

Nanoteknologier og nye materialer: Helse, miljø, etikk og samfunn

Nasjonale forsknings- og kompetansebehov

 Norges forskningsråd | Store programmer

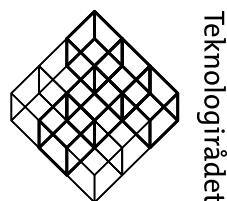


Nanoteknologier og nye materialer: Helse, miljø, etikk og samfunn

*Nasjonale forsknings- og
kompetansebehov*

En utredning utført av en uavhengig arbeidsgruppe
oppnevnt i samarbeid mellom Norges forskningsråd,
Den nasjonale forskningsetiske komité for
naturvitenskap og teknologi og Teknologirådet

 **Norges forskningsråd**



FORSKNINGSETISKE KOMITEER

NENT Den nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap og teknologi

© **Norges forskningsråd 2005**

Norges forskningsråd
Postboks 2700 St. Hanshaugen
0131 OSLO
Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01
Publikasjonen kan bestilles via internett:
<http://www.forskningsradet.no/> Gå til publikasjoner
eller grønt nummer telefaks: 800 83 001

Internett: bibliotek@forskningsradet.no
X.400: S=bibliotek;PRMD=forskningsradet;ADMD=telemax;C=no;
Hjemmeside: <http://www.forskningsradet.no/>

Grafisk design omslag: Making Waves as
Layout omslag: Design et cetera AS
Foto/ill. omslagsside: Piotr Rotkiewicz
Trykk: TS Trykk AS
Opplag: 1000

Oslo, feb 2005
ISBN trykt utgave 82-12-02092-4
ISBN elektronisk utgave (pdf) 82-12-02093-2

Forord

Nanoteknologi er blant de raskest voksende forskningsområder i det 21. århundret, ved siden av bio- og genteknologi. Nanoteknologi kan defineres som:

Nye teknikker for syntese og bearbeiding, herunder flytting av og bygging med naturens byggesteiner (atomer, molekyler eller makromolekyler), for intelligent design av funksjonelle materialer, komponenter og systemer med attraktive egenskaper og funksjoner og hvor dimensjoner og toleranser i området 0,1 til 100 nanometer (nm) spiller en avgjørende rolle.

Nanoteknologi er tverrfaglig og omfatter fysikk, kjemi, biologi, molekylærbiologi, medisin, elektronikk, IKT og materialvitenskap. Siden nanoteknologien er tverrfaglig, vil vi ofte i denne rapporten henvise til nanoteknologi i flertall. Allerede i dag representerer de forskjellige nanoteknologier mange goder, og vil også gjøre det i fremtiden. Men det er også knyttet usikkerhet til utviklingen.

Norges forskningsråd har gjennom sitt NANOMAT-program oppnevnt en arbeidsgruppe for å utrede nasjonale forsknings- og kompetansebehov knyttet til etiske, samfunnsmessige og HMS- (helse, miljø og sikkerhet) aspekter ved nanoteknologi og nye materialer. I utredningen har en generell føre-var-tilnærming vært vektlagt, sammen med eventuelle internasjonale komparative forskningsfortrinn for Norge.

Norges forskningsråd har gjennomført utredningen som et forprosjekt og har hatt programleder Dag Høvik som oppdragsleder. Prosjektet har vært organisert i en uavhengig arbeidsgruppe og en uavhengig referansegruppe.

Arbeidsgruppen er etablert i fellesskap mellom Den nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap og teknologi (NENT), Teknologirådet og Forskningsrådet. Professor Bent Natvig, leder av NENT, har vært leder av arbeidsgruppen. Seniorforsker Morten Bremer Mærli, Norsk utenrikspolitisk institutt, som også er medlem av NENT, har vært innleid som sekretær.

Medlemmer til referansegruppen er utpekt av Forskningsrådet i samråd med arbeidsgruppen. Referansegruppen har sørget for en kvalitetssikring og forankring av studien i relevante nasjonale fagmiljøer og organisasjoner.

Utredningen er gjennomført i perioden september-desember 2004, og inngår som del av bakgrunns materialet for Forskningsrådets fremtidige utlysninger av midler knyttet til etiske, samfunnsmessige og HMS-aspekter ved nanoteknologi og nye materialer. Rapporten vil også være sentral ved evaluering av slike forskningsprosjekter, og dessuten bli brukt som et innspill i Forskningsrådets pågående Foresight-studie innen materialteknologi og nanoteknologi. Mandatet for arbeidsgruppen er presentert i Appendiks 1.

Arbeidsgruppens sammensetning

Professor Bent Natvig, Matematisk institutt, UiO (leder)
Professor Torben Hviid Nielsen, TIK-senteret, UiO
Postdoktor Anne Ingeborg Myhr, Norsk institutt for genøkologi, UiTø
Sekretariatsleder Tore Tennøe, Teknologirådet
Førsteamanuensis Roger Strand, Senter for vitenskapsteori, UiB
Førsteamanuensis Bjørn Myskja, Filosofisk institutt, NTNU
Førsteamanuensis Magnus Rønning, Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
Seniorforsker Morten Bremer Mærli, Norsk utenrikspolitisk institutt (sekretær)

Referansegruppens sammensetning

Professor Matthias Kaiser, Sekretariatsleder NENT
Professor Bengt Gunnar Svensson, Fysisk Institutt, UiO
Sjefsforsker Duncan Akporiaye, Materialer og kjemi, SINTEF
Medisinsk direktør Olav Flaten, GlaxoSmithKline
Senior Research Engineer Fabrice Lapique, Det norske Veritas
Professor Jon Bing, Institutt for rettsinformatikk, UiO
Spesialrådgiver Torstein Pedersen, Forskningsrådet
Seniorrådgiver Helge Rynning, Forskningsrådet

I tillegg til sin rolle i referansegruppen, har professor Jon Bing bidratt med skriftlige innspill til utredningsrapporten vedrørende tematikkens rettslige aspekter.

Konsulent Agnes Aune i Forskningsrådet har tatt seg av løpende oppgaver for de to gruppene.

Forskningsrådet vil gjerne takke alle deltagere i dette arbeidet for en målrettet innsats, som har ført til denne omfattende rapporten i løpet av meget kort tid. Uten et stort engasjement fra medlemmene i arbeids- og referansegruppene hadde ikke så mye blitt oppnådd. Og vi vil rette en spesiell takk til arbeidsgruppens leder, professor Bent Natvig, for en positiv innstilling allerede fra vår første henvendelse, og til prosjektsekretæren, seniorforsker Morten Bremer Mærli, for meget raskt og grundig utført arbeid.

Forskningsrådet vil legge rapporten fram på et åpent møte senvinteren 2005, og på vårparten be om innspill til prosjekter basert på utredningen og hva som fremkommer på det åpne møtet.

Oslo, februar 2005
Norges forskningsråd

Karin Refsnes
divisjonsdirektør

Innholdsfortegnelse

Rapportsammendrag	7
Nanoteknologier - muligheter og usikkerheter	7
Kapittel 1: Introduksjon	9
Hvorfor en slik utredning?	9
Utredningens struktur, innhold og målsetning	11
Kapittel 2: Nanoteknologier - status, utsikter og holdninger	13
Nanovitenskap og nanoteknologier	13
Den nanoteknologiske status	14
Bruksområder for nanoteknologier	17
Spesifikke fremtidige nanoanvendelser	18
Nanoteknologier og konvergerende vitenskaper	20
Forventninger til nanoteknologier	21
Nanoteknologier og regulering	24
Kapittel 3: Nanoteknologier og helse og miljø	25
Nanopartiklenes risikopotensial	25
Mulige direkte helseskader av nanopartikler	27
Mulige skadevirkninger av nanopartikler på miljøet og næringskjeden	29
Kapittel 4: Nanoteknologier og etikk	31
Forskningens og innovasjonens uforutsigbarheter	31
Uforutsette farer, risiko og føre-var-prinsippet	32
Forskning og forskningsformidling under press	33
Forskjeller mellom laboratorium og omverden	34
Nanoteknologier og personlig integritet	35
Nanoteknologier og fordelingsspørsmål	36
Nanoteknologier og krigens etikk	36
Etikk, samfunn og politikk	37
Kapittel 5: Nanoteknologier og offentlighet	38
Nanoteknologier og offentlig tilsyn	38
Involvering av lekfolk	39
Samspill mellom teknologi og samfunn	40
Medvirkningsprosjekter	42
Oppbygging av en samfunnsmessig dialog fra null	42
Kapittel 6: Nanoteknologier og nasjonale kompetansebehov	44
Kompetansebehov knyttet til nanoteknologier og etikk og samfunn	44
Kompetansebehov knyttet til nanoteknologier og helse og miljø	45
Kapittel 7: Utvidet forskning på nanoteknologier	47
Forskning, frihet og styring	47
Kommersielle hensyn og aktører	48
Enkeltforskernes roller	49
Forskningens fokus, organisering og bevilgninger	49
Nanoteknologier og etikk og samfunn: Aktuelle forskningsproblemstillinger	51
Nanoteknologier og helse og miljø: Aktuelle forskningsproblemstillinger	55
Litteraturoversikt	57
Utvalgt litteratur for videre lesing	59
Appendiks 1: Arbeidsgruppens mandat	61
Appendiks 2: NANOMAT-programmet	62
Appendiks 3: Nordisk nanoteknologiforskning	64
Danmark	64
Finland	64
Sverige	65
Norge	65
Appendiks 4: Nanoteknologiforskning i EU	66

Rapportsammendrag

Nanoteknologier - muligheter og usikkerheter

Nanovitenskap og nanoteknologier fremstår i dag som strategisk viktige forskningsområder med svært store industrielle og samfunnsmessige muligheter. Nanoteknologiene befinner seg på et eksplorativt og kreativt stadium. Dette gir anledning til mye spennende og relevant forskning og utviklingsarbeid.

Men i kjølvannet av en stadig økende satsing på nanoteknologier er det også knyttet usikkerhet til utviklingen, og til mulige negative helse- og miljøeffekter. Kvalitativt og kvantitativt nye risikoer kan oppstå. Dette betyr også nye forsknings- og kompetansebehov knyttet til nanoteknologier og helse, miljø, etikk og samfunn.

I dag er eksempelvis kunnskapen om nanomaterialenes mulige helse- og miljøeffekter ufullstendig. Nanopartikler er bare en liten del av nanovitenskapen, men partikkel-egenskaper som både forskning og industri er ute etter, kan være de samme egenskaper som gjør nanomaterialer til mulige helse- og miljøtrusler. Effektene av hybridssystemer, hvor nanoteknologi fjerner grenser mellom organisk og uorganisk materiale, eller grensene mellom fagfelt som nevrovitenskap og molekylær biokjemi, kan vi i dag sannsynligvis ikke overskue. Konvergensen av nanoteknologier, IT, bioteknologi og kognitiv vitenskap kan vise seg svært kraftfull, med vidtrekkende konsekvenser for den enkelte, så vel som på samfunnsnivå – med nye og ukjente etiske og rettslige rom.

Samtidig avhenger nanoteknologiernes fremtid av hvordan samfunnet reagerer, og på dagens og morgendagens forventninger til teknologien. Frykt og bekymring, som uunngåelig vil komme i takt med økende bruk av nanoteknologier, kan bare møtes med en åpen, kvalifisert og tilrettelagt debatt mellom ulike aktører. Dialogen mellom vitenskapelige miljøer og befolkningen generelt må unngå tidligere fallgruver, som eksempelvis den polariserte debatten om genmodifiserte organismer. Her kan unyansert informasjon og ufullstendige risikostudier ha medvirket til mistillit og høy grad av allmenn avvisning. For nanoteknologier, som for all teknologiutvikling, må dessuten verdivalg gjøres underveis.

Alle kjente aspekter ved nanoteknologiene må med andre ord opp og fram, basert på fri og uhildet forskning. Forskere bør i stor grad stå fritt til å utforske veier som åpner seg. Men de må også ta inn over seg et spekter av usikkerheter knyttet til nanoteknologier. Her kan tradisjonell risikoforskning være for begrensende i sitt nedslagsfelt, og føre-var-prinsippet bør bli styrende. Forskning og kompetansebygging på etiske, rettslige og samfunnsmessige aspekter kan være viktig for en helhetlig forståelse og overvåking av de store spørsmålene om hvorvidt og hvordan nanoteknologier er et felles gode, og hvordan teknologien best bør implementeres for å gagne flest og best. Etiske, rettslige og samfunnsmessige studier kan dessuten bidra til et fokus som er videre enn kun kommersielle og økonomiske aspekter, og danne grunnlaget for sunn forvaltningspraksis nasjonalt og internasjonalt.

Samtidig som den nasjonale nanoteknologiske forskningen bør spisses og utvikles videre, bør den med andre ord også utvides. Spesifikt er det behov for:

- Å øke bredden i den nasjonale nanoteknologiforskningen med integrerte analyser av etiske, rettslige og samfunnsmessige sider knyttet til teknologiutviklingen, samt studier av mulige helse- og miljøeffekter.
- Å legge til rette for tverrfaglighet, transparens og nye arenaer for offentlig og faglig dialog, nasjonalt og internasjonalt.
- Å sikre forskningsbevilgninger for etiske, rettslige og samfunnsmessige analyser samt for studier av mulige helse- og miljøeffekter. Bevilgningene må reflektere fagfeltets økende industrielle og forskningsmessige betydning.

En eksempelliste av aktuelle, utvidede forskningsproblemstillinger er presentert i kapittel 7.

Av totalmidlene innenfor Funksjonell genomforskning i Norge (FUGE), er nå tre til fem prosent øremerket satsinger innenfor etikk, samfunn og miljø. Dette er et nivå som etter hvert har blitt en internasjonal praksis for genomforskningen. Det bør satses på tilsvarende nivå i Forskningsrådets NANOMAT-program, gjerne med et eget delprogram.

Gitt vår nasjonale kombinasjon av teknologisk kompetanse og interesse for verdidebatt, er forskning på etiske, rettslige og samfunnsmessige sider ved nanoteknologier et felt hvor Norge kan komme til å bidra sterkt internasjonalt, forutsatt vilje og evne til felles, tverrfaglige forskningsinnsatser.

