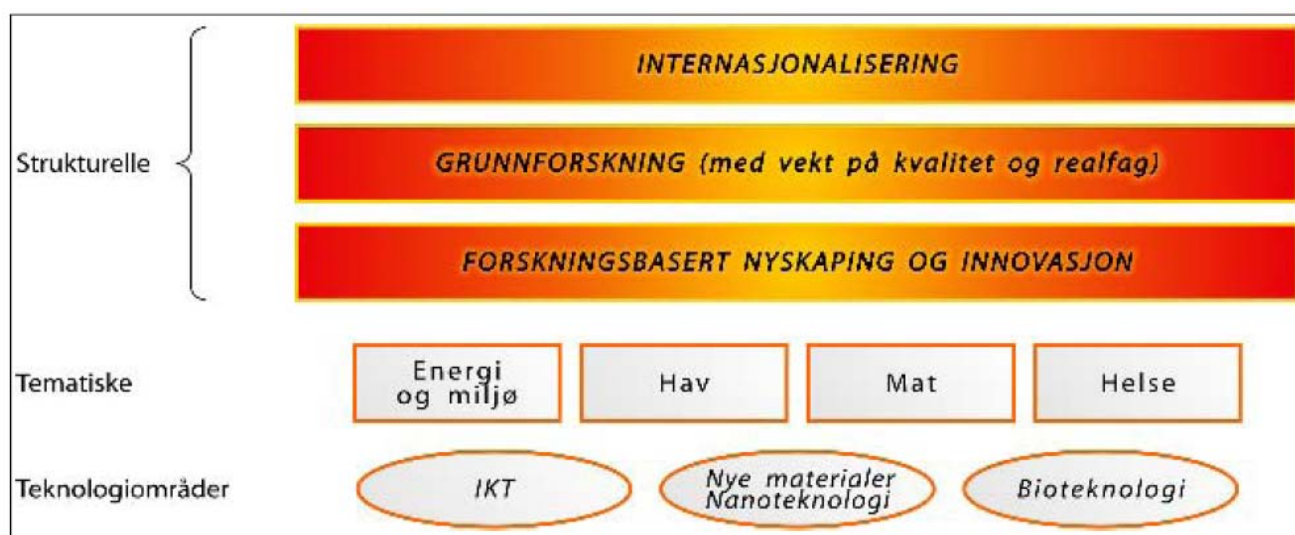
I perioden 2005-2009 har Finland en ny satsing på nanoteknologi – FinNano - med Academy of Finland og TEKES som hovedaktører på programsiden. Ca. 70 mill. Euro investeres, hvorav 50 mill. Euro skal kanaliseres gjennom TEKES. [The 1st FinNano Annual Seminar 2006, presentert ved Dr. Markku Lämsä, TEKES]. Fokus for TEKES-prosjektene vil være ”innovative nanostructured materials”, ”new solutions for nanoelectronics” samt ”nanosensors and actuators”

Gjennom Academy of Finland er 9 mill. Euro allokert forskningsprosjekter innen ”direct self-assembly”, ”functionality in nanoscale” og ”properties of single nanoscale objects”. Utdanningsdepartementet i Finland satser samtidig 24 mill. Euro direkte på å utvikle universitetsutdanning og forskning, skape ”centres of excellence” og finansiere infrastruktur.

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

1.3. 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 innen 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 samfunnsmessige endringene som vil følge av utviklingen innen nanoVT. Dessuten for å konsolidere næringsliv, sikre kompetanse innen 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 innen nisjer der fortrinn kan utnyttes konstruktivt.



Figur 5. "Nye prioriteringer i norsk forskningspolitikk", fra Forskningsmeldingen.

Forskningsmeldingens ambisjon er at Norge skal bli en ledende forskningsnasjon innen ny teknologi, kompetanse og kunnskap [UFD 2005]. Forskning innenfor fire tematiske områder prioriteres: energi og miljø, mat, hav og helse. Nye materialer og nanoteknologi er ett av tre prioriterte teknologiområder som underbygger de tematiske områdene, og skal styrke grunnforskning og innovasjon. NanoVT vil ha stor betydning for Forskningsmeldingens øvrige teknologiområder; det vil si IKT, material- 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 aller fleste industrialiserte land har allerede etablert strategier og satsinger på nanoVT. Disse forventer at nanoteknologi vil bidra til betydelig **velstandsutvikling**, blant annet gjennom økt verdiskaping og nye arbeidsplasser. Nettopp det samme perspektivet gjelder for nanoVT i Norge. I tråd med Forskningsmeldingen vil den foreliggende strategien gjenspeile hvordan norsk nanoVT underbygger de nasjonale prioriteringene, og derigjennom eller i tillegg legger en påkrevd kompetansebasis for ny verdiskaping. Noen eksempler på forskningsutfordringer som krever nanoVT, er gitt nedenfor.

NanoVT innenfor **energi og miljø** vil bidra til utvikling av bærekraftige løsninger [Nanoforum 2004; Institute of Nanotechnology 2005; Masciangioli 2003]. Det er store internasjonale

utfordringer knyttet til verdens økende energibehov. Nasjonalt er foredling og konvertering av naturgass, vannrensing og CO₂-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 økt energieffektivitet, materialer som muliggjør visjonene om hydrogensamfunnet og løsninger for energiøkonomisering (lysdioder, supraleidere, akkumulatører) er eksempler på hvor nanoVT kan bidra til betydelige teknologiske forbedringer og gjennombrudd.

Innen **datateknologi** er dimensjoner til de minste transistorene under 100 nm [Intel 2006]. Således vil fremtidens databrikker måtte 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, fleksible skjermer ("elektronisk papir") vil bli utviklet med basis i nanoVT. Fremtidens bilder tilsier at sensorer vil integreres i en rekke samfunnsteknologier og man prater i den sammenheng om et kommende instrumenteringssamfunn. Dette baserer seg på distribuerte sensorer, aktuatorer og energihøsting for å oppnå autonome (selvstyrte) systemer. Nanostrukturerte funksjonelle materialer er her nøkkelkomponenter. På disse områdene vil dagens mikroteknologi (MEMS) jevnt utvikle seg mot nanoteknologi (NEMS).

Nanoteknologi vil sammen med bio-, material- og medisinsk teknologi være nøkkel til mange utfordringer innen **helse** [Morrison 2003; VDI 2005]. Spesielt vil samspillet mellom en eller flere av disse teknologiene være viktig. Forventede nyvinninger på deres skjæringsflater, her betegnet bionanoteknologi, vil kunne gi mer treffsikker og effektiv diagnostisering og medisinerer, og ny metodikk for behandling av skader og fysiske handikap.

Utviklingen vil skje langs mange akser. Økt kunnskap om sykdomsutvikling kan resultere fra gode prekliniske modellsystemer for karakterisering av mekanismer/prosesser og uttesting 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 organ-spesifisitet, det vil si styring av medisinen til riktig plass i kroppen. Helsetilstand med hensyn på kjemiske stoffer i blod vil kunne registreres av nanosensorer. Disse kan igjen utløse medisinerer eller rapportere tilstand til f.eks. sykehus eller fastlege. Nye legemidler vil bestå av skreddersydde 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 innen **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 vil kunne 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 ved 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. Således er det viktig med en bevisst **dialog med befolkningen** rundt de muligheter og risikoer som følger i kjølvannet av nanoteknologi. Det er av fundamental viktighet for Norge som nasjon å ha tilstrekkelig kompetanse innen 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 fra nå av for å ikke tape terreng i et stadig tøffere internasjonalt forsknings- og utviklingsklima. 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. Dette vil denne rapporten søke å

gi klare anbefalinger om.

1.4. Hva skjer i Norge?

- Den norske satsingen innen 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 Osloområdet (UiO, SINTEF, FFI og IFE) og Trondheim (NTNU og SINTEF), tildels 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.nanomat.no) som en følge av FUNMAT-initiativet. Totalt disponerte programmet omlag 290 Mkr til prosjekter i den første fireårsperioden, budsjettet i 2006 er 76 Mkr. Rundt 30 % av prosjektene i NANOMAT kan sies å falle inn under nanoVT. Programmet har så langt hatt hovedfokus på nye materialer, særlig funksjonelle materialer. (Det er vanskelig eksakt å angi nanoVT-andelen, siden dette griper tett inn i materialområdet.)

NanoVT, slik her definert, favner meget bredt. Det innebærer at Forskningsrådet naturlig nok finansierer relevant forskning også gjennom andre virkemidler. De viktigste programmer og ordninger 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); SkatteFunn. Den totale satsingen innen nye materialer og nanoteknologi gjennom Norges forskningsråd var i 2005 ca. 140 Mkr.

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

Forsknings- og utdanningsinstitusjonene

Parterne i FUNMAT konsortiet; Institutt for Energiteknikk (IFE), Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), SINTEF og Universitetet i Oslo (UiO), fremmet i februar 2001 initiativ til Regjeringen om en koordinert, integrert nasjonal satsing innen 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 materialinitiativet. Eksempler på øvrige temaer er myke og komplekse materialer, polymerer, systemer for "drug delivery", teoretisk kjemi, molekylærbiologi og -medisin. Disse institusjonene mottar totalt sett rundt 80 % av de samlede bevilgningene i NANOMAT, hvorav 49 % ligger innen FUNMAT-området. NANOMAT har hittil bevilget 329 Mkr til prosjekter for perioden 2002-2009.

Universitetet i Bergen har i dag enkeltstående aktiviteter innen nanoVT, men ønsker å etablere bredere aktiviteter knyttet til nanobio, nanobasic, nanoprosess og nanoetikk. Høgskolen i Vestfold inngår i et tett industrielt samarbeid med utspring i mikroteknologi. Forsvarets forskningsinstitutt har

rådgivende funksjoner og forskningsaktiviteter innen feltet. 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 innen nanoVT, vil disse satsingene ikke desto mindre 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 nylig selv gjort betydelige **prioriteringer** i form av interne strategier og bevilgninger (se vedlegg 1) som klart viser at de anser at nanoVT vil bli meget viktig for fremtidig kunnskapsutvikling og teknologi, og dermed for fremtidig næringsliv.

Det foreligger nå to store satsinger på nanoVT **infrastruktur** i Norge; MiNaLab/SMN i Oslo (åpnet 2004) og NTNU NanoLab i Trondheim som nå er under etablering. Aktiviteten ved MiNaLab/SMN omfatter funksjonelle materialer, mikro- og nanoteknologi. SINTEFs virksomhet har hovedfokus på industrielle anvendelser. NTNU NanoLab etableres som laboratorier med nanoteknologisk infrastruktur for syntese/definisjon av nanostrukturer ved kjemiske, fysikalske og biologiske metoder samt karakterisering av nanostrukturer. Laboratorier 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.

I løpet av de siste årene har mange nye tverrinstitusjonelle samarbeidskonstellasjoner blitt utviklet, tildels med betydelig innhold av nanoVT. Dette har til dels vært resultat av invitasjon til store søknader (Senter for fremragende forskning (SFF), Senter for forskningsbasert innovasjon (SFI) og storforsk), dels for etablering av sterke næringsklynger (Centres of Expertise, CoE) eller strategiske tiltak (f.eks. Geminisentre mellom SINTEF og NTNU/UiO). Gjennom SFF-søknadsrunden registreres flere sterke miljøer som

har samlet seg rundt fokuserte temaer*. Tilsvarende observeres for SFI søknadene, der flere hadde mer eller mindre fokus på nanoVT.†

Industri og næringsliv

Norsk næringsliv kjennetegnes i dag av fokus på råvare-, energi- og vareproduksjon. I større grad enn hos mange sammenlignbare industrinasjoner mangler Norge et FoU-basert næringsliv med fokus på forskningstunge, fremtidsrettede produkter; det være seg innen farmasi, bioteknologi, datateknologi, funksjonelle materialer osv. Det er få norske industrilokomotiver med fokus på egenutvikling av ny teknologi for et ekspansivt globalt marked. De nevnte forhold reflekteres blant annet i norsk forskningsnivå (relativt innen OECD og relativt mellom ulike industrisegmenter).

Norske industribedrifter har i dag kompetanse og FoU-virksomhet innen nanoVT blant annet innen 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)
- Spesielle komponenter innen IKT og optikk (Ignis Technologies, Norspace, Infineon Technologies/Sensor, NERA)

* 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 CO2 Capture - Enabling Research and Technology (NTNU); Center of Theoretical and Computational Chemistry (UiTØ); Center for multiscale molecular modeling with applications to novel structures of superior functionality (UiB); dessuten søknader fra biologiske og medisinske miljøer med relevans inn mot bionanoVT.

† 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; Wind Technology Research Centre, SINTEF Energiforskning

- Biomagnetisk separasjon av celler (Dynal)
- Produkter for medisinsk billediagnostikk (GE Healthcare)
- "Slow release" av medisiner (Nycomed)
- Medisinsk diagnostikk (NorChip, Alertis Medical)

Norges forskningsråd har et sett av virkemidler rettet mot industriens behov (SkatteFunn; BIA; BIP; KMB; FORNY). NANOMAT har de siste to år lyst ut brukerstyrte innovasjonsprosjekter, 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 innen nanostrukturerte materialer og overflater, og søkerne favnet 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 således viktig at nanoVT satsingen ved FoU-institusjonene blir bred, robust og kvalitetspreget slik at dette kan stimulere næringslivet til økt nanoVT-engasjement.

Under et seminar våren 2006 med fokus på materialteknologi for oljeindustrien i regi av programmet PETROMAKS, ble nanoteknologi pekt på som en løsning for å bidra til å løse mange av oljeindustriens problemer, spesielt i tilknytning til materialer og sensorer. RENERGI har allerede et visst fokus på materialteknologi som kan utløse ny energiteknologi, CLIMIT tilsvarende for CO₂-innfangning.

Internasjonale kontakter

EU

Gjennom tre utlysninger til EUs 6. rammeprogram innen området "Nanovitenskap, nanoteknologi, materialer og nye produksjonsteknologier (NMP)" har suksessen fra 2003 til 2005 for norske søkere blitt stadig økende. I dag deltar 45 norske partnere fra universiteter/høgskoler, forskningsinstitutter og industrien i 33 prosjekter innen NMP-området. I tillegg er det 77 norske prosjektdeltagelser på i alt 34 hydrogenrelaterte prosjekter under det tematiske området "Bærekraftig energi". Norge har koordinatoransvaret for 10 prosjekter; fem innen NMP og fem innen Bærekraftig energi. Innslaget av nanoteknologi er betydelig for flere av prosjektene. Gruppene med stor suksess i EUs 6. rammeprogram oppnår typisk også finansiering

gjennom NANOMAT. For tiden arbeides det med å posisjonere norske FoU-miljøer og industri overfor EUs 7. rammeprogram. Forskningsrådet deltar sammen med andre lands/regioners forskningsråd i et EU-samarbeid for prosjektfinansiering innen material- og nanoteknologi; MATERA.

Norske miljøer med relevans for nanoVT har meget utstrakt forskningssamarbeid med europeiske forskningsinstitusjoner; innen kjemi, fysikk, materialvitenskap, biologi, medisin, mikroteknologi, nanoteknologi osv.

Norden

Gjennom NorForsk og Nordisk energiforskning finansieres forskerutveksling, nettverk, forskerskoler og forskningsprosjekter innen 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 frem til praktiske, kommersielle anvendelser av nanoteknologi.

Bilateralt

Norske FoU miljøer har på tilsvarende sett som overfor EU, et tett faglig samarbeid med spissmiljøer i for eksempel USA og Japan. På sikt forventes økning i det bilaterale samarbeidet med USA og Japan, mye på grunn av teknologiavtalene som er undertegnet med disse landene. På institusjonsnivå foreligger avtaler om samarbeid innen material- og nanoteknologi med ledende miljøer i USA og Japan. Enkelte norske miljøer er på grunn av sin faglige kvalitet innen 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 innen nanoVT forventes å øke med Canada og Kina som følge av bilaterale støtteordninger. Forskningsrådet finansierer gjennom NANOMAT flere 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 for krevende til at det er hensiktsmessig at disse etableres og drives av enkeltland. Tilgang til slik

tung infrastruktur vil være en forutsetning for forskning innen nanoVT på høyeste nivå, og etterspørsel etter slikt utstyr er et kvalitetstegn. Dette er spesielt viktig for små land. Norge har gjennom medlemskap tilgang til helt ulike satsninger som European Molecular Biology Laboratories (EMBL), CERN og ESRF; generelt til europeiske laboratorier klassifisert som "Large Scale Facilities". I EUs 7. rammeprogram vil det være mulig for norske miljøer innenfor nanoVT å søke om støtte sammen med vertsinstusjonen for å benytte spesiell infrastruktur ellers i Europa.

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

1.5. 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 innen områder som sikkerhet, helse og miljø, og kan således bidra til å løse viktige samfunnsmessige og industrielle behov
- Det er kun i liten grad kartlagt og forstått hvordan nanoVT i videste forstand vil kunne påvirke mennesker, samfunn og økosystemer. Således vil systematiske risikovurderinger være påkrevd.
- NanoVT har potensial for radikale gjennombrudd og kan stimulere til grensesprengende forskning i vekselvirkning med andre teknologier. Etsiske problemstillinger må derfor nøye vurderes.
- Lovgivning og regelverk må tilpasses nanoVT.

Sosial og økonomisk betydning

De førende industrilandene anser at beherskelse av nanoteknologi er avgjørende for deres økonomiske og teknologiske konkurranseevne i det 21. århundre [National Science 2001; Videnskapsministeriet 2004]. De fleste av dagens nye nanoprodukter ligger innen mikroteknologi og "avansert materialteknologi" med anvendelser innen sport, kosmetikk, overflatebehandling og tekstiler. Internasjonalt sett er veletablerte aktører inne, og det finnes en underskog av SMBer som utvikler nye innovative produkter. I fremtiden forventes anvendelser innenfor de fleste samfunnsområder, se avsnitt 1.1 og 1.3.

Internasjonalt satses det stort på ny teknologi for å lage nye nanomaterialer og utvikle nye bruksområder for disse. I USA arbeider nå ca 20000 personer med nanoteknologi. [National Nanotechnology 2006]

NanoVT vil kunne bidra til ytterligere å øke kløften mellom fattige og rike land, på grunn høyt krav til kunnskapsnivå 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 3. verden, er [Singer 2005]:

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

Helse, miljø, risiko og sikkerhet

Parallelt med de mange mulighetene som følger med nanoVT, er det også knyttet usikkerhet til mulige helse- og miljøtrusler [Norges forskningsråd 2005(f)]. Visse nye anvendelser som følger av fremskritt i nanoVT, er basert på fundamentalt endrede egenskaper når størrelsen på

systemene reduseres. Nye typer nanopartikler vil kunne spres i miljøet. Det er i liten grad forstått hvordan slike vil påvirke mennesker og økosystemer. 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 økotoxikologi (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].

Innen biologiske og medisinske anvendelser vil en rekke etiske og sikkerhetsmessige spørsmål oppstå, ettersom bionanoVT kan komme til å føre til høyeffektive diagnostiske hjelpemidler, nye medisineringsmetoder samt nye metoder for dyrking av stamceller og vev.

Internasjonalt vil fremskritt innen nanoVT også benyttes for **militære** formål. Mange militære anvendelser kan også misbrukes til terrorisme eller føre til lavere terskel for voldsbruk og angrep. Det er således 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 kompetansebygning 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, såvel som 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 ved 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). En kan også tenke seg viktige nyvinninger som blir for kostbare til at flere enn en liten elite får nytte av dem.

Ny medisinsk diagnostikk kan faktisk medføre at det oppstår økt avstand mellom det som kan diagnostiseres og det som kan eller ønskes å skulle behandles eller kan forsvares økonomisk. Dette er utfordringer som bør adresseres.

Som nevnt over kan nanoVT gi grobunn til en **bærekraftig** utvikling. NanoVT hevdes i flere sammenhenger å kunne bidra til at forskjellen mellom rike og fattige i verden kan utjevnes. Det er imidlertid ikke opplagt at slike hensyn står sentralt i forskningspolitiske prioriteringer. Således kan integrering med etiske vurderinger øke 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 er det registrert mer enn 15000 patenter i globalt [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 således komme industrien til gode også innen felt som ligger utenfor det opprinnelige kjerneområdet. De norske universitetene har de siste årene blitt langt mer aktive innen patentering, og dette vil påvirke implementeringen av innovasjoner innen nanoVT. IP-rettigheter er ofte en forutsetning for å lykkes i kommersialisering av FoU-resultater. Internasjonal utvikling innen 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].

Det foreligger i dag ikke norsk lovgivning og retningslinjer for å ivareta etiske, samfunnsmessige og miljømessige aspekter ved bruk av nanoVT. Dette er dog viktig å få på plass både i nasjonal og

internasjonal kontekst. Nært knyttet til dette er nødvendigheten av å fastlegge internasjonale tekniske **standarder**. Det finnes mange initiativ for å besørge dette på nasjonale plan, men så langt har ikke dette konvergert internasjonalt [Malsch 2005].

Det er ønskelig raskt å kartlegge behovet for ny **regulering** i forhold til nanoVT. Et rammeverk for

å regulere nanoVT bør så vel fremme initiativ og innovasjon, som å klarlegge sentrale forhold knyttet til samfunn og miljø; dette blant annet for å gardere seg mot mulighet for uheldige tilbakeslag blant forbrukerne og beslutningstakere.

2. 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 kapittel 3, der selve strategien presenteres.

2.1. 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. Dette kan medføre raskere implementering av nanoVT i næringsliv og kommersielle produkter, på grunn av tidsskalaene som gjelder for fag- og teknologiutvikling innen nanoVT.

Et overordnet mål er at nanoVT skal bidra til utvikling av naturvitenskaplige disipliner, teknologier og industri. Nye ideer, materialer og komponenter vil dernest kunne integreres i næringsutvikling knyttet til leverandører av produkter og teknologi/kompetanse til virksomheter, særlig innen nasjonalt prioriterte tematiske områder. Internasjonalt understrekes at sterk grunnforskning innen nanoVT og på grenseflater mot andre teknologier vil utgjøre basis for en bred utnyttelse av nanoVT i næringsliv og forvaltning. Et mål er således 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 industrien eller fra et overordnet forskningspolitisk ståsted (for eksempel gjennom Forskningsmeldingen), sies å ha sitt utspring i markedsbehov ("*market pull*"). Dette er forskning som typisk har en relativt kort tidsskala, og som motiveres av og skal føre frem til konkrete anvendelser.

Når industrielle produkter og anvendelser er hovedmålsettingen, 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 og en kan forvente ytterligere insitamenter i fremtiden. Det er viktig å stimulere eksisterende næringsliv til å integrere nanoVT i egen FoU for styrking av konkurransevne 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. Således kreves 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 målsetningene følges opp med strategiske offentlige satsinger (dog med kvalitet i fokus).

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

Kunnskapsdrevet motivasjon

Forskning som er motivert av vitenskapelig interessante problemstillinger og som har sitt utspring i forskningsmiljøene, betegnes her som kunnskapsdrevet ("*technology-push*"). Dette er ofte aktiviteter hvor kunnskapsutvikling skjer over en lengre tidsskala, hvor anvendelsene ikke nødvendigvis er klart definert, eller hvor forskningen legger en bred kompetansebasis med mange ulike 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, bidrar samtidig til økt fokus på 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, og siden har industrien og forskningsinstitusjoner demonstrert et bredt spekter av anvendelsesmuligheter. På grunn av nanorørens anvendelighet innen 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 både fra 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.

2.2. Koordinering

- NanoVT krever robuste forskningsmiljøer av høy kvalitet, som disponerer tilstrekkelige ressurser for samtidig å arbeide med relativt brede målsetninger 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 (se avsnitt 1.1) og avanserte laboratorier. Norge kan ikke 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, uten en fullgod løsning på dette.

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, 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 arbeidssituasjon 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. Midler bør styres etter slike vurderinger, for å skape dynamikk i systemet.

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 er konkurransedyktige faglig og innovasjonsmessig sett innen sine nisjer. Dette vil måtte avstemmes budsjettmessig.