Kapittel 1: Introduksjon

Nanoteknologi er blant de raskest voksende forskningsområder i det 21. århundret, ved siden av bio- og genteknologi. EU, USA og Japan satser allerede milliardbeløp i kappløpet om å utvikle nye materialer og produkter med unike egenskaper, mer effektive medisiner og nanomaskiner. Også i Norge er satsingen økende. I 2002 konkluderte en internasjonal ekspertgruppe med at norsk forskning og industri har spesielle forutsetninger for å lykkes på en rekke nanoteknologiske områder.¹

Hvorfor en slik utredning?

All teknologi er utviklet med et øye til fremtiden. Den skal møte antatte behov, takle problemer eller skape nye markeder. Teknologisk innovasjon er nødvendig for å øke, eller i det minste sikre, vår levestandard og vårt levesett. Slik utvikling er med andre ord intendert og positiv. Men vitenskapelige og teknologiske fremskritt produserer som kjent ikke bare goder. Konsekvensvurderinger, risikoforskning og etiske refleksjoner springer alle ut av en erkjennelse av teknologiens mulige bivirkninger. For bioteknologi har forskere påpekt at de etiske dilemmaene ofte ikke blir klare før forskningen når en viss modenhet.² Nanoteknologiene er intet unntak i så måte. *Kanskje* snarere tvert i mot. Teknologien kan bringe med seg kvantitativt, så vel som kvalitativt, nye risikoer.

Spekteret av nanoteknologier representerer allerede i dag mange goder, og vil gjøre det i fremtiden. Men det er også knyttet usikkerhet til utviklingen og til mulige negative helse-, miljø-, og sikkerhetseffekter av nanoteknologier. Ulike eksperter har ofte forskjellige synspunkter på mulige konsekvenser. Det høye usikkerhetsnivået avslører i seg selv et utstrakt behov for forskning og kompetansebygging – behov som bør ledsages, og ideelt sett også styres, av en bred, offentlig debatt om forestående nanoteknologiske veivalg. Men samtidig kan befolkningens tidligere erfaringer med nye teknologier, herunder kjernekraft og bio- og genteknologi prege bildet. Nye, negative oppfatninger kan lett komme til å etableres, og den offentlige nanoteknologiske debatt trenger en utvidet (vitenskapelig) basis (Haller 2004).

Dagens usikkerhet knyttet til nanoteknologier opererer på flere plan. For det første utvikles stadig de nanoteknologiske prosessene på det atomære nivå for effektiv manipulerings. Det er videre knyttet usikkerhet til effektene av en slik manipulerings og hvordan dette kan påvirke helse og miljø. Nært knyttet til slike spørsmål, er en rekke etiske, rettslige og samfunnsmessige problemstillinger.

Når vi nå tar steget inn i hva noen miljøer anser å være en ny industriell revolusjon, er utfordringene og spørsmålene – de faktiske, så vel som de overordnet ideologiske – mange. Helse-, miljø-, og sikkerhetsaspekter relatert til nanoteknologier og nanovitenskap bringer oss raskt over i etiske, sosiale og juridiske sfærer. Eksempelvis kan tidlig identifisering og kurering av sykdommer være livsviktig. Men diagnostisering uten medisinsk evne eller samfunnsmessig vilje til behandling reiser klare dilemmaer. Samtidig kan dette ha uante konsekvenser for den enkeltes rettigheter og muligheter i

¹ Ekspertgruppen, som bistod i arbeidet med å utarbeide en programplan for Forskningsrådets NANOMAT-program, trakk særlig fram viktigheten av funksjonelle og nanobaserte materialer for energiteknologi, IKT, elektronikk og optikk. På sikt kan materialene dessuten få stor betydning for norsk næringsmiddelproduksjon og for olje- og gassvirksomhet. En beskrivelse av Forskningsrådets satsing på nanoteknologier er gitt i Appendix 2.

² Unni Steinsmo, SINTEF, i *Adresseavisen*, 23. oktober 2004.

arbeidslivet. Også forsikringsindustrien kan stå overfor nye utfordringer. Ikke så mye fordi erfaring viser at teknologiutvikling også gjerne fører til tap og tapsscenarier, men heller fordi kravene i kjølvannet av nanoteknologiene enten kan bli svært vanskelige eller umulige å vurdere korrekt (Lapique 2004, side 9).

Tradisjonelle risikoanalyser og deres etiske motsatser har klare begrensninger på grunn av den (iboende) uforutsigbarheten ved all teknologiutvikling.³ Vårt kunnskapsnivå er for begrenset og kompleksiteten for stor til at alle fremtidige konsekvenser kan overskues. Eventuelle forsøk på å skjule eller ignorere risikoen som er knyttet til innovative teknologier kan lett slå tilbake. I et åpent samfunn vil disse risikoene uunngåelig bli kjent, med nye – og muligens unødige – begrensninger for den videre teknologiutviklingen som resultat. Behovet både for åpenhet og for en føre-var-tilnærming kan med andre ord være stort, på alle nivåer. Dette gjelder også for industrien, som sannsynligvis selv har mye å tjene på en proaktiv holdning.

Risikooversjon påvirker dessuten våre handlingsvalg. Det kan derfor være behov for å forstå individuelle så vel som kollektive risikoopplevelser knyttet til ny teknologi. Beslutninger som innebærer større sannsynligheter for mindre alvorlige konsekvenser, foretrekkes ut fra risikooversjonsbetraktninger fremfor de med mindre sannsynligheter, men mer alvorlige konsekvenser. Dette argumentet forsterkes hvis det er større usikkerhet i sannsynligheter og konsekvenser i det siste tilfellet, og enda mer hvis de etiske problemer er mer åpenbare. Slik sett kan risikooversjon fortolkes som en aktiv anvendelse av føre-var-prinsippet (Aslaksen et al. 2004, side 6).⁴

Det er knyttet etiske problemstillinger til nanoteknologiske prosesser, prosedyrer, så vel som substans (EU Risk Workshop 2004, side 19). En viktig del av prosessen omkring nanoteknologier og deres utvikling er den offentlige dialogen. Dette fordi ulike interessenter har ulike perspektiver og fordi dagens store usikkerhetsnivå kan utfordre sunn forvaltningspraksis. Etiske prosedyrespørsmål kan inkludere forhold som allokering av forskningsmidler, evaluering av forskningssøknader og oppfølging og distribusjon av forskningsfunn. For nanoteknologi som for annen teknologi er det med andre ord behov for en konsis plattform, bygget på samfunnets grunnverdier.⁵ Samtidig kan det være spenninger mellom ulike verdier. En måte å behandle slike spenninger på er å gjøre disse tydelige for å skape en offentlig dialog om deres innbyrdes rangering (EU Risk Workshop 2004, side 20). For nanoteknologier som i samfunnet for øvrig, har ingen verdier eller normative prinsipper uendelig gyldighet. Disse vil alle måtte balanseres opp mot hverandre og opp mot øvrige relevante bekymringer og interesser.

Nanoteknologiene går altså til kjernen av en rekke sentrale spørsmål i vår samtid, knyttet til samfunns- og økonomiutvikling og behovet for innovasjon, til individuelle så vel som generelle risikobetraktninger om hvor mye vi kan og bør tåle, til rent etiske vurderinger av hva som er «rett og galt», i dag og i morgen. Nanoteknologiene bør videre sees i lys av ønsket om forsvarlig ressursforvaltning og bærekraftig utvikling. Listen av faktorer som taler for vurderinger av etiske, rettslige og samfunnsmessige

³ Wynne (1992) beskriver ulike former for usikkerhet man står overfor når man skal ta en beslutning.

⁴ Risikoanalyser vil her naturlig basere seg på subjektive sannsynligheter og såkalte Bayesianske metoder som utnytter ekspertvurderinger.

⁵ Slike verdier innebærer rettferdighet, forpliktelse til ikke å skade, respekt for individets egenart, forholdet til fremtidige generasjoner etc.

aspekter (forkortet *ELSA* på engelsk: *Ethical, Legal, and Social Aspects*) knyttet til nanoteknologier, er med andre ord lang.⁶

I sum kan ELSA-studier bidra til en helhetlig forståelse og overvåking av de store spørsmålene om hvorvidt og hvordan nanoteknologier er et felles gode, og hvordan teknologiene best bør implementeres for å gagne flest og best. Slike studier kan dessuten bidra til et fokus som er videre enn kun kommersielle og økonomiske aspekter, og kan danne grunnlaget for en sunn forsknings- og forvaltningspraksis nasjonalt og internasjonalt.

Utredningens struktur, innhold og målsetning

Denne rapporten om etiske, samfunnsmessige og miljømessige aspekter ved nanoteknologier og nye materialer skal reflektere dagens legitime mangfold og utfordringer. Den skal søke å etablere en første fellesnevner for tematikken og skal utrede nasjonale forsknings- og kompetansebehov. Tilsvarende studier er gjennomført internasjonalt. Utredningen vil inngå som del av bakgrunns materialet for Forskningsrådets fremtidige utlysninger av ELSA-midler knyttet til nanoteknologier og nye materialer, samt være sentral ved evaluering av slike forskningsprosjekter. Rapporten vil også bli brukt som et innspill i Forskningsrådets pågående Foresight-studie innen materialteknologi og nanoteknologier.

I utredningen er en generell føre-var-tilnærming vektlagt, sammen med eventuelle internasjonale komparative forskningsfortrinn for Norge. Spesifikt skal utredningen:

- Definere og (kort) diskutere saksfeltet
- Beskrive nasjonale kunnskaps-, kompetanse- og reguleringsbehov
- Peke på områder der det er behov for å bygge opp nasjonal kompetanse
- Formulere aktuelle forskningsproblemstillinger
- Antyde faktorer av viktighet for optimalisert forskning på feltet
- Identifisere internasjonale forskningsmiljøer, med vekt på nordiske, som Norge kan samarbeide med på feltet
- Gi en oversikt over sentrale internasjonale utredninger på feltet

Arbeidsgruppens mandat er gitt i Appendiks 1.

I det påfølgende kapitlet beskrives dagens nanoteknologiske kompetansenivå, eksisterende og fremtidige anvendelser og holdninger til denne teknologiformen, sammen med reguleringsaspekter. I kapitlene 3, 4 og 5 diskuteres henholdsvis helse- og miljøaspekter, etiske sider, og offentlighetsaspekter ved nanoteknologier. Diskusjonen danner grunnlaget for drøftingen i kapittel 6 av nasjonale kompetansebehov knyttet til nanoteknologier. Kapittel 7 diskuterer faktorer som kan innvirke på gode forskningsresultater, og konkluderer med forslag til utvidet nasjonal nanoteknologisk forskning.

⁶ *ELSA* vil beholdes som kortform for “etiske, rettslige og samfunnsmessige aspekter” gjennom hele utredningen.

Utredningen vil presentere flere spørsmål enn svar. Nanoteknologier er et lovende, men også komplekst område. Det er ikke denne utredningens målsetning å beskrive eller diskutere nanoteknologiernes muligheter og begrensninger per se. I stedet søker den å reise nye problemstillinger og nye forskningsfokus i kjølvannet av en ny, og muligens svært kraftfull, teknologi som er på full fart inn i våre hverdagsliv. Utredningen vil kun i begrenset grad ta opp ulike fagdebatter og synspunkter, men heller reflektere spekteret av usikkerhetsfaktorer knyttet til nanoteknologier, og hvordan vi, basert på sunn forskningspraksis og oppdatert kunnskap, bør forvalte både muligheter og usikkerheter på best måte – for det enkelte individ, så vel som på samfunnsnivå.

Kapittel 2: Nanoteknologier - status, utsikter og holdninger

De siste 50 års teknologiske utvikling har i stor grad vært betinget av vår evne til å bearbeide naturen i mindre og mindre skala. Datamaskiner er blitt mer effektive og hurtigere i takt med at vi ble i stand til å pakke mer og mer informasjon på mindre og mindre chips. Bioteknologi kan nå manipulere på nivå med genene selv. Nanoteknologier fører oss nå til en enda mindre målestokk – på atomets nivå.

Kapitlet gir en kort oversikt over det nanoteknologiske feltet. Innledningsvis, etter en kort begrepsavklaring, presenteres dagens nanoteknologiske status, og eksisterende og fremtidige bruksområder for nanoteknologier. Avslutningsvis diskuteres kort befolkningens holdninger til nanoteknologi, samt reguleringsaspekter.

Nanovitenskap og nanoteknologier

Nano er gresk for dverg. Den moderne forstavelse angir en milliarddel. En nanometer er således 1/1.000.000.000 av en meter, altså betydelig mindre enn det synlige for det menneskelige øyet, som normalt registrerer størrelser ned til ca. 10.000 nanometer. Et hårstrå er ca. 50.000 nanometer.

Nanoteknologier bygger på tradisjonell materialvitenskap, men begynnelsen til moderne nanovitenskap føres ofte tilbake til Richard Feynman og hans utsagn om at «there is plenty of room at the bottom» i desember 1959.⁷ Et avgjørende gjennombrudd for nanoteknologier kom imidlertid først sist på 1990-tallet, hvor ny laboratorieteknologi gjorde det mulig å bygge (og tenke) molekylære strukturer «bunn-opp» – og ikke bare som før, «topp-ned».

Det er foreslått en rekke definisjoner av nanoteknologier. Felles for disse er størrelses-skalaen som gjerne er fra sub-nanometer til noen hundre nanometer. Men nesten alle kjemiske forbindelser er innenfor denne lengdeskalaen. Nanoteknologier må derfor innebære noe mer enn kun størrelse. Spesifikt må nanostrukturer representere en spesiell form, geometri eller spesielle egenskaper. Tilsvarende må nanovitenskap og nanoteknologier representere en evne til å manipulere eller kontrollere egenskapene på denne skalaen.

Det er ikke uvanlig at nanovitenskap og nanoteknologier omtales som kun nanoteknologier. Det er vanskelig å definere et skarpt skille mellom de to, men det er generelt akseptert at nanovitenskap er studier av fenomener og teknikker, mens nanoteknologier omhandler design, produksjon og anvendelser av nanostrukturer. Slike strukturer representerer i dobbelt forstand en «magisk» grense. De er ikke bare mindre enn alle tidligere frembrakte strukturer, men også den minste størrelse hvor strukturene er stabile og solide. Nanostrukturer befinner seg derfor også ved den grense hvor kjente og gjenkjennelige karakteristika ved materialer (som hardhet, smeltepunkt, lederegenskaper etc.) erstattes av den atomære og molekylære verdens egenskaper. Motstanden og ledningsevnen bestemmes ikke lengre av Ohms lov.