Forskningsledelse

NanoVT forskning (store prosjekter) innrettet mot kunnskapsoppbygging, metoder eller tematiske satsinger, vil typisk ha stor grad av tverrfaglighet, 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 industrinære 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 under. 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 kosteffektive 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, Forskningsråd og myndigheter. Nasjonal infrastruktur, i et virtuelt nettverk, må være underlagt overordnet styring. Forslag er drøftet i mer detalj i avsnitt 3.2.

2.3. 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 ovenfor argumentert for at norsk satsing på nanoVT bør følge av en helhetlig motivasjon; dels behovsdrevet, dels kunnskapsdrevet. 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 **tverrfaglig** av karakter. NanoVT må utvikles til å bli et sentralt verktøy for nyskaping og nytt næringsliv. En satsing 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 innen 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 innen nanoVT. En **integrert** modell vil derfor vanskelig kunne 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.

2.4. 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 ulik type innføres nå for nanoVT ved flere universiteter. Dette gir muligheter for bredt samarbeid med hensyn på kurstilbud på PhD-nivå og innen forskerskoler.
- Bred og kvalitetspreget forskning er en forutsetning for en god og tverrfaglig nanoVT-utdanning.
- Formidling av resultater fra nanoVT er en sentral oppgave og kan bidra til økt interesse for naturvitenskapelige og teknologiske utdanninger.

Utdanning i nanoVT

Internasjonale trender følger to utdanningsretninger; en disiplinbasert og en multidisiplinbasert. Den førstnevnte integrerer nanoVT i allerede eksisterende, disiplinorienterte utdanningsløp. Den andre tilbyr eksplisitte utdanningsprogram innen nanoVT.

Disiplinbaserte nanoVT-utdanninger springer ut fra en disiplin (mesoskopisk fysikk innen faststoffysikk, nanokjemi innen fysikalsk/uorganisk/organisk kjemi osv) og dekker behov for fokusert spisskompetanse. Eksempler kan være: nanoskala materialfysikk knyttet til fysikk; nanoteknologi knyttet til miniaturisering innen mikroteknologi; fotonikk knyttet til utviklingen innen mikro- og kommunikasjonsteknologi, aksene fra funksjonelle materialer til nanostrukturerte funksjonelle materialer. Innen 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-utdanning 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 basis 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-aksene, 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 interaksjon mellom komplementære disiplinbaserte studieprogrammer ved ulike institusjoner.

NTNU har nylig etablert et multidisiplinært studieprogram innen nanoteknologi som et 5-årig masterprogram innen sivilingeniørutdanningen. Første opptak av studenter er høsten 2006. Et 5-årig masterprogram er under etablering ved UiB med planlagt oppstart høstsemesteret 2007. Ved UiO etableres nå et disiplinbasert master- og PhD-studietilbud knyttet til programmet MEF (”materialer og energi for fremtiden”).

De tradisjonelle basisdisiplinene har gjerne komplementære innfallsvinkler til en rekke problemstillinger som rendyrkes innen 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.

Virkemidler som er aktuelle, inkluderer:

- 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 avsnitt 3.2.

3. Forskningsstrategi for nanoVT

Kapittelet angir forslag til innhold og størrelse av en fremtidsrettet norsk satsing innen nanoVT. Det innledes med *hva* Norge bør prioritere (3.1), deretter drøftes *hvordan* satsingen bør gjennomføres (3.2-3.4), og til slutt angis anbefalt *størrelse* på satsingen (3.5). Avsnitt 3.6 oppsummerer råd til forskjellige aktører i feltet. Viktige prioriteringer fremlegges i 3.2-3.4, 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. Dette gjør at institusjonene blir relativt usynlige. En rekke institusjoner har utarbeidet klare strategier for nanoVT, som er verdifulle i dette arbeidet.

3.1. Prioriterte satsingsområder

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

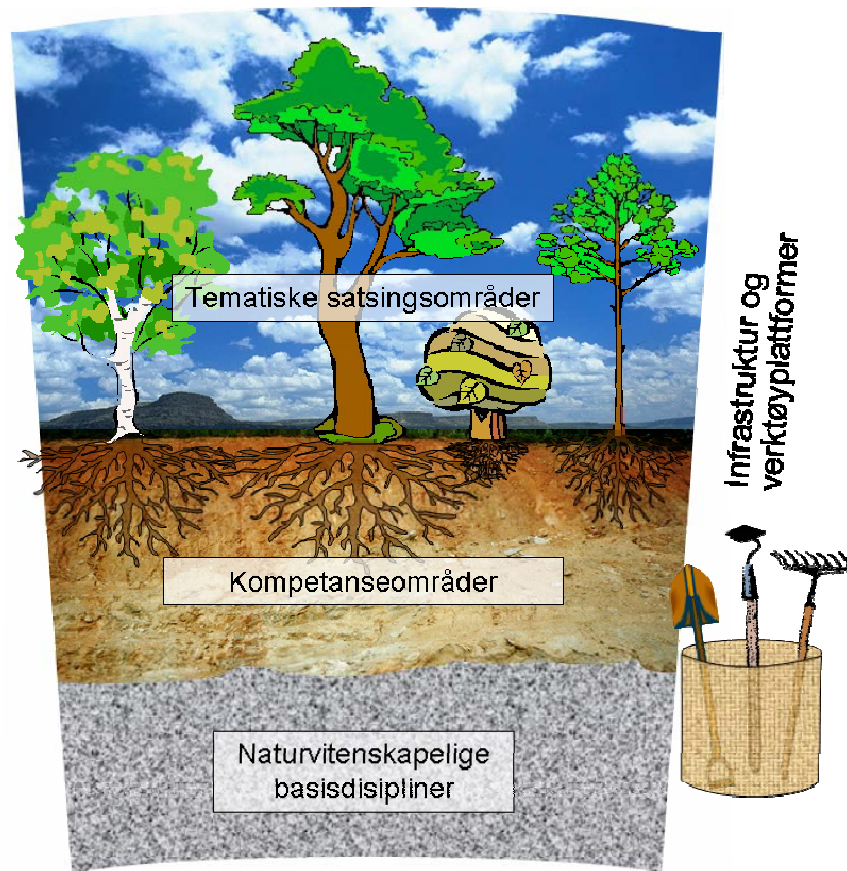
1. Energi og miljø
2. IKT og mikrosystemer
3. Helse og bioteknologi
4. Hav og mat

Visse vitenskapelige områder utgjør en helt påkrevd generisk basis for nanoVT. Dette innebærer spesiell fokus på 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
- Etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter

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

- Syntese manipulering og fabrikasjon; karakterisering; teori og modellering



Figur 6. De foreslåtte kompetanseområdene er generiske, og bygger opp under alle de tematiske satsingsområdene, i tillegg til at de bidrar til ny forståelse og erkjennelse. Omvendt vil en satsing på et tematisk område kunne føre til ny generisk innsikt som kan anvendes innen mange andre områder. Kunnskapsflyten ved en optimal satsing vil gå både oppover og nedover i denne figuren. Tilgang til avansert infrastruktur og verktøyplattformer er avgjørende for alle deler av satsingen.

En nasjonal strategi for nanoVT forutsetter en god balanse mellom bredde og fokusering. Dessuten må grunnforskning og anvendelsesorientert FoU balanseres, og strategien bør ta for seg behov på så vel korte som lange tidsperspektiv. Prioriteringer er påkrevd for å oppnå tilstrekkelig fokus, tempo og konkurransekraft innen de områdene som blir pekt på i strategien. Dette gjøres samtidig som det åpnes for nysgjerrighetsdrevet forskning med det mål å stimulere til ny kunnskap.

Samfunn og næringsliv etterspør forskning over en relativt kort tidshorison som gir identifiserbare nytteeffekter. Dette 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 tidsskala. Erfaring viser at nysgjerrighetsdrevet forskning oftest er det som gir store oppdagelser og teknologisprang. Gevinster forbundet med dette kan ikke høstes ved kun å betrakte nåværende behov. På den andre siden kan behovsdrevet forskning generere betydelig ny kunnskap og grunnleggende forskning.

Det foreliggende forslag til strategi søker å balansere bredde og fokusering. Et grunnlag for å styrke de nasjonalt prioriterte tematiske områder og teknologiområder i Forskningsmeldingen ved hjelp av nanoVT legges gjennom å peke ut **fire tematiske områder**; energi og miljø, helse og bioteknologi, IKT og mikrosystemer samt hav og mat (Figur 6). NanoVT inn mot disse

områdene er i hovedsak behovsdrivet, og kan følges opp gjennom en rekke programmer og virkemidler i Forskningsrådet. Ikke desto mindre er det radikale fremskritt innen nanoVT som kan bringe flere av disse områdene sterkt fremover, teknologisk og verdiskapingsmessig. Det er nedenfor angitt tentative anbefalinger innen hvert av disse fire tematiske områdene. En påkrevd fokusering må skje i samråd med de styrer og ekspertpaneler som Forskningsrådet har etablert for områdene. Dette vil sikre at nasjonale fortrinn utnyttes og at nanoVT inngår i en helhetlig strategi for områdene med marked, kvalitet og kompetanse som nøkkelstikkord.

For at nanoVT skal stimulere til teknologisk utvikling innen de tematiske satsingsområdene, kreves høy kompetanse innen kjernen av nanoVT. Det anbefales derfor å etablere et knippe med **verktøyplattformer** og generiske **kompetanseområder**. Disse er relevante for samtlige tematiske områder og all nanoVT. De skaper samtidig en sterk og nødvendig basis for langsiktig grunnforskning, kompetanse- og metodeutvikling. Ett eksempel er nye materialer, som står sentralt innen 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. Dette behovet er naturligvis også til stede for nanoVT knyttet til 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 rettet mot demonstrasjon av ny teknologi stiller krav til laboratorier som går utover det som tilbys av fasiliteter for grunnleggende forskning. Dermed kan det for teknologidelen av nanoVT, det vil si FoU-arenaen der forskningsinstituttene, universitetene og industrien samarbeider for å legge grunnlag for ny verdiskaping, foreligge spesielle behov til infrastruktur. Dette må tas hensyn til ved implementeringen av satsingen.

Tematiske satsingsområder

NanoVT rettet mot tematiske satsingsområder vil først og fremst være teknologi- og anvendelsesorientert, men 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 nevnte nasjonalt prioriterte områdene er allerede delvis

dekket gjennom en rekke finansieringsordninger i Norges forskningsråd. Dette gjør det mulig å ha et spesifikt nanoVT-fokus inn mot disse områdene og dermed bidra til fornyelse og utvikling. For å oppnå dette, må nye nanoVT-virkemidler legges inn i disse finansieringsordningene.

Det anses påkrevd med faglig koordinering og brede prosjekter innen nanoVT som binder sammen tematisk og teknologisk orienterte aktiviteter med langsiktig kompetansebyggende. Til dette kreves et eget sett med skreddersydde virkemidler (se avsnitt 3.2). NanoVT innen de tematisk motiverte problemstillingene vil karakteriseres ved et langt sterkere preg av grunnforskning enn det som naturlig anses å være ansvaret til de eksisterende programmer og virkemidler. 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**. Innen hvert av områdene er det i tillegg gitt eksempler på temaer der nanoVT kan få betydning for teknologi og næringsutvikling. Disse er ikke prioritert, da internasjonal faglig og teknologisk utvikling skjer hurtig. Dette krever en dynamisk angrepsvinkel. En ytterligere prioritering innen delområdene må dermed tas hånd om under implementeringen ved hjelp av standardkriterier for faglig kvalitet. Prioritering av de enkelte forskningsprosjekter må skje på basis av strategiske valg kombinert med strenge krav til konkurransedyktig faglig kvalitet. Valg av områder for tunge satsinger innen nanoVT må gå etter visse generelle forutsetninger:

- tilstedeværelse av fortrinn; industrielt, råvaremessig eller kompetansemessig
- 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

1. Energi og miljø

Mål: Norge skal bli en verdensledende nasjon innen 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 sett 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 sett er trolig det å fremskaffe 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 teknologiske posisjon, samt underbygge politisk omforente målsettinger, ved å utvikle nanoteknologi (og materialteknologi) med fokus på energi/miljø. En slik basis vil kunne lede til realistiske ambisjoner om at Norge skal kunne bli en ledende aktør innen fornybar og/eller 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 og med mindre forbruk av energi og redusert utslipp av miljøfarlige stoffer.

Følgende områder anses å være spesielt lovende for sterk norsk deltakelse:

- Gasskonvertering
- CO₂-fangst
- Petroleumsutvinning
- Solceller
- Hydrogenteknologi
- Batterier og energihøstere
- Energieffektivisering (industri, boliger, transport)

2. IKT inklusive mikrosystemer

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

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

Informasjons- og kommunikasjonsteknologi griper inn i nær sagt alle samfunnsområder. Teknologitvillingen innen dette området har vært drevet fram av behovet for mindre, raskere og billigere computere. De siste årene har den viktigste drivkraften i stor grad dreiet seg om utvidet **funksjonalitet**. Forskningen innen for EUs IST-program har vært fokusert mot paradigmet "ambient intelligence" som gjerne oversettes med "intelligente omgivelser" eller "allestedsnærværende intelligens". I dette ligger det en utvikling mot miniatyriserte, autonome, distribuerte systemer 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, mikro brenselceller, batterier)

I Norge finnes ingen industrilokomotiv som produserer integrerte kretser og mikroprosessorer. Vi har derimot flere bedrifter som leverer mikrosystemer og mikrosensorer. I tillegg vil framtidens sensorteknologi og autonome systemer bli nøkkelementer for betydelige deler av norsk industri. Som eksempel kan nevnes det enorme behovet for prosess- struktur- og tilstandsovervåkning når olje- og gassvirksomheten i større grad baserer seg på ubemannede operasjoner og i tillegg skal foregå på store havdyp og i nordområdene. Området er også viktig for annen forskning og industri i Norge, f.eks. knyttet til romfart og partikkelfysikk (CERN).

En satsning innen nanoteknologi vil fokusere på

- Nanomaterialer og -komponenter for elektronikk, datalagring, optikk, sensorer, aktuatorer og RF (radiofrekvens)-komponenter.
- Integrasjon av nanomaterialer i sensorer og aktuatorer ("mixed technologies")
- Nanostrukturering
- Nanofluidikk

3. Helse og bioteknologi

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

Tiltak: Fokuseret satsning for å styrke tverrfaglig spisskompetanse med basis i etablerte miljøer. Ny aktivitet bygges opp innen utvalgte nisjer via yngre forskere eller (utenlandsk) rekruttering.

BionanoVT omfatter grovt sett to områder. Ett er direkte relevant for helse og velstand og omfatter regenerativ medisin (medisinske implantater, celle- og vevsdyrking), nanodrugs, diagnostikk (sensorer, biochips osv.) samt avbildning in vivo og in vitro; dette prioriteres innen EUs 7. RP gjennom teknologiplattformen nanomedisin. Det andre området omfatter for eksempel biomimetiske materialer, og biologiske grenseflater i forbindelse med sjøklimate og næringsmiddelproduksjon. En felles basis er molekylær forståelse av strukturer og prosesser hos levende organismer (proteiner, DNA, subcellulære strukturer, celler og vevsstrukturer) inkludert metoder for å analysere og påvirke. Drivkrefter innen bionanoVT er blant annet den revolusjonen som har funnet sted gjennom kartlegging av genomer, utvikling av organisk syntese til å omfatte komplekse bioaktive molekyler, og den pågående konvergens med material-, mikro- og nanoVT.

Anvendelser innen klinisk diagnostikk, medisinske komponenter inklusive implantater, vevsgenerasjon og legemidler forventes å 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 *tissue engineering*. Sammenkobling mellom bedre målsøkende legemidler (*nanodrugs*) og bedre diagnostikk forventes å lede til mer effektiv og individualisert behandling med færre bivirkninger.

Norge har flere fortrinn innen dette området med blant annet omfattende helseregistre og biobanker som kan utnyttes positivt.

Miniatyriserte teknikker for måling av reaktanter vil være nødvendig for maksimal utnyttelse av biomaterialet i norske biobanker, som for en stor del er unikt. Spesifikk utnyttelse av bioinkompatibilitet i terapeutisk hensikt er et eksempel på et område med sterk norsk kompetanse. Samhandling og synergi med FUGE-satsingen er nødvendig for å oppnå optimal utnyttelse av de norske ressursene på området. Blant de mange mulige områdene innen dette feltet, ser noen ut til å være spesielt lovende for Norge

- Biokompatible materialer
- Sensorer, diagnostikk
- Medisinering

Samtidig forventes ringvirkninger mot felt som immunologi, nevrobiologi og celle- og vevsdyrking.

4. Hav og mat

Mål: Brukere stimuleres til å anvende nanoVT for havbruk, skipsfart osv.

Tiltak: Med utgangspunkt i kompetente miljøer innen hav/mat etableres konstallasjoner som kan trekke veksler på nyvinninger innen nanoVT og implementere disse i produkter.

Havbruk er en viktig norsk næring, spesielt i distriktene, og har stort vekstpotensial. Det er en økende erkjennelse av at feltet trenger å fundamenteres bedre på grunnleggende forskning for å muliggjøre fortsatt ekspansjon i et bærekraftig perspektiv. Også innen øvrig matproduksjon og skipsfart kan nanoVT bidra til løsninger innen 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 områder som kan være interessante, er:

- Sporing
- Smart emballasje
- Matovervåking
- Overflatebehandling

- Skip og installasjoner: redusert algevekst og begroing
- Produksjonsanlegg for mat: redusert bakterievekst

Hva med andre områder?

Siden nanoteknologi er en generisk eller tilretteleggende teknologi, vil det meste av utviklingen innen de ovennevnte områdene også være viktig for andre felt. Verktøyplattformer og kompetanseområder som er felles for disse satsingsområdene vil også være viktig for nye områder (ny verdiskaping generelt) og som basis for ny erkjennelse. Disse er beskrevet nedenfor.

Spin off-effekter som ikke kan forutses i dag, er forventet som et resultat av denne strategien. Forskningsrådet bør ha 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 basis, slik at nanoVT vil gi ny kunnskap og økt forståelse av materialer, systemer og prosesser, samt vil legge basis for innovasjon og ny verdiskaping og understøtte nanoteknologiske anvendelser i næringslivet.

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

Nanovitenskap danner basis for de nanoteknologiske anvendelsene som ble presentert i forrige avsnitt. Men en satsing på nanovitenskap er også sentral for å utvikle nye erkjennelsesmessige fremskritt. Betydningen av nye grunnleggende oppdagelser og teorier i seg selv innen naturvitenskapen kan ikke underestimeres. Kvantemekanikken og relativitetsteorien står i dag som erkjennelsesmessige fyrtårn. Disse er et resultat 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** innen nanoVT. Vi har i dag mangelfull forståelse av overgangen mellom rene kvantemekaniske og klassiske systemer. Videre er komplekse systemer og hvordan enkeltmolekyler etablerer selvorganisering som til syvende og sist kan

etablere liv og bevissthet, fenomener uten fullgod forståelse. NanoVT er en svært sentralt og viktig forskningsarena for slike spørsmål, ettersom livets funksjonelle molekyler befinner seg på nanometerskalaen.

Internasjonalt har nanoVT i dag generelt sterkt preg av **grunnforskning**. Man forventer derigjennom utvikling av ny, generisk kunnskap og økt innsikt i grunnleggende fenomener. Samtidig er forventninger om og satsinger på anvendelser store. 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. Dette illustreres av at både UoH-sektoren og institutter er viktige bidragsytere til forskning innen nanovitenskap i dag. Det er derfor viktig å skape miljøer der grunnforskning og anvendt forskning kan kryssbefrukke hverandre. Forslaget til strategi innebærer en helhetlig blanding av behovsdrevet forskning gjennom tematiske satsingsområder og kunnskapsdrevet forskning gjennom kompetanseområder og verktøyplattformer som reflekterer dette grunnsynet. I Figur 6 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 disiplinene, særlig kjemi og fysikk. Anvendelsespotensialet til nanoteknologi er stort, men grunnforskningaspektet bør ha størst fokus 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 (for eksempel forskerprosjekter) skal være tilgjengelig for mindre fagmiljøer med høy kvalitet, både gjennom nanoVT-satsingen og gjennom øvrige virkemidler.

Det er avgjørende viktig for en optimal utvikling av nanoVT i Norge at det bygges opp en tilstrekkelig tung og bred basis innen felt med

generisk karakter og som vil stå sentralt innen de aller fleste aktuelle felt for nanoteknologi. Dette er områder hvor den tilknyttede kompetanse er av betydelig generisk viktighet for nanoVT og for å utløse ny verdiskaping knyttet til de prioriterte tematiske områdene. Følgende områder foreslås å bli gitt prioritet:

- 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

Materialer

I utvidet forstand er materialer en helt sentral nøkkel; det være seg nanopartikler, tynne filmer, legeringer, kompositter, hybride strukturer, biomimetiske systemer, biomaterialer osv. Det er design av slike materialer, eventuelt satt sammen til kompositter, komponenter eller nanostrukturer, som vil utgjøre kjernen av nye, nanoteknologiske produkter.

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

Materialers egenskaper resulterer dels direkte fra deres atomære oppbygging, dels i hvorledes materialet er bygget opp (nanostrukturen). Dette innebærer at behovet for nye løsninger innen ulike teknologier (energi-, miljø-, bio-, IKT osv.) ofte kun kan muliggjøres gjennom utvikling av 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. Således er i mange sammenhenger utvikling av material- og nanoteknologi 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 deres størrelse går drastisk ned til nanometerskala, blir forholdstallet mellom overflateareal og volum spesielt høyt, noe som innebærer at overflatens betydning blir stor for nanostrukturerte objekter. Overflater (sammensetning, morfologi, defekter) bestemmer eksempelvis visse elektrokjemiske og mekaniske egenskaper (f.eks. knyttet til katalyse, korrosjon, slitestyrke og energi-omdanning), biokompatibilitet, biofouling, og en rekke fysiske egenskaper. Således forutsetter implementering av nanoVT i nye produkter innen de tematiske prioriterte områdene dyptgående kunnskap innen 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 synergi mellom material, bio- og medisinsk teknologi.

Katalyse handler om å få kjemiske reaksjoner til å foregå fortere eller ved lavere temperatur (lavere energiforbruk), og gir høy omsetning, få biprodukter og lite forurensing. I biologiske systemer kontrollerer enzymer (proteiner) omsetning (nedbryting og oppbygging) av organiske molekyler, helt sentralt for fotosyntese og cellenes livsfunksjoner. Katalyse er helt sentralt for mange forskjellige teknologier og prosesser innen for eksempel 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 innen katalyseforskningen er dermed 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 generelt sett avhengige av størrelsen og oppbyggingen av partiklene når deres dimensjon er på nanonivå. Dette er sentralt innen studier 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 også utvikling av ny teoretisk forståelse, spesielt for det mesoskopiske regimet. Sentrale områder er dekoherens og kontrollerbare kvanteprosesser, fenomener knyttet til spesielle vekselvirkninger, 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. I dette regnes blant annet nanostrukturerte implantater og "scaffolds" for celle- og vevsdyrking (tissue engineering) og "nano-drugs", det vil si funksjonaliserte nanopartikler som målsøkende legemiddelbærere, visse biosensorer og andre diagnostiske verktøy. Morgendagens bioarray og "lab-on-a-chip" 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 omfatter blant annet biomembraner og subcellulære komponenter som etterlikner sine biologiske ekvivalenter i celler og cellekommunikasjon.

Komponenter, systemer og komplekse prosesser som utnytter nanoVT

Komponenter ("devices") slik som sensorer, aktuatorer og integrerte kretser med spesifikke funksjoner blir i større og større grad benyttet i forbindelse med medisin, IKT, elektronikk, sikkerhet, oljeutvinning, prosessstyring og industri forøvrig. Denne utviklingen har akselerert som følge av nyvinninger innen mikroteknologi. Over tid vil den fortsatte utvikling i større og større grad basere seg på nanokomponenter som de aktive elementer.