Det er spesielt to egenskaper som blir fremtredende når materialer blir små nok til å falle inn under nanoteknologier: Nærværet av kvanteeffekter og en økning i spesifikt

⁷ Forelesningen er tilgjengelig på <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>

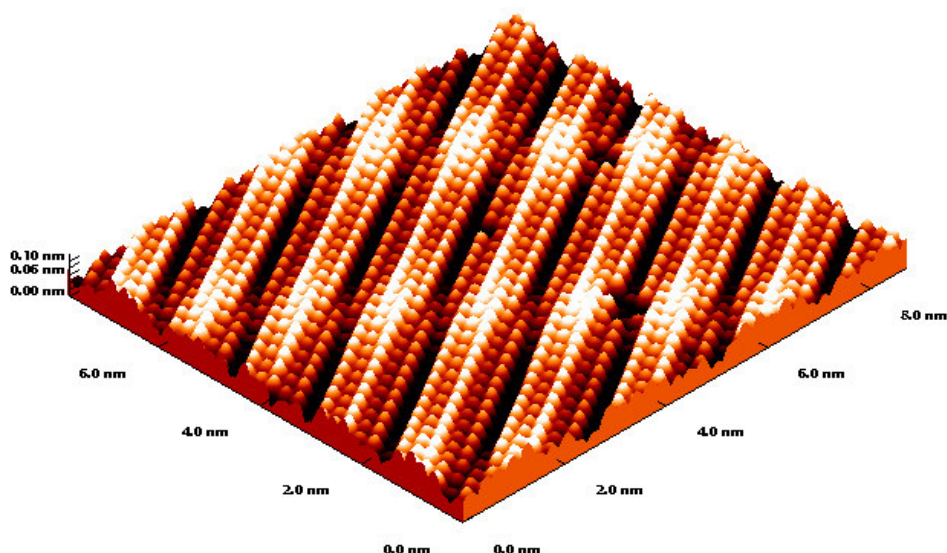
overflateareal. På grunn av størrelsen er nanostrukturer alltid i kontakt med omgivelsene (proximity effect). Det betyr at de kan påvirkes enten ved å manipulere nanostrukturene direkte eller ved å manipulere omgivelsene.

Den nanoteknologiske status

Nanoteknologier har etter hvert fått tallrike anvendelser. Det er en utbredt oppfatning at nanoteknologier oppstår som en følge av nanovitenskap. Men det er mange eksempler på at nanoteknologier og nanovitenskap utvikler seg parallelt, eller at teknologien kommer først uten en detaljert forståelse av mekanismene bak. Dette ser man spesielt eksempler på innen kjemi og materialteknologi.

Mer eller mindre veldefinerte nanopartikler har i flere tiår blitt produsert og anvendt i materialteknologi. Et eksempel er katalysatorer i kjemiske prosesser. Disse har tradisjonelt blitt fremstilt ved hjelp av prøving og feiling. Moderne karakteriserings-teknikker og fremstillingsmetoder har imidlertid gjort det mulig å produsere materialer med veldefinerte egenskaper. Nanoteknologiene er derfor ikke en ny teknologi og bør snarere ses på som en evolusjon enn en revolusjon.

Nye verktøy som elektronmikroskop og nanoprober har de siste tiårene gjort det mulig å observere og beskrive fenomen på nanoskala. De mest moderne transmisjonselektronmikroskop (TEM) har en oppløsning på under 0,1 nm. Siden atomer i materialer gjerne har innbyrdes avstand på ca. 0,2-0,3 nm er dette tilstrekkelig for å oppnå atomær oppløsning. Enda bedre oppløsning kan man oppnå med sveipetunneleringsmikroskop (STM) som vist i figur 1. Her kan man tydelig se elektronfordelingen til hvert enkelt atom i overflaten. STM og den beslektede teknikken AFM (atomic force microscope) er også i stand til å manipulere overflater og flytte atomer.



Figur 1: STM-avbildning av en platinaoverflate, fra Rønning (2000).

I prinsippet kan man altså bygge nanostrukturer med denne type instrumenter. Etter hvert som teknikkene har modnet, har vitenskapen utviklet seg til å gi en økt forståelse av prosessene. Dagens nanoteknologier omhandler i stor grad å ta steget fra å *beskrive* (forstå) fenomener/prosesser på nanonivå til å *mestre* disse prosessene:

Observere → Forstå → Mestre

Mestring av fenomener på nanoskala forutsetter teknikker som gjør oss i stand til å manipulere atomer og molekyler på denne skalaen. Nanofabrikkeringsteknikker deles gjerne inn i to grupper: «Bunn-opp» og «Topp-ned».

I «Bunn-opp»-fremstilling bygges strukturer atom for atom eller molekyl for molekyl. I denne kategorien finnes teknikkene kjemisk syntese, selvmontering og posisjonell montering. Av disse er posisjonell montering den eneste teknikken hvor man kan oppnå full kontroll på hvert enkelt atom.

Sveipeprobemikroskopi (SPM) er en teknikk som er i stand til å utføre posisjonell montering. SPM er en samlebetegnelse på STM og AFM. I disse teknikkene brukes vekselvirkningene mellom en ekstremt skarp spiss og en overflate for enten å produsere et topografisk bilde av overflaten (figur 1) eller for å flytte atomer rundt på overflaten. Dette prinsippet har blitt demonstrert blant andre av IBM, som laget sin firmalogo i atomær skala allerede i 1989.

I «Topp-ned»-fremstillingsprosesser starter man med et større materialemne og etser eller freser/skjærer til nanostrukturer ved å fjerne materiale fra utgangsemnet. Slike teknikker har blitt brukt i elektronikkindustrien i flere tiår for å produsere kretser og mikrobrikker. De mest brukte teknikkene er presisjonsskjæring og litografi. «Topp-ned»-teknikker gir rom for å produsere komplekse strukturer med høy funksjonsstabilitet. Ulempen er at de er energikrevende og gir mye avfallsprodukter sammenlignet med «Bunn-opp»-produksjon.

«Bunn-opp»- og «Topp-ned»-fremstillinger av nanomaterialer er i ferd med å konvergere. «Bunn-opp»-fremstilling er etter hvert i stand til å produsere relativt store, komplekse strukturer, mens presisjonen til «Topp-ned»-teknikkene er særlig egnet til å produsere svært små enheter. Noen anvendelser søker altså etter å lage mest mulig ordnede og perfekte strukturer på nanoskala. Dette kan gjelde for elektroniske og magnetiske anvendelser. Men i svært mange tilfeller er det nettopp defekter og uorden i partiklene og materialene som er drivkraften. Det er gjerne disse som er opphav til de unike kjemiske og fysiske egenskapene til nanomaterialer.

Kjemisk syntese er, med unntak av dagens elektronikk, foreløpig den eneste teknikken som egner seg til oppskalering til industrielt nivå. Den mest åpenbare oppgaven til fremtidige nanofabrikkeringsteknikker er å kunne produsere et stort antall nanoskala-enheter med høy presisjon og reproducerbarhet. Prosessene må i neste omgang kombinere nanoskalaenheter til storskala produkter. Det er ingen selvfølge at prosesser som er mulig å mestre på laboratorieskala enkelt lar seg oppskalere til industriell skala. Utfordringen ligger i å opprettholde kvaliteten på produktene ved et høyt antall parallelle prosesser. Det er derfor viktig at nanoteknologiene på et tidlig tidspunkt høster erfaringer fra den eksisterende prosessindustrien.

Det finnes ennå ingen omforent terminologi knyttet til nanomaterialer og nanoteknologier. Nanomaterialer og nanoteknologier kan kategoriseres enten ut fra deres anvendelsesområder, eller ut i fra deres spesifikke egenskaper. Ratner & Ratner (2002) deler nanomaterialer inn i: smarte materialer, sensorer, biomedisinske applikasjoner samt endelig optikk og elektronikk. Mer spesifikt kan nanoteknologiske materialklasser deles inn i høyoverflatematerialer, funksjonelle materialer, strukturelle materialer, polymerer, og biomaterialer.

SINTEF har etablert en systematisk oversikt over nanoteknologi, med henholdsvis partikulære, bulk og grenseflatesystemer, samt en diversekategori (tabell 1). I praksis vil det være overlapp mellom de ulike kategorier.⁸

Nanoteknologiske systemer			
Partikulære systemer	Bulksystemer	Grenseflate-systemer	Diverse

Tabell 1: Karakterisering av nanoteknologier, fra SINTEFs Strategigruppe.

Partikulære systemer fokuserer på fremstilling, håndtering, dispergering og anvendelse av nano-partikulære systemer (komponenter). Produktene kan være faste partikler (porøse, hule, inneholde innkapslede komponenter), gasspartikler, ulike typer nano-emulsjoner (flerfase væskesystemer) eller en kombinasjon av de ovennevnte typer (dispersjoner og suspensjoner). Systemene anvendes blant annet i overflatebehandling, funksjonelle væsker og partikler, katalyse, separasjon, diagnostikk, sensorer og i lagringsmedia.

Bulksystemer innbefatter alle former for nano-strukturering av komponenter (fiber, polymerer, krystaller osv.). I hovedsak er dette ofte faste stoffer av større dimensjoner, men kan også bestå helt eller delvis av nano-komponenter som er vesentlige byggesteiner og hvor disse gir bulk materialet helt unike egenskaper og nytteverdi. Dette kan være monolitter, porøse materialer, gass/væske i et fast stoff eller strukturering av faste stoffer i et bulkmateriale (legeringer, kompositter osv.). Systemene anvendes blant annet i katalyse, separasjon, adsorpsjon, funksjonelle materialer og komposittmaterialer.

Grenseflatesystemer (interface systems) innbefatter strukturering av og på grenseflater, og i og utenfor grenseområder. Det er her NEMS (Nano Electro Mechanical Systems) og MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) er lokalisert. Her er man opptatt av bygging av strukturer på overflater. Teknikkene har særlig relevans for miniaturiserte reaktorer og emulsjonsdannere, og innen nanoelektronikk, nanofotonikk og optikk.

Gruppen diverse i tabell 1 fokuserer på verktøysaktiviteter som ofte er nødvendige for å oppnå produkter med de rette egenskaper, som f.eks. modellering og karakterisering.

⁸ Fremstillingen i det følgende er basert på innspill fra Duncan Akporiaye, sjefsforsker ved SINTEF, desember 2004.

Bruksområder for nanoteknologier

Med nanoteknologier kan små enheter altså bygges opp, atom for atom – og struktur for struktur. Resultatet har blitt transparente sololjer, ripefrie briller og billakker, selv- vaskende vinduer, og bukser som avviser både flekker og rynker etter at bomullen er blitt *high-tech*. Nanorør av karbon, som i dag utvikles i Norge, er det sterkeste materialet noensinne fremstilt. Selv i vanlige bruksprodukter er nanoteknologier på vei inn i full fart, ofte uten at konsumentene selv er klar over dette. «Smarte tekstiler» som inneholder sensorteknologi er allerede på plass. Også innen sports- og kosmetikkindustriene har nanoteknologiene gjort sitt lovende inntog.

Nanoteknologiene er her:⁹ L'Oreals nye antirynkekrem er nanomodifisert og virker under huden. Skismøringsfirmaet Cerax reklamerer med at deres NanoWax er både «intelligent og selvorganiserende». I «nanosokkene» fra SoleFresh tar nanopartikler knekken på lukt og bakterie- og soppvekst. Produsenten Nano-tex leverer nanoteknologi som modifierer tekstilfibre for å gjøre de strykefrie og avisende for søl og flekker. Mercedes-Benz' siste bilmodeller leveres med nanobasert klarlakk. Lakken er mer motstandsdyktig og har bedre glans. Med nanoteknologi spretter tennisballene fra Wilson lenger, kanskje spesielt dersom de lette og ekstremt sterke nanoracketene fra Babolat benyttes.

Andre eksempler på anvendelser av nanoteknologier i materialer finnes i bil- og flyindustrien, keramiske materialer, polymermaterialer, solceller, sensorer, biokompatible materialer, metoder for dosering av medisin/næringsstoff og i militær teknologi. En rekke fremtidige bruksområder har blitt foreslått for nanostrukturerte materialer. Sannsynlige anvendelser ligger i flere smarte materialer og selvreparerende materialer i bioteknologi og materialteknologi.

For øyeblikket forbindes nanoteknologier kanskje først og fremst med elektronikk- og IT-industrien. Det stilles stadig høyere krav til kapasiteten på brikker og lagringsmedia samtidig som den fysiske størrelsen og vekten til de ferdige produktene som mobiltelefoner og datamaskiner skal reduseres. Dette har fremtvunget forskning og utvikling av stadig mindre enheter. Skal elektronikkindustrien fortsette å følge Moores lov fra 1965 om en eksponensiell vekst i antall transistorer per krets, må teknikken krympe fra dagens mikroteknologi til morgendagens nanoteknologier.¹⁰ En rekke nye typer halvledere og nye optoelektroniske enheter er under utvikling (Nanoforum 2004, sidene 27-28), og integrerte kretser kan etter hvert nyte godt av kvanteeffekter.

Bilindustrien er en høyteknologisk sektor hvor nye teknologier er introdusert relativt tidlig på grunn av den sterke økonomiske konkurransen. Kravene til sikkerhet og miljø innebærer også en sterk teknologisk satsing, hvor nanoteknologier etter hvert inngår for fullt. Lettmetaller og plast kan bli nanoteknologisk forsterket, slik at vekt – og dermed energiforbruk – reduseres. Med nanoteknologier kan motorytelsen økes og optimaliseres. Brenselceller er en ny og lovende applikasjon hvor nanoteknologier inngår. Luftforurensingen kan reduseres med nanofiltre. Solceller kan forbedres og integreres i bilen og nye materialer kan sikre både visibilitet og oppvarming. Dekkenes

⁹ For en oversikt over «Ti-på-topp»- nanoteknologiske produkter i 2003, se: www.nanonordic.com/extra/news/?module_instance=2&id=258

¹⁰ I desember 2004 hevdet tyske forskere å ha laget verdens minste nanorør-transistor, se <http://nanotechweb.org/articles/news/3/12/2>

rullemotstand kan bli mindre, samtidig som nanopartikler kan gi bedre gripeevne og kortere stopplengder.