Prosesser omfatter prosesssteknologiske trinn som separasjon, membranteknologi og filtrering, og inngår i mange felt innen olje- gassindustri, landbasert kjemisk industri og energiteknologi. Optimalisering av slike prosesser og deres miniatyrisering vil i fremtiden trekke betydelige veksler på nanoteknologi.

Fluidikk dreier seg i denne sammenheng om hvorledes en væskes flytegenskaper påvirkes av nanopartikler eller av nanoporer og kanaler. Moderne

etse- og litografiteknikker er velegnet for å framstille nettverk av kanaler på mikro- eller nanometerskala som kan benyttes for kjemiske, biokjemiske eller biologiske anvendelser – fra verktøy for syntese (nanoreaktorer) eller for 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.

Der er en internasjonal rivende utvikling innen **optikk** og laserteknologi hvor stadig kortere og mer intense laserpulser realiseres. Attosekund laserkilder med svært korte bølgelengder vil utvikles og ventelig etableres som ny mikroskopteknologi. Alternativt kan nye avbildningsteknikker utvikles basert på multifoton-prosesser. Design av nanostrukturer med spesielle emisjons-/absorpsjonsegenskaper kan få betydning for en bredde av områder fra sensorteknologi til belysning. Utnyttelse av enkeltfotoner til informasjonsbehandling og transport er også et aktuelt fagfelt.

Etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter

Kunnskap om nanomaterialers mulige helse- og miljøeffekter er ufullstendig. I rapporten til Forskningsrådet [Norges forskningsråd 2005(f)] foreslås flere viktige problemstillinger med etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter. Forskning og kompetansebygging på dette feltet er nødvendig for helhetlig å forstå hvorvidt og hvordan nanoVT er et felles gode, og hvordan dette kan implementeres sikkert og uten skadeeffekter på helse og miljø. Viktige forskningsoppgaver vil for eksempel være studier knyttet til materialers egenskaper, effekter (langtidseffekter) og mulige toksisitet både relatert til 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 avsnitt 1.5. Slike spørsmål bør gis signifikant rom i en samlet nanoVT-satsing.

Verktøyplattformer

Mål: Relevant, konkurransedyktig og tilgjengelig verktøy for nanoVT knyttet til de tematiske områdene og kompetanseområdene.

Tiltak: Etablering av nettverk for de forskjellige 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. Verktøy for syntese av nanomaterialer, nanostrukturerte overflater og nanopartikler, samt fabrikasjon av komponenter og strukturer der nanodimensjoner står sentralt, må således beherskes, og ulike forskningsgrupper bør gjennom nettverkstiltak ha tilgang til slik metodikk og kompetanse innen verktøy for syntese, manipulering og fabrikasjon. Deler av disse aktivitetene vil måtte foregå i dedikerte renrom.

Karakterisering

Avanserte verktøy for karakterisering kreves for å kunne studere statiske og dynamiske egenskaper (kjemiske, fysiske, mekaniske og biologiske) på

nanometernivå. I tilfeller hvor relevant utstyr 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 igjen bred tilgang sikres gjennom etablering av nettverk for karakterisering.

Teori og modellering

Teori- og modelleringsverktøy er i stadig økende grad en påkrevd og integrert del av prosjekter innen nanoVT. Dette er muliggjort gjennom avanserte datamaskiner og stadig mer velegnede beregningsprogrammer. Således er blant annet tungregning og grafisk manipulering nå avgjørende for å forstå egenskaper på nanonivå. Mange fundamentale fenomener på nanometerskala er også dårlig forstått. Utvikling av grunnleggende forståelse må dermed stå sentralt i en langsiktig satsing på nanovitenskap. For teoretisk modellering er økt tilgang til tilfredsstillende **tungregnerressurser** nødvendig. Dette forutsettes muliggjort gjennom dertil prioriterte offentlige virkemidler.

3.2. Virkemidler

- Det innføres en fokusert og strategisk finansiering av miljøer og prosjekter som utmerker seg ved spesielt høy kvalitet og eventuelt spesielle ressurser (storprosjekter).
- To nasjonale infrastrukturentre 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.
- Spesifikke tiltak bør vurderes for å sikre at virkemiddelapparatet for innovasjon og kommersialisering utnyttes optimalt og bidrar til å løfte frem gode, kommersialiserbare nanoVT ideer.
- For å ha god kontinuitet i hele kjeden fra ide 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 innen 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 implementeringen og organiseringen av satsingen kritisk viktig for å kunne

lykkes innen et internasjonalt konkurranseutsatt felt med stort vitenskaplig og

verdskapingsmessig potensial. 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 innen nisjer for de faglige vertsmiljøer, og organisere disse i nettverk.

Det ble i avsnitt 2.2 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. (investeringer i størrelsesorden mange hundre millioner). Disse er åpenbare kandidater for å gis en rolle som nasjonale infrastrukturentre for nanoVT. Siden en slik rolle krever at laboratoriene blir gjort allment tilgjengelig, 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 igangsettelse 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 tilgjengelig for andre enn vertsinstitusjonen. Den nasjonale ressursstatusen forutsetter at eksternt bruk overgår en viss driftsmessig andel.
- Adekvate fasiliteter 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)forskning 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 finnes det ved flere institusjoner høyt kvalifiserte laboratorier og kompetanse innen nisjeområder, dog av vesentlig mindre omfang enn den nevnte virksomheten 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. Dette er ikke minst viktig for å sikre rekruttering og lokal kompetanse. Det åpnes derfor for nasjonalt koordinerte verktøyplattformer. Disse etableres på bakgrunn av forutgående 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 etablering av nye aktiviteter er at det er et stort behov/etterspørsel for de aktuelle tjenester som ikke kan 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 ekstern kvalitetsvurdering på bakgrunn av søknad.

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 i avsnitt 2.2 anbefalt å etablere faglig sterke, robuste miljøer med kapasitet til å drive langsiktig grunnforskning, mer anvendt forskning og industrisamarbeid i ett og samme miljø. Det foreslås derfor at en vesentlig andel av ressursene brukes til **storprosjekter**, som kan skape sterke, robuste forskningsmiljøer med en tilstrekkelig kritisk størrelse for 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. Således kan visse prosjekter være meget grunnleggende, andre kan ha en mye høyere grad av anvendt forskning og industrideltakelse. Storprosjekter kan finnes både innen 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 innen 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 innen ELSA 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. Kriteriene er dels standardiserte vitenskapelige kriterier (publikasjoner, siteringer, inviterte foredrag), dels innovasjonsrelevante kriterier (patenter, bedriftsetableringer, industrisamarbeid). Storprosjekter må alltid bedømmes av uavhengig internasjonal ekspertise, med hensyn på 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, startpakker for yngre forskere).

Den menneskelige kapitalen er sentral i all bygging av nye forskningsområder. Studenter og yngre forskere føler seg tiltrukket av nanoVT, og det er uunnværlig å kunne tilby ressurser og karriereveier til de som tiltrekkes området. Det kan samtidig 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. Formål 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 tilsetninger 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 miljøenes faglige kvalitet, konkurransedyktig infrastruktur (og instrumentering), god mulighet for ekstern finansiering og godt miljø gjør norske universiteter attraktive i slike forbindelser.

Innovasjon og næringsutvikling

Mål: Økt innovasjon, økt verdiskapning 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.

Innen nanoVT kan det både være meget korte og lange tidsskaler involvert mellom grunnleggende forskning og innovasjon. Dette stiller store krav til at virkemiddelapparatet er velfungerende.

Deler av nanoVT-forskningen er rettet inn mot nasjonalt prioriterte områder der potensialet for nyskaping og innovasjon i utgangspunktet er høyt. Dette gir mulighet for å benytte nanoVT til radikale teknologiske gjennombrudd som kan gi basis for stor, ny verdiskapning. Dette forutsetter kompetanse og bevisstgjøring i virkemiddelapparatet og næringslivet, og vilje til å satse tungt på muligheter innen nisjer.

NanoVT er på sett og vis allerede integrert i visse deler av eksisterende næringsliv gjennom prosesser og produkter (mekanisk styrke, slitestyrke, barriere-egenskaper, kontrastmidler, sensormaterialer, mikrosilika osv), men teknologiutviklingen har så langt ikke vært tuftet på fundamental, bevisst nanoVT. Dette gir stort rom for ny utvikling. 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. Finansiering 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 i de her foreslåtte storprosjekter.

De store industrilandene og mange store bedrifter er nå svært aktive innen patentering. Dette kan bli blokkerende for norsk kommersiell satsing og utnyttelse. Det er viktig at det satses på 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 innen 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. Disse forventes i stor grad å springe ut fra institusjoner med tung aktivitet innen feltet. Disse institusjonene har alle et system for kommersialisering. Det vil være viktig med egnede virkemidler for verifisering, produktutvikling og oppstart av nye SMBer, 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 supplementer til dagens ordninger som *krever* bedriftsdeltakelse (KMB og BIP). Disse må også avstemmes med regler for fri konkurranse.

Et annet virkemiddel som kan være svært interessant for eksisterende SMBer, er å tilby

ekstern assistanse for å identifisere og konkretisere nanoVT muligheter og idéer som gir bedriftene nye muligheter for innovasjon.

Forskningsledelse

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

Tiltak: Tilbud om opplæring innen forskningsledelse ivaretas gjennom generelle tiltak.

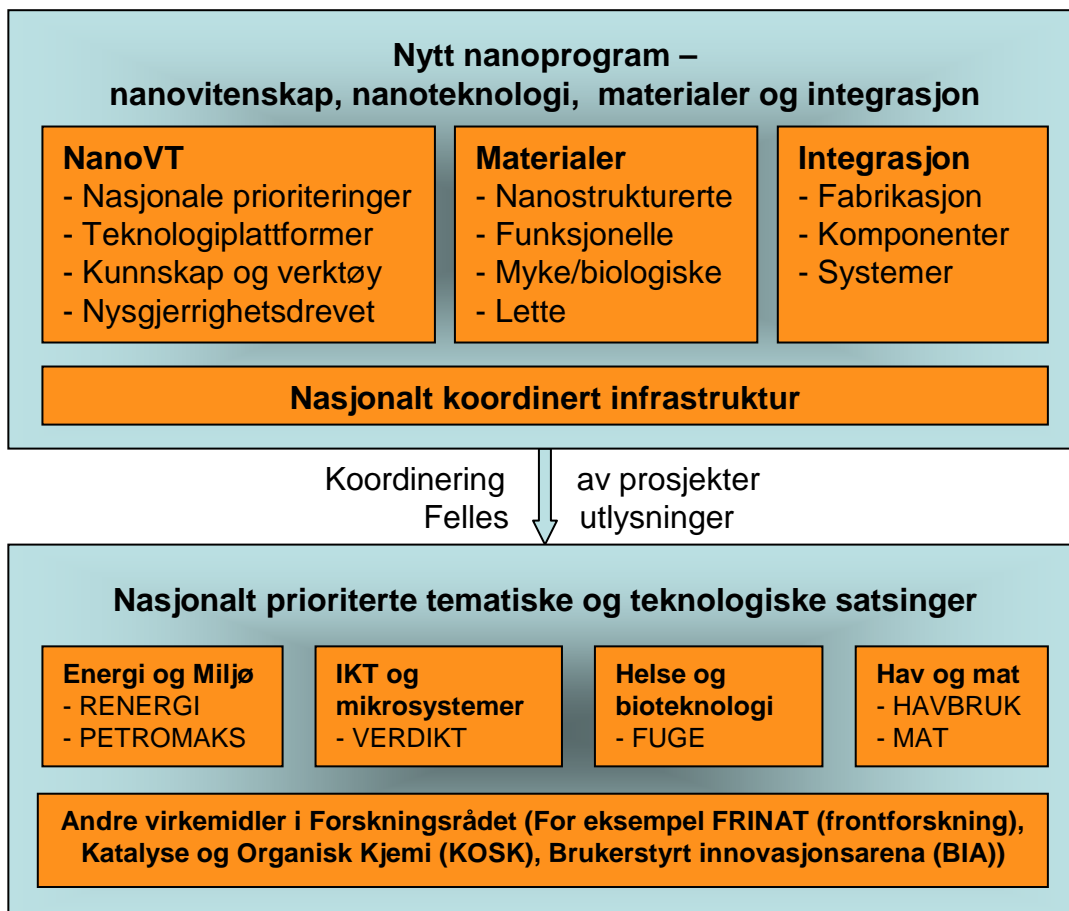
De foreslåtte storprosjektene innebærer behov for en ny type forskningslederskap for tverrvitenskapelige prosjekter, med evne til å utvikle synergi mellom grunnleggende og anvendt forskning, inklusive innovasjon og kontakt med industrien.

Ansvar for faglig ledelse bør primært ligge hos institusjonene, men Forskningsrådet bør supplere dette med et generelt tilbud om opplæring innen forskningsledelse. Elementer som kan inngå, er prosjektledelse og -budsjettering, personalansvar, kunnskap om EU-systemet, medietrening, forskningsetikk, forskningspolitikk og -finansiering, forhandlingskompetanse, kunnskap om immaterielle rettigheter (*IPR*), oppstart av bedrifter og vekstinvesteringer (*venture capital*), etc.

For spesifikt å styrke rollen som forskningsleder innen nanoVT, foreslås det å etablere møteplasser for forskningsledere i regi av Forskningsrådet, for eksempel i forbindelse med fagkonferanser og lignende.

3.3. Organisering av satsingen

- En fokusert og langsiktig (minst 10 år fra 2007) nanoVT-satsing bør etableres. Forskning innen NanoVT finansieres via eksisterende programmer for de tematiske satsingsområdene og gjennom et fokusert program ("nytt nanoprogram").



Figur 7. Foreslått organisering av norsk forskning innen nanoVT.

Mål: En langsiktig, fokusert satsning innen 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) satsning med utgangspunkt i et "Nytt nanoprogram" som skal vekselvirke med virkemidler for de tematiske områdene og for innovasjon.

Figur 7 illustrerer den foreslåtte organiseringen av nanoVT. Modellen har likhetstrekk med NMP-programmet i EUs 6. rammeprogram (Tematisk prioritert område 3; Nanotechnologies and nanosciences, 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.

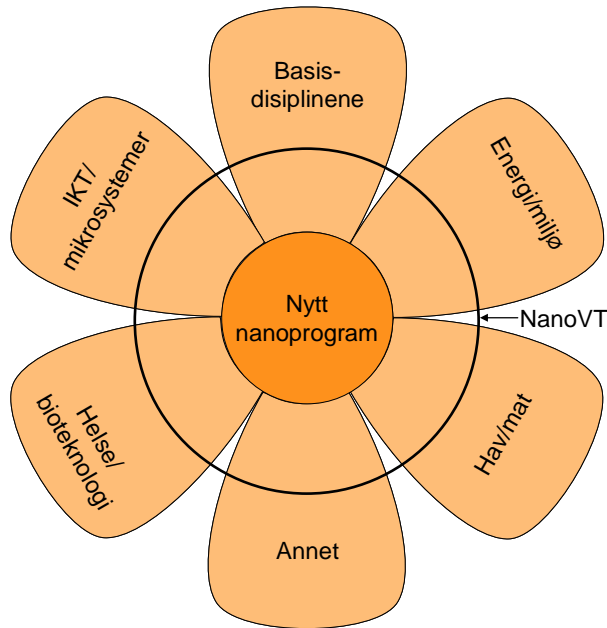
Det har blitt vurdert om det ville være hensiktsmessig å foreslå etablering av et rent nanoVT-program, eller bred spredning av ressurser til ulike virkemidler og programmer, med eller uten et koordinerende ansvar lagt til et programmene. Hovedargumentet for ikke å etablere et eget nanoVT-program, er 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. Således konkluderes at den norske satsingen på nanoVT bør, som i EU, skje som en del av et bredere **teknologiprogram** (med fokus på kompetanseområder), samtidig som midler tilføres (og evt koordineres gjennom utlysningene) med nanoVT finansiering av tematisk prioriterte områder (anvendelser). Modellen tilsvarer den fokuserte satsingsmodellen beskrevet i avsnitt 2.2, 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 fremstår som en god kandidat til å modifiseres til å ta rollen som et bredere teknologiprogram, se figur 8. Dette vil medføre at man direkte kan trekke vekslers på den kompetanse som allerede har blitt bygd opp innen det for nanoVT viktige materialområdet. 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 nanoVT infrastruktur og kompetanseområdene, samt for relevant nysgjerrighetsdrevet forskning. Programmet skal i tillegg finansiere (grunnleggende) forskning innen de tematisk 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 infrastrukturentrene. 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. Dagens NANOMAT-program vurderes som en god kandidat for å utvides til et slikt program.

NanoVT satsingen må ha optimale grenseflater mot **nærliggende teknologiområder**, særlig de som har vært sentrale pilarer i NANOMAT. Det anbefales således sterkt at Nytt nanoprogram også inneholder materialforskning som ikke i seg selv direkte kan beskrives som nanoVT, samt at integrasjon av nanoteknologiske komponenter får en mer synlig plass enn det som er tilfelle i dag. "Integrasjon" er viktig for å ivareta forskningsutfordringer knyttet til det å ta i bruk grunnleggende resultater. Disse vil i stor grad dreie seg om metoder for integrasjon av nye generasjoner funksjonelle, smarte materialer som vekselvirker med omverdenen, i sensorer, aktuatorer, elektroniske, optiske og biomedisinske komponenter. (Nytt nanoprogram kan vurderes av Forskningsrådet også å ta opp i seg material- og metodeelementer av mikroteknologi som pt 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 vil kunne 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 tett grenseflate mellom vitenskap og teknologi kreves for å utløse nye muligheter for verdiskaping. Dette forutsetter vekselvirkning med mekanismer for produktutvikling og kommersialisering.



Figur 8. Nytt nanoprogram finansierer både nanoVT (indre sirkel) og annen forskning (ikke vist). NanoVT finansieres dessuten gjennom tematiske og øvrige virkemidler i Forskningsrådet (innenfor heltrukken ring). Figuren illustrerer at en del av nanoVT finansiert av Nytt nanoprogram vil direkte understøtte de nasjonale prioriteringene.

Den foreslåtte arbeidsdelingen mellom Nytt nanoprogram og tematiske/teknologiske virkemidler i Forskningsrådet gjør en **koordinering** av innsatsen helt nødvendig. Ansvar for denne koordineringen foreslås lagt til Nytt nanoprogram på grunn av dets ansvar for kompetanseområder, verktøyplattformer og infrastruktur. I likhet med anbefalingene fra foresight-rapporten anbefales at Forskningsrådet

opprettet en koordineringsgruppe for nanoVT (og materialteknologi) på tvers av divisjoner og programmer.

NanoVT representerer en ny teknologisk dimensjon med stort potensial for radikale utviklinger innen disipliner og sentrale samfunnsteknologier, og dermed verdiskaping. Således er det overordnet 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 lignende 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 som nevnt ha grunnleggende aktiviteter innrettet mot de tematiske områdene (se over og Fig. 9), 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 skulle bli gitt rollen som Nytt nanoprogram, må organiseringen av programmet inklusive styrerepresentasjon nøye gjennomgås og tilpasses de nye, krevende oppgaver.

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 (jmfør Figur 2). Eksisterende, gode miljøer innen disse fagene verken eller bør forventes å bygge opp ny nanoVT virksomhet uten tilførsel av nye ressurser, både fra eksterne og interne kilder.

3.4. Samspill mellom ulike aktører

- Internasjonale nettverk må styrkes ved midler til nettverksbygging.
- Utdanning og forskertraining 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.
- Etske, juridiske og samfunnsmessige problemstillinger (ELSA) adresseres gjennom integrasjon av slike spørsmålstillinger 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.

Det pekes nedenunder kort 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 innen 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. Således er internasjonalt samarbeid påkrevd; både for å sikre norske forskningsmiljøer tilgang til avansert utstyr, til nye forskningsideer, deltakelse i store internasjonale prosjekter, og for at norsk industri skal kunne orientere seg og nyttiggjøre nye resultater.

Den foreslåtte nanoVT satsningen 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. Det er viktig at Norges Forskningsråd styrker tiltak som rådgivningstjenester, støtte til partnersøk, dialogmøter, finansiering til posisjonering (PES),

samfinansieringsordningen (SAM-EU) og Brusselkontoret. 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 innen EUs rammeprogrammer der nanoVT er tema. Dette er i linje med forslaget i avsnitt om storprosjekter.

Det må fortsatt tilrettelegges for norsk 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 innen nanoVT.

Innen relevante fag er rekrutteringssituasjonen av norske studenter til PhD-studiet og kandidater til postdoktorstillinger i dag lite tilfredsstillende, og vil fortsette å være slik i overskuelig fremtid (det vil si >5 år på grunn av allerede foretatt studievalg) Dette blir således en stor utfordring for hvorledes nanoVT skal utvikles til å kunne komme norsk samfunn og næringsutvikling til gode.

For å møte denne utfordringen, anbefales en todelt angrepsvinkel; på kort sikt utvikle 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 fra 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 lengre sikt er dette er ingen holdbar situasjon. Således er det meget positivt at norske universiteter nå etablerer attraktive **utdanningsløp i nanoVT**. Det nevnes i den forbindelse at søkningen til studieprogrammet i nanoteknologi ved NTNU i 2006 er meget oppløftende, noe som gir styrke til spådommene om at nanoVT kan bli morgendagens rekrutteringsargument for studenter til realfag, slik romferd var det tilbake på 60- og 70-tallet [Norges forskningsråd 2005]. Således støttes sterkt det arbeidet som gjøres med å bygge opp utdanningsløp innen nanoVT i Norge. Effekten av dette vil imidlertid først komme på PhD-nivå om 5-8 år, på postdoktor-nivå ytterligere 3 år senere. Det legges til at også for nanoVT er det absolutt påkrevd å øke rekrutteringsbasen til realfag i UoH-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 innen utdanning i de tradisjonelle disiplinene (matematikk, fysikk, kjemi, biologi).

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

Formidling og dialog

Mål: Gi befolkningen et balansert bilde av muligheter, utfordringer og eventuelle 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, da dette kan gjøre det vanskelig eller umulig å innføre ny teknologi, uavhengig av nytteverdi for samfunnet. En god formidlingsstrategi kan på den annen side

forbedre rekrutteringen til naturvitenskapene, og også gjøre det lettere å få industrien på banen. En rekke av de etiske og samfunnsrelaterte aspektene som berøres, vil også klargjøres ved en god dialog med befolkningen.

Det anbefales derfor at Forskningsrådet oppretter en nasjonal formidlingsstrategi for realfag og teknologi. Denne bør blant annet ha til formål 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 uholdet 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.

Det er påkrevd at de etiske, juridiske og samfunnsmessige utfordringene som er beskrevet i avsnitt 1.5, blir fulgt opp på alle nivåer i satsingen. Det forutsettes allerede at slike aspekter ved et prosjekt har 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 – dette er særlig viktig ved utvikling av kommersielle produkter. Det foreslås også at det knyttes kompetanse for etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter ved nanoVT i tilknytning til de nasjonale infrastruktursentrene 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 lyses ut rene prosjekter innen ELSA. Det bør også arbeides for å samordne faglig aktivitet innen etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter med lignende aktiviteter hos tilgrensende områder (i første rekke bioteknologi og IKT). Dette bør kunne føre frem til et nasjonalt senter for slik kompetanse. Et slikt senter 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.

3.5. Budsjettforslag

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

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

Figur 9. 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 nullvekst-forslaget. Annen virksomhet innen Nytt nanoprogram utover nanoVT (ca. 50 Mkr/år) er ikke inkludert i tabellen. Midler til tilgjengelighet gjelder for de nasjonale infrastruktursentrene. Investeringer inkluderer fornyelse og innkjøp av nytt vitenskapelig utstyr til nanoVT (særlig verktøyplattformer).

Arbeidsgruppen anbefaler en betydelig og langsiktig satsing på nanoVT, noe som anses å kunne være et viktig forskningselement knyttet til det nasjonale målet om å oppnå 3 % av BNP til forskning. NanoVT forventes på sikt å kunne stimulere næringslivets investeringer i FoU, noe som anses viktig for å kunne nå de overordnede nasjonale forskningsmål. 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 Mkr i 2004 til 600 Mkr i 2010, hvorav opptrappingen i regi av NANOMAT er fra 150 Mkr i 2007 til 250 Mkr i 2010.