Fremtidig energiproduksjon og forbruk kan påvirkes positivt av nanoteknologier, dels gjennom reduksjon av energiforbruk, og dels ved økning av energiproduksjon og ved utvikling av mer miljøvennlige energisystemer. Med nanoteknologier kan energitap i ledningsnettet reduseres ved strømovertføring.

Nanoteknologier kan dessuten bidra til å fjerne hårdnakket miljøforurensing fra jord og vann. Nanoteknologier er allerede introdusert i ulike industriprosesser for å redusere bruken av løsemidler og andre skadelige kjemikalier.

Nanoteknologier kan også påvirke helsesektoren positivt. I forhold til stadig flere sykdommer lykkes man med å identifisere sykdomsmekanismer på cellulært eller molekylært nivå. Innenfor medisinen synes derfor en bedre kontroll av prosesser på nanonivå å være en fruktbar vei å gå (Nanoforum 2004, side 20). Applikasjoner som bygger på nanoteknologier er allerede introdusert for diagnostisering og terapi, og mange er under utvikling. Bio-nanoteknologien kan derfor på en god måte supplere fremskrittene som har blitt gjort de siste tiårene innenfor molekylærbiologi og genteknologi.

Spesifikke fremtidige nanoanvendelser

Medisinsk bruk

Biologiske systemer slik disse finnes i planter, dyr og mennesker, er kanskje de mest komplekse og mest funksjonelle mekanismer på nanonivå. Bio-nanoteknologien vil gi muligheter for å kunne observere og forstå de molekylære strukturene og mekanismene, og dermed åpne muligheten for nye fremskritt innenfor medisinenens tre hoved-anliggender: Forebygging, diagnose og behandling. Fremtidens diagnostisering vil sannsynligvis baseres på analysesystemer i miniatyrform (Nanoforum 2004, side 20), med raske og omfattende analyser tilpasset den enkelte pasient. Dette er en videre-utvikling av den nåværende DNA-array teknikken. Moderne bildediagnostikk slik som MRI har allerede blitt videreutviklet med nanoteknologiske metoder for å kunne gjøre intracellulære bilder med høy oppløselighet. Videre kan det lages ørsmå sensorer som kan overvåke kroppsfunksjoner, trykk og strømninger.

Behandlingen kan bli tilsvarende spesifikk, med færre bivirkninger og redusert bruk og forbruk av medikamenter. Nanoteknologier kan bedre medisineringsen, dels gjennom målrettet (intern) plassering av aktive stoffer, og dels gjennom optimalisert og jevn dosering. Strømningsmålere kontrollerer at pasienter får tilført rett mengde medisin. Dette betyr tryggere doseringer for pasienter som er avhengige av kontinuerlig medisin-tilførsel. Ved hjelp av molekylære kaskader og nanoporøse materialer kan medisinene transporteres til ønskede steder i kroppen. NEMS er under utvikling for aktiv medisin-plassering, også for kreftbehandling (Nanoforum 2004, side 21).

I bioteknologi og medisin er det mange interessante problemstillinger knyttet til kunstig vev og implantater som lettere aksepteres av (menneske)kroppen og som har funksjoner utover de som finnes i dag. I fremtiden kan implanterte, interaktive systemer overvåke og sende ut signaler om helsetilstanden og ulike kroppsfunksjoner. I følge noen forskere

vil nanobioimplantater i hjernen ha betydning for å kurere lidelser som Parkinson's sykdom (Torimitsu 2004, side 14).

Et stort problem med implantater og proteser er at de blir avvist av vevet rundt. Dette kan kanskje løses ved å bruke nanoteknologier til å produsere kunstig vev eller ved å produsere nanostrukturer som lettere aksepteres. Karbon er ikke et kjemisk fremmedelement i kroppen og har derfor potensial for denne type anvendelse. Nanoteknologier kan også komme til å bidra til leging av skadet vev gjennom stimulert cellevekst eller antibakteriell beskyttelse. På sikt kan behandling av vev erstatte teknikker som organtransplantasjon eller kunstige implantater (Nanoforum 2004, side 21).

Bruk i mat

Nanoteknologier kan anvendes for matproduksjon og -prosessering. For å forbedre produktkvaliteten har konseptet «From Farm to Fork» blitt introdusert. Ved hjelp av nanoteknologi kan sensorer introduseres i matvarer for å kunne spore innholdet i matvarer tilbake til hvert enkelt dyr, eller hver enkelt kornåker. På denne måten vil man raskere kunne identifisere smittesteder og derved begrense eller unngå epidemier. Det vil også bli enklere for forbrukere å se hvor matvarer er produsert, av hvem og når. Nanokompositter i emballasje kan dessuten gjøre produktene mer resistente, og nanoteknologi kan benyttes til å oppdage biokjemiske endringer i maten under behandling, pakking og transport. Det er også håp om å kunne designe matprodukter gjennom manipulering på atomnivå (Nanoforum 2004, 32).

Militær bruk

Nanoteknologiens smarte materialer kan ha en rekke militære anvendelser. Ikke minst den amerikanske forsvarsindustrien har viet nanoteknologier stor oppmerksomhet, og tilhørende investeringer er av betydelig størrelse.¹¹ Dette kan komme til å prege forskningen og den nanoteknologiske utviklingen fremover.

En fremtidsvisjon er soldater som er utstyrt med uniformer som ved hjelp av nanoteknologi kan endre farge etter omgivelsene, regulere varme og samtidig være superlette og skuddsikre. Våpen kan lages av lette materialer som er mye sterkere enn stål, og som ikke like lett detekteres. Navigerings- og kommunikasjonssystemer kan også plasseres i kroppen eller i uniformen. Soldater med sensorer i kroppen som kan detektere og bekjempe kjemiske og biologiske våpen, kan dessuten bli en realitet. En høyteknologisk soldat er avhengig av elektrisk kraft. Denne kraften kan tenkes produsert av brenselceller som drives av brensel med høyere energitetthet enn dagens batterier. Soldaten kan også være utstyrt med utstyr basert på membraner eller kjemisk omsetning for å filtrere sjøvann til drikkevann.

Nanoteknologier kan også vise seg avgjørende i forbindelse med eventuell videreutvikling av ikke-konvensjonelle våpen. Våpnene kan, potensielt, vise seg svært ødeleggende, muligens mot selektive målgrupper. Den internasjonale kontrollen med nanomodifiserte biologiske eller kjemiske våpen kan komme til å representere spesielt vanskelige utfordringer for det internasjonale samfunn. Selv trusler om slike våpen kan påvirke internasjonale sikkerhetsrelasjoner og rustningsdynamikk.

¹¹ Et prominent eksempel er MITs Institute for Soldier Nanotechnologies, opprettet på grunnlag av en kontrakt med det amerikanske forsvaret. Se <http://web.mit.edu/isn/>

Nanoteknologier og konvergerende vitenskaper

Nanoteknologi, IT, bioteknologi og kognitiv vitenskap kan alle, enkeltvis og på ulike måter, ha omfattende konsekvenser. I den grad disse ulike teknologiene skaper kontroverser og bekymring hver for seg, vil deres fremtidige konvergens representere store utfordringer ikke bare for forskermiljøer, men også for beslutningstagere (EU Conv. 2004, side 2). Nyere forkortelser for denne konvergerende og transformerende utvikling spenner fra GNR (genetics, nanotech and robotics) over GRAIN (genetics, robotics, artificial intelligence and nanotech) til NBIC (Nano-Bio-Info-Cogno). En mer offisiell politisk behandling av en kommende konvergens finnes i NBICs *Converging Technologies for Improving Human Performance* (2002) og i EUs fremsynsrapport *Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies* (EU Conv. 2004).

De konvergerende vitenskapenes evne til å skape en usynlig teknologisk infrastruktur, deres muligheter for omfattende og grunnleggende fabrikkering og endelig, deres spesifisitet og mulige målrettethet, er alle karakteristika som gir gode muligheter for å løse samfunnsmessige problemer. Dette kan gagne den enkelte og skape vekst. Men de samme egenskapene kan også true den menneskelige integritet og autonomi, kultur og tradisjon, og muligens den politiske og økonomiske stabilitet (EU Conv. 2004, side 3). Den nanoteknologiske utviklingen, som i seg selv potensielt sett kan representere omfattende, og per i dag uoverskuelige endringer, er med andre ord del av noe enda større – noe som bringer med seg utsikter til virkelig dyptgripende endringer på individnivå, så vel som på samfunnsnivå.

Nano- og bioteknologi

En fremtidig kombinasjon av nanoteknologier og bioteknologi kan få betydelige konsekvenser, på godt og vondt. Feltet har allerede nå utvist spennende applikasjoner, blant annet for synshemmede (Torimitsu 2004, side 12). Bruk av nanoteknologier i kombinasjon med bioteknologi muliggjør design og konstruksjon av maskineri på det molekylære nivå og kan ha to ulike formål (Grunwald 2004):

- «Nano2Bio», som bruker nanoteknologier for å analysere, samt til produksjon av biologiske nanosystemer.
- «Bio2Nano», som bruker biologisk materiale og strukturer for å bygge tekniske nanosystem. Cellulære strukturer, som mitokondria og biologiske transportmolekyler, kan tenkes modifisert til å produsere molekyler eller kobles til informasjonsteknologi. Videre tenker man seg at biologiske molekyler i kroppen kan modifiseres til å produsere lys, virke som katalysatorer, produsere energi, produsere legemidler og fungere som detektorer for sykdom.

De første anvendelsene antas å komme innen kjemi og medisinsk diagnostikk og vil involvere produksjon av bioaktive substanser, transport av medisiner til spesielle celler, som for eksempel kreftceller, til deteksjon av sykdom på et tidlig tidspunkt og bruk av kunstige organer. Nanoteknologienes unike muligheter til å manipulere grensoverflater kan dessuten gi uante kombinasjonssystemer. Såkalte hybridsystemer kombinerer eksempelvis nerveinformasjon og bio-molekylær elektronikk (circuitry) ved hjelp av nanoteknologi (Torimitsu 2004, side 13). Japanske forskere arbeider med å gro nerveceller direkte på elektronikkbrikker. Målsettingen er å konstruere integrerte arkitekturer for signalprosessering.

Men også oppfatningen av normalitet og avvik kan endres gjennom de forbedrede mulighetene til behandling og helbredelse av ulike sykdommer, så vel som «forbedring» av det som i dag regnes som normalt. Noen forskere anser at konvergeringen av nano- og bioteknologi i fremtiden kan føre til «et nytt, innovativt sosialt liv (social life)» (Torimitsu 2004, side 18).

Forventninger til nanoteknologier

Forventningene til betydningen og konsekvenser av nanoteknologier er store, men delte. Dette preger også dagens (begrensede) debatt om tematikken. Tabell 2 gir en summarisk oversikt over spennet av forventninger og holdninger til nanoteknologiernes forskjellige anvendelsesområder. Det er i en slik kontekst teknologien skal utvikles – og forvaltes.

Anvendelse	Aspekt	Drømmescenario	Skrekkscenario
Nanomaterialer og industriell produksjon	Helse, miljø sikkerhet	Bærekraft	Nanoasbest
	Selv(re)produksjon	Personlig produktfabrikking	«Grey Goo»
Nano-elektronikk	Personvern	Intelligente produkter og omgivelser	«Big Brother»
Bio-elektronikk	Ingeniørkunst på mennesket	Verden uten funksjonshemninger	Diskriminering av funksjonshemninger
	Blanding av levende og ikke-levende	Kobling til Internett (fri fra dødelige kropp)	Dehumanisering og fremmedgjøring
Nanoteknologi i medisin	Prediktiv medisin	Tidlig diagnostikk, skreddersydd medisin og nye behandlingsformer	Genetisk tvang og/eller eksklusjon, delt helseomsorg og avvisning på grunn av kostnader
Militær teknologi	Våpenkappløp	Trygg verden	Nye våpen og våpenspredning
	Krigens etikk	Fjernstyrt krig («Zero-casualty»)	Stjernekrig («Killer robots»)
	Ingeniørkunst på mennesket	Uovervinnelige soldater	Kybersoldater
Generelt og innovasjon	Patenter og immaterielle rettigheter	Lik fordeling av profitt og rikdom	Monopolisering av kunnskap og profitt
	Internasjonal utvikling	Lik fordeling av rikdom	Nano-kløft («Nano divide»)
	Styring og dialog	Samfunnsmessig styring	Teknologisk determinisme
	Økonomi	Vekt i økonomien og sysselsettingen	Reduksjon i økonomien og sysselsettingen

Tabell 2. Drømme- og skrekkscenarier knyttet til nanoteknologiernes forskjellige anvendelsesområder. Basert på Van Est et al. 2004.

Tilhengere ser grunnlaget for den neste store idé- og teknologiske innovasjonsbølge – etter informasjons- og bio/genteknologien. Mark Modzelewski, Executive Director of Nanobusiness Alliance, hevder således at:

...the importance of nanotechnology cannot be overstated. Nanotech's promise is clean industries, cures for disease, nearly unlimited energy supplies, a continuation of Moore's Law and perhaps the end of hunger.

Troen på nanoteknologier reflekteres i viljen til investering, med både offentlige og private (venture) midler, på antallet nye nanopatenter og på økningen av antallet vitenskapelige publikasjoner og siteringer (Ecologist 2003, side 33).

Skeptikere og motstandere ser til gjengjeld risikoen for neste skritt i biologisk/kjemisk krigføring, utilsiktede og uoversiktlige konsekvenser for miljøet eller kreeringen av forbedrede mennesker (eller nye arter). Noen anser at teknologien er så kraftfull at den i seg selv utfordrer den menneskelige eksistens (Bill McKibben i Ecologist 2003, side 42). Patrich Mulvany fra Intermediate Technology Development Group ser forhåpningene og investeringene i nanoteknologier som et sidespor eller en avledning fra nødvendige eller presserende politiske løsninger:

...nanotech threatens even further to divert funds, knowledge and political will away from the research necessary to address society's problems in a systematic manner and from policies and practices that will tackle the root causes of hunger, the misery of most human livelihoods and the degradation of the environment.