Arbeidsgruppen finner anbefalingene i foresight studien realistiske og påkrevd. Det foreslås en totalramme for den nasjonale satsingen på nanoVT gjennom Forskningsrådet på 140 Mkr i 2007, jevnt økende i en oppbyggingsfase til 250 Mkr fra og med 2011 (prisjusteres). Det bør klart signaliseres at satsingen er langsiktig, med en varighet på minst 10 år fra 2007. Det synes svært sannsynlig at satsingen bør videreføres også etter den tid, med uforminsket eller økende styrke.

Tallene i Figur 9 er brutt ned på områder og tiltak etter skjønn. Den eksakte dimensjonering (basert på strategiske beslutninger, kvalitetsvurderinger osv) bør treffes av Forskningsrådet. De angitte tall reflekterer de prioriteringer som er foretatt i strategiarbeidet, og antyder ønsket nivå for de forskjellige virkemidlene.

Selv om forskningsinstitusjonene har gjort betydelige prioriteringer mot nanoVT de senere år, er investeringsbehovet for nanoVT-verktøy fremdeles svært høyt. Dette gjelder såvel nytt dedikert utstyr, kapasitetsoppbygging for å dekke nasjonale behov og etter hvert også fornyelser. Det foreslås avsatt 50 Mkr/år i oppbyggingsfasen, minkende til 40 Mkr/år i 2016. Avskrivningstiden for deler av utstyret er kort, noe som nødvendiggjør anselige midler til fornyelse.

Midler for å gi forskere tilgang til avansert utstyr og tjenester ved de nasjonale infrastrukturentrene og fra verktøyplattformene medfører at disse tiltakene må organiseres og koordineres. Det forutsettes her at utgifter til generell drift av infrastrukturentrene dekkes gjennom andre støttetiltak (Forskningsrådet, egen bidrag). Arbeidsgruppen er kjent med at prosesser pågår med mål om avklaring av driftstøtte til de tyngste laboratoriene. Det foreslås en viss opptrapping (fra 20 til 30 Mkr/år), dels på grunn av økende foretatte investeringer, dels økt etterspørsel fra forskningsmiljøer og industri. Beløpet må revurderes dersom 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, Figur 9, 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 rubriseres etter type virkemiddel: storprosjekter/"normale" prosjekter /individfinansiering. Den relative fordelingen (i %) foreslås å være 35/45/20 i 2007, modifisert til 50/35/15 i 2016. Det innebærer eksempelvis 3 storprosjekter á 8 Mkr i 2007, og 11 á 10 Mkr i 2016. Andelen av innovasjonsprosjekter blant disse forventes suksessivt å øke.

Det foreslås at ca. 70-80 % av midlene til nanoVT kanaliseres gjennom Nytt nanoprogram. De øvrige midler budsjettert til nanoVT fordeles gjennom andre virkemidler i Forskningsrådet. Det understrekes at de øremerkede midlene til nanoteknologi for tematiske prosjekter i de andre programmene/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 avsnitt 3.2.)

Det understrekes at nanoVT-satsingen må skje med friske midler, slik at forskning som f.eks. 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 i avsnitt 3.3, anbefales at Nytt nanoprogram samtidig 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 Mkr i 2007 til 250 Mkr 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 infrastrukturentere. Det vil ikke være rom for storprosjekter.

3.6. Råd til ulike aktører

Råd til Norges forskningsråd

Arbeidsgruppen har kommet frem til at en fokusert modell (avsnitt 2.3) er mest hensiktsmessig for satsingen i Norges forskningsråd:

- *Det anbefales at 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 dette er en utvidet og forsterket versjon av NANOMAT-programmet ("Nytt nanoprogram"). Dette vil innebære en håndgripelig endring av NANOMAT.*
- *Det foreslås en gjennomgang av organiseringene inklusive styrerepresentasjonen i dette programmet.*
- *En koordineringsgruppe for nanoVT bør opprettes, og ledes av Nytt nanoprogram.*
NanoVT er et relativt nytt felt med et langt tidsperspektiv.
- *Arbeidsgruppen foreslår en langsiktig satsing som varer minst 10 år fra 2007.*
Følgende virkemidler anbefales for nanoVT-satsningen:
- *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.*
- *Satsning på individbasert finansiering, spesielt rettet mot yngre forskere (internasjonale postdoktorer med repatrieringsbidrag, rekrutteringsstillinger, gjesteforskere,*

startpakker), for å sikre rekruttering og internasjonale kontakter.

- *Innføre virkemidler for innovasjon ved FoU-institusjonene som kan samarbeide med eksisterende industri eller føre til etablering av ny industri.*
- *Over tid styrke finansieringen av brukerstyrte innovasjonsprosjekter.*

Det er et økende behov for forskningsledelse både innen nanoVT og lignende 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 innen forskningsledelse, som kan tilbys forskere innen 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 3-5 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, nyoppstartede bedrifter). 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 lignende 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 med til å være med på å utforme planene.*

Råd til universitets-, høyskole- og instituttsektoren

Betydningen av nanoVT forventes å øke kraftig i omfang i årene som kommer, og vil påvirke utvikling av disipliner og tverrfaglige teknologier.

- *Det anbefales å ta steg allerede nå for å kunne utnytte den forventede utviklingen innen nanoVT til positivt å underbygge ny kunnskap og nye muligheter innen disipliner, teknologier og anvendt forskning.*
- *NanoVT representerer et nytt utviklingssteg innen 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 innen nanoVT, både vitenskaplig 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 innen nanoVT. Investeringene er ofte så kostbare at samordning av nanoVT infrastruktur er nødvendig.

- *Det anbefales at institusjonene tar 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..*
- *De største utdanningsinstitusjonene bør utvikle og videreutvikle studieprogrammer innen 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 innen etiske, juridiske og samfunnsmessige aspekter (ELSA) innen nanoVT bør ses i sammenheng med andre teknologiområder som IKT, bioteknologi og kognitiv forskning.

Det bør etableres aktiviteter innen ELSA som dels integreres i den øvrige virksomheten. Samarbeid med

grupper som forsker innen disse temaene i andre teknologiområder, bør styrkes.

Råd til departementene

Forskningsrådets totale satsing innen 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 hvorledes material- og nanoVT vil være utløsende for ny vitenskap, fremskritt innen 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 innen EUs forskningsprogrammer.

For å kunne utnytte forventede fremskritt som følger av nanoVT og dens tverrfaglige inngripen i disipliner og andre teknologier, anbefales herved

- *en total økonomisk ramme for satsingen innen nanoVT på 140 Mkr/år fra 2007, jevnt økende til 250 Mkr/år i 2011 og 280 Mkr./år i 2016. Midlene til faglige aktiviteter innen 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 bevilningsgrunnlag 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, er det avgjørende viktig at ressurser disponeres i henhold til en helhetlig, ambisiøs plan.

- *Vi anbefaler at den foreslåtte tverrdepartementalt oppnevnte gruppen 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 innen 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 innen 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, 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 innen nanoVT. Den tverrdepartementale gruppen nevnt over, kan tildeles et slikt oppdrag.*

Råd til næringslivet

Satsingen innen nanoVT har en langsiktig karakter. Ny teknologi, komponenter og materialer av betydelig kommersiell og industriell interesse vil suksessivt følge av utviklinger innen 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 framstilling 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 prosesser og innretninger ("devices", inkludert katalysatorer, sensorer, mikrosystemer og målesystemer) vil etter hvert bli mer kommersielt interessante. Industrier innen disse områdene vil kunne høste konkurransemessige fordeler om man tidlig kan treffe antagelser om 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 innen 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 innen sitt viktigste strategiske teknologiområde. Samarbeid med norske FoU-miljøer bør tilstrebes.*
- Som motytelse for at industrien skal få tilgang til den nasjonale infrastrukturen innen nanoVT, bør industrien delta med investeringer og ekspertise i oppbyggingsfasen.*

Ordliste

basisdisipliner de grunnleggende fagdisiplinene fysikk, kjemi, biologi osv.

biokompatibel som kan samvirke med biologisk vev

biomimetisk som etterligner eller ligner på metoder eller systemer i naturen

bionanoVT nanovitenskap og nanoteknologi basert på eller innrettet mot biologi og medisin

BIA brukerstyrt innovasjonsarena, virkemiddel i Norges forskningsråd

BIP brukerstyrte innovasjonsprosjekter, virkemiddel 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

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

genomikk studiet av en organismes genom

FUNMAT norsk strategisk samarbeid og nasjonal satsing innen funksjonelle materialer, 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 det å sette fart i eller sinke kjemiske reaksjoner

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 nanometer-nivå

behovsdrevet motivert fra anvendelser, brukes om forskning initiert av næringsliv eller samfunn

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.nanomat.no

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
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
UoH universiteter og høyskoler
VT vitenskap og teknologi

Referanser

- Altmann, Jürgen, *Nanotechnology and Preventive Arms Control*, 2005. Deutsche Stiftung Friedensforschung, www.bundesstiftung-friedensforschung.de.
- Cientifica, *Nanotubes for the Composite Market*, 2005.
- CORDIS Thematic Supplement, *Exploring the nano-world*, Issue 22, March 2006. <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.
- ETC Group, *A tiny primer on nano-scale technologies and "the little bang theory"*, 2005. www.etcgroup.org.
- European Commission, *Nanotechnology, Innovation for tomorrow's world*, 2004. 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). <http://www.cordis.lu/nanotechnology/nanomedicine.htm>.
- European Commission, *Some Figures about Nanotechnology R&D in Europe and Beyond*, 2005(d). <http://cordis.europa.eu.int/nanotechnology>.
- European Commission, *Looking forward to FP7*, Industrial Research Sept. 2005(e). <http://www.europa.eu.int>.
- FUNMAT, *Et manifest om Nanoteknologi*, 2005. www.funmat.no.
- FUNMAT, *Funksjonelle Materialer: Veien mot 2020*, 2006. <http://www.funmat.no/>.
- Irish Council for Science, Technology & Innovation, Statement on Nanotechnology, 2004. <http://www.forfas.ie/icsti/>
- The Institute of Nanotechnology, *Road Maps for Nanotechnology in Energy*, 2005. www.nanoroadmap.it
- Intel, <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
- Malsch, Ineke, *International Societal Potential of Nanotechnology*, talk at NanotecForum 22 June 2005(b), Stockholm, Sweden. 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.
- Morrison, Mark (Editor), *European Nanotechnology Infrastructure and Networks*, 2005. A Nanoforum report, www.nanoforum.org.
- Nanoforum, *Nanotechnology in the Nordic Region, An introduction*, 2003. www.nanoforum.org.
- Nanoforum Energy Report, *Nanotechnology helps solve the world's energy problems*, 2004. www.nanoforum.org.
- Nanotechproject, 2006. <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. <http://www.nistep.go.jp/>.
- National Nanotechnology Initiative, 2001. 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. <http://www.nistep.go.jp/index-e.html>.
- Norges forskningsråd, *Avanserte materialer Norge 2020, Sluttrapport fra et foresight-prosjekt*, 2005. www.forskningsrådet.no.
- Norges forskningsråd, *Energi 2020+, Sluttrapport fra et foresight-prosjekt*, 2005(b). www.forskningsrådet.no.
- Norges forskningsråd, *Havbruk 2020, Grensesprengende – hvis ... En foresightanalyse* 2005(d). www.forskningsrådet.no.
- Norges forskningsråd, *Det norske forsknings- og innovasjonssystemet – statistikk og indikatorer*, 2005(e). www.forskningsrådet.no.
- Norges forskningsråd, *Nanoteknologier og nye materialer: Helse, miljø, etikk og samfunn, Nasjonale forsknings- og kompetansebehov*, 2005(f). www.forskningsrådet.no.
- Norges forskningsråd, *MNT-strategien*, 2006. www.forskningsrådet.no.
- Norges Forskningsråd, *Avanserte materialer Norge 2020, Vedlegg I: Materialforskning i Norge*, 2006. www.forskningsrådet.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.