Michael Crichton har allerede skrevet nanoteknologiens *Jurassic Park*, thrilleren *Bytte*. Her presses forskere til hastig suksess av det amerikanske forsvarsdepartement og slipper ved en teknisk svikt løs nanosensorer, som er innsatt med bakterier og utstyrt med kunstig intelligens. Hollywood-filmene *Spiderman* og *Star Trek: The Next Generation* har også betydelige innslag av nanoteknologier.

I Norge og i størstedelen av den vestlige verden, utviser befolkningens forventninger til nanoteknologiene interessante fellestrekk og tendenser. Opinionsundersøkelser viser at (se tabell 3):

- 53 % nordmenn forventer at nanoteknologi vil føre til en forbedring av levestandarden i løpet av de neste 20 år
- 38 % angir at de ikke vet, eller at de ikke forventer endringer
- 9 % forventer at nanoteknologi vil føre til en forverring av vår levestandard

Gitt nanoteknologiens potensialer, spesielt i en kontekst av konvergerende vitenskaper, er det en overforenkling å sidestille nanoteknologier med andre nye teknologier som informasjonsteknologi, bio-/genteknologi osv. For undersøkelser av risikopersepsjon og befolkningens holdninger til teknologi, er det likevel relevant å sammenholde disse.

Sammenlignet med andre nyere, men dog eldre og mer etablerte, teknologier er forventningene til nanoteknologi:

- Betraktelig lavere enn til sol- og informasjonsteknologi, som befolkningen gjennomgående har store positive forventninger til (omkring 3 av 4 forventer at disse teknologiene vil føre til en forbedring)
- Betraktelig høyere enn til atomenergi, som aldri har oppnådd store positive forventninger (1 av 4 forventer at den vil føre til en forbedring og 1 av 2 til en forverring)
- På nivå med den forrige av de nye teknologibølgene knyttet til bio-/genteknologi (som også omtrent 5 av 10 (49 %) forventer, vil føre til en forbedring)

	Vil forbedre				Vil forverre				Vet ikke & ingen virkning			
	99	02	04	snitt	99	02	04	snitt	99	02	04	snitt
Solenergi	79	75	75	76	4	3	4	4	17	22	21	20
Informasjonsteknologi	71	70	71	71	15	11	11	12	14	19	15	16
Nanoteknologi	64	40	54	53	10	15	3	9	26	44	44	38
Bio-/genteknologi	43	48	55	49	39	27	24	30	18	25	21	21
Atomenergi		18	28	23		54	39	47		28	33	31

Tabell 3. Forventninger til nye teknologier i Norge i 1999, i 2002 og i 2004. Prosenttall.¹²

Bio-/genteknologien har imidlertid først i løpet av de aller siste år nådd et så høyt forventningsnivå. Forventningene til nanoteknologien skiller seg også på to andre måter fra forventningene til bio-/genteknologi:

- Betraktelig færre forventer at nanoteknologien vil føre til en forverring (1 av 10 (9 %) for nanoteknologi med 3 av 10 (30 %) for bio-/genteknologi)
- Betraktelig flere angir at de ikke vet, eller ikke forventer forskjeller pga. nanoteknologi (38 % for nanoteknologi og 21 % for bio-/genteknologi)

Som den nyeste av de nye teknologier er det ikke overraskende at så mange svarer «vet ikke» på spørsmålet om hvilke konsekvenser de forventer nanoteknologi vil få. Den nye teknologien er ganske enkelt mindre kjent og diskutert. Følgelig vil flere danne seg en mening om dette i løpet av de kommende år. Og erfaringen fra meningsdannelsen omkring de tidligere nye teknologier viser at det ikke er noen automatikk i hvilken stilling de vil ta, med andre ord om de vil innta en positiv eller negativ holdning til nanoteknologien.

¹²Data fra 1999 stammer fra Ramberg, Kallerud & Hviid Nielsen: NIFU Rapport 2/2001, data fra 2002 fra Hviid Nielsen, Seippel & Haug: TIK Arbeidsnotat 20/2003 og data fra 2003 fra Ramberg: NIFU Skriftserie 21/2004. Spørsmålsformuleringen var: «Vitenskap og teknologi forandrer måten vi lever på. Jeg skal nå lese opp en del områder hvor ny teknologi stadig utvikles. Kan du for hvert område si meg om du tror at utviklingen på dette område vil forbedre måten vi lever på i de neste 20 år, om de ikke vil få noen virkning eller om utviklingen vil gjøre tingene verre?».

Nanoteknologier og regulering

Behovet for en informert, offentlig debatt synes med andre ord stort. I påvente av kritiske forskningsfunn, og for å understøtte dialogene som må etableres, har ikke-statlige grupperinger, særlig den canadiske ETC-gruppen, argumentert sterkt for et produksjonsmoratorium for kommersiell fremstilling av nanomaterialer inntil risikoene er nærmere belyst og statlig regulering er etablert (ETC 2003). Dette forslaget representerer et ytterpunkt, men kan allikevel være beskrivende for deler av de bekymringer og holdninger som rå.

EU-kommisjonen arbeider nå for å etablere en «Code of Conduct» for nanoteknologier.¹³ Andre forslag inkluderer en global protokoll for nanosikkerhet, en internasjonal (FN-)konvensjon for evaluering av nye teknologier, spesifikk merking av nanomodifiserte produkter, klargjøring av ansvarsforhold (liability) dersom kommersielle, fabrikkerte nanoprodukter viser seg å være skadelige, et forbud mot å etablere nanopatenter, og en modifisering av eksisterende avtaleverk mot spredning og bruk av ikke-konvensjonelle våpen slik at militære applikasjoner av nanoteknologier begrenses (Ecologist 2003, side 41).

Med Genteknologiloven av 1993 og Bioteknologiloven av 2003 har Norge etablert et reguleringsregime for gen- og bioteknologi. En mulig tilnærming kan være å utvide disse lovenes gyldighetsområde, slik at nanoteknologi i forbindelse med bio- og/eller genteknologi også omfattes av denne regulering.¹⁴ Dette vil være i tråd med britiske Better Regulation Task Force (BRTF), som argumenterer for at nanoteknologier bør reguleres etter samme hovedretningslinjer som bioteknologi.¹⁵ Spesifikt anbefaler de at når det gjelder nanoteknologier bør myndighetene (BRTF 2003, side 32):

- Tilrettelegge, gjennom en informert debatt, for at befolkningen selv kan vurdere risikoer og gjøre sine egne valg basert på passende informasjon
- Være åpne med hensyn til hvordan beslutninger tas, og erkjenne at det finnes usikre faktorer
- Kommunisere med, og i størst mulig grad involvere befolkningen i beslutningsprosessen
- Påse at det utvikles toveis kanaler for kommunikasjon
- Ta føringen når det gjelder behandlingen av ulike risikospørsmål, særlig hva gjelder informasjonsspredning og gjennomføring av tiltak

¹³ Opplyst av Andretta, EU-Kommisjonen, på et møte for programkomitéen for NMP-programmet under EUs 6. rammeprogram (se Appendiks 4) 6. desember 2004.

¹⁴ Disse aspektene diskuteres videre i kapittel 5, under avsnittet om «Nanoteknologier og offentlig tilsyn».

¹⁵ Se <http://www.brtf.gov.uk>.

Kapittel 3: Nanoteknologier og helse og miljø

Nanoteknologier er i dag av stor interesse for både forskere og industrien. Utviklingspotensialene er store for medisinsk bruk, så vel som for tiltak for å redusere miljøbelastninger og for å håndtere eksisterende miljøproblemer. Ideelt burde det gjøres konsekvensanalyser av nanoteknologiens direkte og indirekte helse- og miljøeffekter før de ble tatt i bruk. Dette er en umulig oppgave. I tillegg til direkte nytte og direkte skade (for eksempel fra uventede bivirkninger ved bruk av nanopartikler) må man regne med et mangfold av indirekte konsekvenser som kan være positive, negative eller tvetydige.¹⁶ Den samlede helse- og miljøeffekt av fremtidens nanoteknologier kan være ytterst vanskelig å måle – og forutsi.

I stedet er vi hensatt til mer generelle diskusjoner om mulige indirekte effekter, og en mer spesifikk analyse av de direkte effekter som hittil er identifisert. Dette kapitlet vil begrense seg til sistnevnte oppgave med et hovedfokus på mulig helse- og miljørisiko knyttet til nanopartikler. Kapitlet tar med andre ord heller ikke for seg nye utfordringer og mulige risikoer knyttet til nanoteknologiske hybridsystemer, eller andre effekter av en stadig sterkere konvergens av nanoteknologier, IT, bioteknologi og kognitiv vitenskap.

Disse veivalgene reflekterer fremfor alt den nåværende kunnskapssituasjonen – og hva som synes å være presserende helse-, miljø- og sikkerhetsutfordringer knyttet til frie nanopartikler. Rapportens begrensede fokus betyr imidlertid ikke at en bredere, langsiktig og forskningsbasert oppfølging av nanoteknologiens samlede betydning for folkehelse og bærekraftig miljøutvikling er overflødig.

Nanopartiklens risikopotensial

I deler av den offentlige debatt er nanoteknologiske risikoer gjerne blitt assosiert med ekstreme scenarioer med ukontrollerbare, selvreplicherende objekter. Ekspertisen mener likevel at det er viktigere å se på mulige farer knyttet til produksjon og bruk av innovative materialer som enten har kommet eller som er i ferd med å komme på markedet (Nanoforum 2004, side 45).

Kritikk har særlig fremkommet på grunn av mulige – og i stor grad ukjente – helseeffekter fra nanopartikler. Disse partiklene stammer fra rekken av materialer som er eller vil bli introdusert i produkter og nye applikasjoner. Produkter som er forbedret ved hjelp av nanoteknologi, baseres gjerne på endrede fysiske egenskaper når størrelsen reduseres: Forholdet mellom partiklens overflate og volum øker drastisk, med nye egenskaper som resultat. Men egenskaper som etterspørres av forskere og industri kan være de samme som representerer mulige helse- og miljøfarer. Nanopartiklens giftighet skyldes sannsynligvis en kombinasjon av deres overflateareal, deres kjemiske reaktivitet, deres begrensede fysiske dimensjoner (som tillater ny og uant penetrering), og muligens deres løselighet (Royal Soc. 2004, side 41).

¹⁶ Et eksempel fra teknologihistorien kan illustrere dette. Bensinmotoren har spilt en viktig rolle i utviklingen av moderne trafikk, inkludert privatbilismen. Blant bensinmotorens indirekte helseeffekter finner vi forbedret kommunikasjon (blant annet til sykehus), men også trafikkulykker, som nå er et betydelig helseproblem blant yngre mennesker. Trafikkulykkes tragiske eksistens, på sin side, er en vesentlig ressurs for transplantasjonskirurgien. Endelig har privatbilismen bidratt til kultur- og livsstilsendringer som har hatt stor innvirkning på sykdomsspekteret i moderne samfunn.

Det finnes ikke absolutte bevis for at nanomaterialer er ufarlige eller at de representerer en fare for den menneskelige helse. Men når risikoen fra nanopartikler skal vurderes, bør det sannsynligvis skilles klart mellom fabrikkerte og naturlig forekommende substanser. Mennesket har vært eksponert for naturlig forekommende nanopartikler gjennom størsteparten av sin evolusjonære utvikling, og definitivt siden ilden ble benyttet for første gang (Nanoforum 2004, side 39, Royal Soc. 2004, side 36). Samtidig kan det være slik at studier av fabrikkerte nanopartiklers giftighet kan bidra til ny kunnskap også om naturlige nanopartiklers eventuelle skadepotensialer.

Et særlig fokus på nanopartikler og nanorør er viktig fordi disse er blant de første teknologier på nanoskalaen som blir anvendt i forbruksartikler. Ennå er bare et begrenset antall fabrikkerte nanopartikler i industriell produksjon. Det er imidlertid høyst sannsynlig at nye raskt vil introduseres, ikke minst for behandling eller diagnostisk bruk (Royal Soc. 2004, side 42). Spekteret av nanoteknologier innbefatter en rekke materialer og partikler som har forskjellig oppførsel, effekter og (potensiell) toksisitet. Variasjonen i partiklenes individuelle egenskaper er dessuten stor, og faren må derfor vurderes enkeltvis for hver av materialene. I dag kan det ikke settes pålitelige grenser for eksponering (Lapique 2004, side 7).

Forståelsen av nanopartiklers giftighet bygger primært på relaterte studier av luftforurensning og arbeidsmiljø (Royal Soc. 2004, side 47). Dagens dyrestudier og etablerte dyremodeller er ikke tilstrekkelige for å kunne forutsi risikoen. Samtidig er epidemiologiske funn ennå svært begrensede. Virkningsmekanismer og mulige effekter er i svært liten grad dokumentert, og partiklenes vandring i næringskjeder, og deres biologiske nedbrytbarhet, er i høy grad uvisst. Nye bruksmåter, eksempelvis innen medisin, kan dessuten innebære langtidseffekter som vi i dag ikke overskuer. Og, selv om nanomaterialenes kjemiske sammensetning er kjent, bør nanopartiklene anses som nye materialer og kjemikalier (Lapique 2004, side 2). Men det er gjerne mikro- eller makropartiklenes egenskaper som i dag er utgangspunktet for helse- og miljøvurderinger av nanopartikler.

Risiko (Risk) er forsøk på å kvantifisere farer, basert på sannsynligheten for at noe skal inntreffe og konsekvensene dersom dette skjer. Risiko knyttet til nanopartikler forstås gjerne ut i fra sannsynligheten for eksponering, graden av eksponering og nanopartiklenes eventuelle giftighet. I praksis kontrolleres risiko vanligvis ved å redusere eksponeringen. Dersom eksponeringen allerede har skjedd, kan epidemiologiske studier bidra til å fastslå risikoen. Alternativt kan dyrestudier anvendes for å forsøke å predikere risiko. I slike sammenhenger vil det imidlertid gjerne være særlige problemer knyttet til ekstrapolering av forskningsfunn.

Fare (Hazard) kan forstås som utsiktene til å skade. Ved kvalitative farebetraktninger er fare gjerne adressert ved hjelp av toksikologi, for eksempel ved å teste et stoffs skadepotensial på en cellekultur eller isolerte organer (in vitro) eller direkte på laboratoriedyr eller mennesker (in vivo).

Spørsmålene er med andre ord mange. Kan materialer med uskyldige makroegenskaper eksempelvis fremvise toksiske effekter på nanonivå? Hvordan endres stoffenes reaktivitet med redusert størrelse? Hvordan vil endrede kjemiske egenskaper til nanopartikler påvirke kroppen dersom de blir benyttet i konsentrert form (eksempelvis som spray)? Hvilke kilder til nanopartikler finnes, og hvor? Hvordan vandrer partiklene

i næringskjedene, og hva skjer med nanopartiklene som allerede er observert akkumulert i visse organer? Hvor mange av disse blir skilt ut, og via hvilke kanaler?

Partikler som kan vandre fritt utenfor bærematerialer, representerer sannsynligvis den største faren, spesielt i tørr pulverform (Luther 2004, side 91). Det er i første rekke i laboratorie- eller produksjonsmiljøer at slike nanopartikler opptrer fritt, og i de nærmeste årene vil personer som arbeider i nanoindustrien eller forskning sannsynligvis være de mest utsatte (Royal Soc. 2004, side 42). På sikt, med økende bruk av nanomaterialer, kan befolkningen bli mer eksponert for nanopartikler.

Britiske myndigheter har vurdert eksponering i forbindelse med produksjon av nanopartikler i Storbritannia. Det konkluderes med at allerede i dag kan 2000 personer være utsatt i forbindelse med fire ulike produksjonsmåter (HSE 2004, side 57). Anslagsvis kan mer enn 700.000 personer i den britiske nanoindustrien være direkte eksponert for nanopartikler innen 2020 (HSE 2004, side 49). Det er ikke grunnlag for å si at personelleksponeringen fra nanopartikler har blitt vurdert i tilstrekkelig grad (HSE 2004, side 58). Gjennomgangen viser dessuten at dagens kunnskapsnivå er utilstrekkelig for risikovurderinger og at effekter av mottiltak mot eksponering ikke er dokumentert (HSE 2004, sidene 53-54). Eksponeringsgraden vil avhenge av produksjonsteknikker og beskyttelsestiltak. Effekter av beskyttelsestiltak mot nanopartikler, herunder ventilasjon, masker og drakter, er imidlertid ikke dokumentert (Lapique 2004, side 9).

Gitt rekken av usikre faktorer anbefaler britiske Royal Society og Royal Academy of Engineering at kunstig fremstilte nanopartikler i størst mulig grad ikke slippes ut i omgivelsene (Royal Soc. 2004, side 50). Det anbefales videre – som en integrert del av design og utvikling – at industrien selv fortløpende vurderer risikoen assosiert med nanopartikler, og at denne informasjonen gjøres tilgjengelig for relevante myndighetsinstanser.

Mulige direkte helseskader av nanopartikler

En mulig viktig kilde til direkte skade på mennesker eller andre organismer, er situasjoner der det kan oppstå direkte kontakt og vekselvirkning med nanomaterialene på cellenivå. Eksponeringen fra nanomaterialer kan skje ved inhalasjon, inntak eller absorpsjon via huden (Nanoforum 2004, side 45).

Inhalasjon er den dominerende eksponeringsmåten for nanopartikler i luft. For mennesket kan bruk av nanopartikler i kosmetikk føre til hudabsorpsjon, mens andre direkteinntak kan skje dersom nanopartikler i fremtiden inkluderes i mat og drikke. Andre organismer, som bakterier, kan ta inn nanopartikler gjennom sine celledemembraner (Royal Soc. 2004, side 36).¹⁷ Dette er en alternativ vei inn i den biologiske næringskjeden.

En kombinasjon av overflateareal, stor ionebytteevne og sterke overflatespenninger gjør nanopartikler potensielt svært reaktive (Nanoforum 2004, side 62). Økt reaktivitet gjør at komponenter som er ufarlige (på makro- eller mikronivå) igangsetter intense kjemiske reaksjoner (på nanonivå) og mulig biologisk skade. Et eksempel er gull, som i

¹⁷ Forekomst av nanobakterier, som kan selvreplikere og skape en rekke sykdommer, er også foreslått av ulike forskningsmiljøer (New Scientist 2004).

utgangspunktet er et inert materiale. Nanopartikler av gull har imidlertid vist seg å være kjemisk reaktive, med muligheter for å forstyrre biologiske prosesser (Nanoforum 2004, side 48).

Ikke bare de fysiske partikkelegenskapene kan endres på nanonivå. Også partiklenes mobilitet kan forandres. Til forskjell fra mikropartikler, har partikler av nanostørrelse tilnærmet åpen adgang til den menneskelige kropp (Nanoforum 2004, side 46). Flere dyrestudier har demonstrert *in vivo*-mobilitet av nanopartikler (Nanoforum 2004, side 49). Hvorvidt tilsvarende effekter vil finnes hos mennesker, er uavklart. Men det faktum at nanopartikler er av samme størrelsesorden som celler og større proteiner har ført til spekulasjoner om de kan invadere celler og påvirke viktige cellefunksjoner (Royal Soc. 2004, side 42).

Mens hudabsorpsjon fremdeles er omdiskutert, er opptak av nanopartikler i blodet gjennom lungeinhalasjon tilnærmet sikkert (Nanoforum 2004, side 47). *In vivo*-forsøk med dyr støtter dessuten antakelsen om at det er en generell effekt knyttet til den totale overflaten av partikler inhalert. Studier av luftforurensing fra små partikler indikerer dessuten at celler og organer kan demonstrere gifteffekter dersom de er eksponert for selv ikke-giftige substanser i tilstrekkelige doser på nanonivå (Royal Soc. 2004, side 40). Fine partikler er mer giftige enn større enheter av samme stoff, vekt for vekt (Royal Soc. 2004, side 39). Dyrestudier antyder dessuten muligheten for en viss grad av akkumulering av nanopartikler i kroppen.

Foreløpige studier viser at nanopartikler er funnet i lunger, lever, blod og hjerne etter inhalasjon eller injeksjon i dyr (mus, rotter eller fisk) (Lapique 2004, side 4). Andre studier konkluderer med en sammenheng mellom fabrikkerte nanopartikler og et spekter av helseeffekter, herunder økt astma, hjertesykdommer, kronisk bronkitt, og selv prematur død (Nanoforum 2004, side 46). Noen publiserte studier antyder at visse nanomaterialer som inneholder nanorør av karbon kan være giftige (Nanoforum 2004, side 45). Gitt erfaringen med asbest, har det blitt anbefalt at nanorør må underlegges spesiell toksikologisk oppmerksomhet (Royal Soc. 2004, side 43).

At mekanismene utviklet for å beskytte kroppen mot mikropartikler også vil virke mot nanopartikler (Royal Soc. 2004, side 36) kan også bidra til å redusere helserisikoen. Men funnene til immunologen Silvana Fiorito ved University of Montpellier i Frankrike antyder det motsatte. Under studier knyttet til innånding av nanofibre fant forskeren at når karbonpartikler på mikronivå ble introdusert, produserte de enkelte celler nitrogenoksid. Kroppens immunforsvar responderte med andre ord mot en invaderende, fremmed substans. Men for karbonpartikler av nanostørrelse (i form av nanorør eller fullerener) responderte ikke cellene tilsvarende (Gorman 2002, side 200).

Og selv om vannløselige nanorør ikke skulle vise seg å være akutt giftige, forblir de lenge i kroppen. Dette kan innebære kronisk giftighet (Yamango et al 1995). Men samtidig tenderer nanorør å vikle seg sammen og representerer dermed sannsynligvis en mindre helserisiko enn enkeltfibre (Nanoforum 2004, side 56). Nanorørenes raske spredning til ulike kroppsorganer antyder også positive muligheter for medisiner og dosering gjennom membraner (Yamango et al 1995).

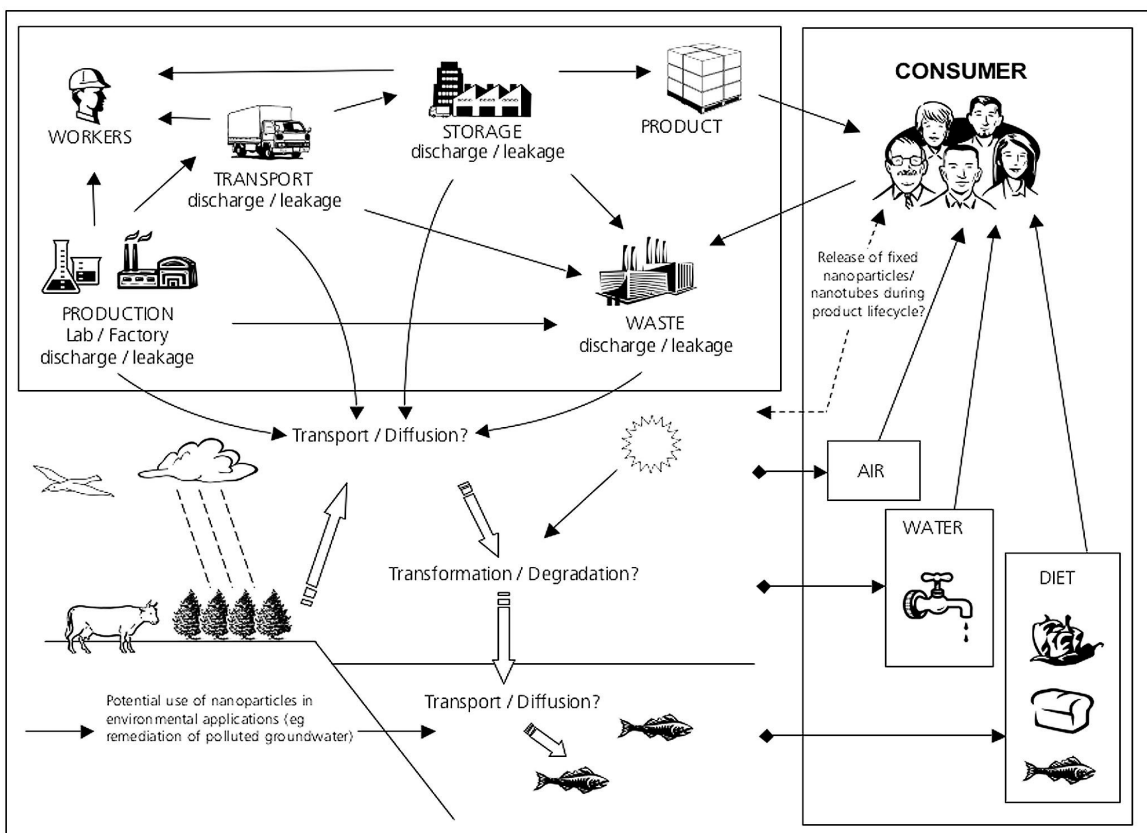
Forskning på mennesker er fremdeles på et svært preliminært stadium, men de første dataene er i ferd med å komme. Også dyrestudier begynner å besvare forsknings-

spørsmål, men ekstrapolering av funn fra dyreforsøk til mennesker er ikke problemfritt. Det er variasjoner mellom eksperimenter og ulike dyremodeller. På den ene side synes eksempelvis rotter å være mer sensitive overfor eksponering av nanopartikler. Men på den annen side synes også dyrenes immunforsvar bedre å kunne takle slike eksponeringer (Nanoforum 2004, side 50). Dyreforsøk eller dyremodeller synes med andre ord ikke tilstrekkelig for å bestemme risiko knyttet til nanopartikler i mennesker.

I sum kjenner ingen i dag de virkelige konsekvensene av nanopartikler for den menneskelige helse (Nanoforum 2004, sidene 51 og 57). Kompletterende studier må fortsette for å belyse virkelige helseeffekter. Men den samlede effekt på helse og helserisiko fra nanoteknologiene, og kanskje fremfor alt de konvergerende nano-, bio- og infovitenskapene vil være nær umulig å kvantifisere.

Mulige skadevirkninger av nanopartikler på miljøet og næringskjeden

Nanopartikler finnes naturlig, men blir i økende grad fabrikkert for industriell eller medisinsk bruk. Gitt den, til nå, relativt beskjedne produksjonen av nanopartikler, er manglende informasjon om deres helse- og miljømessige effekter kanskje ikke så overraskende. Per i dag er det uvisst hvorvidt og i hvilken grad partiklene er giftige, på kort og på lengre sikt. Men enhver bruk av fabrikkerte nanopartikler kan representere en potensiell eksponeringskilde. Sammen med andre kjemiske stoffer kan nanopartikler nå mennesker og andre organismer via en rekke veier. Figur 2 gir et bilde av kompleksiteten.



Figur 2. Noen mulige eksponeringsveier for nanopartikler og nanorør, basert på eksisterende og fremtidig bruk. (Royal Soc. 2004, side 37).

Avhengig av produksjonsform, produkter og bruk kan nanopartiklene frigjøres til omgivelsene og forurense jordsmonn, luft og vann. Restprodukter i forbindelse med medisinsk eller kosmetisk bruk vil skilles ut til miljøet. Alle nanoprodukter som lages må dessuten, før eller siden, enten resirkuleres eller deponeres. Nanoelementene kan vise seg å være biologisk ikke-nedbrytbare forurensinger (Nanoforum 2004, side 61), og hele økosystemer kan etter hvert eksponeres for fabrikkerte nanopartikler.

Potensielle miljørisikoer av nanoteknologier er særlig knyttet til de ørsmå partiklene som utvikles og deres store spesifikke overflateareal og reaktivitet (Nanoforum 2004, side 60). Dette kan gjøre transport til omgivelsene lettere. På grunn av partiklenes utstrakte spredning, store mobilitet og kraftige reaktivitet, kan effektene på omgivelsene bli betydelige. Selv om partiklene i seg selv ikke er farlige, kan de reagere med andre skadelige stoffer. Men partiklenes store reaktivitet betyr også at disse raskt vil bindes opp, og dermed altså sannsynligvis utgjøre en mindre helserisiko enn frie partikler.