- Senter for materialvitenskap og nanoteknologi, Universitetet i Oslo, *SMNano*, 2006. 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.
- Universitetet i Oslo, *Nanotechnology at the University of Oslo*, 2004.
- Universitetet i Oslo, *Strategiplan nanoteknologi 2005-2010*, 2005. www.uio.no.
- US National Science and Technology Council, *National Nanotechnology Initiative, Strategic Plan*, 2004. <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. <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.
- Utdannings- og forskningsdepartementet, Stortingsmelding nr. 20, *Vilje til forskning*, 2005.
- van Rheenen, Arthur D., *Nanoteknologi - En innføring*, 2005. FFI rapport, www.ffi.no.
- VDI/VDE - Innovation und Technik GmbH, *Impact of Nanotechnology in Health and Medical Systems*, 2005. www.nanoroadmap.it
- Videnskabsministeriet i Danmark, *Teknologisk fremsyn om dansk nanovidenskab og nanoteknologi, Handlingsplan*, 2004. www.teknologiskfremsyn.dk.
- Willems & van den Wildenberg (W&W), *Materials roadmaps*, 2005. www.nanoroadmap.it

Vedlegg 1. Norsk kompetanse i nanoVT.

Norske aktører innen nanoVT innen UoH- og instituttsektor kan rangeres etter den aktivitet de har i dag i forhold finansieringen fra Norges forskningsråd, samt industritilknytning koplet opp relevante satsingsområder ifølge kap. 3.1 i strategien foran. Grovt sett gjelder følgende:

Type aktører	Finansiering fra Norges forskningsråd til FoU innen nanoVT (enten direkte eller gjennom industripartnere)	Industritilknytning innen nanoVT
Store	Fra omfattende til meget omfattende	Fra stor til meget stor
Mellomstore	Fra mindre til omfattende	Fra middels til stor
Mindre	Fra null til mindre	Fra liten til middels

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 for antall forskere innen nanoVT totalt er vanskelig å anslå.

Aktørene er det følgende listet alfabetisk i hver kategori. Beskrivelsene er for en stor del basert på innspill fra institusjonene, og er ikke egnet til direkte sammenligninger mellom aktivitetsnivået.

Store aktører

Hvem	Beskrivelse
Institutt for energiteknikk (IFE)	<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. Forskningen omfatter følgende områder innen nanoVT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nanostrukturerte materialer. • Komplekse og myke materialer, fluider. • Selvorganisering av nanopartikler. • Målsøkende nanomaterialer som sporstoffer og innen korrosjonshibisjon og overflatemodifikasjon.
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)	<p>Forskningsaktiviteten innen nanoVT ved NTNU dekker en stor bredde; teoretisk og eksperimentell virksomhet samt fundamental og anvendt aktivitet. Den største aktiviteten foregår ved Fakultet for naturvitenskap og teknologi og Fakultet for informatikk, matematikk og elektronikk, men det er også aktivitet ved Det medisinske fakultet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi samt Det historisk-filosofiske fakultet (etikk). NTNU NanoLab, som ble etablert i 2004 etter anbefaling fra en internasjonalt sammensatt utredningskomite [NTNU 2003], har som mål å etablere et tverrfaglig forskningsmiljø i NanoVT for forskere innen feltene fysikk, kjemi, biologi, elektronikk, materialteknologi og medisin. NTNU NanoLab fokuserer på fire prioriterte områder for forskning innen nanoVT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nanoelektronikk, nanofotonikk og nanomagnetisme • Nanostrukturerte materialer • Bionanoteknologi • Nanoteknologi for energi og miljø <p>NTNU NanoLab etablerer også state-of-the-art laboratorieinfrastruktur inklusive renrom for nanoVT syntese ved hjelp av kjemiske, fysikalske og biologiske metoder samt avansert karakterisering. Første byggetrinn er ferdig mai 2006. NanoVT er også en betydelig aktivitet innen NTNUs tematiske satsingsområder, Materialer, Medisinsk teknologi, Informasjons- og kommunikasjonsteknologi samt Energi og petroleum – Ressurser og miljø.</p>

<p>SINTEF</p>	<p>SINTEF har hovedsakelig sine aktiviteter innen nanoVT i to enheter: SINTEF Materialer og kjemi og SINTEF IKT. SINTEF ser mulige markeder i nanoVT både på produksiden, innen forskning og utvikling samt teknologiformidling. Viktige lenker med NTNU gjennom NTNU NanoLab og UiO gjennom MiNaLab gjør at SINTEF også er en viktig aktør i grunnleggende forskning og bringer SINTEF også i inngrep med sentral infrastruktur.</p> <p>SINTEFs strategirapport om nanoVT [SINTEF 2004] peker på følgende sentrale områder innen nanoVT for SINTEF:</p> <ul style="list-style-type: none"> • nanopartikler med spesielt fokus på kontrollert frigjøring av komponenter og belegg • nye, smarte materialer, med spesielt fokus på katalyse • sensorer basert på mikro-/nanosystemteknologi (inkludert biosensorer). <p>Det oppfordres i SINTEFs strategirapport spesielt til å lete etter biorelaterte anvendelser, spesielt muligheter innen nanomedisin og biosensorer, hvor det er også påbegynt en god del aktiviteter allerede.</p> <p>SINTEFs aktiviteter innenfor nanoVT er mangfoldige og omfatter både grunnleggende og spesielt anvendt forskning:</p> <ul style="list-style-type: none"> • organiske og uorganiske polymersystemer • porøse og ikke-porøse partikkelsystemer • membraner • nanostrukturerte materialer • karbonnanorør og -fibre • beleggteknikker • kjemisk funksjonalisering og strukturering av overflater • nanodeviser og sensorer basert på silisium teknologi (MEMS/NEMS) • integrasjon av funksjonelle materialer i MEMS/NEMS • funksjonalisering av overflater og nanoporøse membraner; • nanofotoniske og nanooptiske devicer <p>SINTEF legger også vekt på HMS og etikk, både som selvstendige områder og som en integrert komponent i nanoteknologiprojekter og - aktiviteter.</p>
---------------	---

<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"> • energiteknologi • miljø- og prosess teknologi (inklusive olje og gass) • IKT (inklusive mikrosystemer) • biomaterialer og medisinsk teknologi • etikk <p>Spesifikt for SMN beskrives fem satsingsområder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energi, miljø og prosess: Katalyse i nanovolum og på nanopartikler • Nanostrukturerte materialer: Design og fremstilling av nanostrukturer • Generisk kompetanse: Funksjonelle overflater • Generisk kompetanse: Mesoskopisk fysikk • Anvendelser: Nanokomponenter og nanosensorer
--	--

Mellomstore aktører

Hvem	Beskrivelse
Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI)	<p>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.</p> <p>(nanoVT-forskningen dekkes direkte fra Forsvarsdepartementet)</p>
Høgskolen i Vestfold (HiV)	<p>HVE bygger opp et eget institutt innen Mikrosystemteknologi (IMST). HVE tilbyr utdanning av ingeniører innen mikrosystemteknologi og nanoteknologi på bachelor- og masternivå, og utdanning på doktorgradsnivå i samarbeid med Universitetet i Oslo og andre utvalgte universiteter og forskningsinstitutter med fokusert satsing innen mikro-nano-teknologi (MNT). Den største delen av forskningen ved HVE er tilpasset samarbeidende bedrifters behov på mellomlang og lang sikt. Metoder for miniatyrisering, byggeteknikker for mikrosystemer og mikrosystemer for medisinske anvendelser er viktige satsingsfelt.</p> <p>Materialteknologiene som inngår i satsingen, omfatter blant annet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mikro- og nanostrukturering av silisium for bruk i sensorer og aktuatorer • Overflatebehandling av mikromekaniske strukturer for å øke mikrosystemers yteevne • Tynnfilmteknologier og miniatyriserte multilags-ledningssystemer • Bruk av biokompatible materialer for kapsling av biomedisinske mikrosystemer • Materialer og metoder for bygging av 3D heterogene mikrosystemer <p>Den komponentorienterte satsingen omfatter:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensorer for trykk, ultralyd og bevegelse • Mikroelektrooptiske komponenter • Mikroenergikilder for høsting og lagring av energi • Mikro-nano-teknologi for bioteknologi og medisin (BioMEMS) <p>HVE satser på egne laboratorier for bygging, testing og karakterisering av mikrosystemer, og vil gjennom dette også bli en viktig aktør innen utprøving av MNT for nye typer komponenter og mikrosystemer. Fra 2006 er HVE er vertsinstusjon og prosjektleder for "Norwegian Centre of Expertice – Microsystems" på vegne av 13 IKT/Mikrosystem bedrifter. Utnyttelse av nanoteknologi innenfor IKT/mikrosystemer er en naturlig og viktig del av denne satsingen.</p>
Papir- og fibrerinstituttet (PFI)	<p>PFI har omfattende aktiviteter på nanostrukturete 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>

Universitetet i Bergen	<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 samt Institutt for biologi, Institutt for indremedisin og klinisk odontologi.</p> <p>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 MNOK i denne perioden. Prosjektene faller innenfor fire områder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bionanoteknologi • Nanostruktureerte funksjonelle materialer • Fundamental/modelleringsbasert nanovitenskap • Nanoetikk
Universitetet i Tromsø (UiT)	<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 medisiner ("drug delivery").</p>

Mindre aktører

Hvem	Beskrivelse
Norges geologiske undersøkelser (NGU)	FoU innen naturlig forekommende nanostruktureerte materialer og anvendelse av disse
Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB)	Institutt for plante- og miljøfag ved UMB har kompetanse innen partikkeldeteksjon, økotoxikologi og etiske vurderinger av ny teknologi.
Universitetet i Stavanger (UiS)	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.
Universitetsstudiene på Kjeller (UNIK)	FoU innen optikk, der nanoVT benyttes for å lage fremtidens optiske sensorer (bedre og billigere). Samarbeid blant annet med UiO

Øvrige aktører

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

Internasjonal konkurransevne i forhold til EU

EUs 7. rammeprogram for forskning, teknologiutvikling og demonstrasjonsaktiviteter vil i løpet av året iverksettes. Mange av institusjonene ovenfor vil med utgangspunkt i sin kompetanse innen nanoVT ha gode muligheter til å konkurrere om og oppnå prosjektstøtte innen mange av de tematiske aktivitetene:

- Nanovitenskap, nanoteknologi, materialer og nye produksjonsteknologier
- Energi
- Informasjons- og kommunikasjonsteknologi
- Helse
- Mat, landbruk og bioteknologi
- Miljø (inkl. klimaendringer)
- Transport (inkl. romfart)
- Sosioøkonomiske aspekter og humanisme
- Sikkerhet og romforskning

I EUs 6. rammeprogram har de norske FoU-miljøene innen nanoVT fått bevilget midler til mange prosjekter, spesielt innen de tre første tematiske aktivitetene.

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](#) 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 og behov og forutsetninger, bør være internasjonal 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 i avsnitt 3.1. 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 avsnitt 3.1, utgjør de prioriterte områdene i denne strategien.*
3. Tiltak for å bedre rekrutteringssituasjonen innen 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 innen profesjonsfagene. *Det er foreslått et knippe virkemidler for å bedre rekrutteringen. Dette er diskutert i avsnitt 2.4, og anbefalte tiltak er listet i 3.2 og 3.4.*
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 i 2.2, og anbefalinger er gitt i 3.2.*
5. Tiltak for økt mobilitet av norske forskere, både nasjonalt og internasjonalt, og tiltak for økt internasjonalisering. *Dette er diskutert i 2.2, og anbefalinger er gitt i 3.2 og 3.4.*
6. Tiltak for økt næringsvekst i relevante industrisektorer i Norge, basert på økt samhandling mellom UoH- og instituttsektoren og næringslivet. *Innovasjon og næringsutvikling er drøftet i 2.2, og anbefalte tiltak er gitt i 3.2 og 3.4.*
7. Forskningsledelse og aktuelle tiltak for videreutvikling og forbedring av dagens situasjon. *Forskningsledelse er diskutert i 2.2, og anbefalinger er gitt i 3.2.*