I miljøet kan den største eksponeringskilden muligens være tiltak hvor nanopartikler benyttes direkte i forebyggende eller rensende prosesser i jordsmonnet. Her kan partiklene lett skilles ut og bringes videre i økosystemet. Å slippe frie nanopartikler direkte ut i økosystemet, er blitt foreslått forbudt inntil mer kunnskap foreligger (Royal Soc. 2004, side 47).

Men som for mulige helseeffekter er kunnskapen om hvordan nanopartikler oppfører seg i miljøet begrenset. Forskjellene i nanopartiklenes størrelse, form, overflateareal, kjemiske sammensetninger og biopersistens krever at miljømessige aspekter av nanomaterialer blir vurdert for hver enkelt nanomateriale (Nanoforum 2004, side 68). Langtidseffektene av slike substanser og deres oppførsel i næringskjeder kan derfor være ekstremt vanskelig å bedømme (Nanoforum 2004, side 68).

Kapittel 4: Nanoteknologier og etikk

Det 20. århundre viste menneskene tydeligere enn noen gang at teknologi er forbundet både med godt og vondt. Likevel fins det en lang tradisjon i vårt samfunn for å tenke at teknologier og tekniske ting i seg selv verken er gode eller onde, men at godene og ondene de er forbundet med, oppstår henholdsvis gjennom riktig bruk og misbruk av teknologien. Samtidig fins det en enda lengre tradisjon for å tenke at kunnskap og vitenskap er goder i seg selv. Til sammen får vi her en begrunnelse for moderne vitenskaps- og teknologiutvikling: Vitenskapen er god i seg selv og må oppmuntres. Dermed skaper den forutsetninger for ny teknologi, som så utnyttes til menneskehetens beste gjennom riktig bruk og fraråding og eventuelt forbud mot misbruk. På toppen av det hele får man økonomisk vekst gjennom merverdiene som skapes av den nye teknologien.

Dersom dette skulle være hele sannheten om vitenskap, teknologi og samfunn, er man faktisk langt på vei ferdig med den etiske debatten om nanoteknologier. I så fall gjelder det bare å identifisere misbruksmuligheter og sette en stopper for dem, helst før de har oppstått i praksis. På samme måte som human kloning er forbudt, og bruk av humane embryonale stamceller er forbudt i noen land, kunne man da spørre seg om hvilke misbruk man kan få av nanoteknologier. Dette kan for eksempel være problemer relatert til helse- og miljøfarer, nye overvåkingmuligheter og krenkelser av personvernet, krigføring eller terrorisme.

Det er ikke uviktig å oppdage og regulere mulig misbruk. Men dette er likevel bare en liten del av den etiske debatten. Etske og normative aspekter ved nanoteknologier handler om mer enn misbruk. Idéen om at teknologiutviklingens problematiske sider lar seg fange opp ved regulering mot misbruk, kan faktisk forblinde både den etiske og politiske debatten om nanoteknologier. For det første bygger den opp under en feilaktig oppfatning av at teknologiutviklingen er under kontroll. For det andre bidrar den til at langsiktige og indirekte konsekvenser av ny teknologi faller ut av syne. For det tredje bidrar den til den illusjon at det alltid er mulig å dømme mellom godt og ondt, bruk og misbruk. Virkeligheten er mer uforutsigbar, nyansert og sprikende. Denne kompleksiteten er en av de sterkeste grunnene for å mene at det fins problematiske aspekter ved nanoteknologier så vel som andre nye, vitenskapsdrevne teknologier.

Forskningens og innovasjonens uforutsigbarheter

Vitenskap er leting etter kunnskap som ennå ikke fins, om saker og ting i verden som vi ikke kjenner, eller ikke har laget ennå. I et langsiktig perspektiv er det derfor nokså klart at det er umulig å forutsi hva forskning og teknologiutvikling vil produsere. Når moderne samfunn satser aktivt på forskning og innovasjon av ulike grunner, akselererer dette derfor en utvikling som er prinsipielt uforutsigbar.

Dette er ikke alarmerende i seg selv. Menneskene har alltid levd uten å kunne kontrollere den langsiktige utviklingen av samfunn og levevilkår, også i de seneste århundrer hvor vi har ønsket å sikte mot høy grad av kontroll. En viss tilstedeværelse av uforutsigbarhet er en viktig ingrediens i våre liv, både på individ- og samfunnsnivå. For eksempel kunne ikke aksjemarkedet fungere dersom det var mulig å forutsi aksjekurser med sikkerhet. Mangelen på kontroll er ikke i seg selv et motargument mot nanoteknologiene, med mindre man har mistanke om spesielle, dramatiske eller irreversible faremomenter.

Noen mener at nanoteknologier nettopp innebærer slike spesielle faremomenter. Fremfor alt har det såkalte «Grey Goo»-scenariet vært diskutert, en visjon om selvreproduserende molekytlære maskiner som kommer ut av kontroll og «spiser opp» hele planeten. All den tid all vår kunnskap er prinsipielt feilbarlig, er det umulig å avvise med sikkerhet verken Grey Goo eller andre slike visjoner. Likevel bør det understrekes at den vitenskapelige ekspertisen nokså unisont oppfatter slike skrekk-scenarier som helt urealistiske.

Likevel fins det en annen mer jordnær, etisk og politisk relevant, konsekvens av vår manglende kontroll med utviklingen: Et særlig viktig prinsipp for å forholde seg til fare i moderne samfunn er risikovurdering. Men en solid risikovurdering forutsetter både kjennskap til mulige konsekvenser samt til gode vurderinger av sannsynlighetene for at de inntreffer. Når teknologiutviklingen er prinsipielt uforutsigbar, er det umulig å foreta en solid risikovurdering hva konsekvenser på lang sikt angår, så vel for nanoteknologier som for andre teknologier.

Uforutsette farer, risiko og føre-var-prinsippet

Når ny teknologi tas i bruk, er fordelene ofte iøynefallende fordi de gjerne er formålet med virksomheten. Samtidig trenger samfunnet en måte å håndtere mulige farer som kan oppstå. Selv lite sannsynlige farer kan ha stor betydning dersom de mulige uønskede konsekvenser er alvorlige eller irreversible. Bruk av nye teknologier som nanoteknologiene kompliserer dette bildet ytterligere, da de forventede konsekvensene gjerne er gevinster som er klart beskrevet, mens eventuelle farer, særlig på miljø- og samfunnsnivå, kan være dårlig undersøkte eller uforutsette – og kanskje erfares først etter lang tid.

Hvordan skal man forholde seg til det faktum at man har mangelfull kunnskap? Det finnes ikke noe fasitsvar på dette spørsmålet, som dypest sett ikke kan isoleres fra eldgamle filosofiske spørsmål og diskusjoner. Uenighetene kommer blant annet til syne i valg av begreper og språkbruk, som i følgende eksempel: For noen er kunnskapshull («knowledge gap») et godt begrep. Vi har kunnskap, men vi ser også at det er ting vi ikke vet – hull i vår kunnskap som vi eventuelt kan fylle med videre forskning. Men ny forskning kan også gi til svar at gamle spørsmål og fokus var irrelevante, og at nye spørsmål må stilles. Vitenskaps-sosiologer har dessuten påpekt at vårt kart over kunnskapsterrenget (og dermed også våre risikovurderinger) reflekterer kulturelle forutsetninger og politiske valg og verdier. Funtowicz og Ravetz (1990) foreslo derfor begrepet «uvitenhet om uvitenhet» som en mer treffende forståelsesmåte.

Våre samfunn, i vår tid, forholder seg til slik fare fremfor alt ved å foreta utredninger av mulige økologiske, helsemessige og andre konsekvenser ved bruk av ny teknologi. Disse skal kartlegge risiko for helse og miljømessige skadevirkninger og andre følger ved bruk av teknologien.

Tradisjonelle naturvitenskapelige metoder innebærer i seg selv en viss konservatisme. Det skal sterke data og resultater for å kunne påstå at en bestemt effekt (for eksempel en helsefare) er til stede. Denne konservatismen er vitenskapelig nødvendig, men kan være samfunnsmessig problematisk, fordi den påvirker plasseringen av krav til dokumentasjon i en uenighet mellom for eksempel en produsent og en konsumentgruppe som hevder seg skadet. For å bøte på slike skjevheter har noen land, inkludert Norge, introdusert det såkalte føre-var-prinsippet blant annet i

miljølovgivningen. Forskjellen mellom en mer vanlig risiko/kostnad/nytte-analyse og bruk av føre-var-prinsippet ligger i plassering av bevisbyrde, vektlegging av vitenskapelige bevis og usikkerhet.

Det er mange ulike definisjoner på føre-var-prinsippet. En definisjon anvendt av Den nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap og teknologi (NENT) sier:

Der hvor det foreligger trussel om alvorlig eller uopprettelig skade, skal ikke mangel på fullstendig vitenskapelig visshet kunne brukes som begrunnelse for å utsette kostnadseffektive tiltak for å hindre miljøforringelse (NENT 1997, side 9).

Føre-var-prinsippet har konsekvenser for regulering og forvaltning, men også for forskning. Blant annet innebærer det at forskerne bør (i) identifisere usikkerhet og fareelementer, (ii) vektlegge usikkerhet ved å initiere forskning på utilsiktede konsekvenser, samt (iii) lære seg å kommunisere usikkerhet til andre forskere og beslutningsmyndigheter.

Tidlige advarsler om alvorlige eller irreversible skadevirkninger på helse og miljø kan gi muligheter til å vente med å innføre teknologien til en har mer kunnskap. For eksempel har det blitt foreslått at karbon 60-nanopartikler kan utnyttes i behandlingen av kreft, men en slik bruk vil føre til at nanopartiklene kan spres til andre mennesker og til miljøet. Forsøk med fisk har vist at slike partikler ga fisken hjerneskade (Oberdörster 2004). Dette initierte ny forskning, og det viste seg at giftigheten til partiklene kunne bli betydelig redusert ved å koble hydroksylgrupper på karbon-60 molekylene.

Forskning og forskningsformidling under press

Eksemplet med nanopartikler av karbon 60 viser hvordan en føre-var-tenkning kan bli omsatt i faktisk forskning og forebygging av noe som kunne ha blitt en helsefare. Noen vil se dette som et godt samarbeid mellom etisk og vitenskapelig tenkning, mens andre vil mene dette først og fremst var et eksempel på den klokskap som preger god forskning og ingeniørkunst. Slik klokskap kan trenge tid og ressurser for å utfolde seg.

På den annen side medfører den stadig forsterkede koblingen mellom næringsliv og forskning et press på forskningen for å bidra til rask produktutvikling. Økt konkurranse innen en globalisert økonomi er derfor ikke et irrelevant moment for etikkdebatten. Ved utvikling av nye forskningsfelt og nye teknologier som nanoteknologiene er det behov for store investeringer. Direkte eller indirekte er slike investeringer betinget av tillit og positive forventninger, enten det er i aksjemarkedet, på den politiske arena, eller i den militære sfære. Samtidig er det mange som er skeptisk til muligheter og risiko knyttet til denne teknologien. Disse ulike drivkreftene kan medføre et følt press i retning av å gå ut tidlig med forventninger og potensielle positive funn, så vel som å varsle om mulige negative funn.

Nanoteknologier er allerede gjenstand for urealistiske løfter og advarsler, som kan skape både urealistiske forventninger og ubegrunnet frykt. Det er videre god grunn til å anta at konkrete forskningsprosjekt vil kommunisere sine funn tidlig. Det er et vitenskapsetisk problem i hvilke fora en kan og bør kommunisere slike forventninger og advarsler, og hva som skal regnes som et vitenskapelig holdbart grunnlag for slik kommunikasjon. Det er en lang vei fra oversalg av mulige gode eller dårlige konsekvenser til de

eksempler på grovt fusk og fabrikasjon av resultater man har sett de senere år. Det mest graverende tilfellet innen nanovitenskap er Jan Hendrik Schöns kopiering av forskningsdata ved det anerkjente Bell Labs i USA. Avsløringen resulterte i at 15 artikler i *Science* og *Nature* ble trukket tilbake av Schöns medforfattere.¹⁸ Grensene mellom det som er ansvarlig forskning og det som bryter med forskningsetiske grunnprinsipper bør derfor utforskes. Her, som i en rekke andre etiske spørsmål, vil studiet av konkrete forskningsprosjekter og hvordan vitenskapen utvikles i praksis, kunne være en integrert del av en etisk analyse.

Forskjeller mellom laboratorium og omverden

Det er flere utfordringer knyttet til forskning på utilsiktede konsekvenser enn de som oppstår gjennom effektivitetskrav og forventningspress. Fag som nanovitenskap utvikler seg først og fremst gjennom laboratoriarbeid og teoretiske modeller. Dette har vitenskapen siden Galileos tid sett nødvendigheten av: Innen fysikk og lignende fag må man ofte begynne med å undersøke så velkontrollerte og avgrensede systemer som mulig for i det hele tatt å komme videre. Et sentralt vitenskapsfilosofisk spørsmål er da om man i laboratoriet ser virkeligheten slik den «egentlig er», eller om laboratoriet kun tilbyr oss en forenklet tilnærming til omverden. Sagt på en annen måte, det er vitenskapelig og filosofisk komplisert å vite overføringsverdien av laboratoriekunnskap.

Vitenskapshistorien kan tolkes i ulike retninger. Man har eksempler på god og mindre god overføringsverdi fra laboratorieforsøk. Hva nanoteknologier angår, vil nanopartikler møte flere stoffer og organismer i omverdenen enn hva man kan undersøke i laboratoriet, under andre betingelser. Dermed er grunnlaget for å modellere nanomaterialers effekter utenfor laboratoriesituasjonen relativt begrensede. Dette betyr at risikovurdering til tider må gjøres i fravær av det vi ettertid vil vite var de relevante data. Det vil si, beslutningen måtte tas under usikkerhet, uvitenhet eller til og med uvitenhet om uvitenhet.

Særlig interessant i denne sammenheng er hybridiserte nanobio-systemer eller mulig vekselvirkning mellom nanopartikler og levende organismer og celler. En kan for eksempel tenke seg at «Ugelstadkulene» som i dag brukes innen bioteknologien kan lages ned til noen nanometer i diameter. Dette reiser spørsmål som hvem det er som kommer til å ha kontroll? Kommer vi til å bli umyndiggjort over vår egen kropp? Kan bio-nanomaskinene spres til andre organ i kroppen eller ut til miljøet?

Selv om personeksponeringen fra nanopartikler ennå ikke er kartlagt (kapittel 3), kan faremomentene lettere kontrolleres i laboratorier og lukkede produksjonssystemer. Å sprøyte nanopartikler inn i kroppen eller ut i naturen, introduserer ytterligere dimensjoner av kompleksitet og usikkerhet, og er dermed også etisk sett forskjellig. Denne prinsipielle forskjellen kjenner man godt fra den bioetiske debatten, hvor både offentligheten og den etiske ekspertisen har sett nokså forskjellig på innesluttet bruk (i laboratorier) og utsetting i miljøet av genmodifiserte organismer. Uansett medfører omverdenens kompleksitet et behov for bred tverrvitenskapelig ekspertise i identifikasjon og vurdering av direkte og indirekte konsekvenser av ny teknologi. I de to påfølgende avsnitt behandles mulige indirekte konsekvenser av nanoteknologier som opplagt ikke kan undersøkes i laboratoriet.

¹⁸ Se www.superconductors.org/Beasley.htm

Nanoteknologier og personlig integritet

Nanoteknologier kombinert med bioteknologi, farmasøytisk kunnskap og informasjonsteknologi åpner for store muligheter innen individualisert medisin med presis lokalisert virkning. En får trolig muligheter til detaljert kontroll med deler av kroppens funksjoner, for eksempel ved å ødelegge kreftceller uten å skade omkringliggende vev eller bedre lokal oksygentilførsel for å forhindre skade på vev. Sensorer vil kunne overvåke tilstanden i celler og sørge for lokal medisinerings kun ved behov. Øket og presis kontroll av helsetilstanden er et åpenbart gode, men det har også problematiske sider: Man blir både frigjort og avhengig på samme tid. Innvirker denne type frigjøring og avhengighet på vår selvopplevelse som frie individer? Hva slags frihet vinner man og hvilke begrensninger setter denne avhengigheten?

Et relatert spørsmål oppstår ved en økende integrering av menneske og teknologi. Litteraturen på feltet er svært spekulativ, og det er vanskelig å forestille seg en grad av manipulasjon som får innvirkning på vår oppfatning av hva som kjennetegner det menneskelige. Likefullt kan en integrering av nevrovitenskap, nanoteknologier, informasjonsteknologi og bioteknologi muliggjøre manipulering med følelser og tenkeevne. Det kan få betydning for vår selvforståelse og innvirke på vår forståelse av hva som kjennetegner moralske subjekter.

Regulerings- og overvåkningsteknologi på nanonivå vil trolig skille seg fra annen medisinsk overvåkings- og reguleringsteknologi. I praksis kan den kroppslige integreringen og samspillet mellom biologi, kjemi og informasjonsteknologi åpne for forskjeller som er moralsk betydningsfulle. Overvåkingen blir kontinuerlig, den må sjekkes og følges opp av noen med tilstrekkelig kunnskap. Ved komplisert apparatur blir muligheten til egenkontroll mindre og behovet for støtte fra eksperter større. Avgir man kontroll over egen kropp til andre på måter som vil skille seg fra det som er tilfellet i dagens medisinske teknologi? Vil kravet om et informert samtykke være tilstrekkelig dersom det er sannsynlig at den berørte selv ikke har mulighet til å overskue konsekvensene? Dessuten, hvem er det som vil ha kontroll og tilgang til denne teknologien? Slike kontrollsystemer vil produsere kontinuerlig informasjon om enkeltmennesker. Kan slik informasjon misbrukes, og hvordan skal man i så fall sikre at den enkelte beholder kontroll med hvem som får denne informasjonen?

Opplysningene vil representere personopplysninger og vil falle inn under den gjeldende regulering, jamfør personopplysningsloven og helseregisterloven. Det vil være sensitive opplysninger, og bruken forutsetter derfor tillatelse (konsesjon) fra Datatilsynet. Men det er all grunn til å reise spørsmål om de gjeldende bestemmelsene og tilsynsordningene er tilstrekkelige eller hensiktsmessige for regulering av registrering, bruk og gjenbruk av de genererte opplysningene og de situasjonene hvor opplysningene genereres. Det kan også spørres om hvordan fordelingen av slike bestemmelser og tilsynsordninger mellom fagmiljøene og myndighetene skal være. For så kompliserte saker må man også opprettholde sterke faglige kontroll- og vurderingsmekanismer gjennom vitenskapelige råd og fagfellevurdering.

Etiske og rettslige spørsmål som er reist i forbindelse med bioteknologi er også relevante for mulige anvendelser av nanoteknologier. Dersom DNA kan påvirkes og endres, vil en også ha muligheten til å foreta endringer på kjønnsceller. Er dette tillatelig i forhold til fremtidige generasjoners rett til en åpen fremtid? Nye inngrep i

reproduksjonsteknologien vil også kunne berøre omstridte spørsmål om hva slags verdi som tilskrives ulike faser av menneskelivet før fødsel.

Nanoteknologier og fordelingsspørsmål

En av de mest avgjørende etisk-politiske utfordringene i en verden der økonomi og samhandling blir stadig mer integrert, er spørsmål om en rettferdig fordeling av goder. Dette er viktig på nasjonalt plan, men enda viktigere sett i en global sammenheng. Satsing på nye teknologier som nanoteknologiene begrunnes gjerne med at det bidrar til fellesgoder som forebyggende og behandlende medisin, bedre ressursutnyttelse, mindre forurensing, samt økt trygghet og kunnskap. Samtidig skal det gi bedre konkurransevne for den enkelte bedrift og nasjon. Altruisme og egeninteresse står ikke nødvendigvis i motsetning til hverandre, men vil ofte gjøre det. I svært mange tilfeller krever utnyttelse av teknologi ressurser i form av penger og kunnskap. Dette gir de som allerede har disse ressursene, et konkurransefortrinn som utnyttelsen av teknologien vil forsterke. Debatten rundt patentering av livsformer og genetiske ressurser i underprivilegerte befolkningsgruppers omgivelser, samt deres eget DNA, er ett aspekt som tydeliggjør hva som her står på spill.

Slike og lignende utfordringer vil trolig være høyst relevante i forbindelse med nanoteknologier, ikke minst i forhold til patentering. Hvordan kan en kombinere det legitime behovet for utbytte av investering i forskning og utvikling med hensynet til en utjevning av økonomiske og sosiale ulikheter? Kan vi sikre en rettferdig fordeling av tilgang til og utnyttelse av nanoteknologiske oppfinnelser? I litteraturen diskuteres allerede faren for en «nanokløft» (*nano divide*) mellom rike og fattige deler av verden, eller forskjellige segment av ett og samme samfunn. Nye muligheter til genetisk skreddersydd medisinsk behandling betyr også en fare for forsterkning av den allerede eksisterende skjevheten i retning av medisinsk kunnskap og forskningsinnsats rettet mot privilegerte gruppers helseproblem. Man kan med andre ord risikere nye, DNA-baserte skiller.

Relatert til dette er økonomiske «forventningskløfter». Allerede i dag har helsevesenet muligheten for å behandle mye mer enn det samfunnet evner å betale for. De nanoteknologiske mulighetene, og i enda større grad publikums forventninger, er mye større enn dagens samfunnsøkonomiske realiteter tilsier.

Nanoteknologier og krigens etikk

Et av de ledende forskningsfeltene innen nanoteknologier er militære anvendelser. Både nye materialer som gir lette, beskyttende uniformer, så vel som sensorer som varsler om biologiske og kjemiske angrep, er realistiske nyvinninger. Nye, effektive biologiske og kjemiske angrepsvåpen er også tenkelig. En rekke etiske og politiske problemer er knyttet til slik militær forskning. Vi kan få nye våpenkappløp, bygget på til dels ukjente og uforutsigbare trusselbilder.

Mye militær forskning er av opplagte grunner hemmelig, jamfør sikkerhetsloven. Hemmelighold hindrer offentlig innsikt og kan føre til forskning som ikke er etisk akseptabel eller som strider mot det som er samfunnsmessig godtatt. Denne manglende innsikten er i seg selv problematisk i forhold til en åpen samfunnsdebatt. I tillegg leder den til mistillit som ikke bare skyldes urimelig mistenkeliggjøring, men har sammenheng både med den manglende åpenheten og med kjente tilfeller av militære

brudd på anerkjente etiske prinsipper. Manglende tillit til militær nanoteknologisk forskning kan smitte over på etisk uproblematisk sivil forskning. Det kan føre til generelle restriksjoner på hele forskningsfeltet som videre kan føre til hindre for eller stopp i teknologiutviklingen.

Etikk, samfunn og politikk

Dette kapitlet har skissert en rekke tema som fordrer etisk refleksjon. Felles for temaene er at problemene ikke kan løses gjennom forsøk på enkle skillelinjer mellom bruk og misbruk, eller mellom godt og ondt. De fordrer nyansert, normativ debatt informert av etiske prinsipper og konkret informasjon om nanoteknologi, men også av andre informasjonskilder så som vitenskaps- og teknologihistorie og filosofi. Mange former for ekspertise har derfor en rolle å spille i etableringen av den nødvendige, offentlige debatt.

Ønsket om en informert debatt må likevel ikke tolkes ekskluderende. Den etiske refleksjonen er et samfunnsanliggende og en politisk oppgave som ikke kan settes bort til eksperter. Sagt på en annen måte: I kraft av å være samfunnsborger er vi alle eksperter på spørsmålet om hvilken samfunnsutvikling vi ønsker. Neste kapittel vil se nærmere på hvordan den påkrevde samfunnsdebatten kan stimuleres og organiseres.

Kapittel 5: Nanoteknologier og offentlighet

Risikoer og etiske spørsmål relatert til nanoteknologier vil være nært knyttet til det samfunnsmessige. Dette kan dreie seg om IKT og personvern, medisinsk diagnostikk, bærekraft og krigens etikk, men også nye spørsmål om forbedring av livskvalitet og grensen mellom levende og død materie. I kapittel 2 ble det gitt en oversikt over noen samfunnsspørsmål og drømme- og skrekkscenarier for nanoteknologiernes forskjellige anvendelsesområder. Om det er akkurat disse aspektene som kommer til å bli de viktigste, gjenstår å se.

Nanoteknologiernes utvikling kan gi en rekke forskjellige utfordringer – noen av disse vil være unike. Det som i første omgang fremstår som bare en gradsendring, for eksempel kraftige computere i nettverk med billige, små sensorer, kan være teknologiske pådrivere i en signifikant samfunnsmessig transformasjon. Slik sett er det ikke tilstrekkelig å se etter det unike med nanoteknologier. Man må også identifisere hvor nanoteknologiene kan være tilretteleggende i forhold til øvrig teknologi (Royal Society 2004, side 51). Dette gjelder spesielt for konvergerende teknologier, der nanoteknologiene vil spille en nøkkelrolle.

Fremfor en gjennomgang av nanoteknologiens mulige effekter på og betydning for samfunnet og den samfunnsøkonomiske utvikling, fokuserer dette kapitlet i stedet på nanoteknologiens offentlige relasjoner. En bred, offentlig debatt danner grunnlaget for en sunn forsknings- og forvaltningspraksis, og kan bidra til allmenn bevisstgjøring om nanoteknologiens muligheter og utfordringer. I ytterste instans avhenger både teknologiutviklingen og den politiske handlekraft og styring av kvaliteten på vår felles dialog. Dessuten, når teknologiens virkninger er så vidt usikre og ukjente blir verdi-aspektene særlig viktige. Verdispørsmål er definitivt et domene for offentligheten og borgerne, ikke bare for ekspertene. Et viktig spørsmål er derfor hvordan ulike grupper kan involveres i utviklingen av nanoteknologier.

Men den offentlige dialogen om nanoteknologier er i dag ikke-eksisterende, utover å konstatere behovet og potensialet for verdiskapning. Etter en diskusjon om behovet for kontroll og offentlig tilsyn, skisseres i det følgende ulike tilnærminger for en åpen og informert samfunnsdebatt om nanoteknologier basert på ulike europeiske erfaringer.

Nanoteknologier og offentlig tilsyn

Det er foran flere steder påpekt at nanoteknologiene kan innebære samfunnsmessig risiko som kan begrunne et tilsyn eller andre former for offentlig kontroll. Det vises for eksempel til risiko for utslipp av kunstig fremstilte nanopartikler i omgivelsene, toksikologisk oppmerksomhet rettet mot nanorør, mulig forbud mot bruk av frie nanopartikler og forskningens og innovasjonens uforutsigbarhet.

Som del av en føre-var-politikk ville det være naturlig å vurdere en rettslig strategi som sikret offentlig innsyn og ga kompetanse til inngrep og regulering uten å representere en regulering av en teknologi og bruk som man ikke kjenner til. En mulig strategi vil være å etablere en lovhjemlet plikt til å søke konsesjon for forskning innen eller bruk av nanoteknologi. Dette ville først og fremst ha som resultat at det ble etablert en kommunikasjon fra forskning og industri til offentlige myndigheter slik at man hadde oversikt over virksomhetens art og omfang.

Antakelig er en konsesjonsplikt mer velegnet enn en meldeplikt. Erfaring viser at meldeplikt oftere kan bli oversett enn krav til forhåndstillatelse. En konsesjonsordning kan i så fall være en rammekonsesjon som gis ut fra visse kriterier. Det kan være en form for sertifisering av en avdeling, institutt, bedrift eller forskningsgruppe til å bedrive virksomheten. Likevel må dette vurderes som alternativ i forhold til de behov man etter nærmere vurdering finner at foreligger. Myndighetene må vise tilbakeholdenhet med regulering av forskning eller virksomhet uten tilstrekkelig innsikt eller erfaring. Men etablering av en slik ordning vil nettopp kunne føre til at den nødvendige oversikt dannes samt bidra til den ønskede åpenhet. Etableres en konsesjons- eller meldeplikt, bør man nærmere vurdere hva slags virksomhet som skal utløse reglene. Det kan godt være at *nanoteknologier* er for lite presist til at det egner seg som grunnlag for regulering. Om man ønsker å gå videre med en slik strategi, må dette vurderes nærmere.

En slik strategi forutsetter uansett en tilsynsmyndighet. Man bør vurdere om myndigheten kan legges til en eksisterende tilsynsmyndighet, i alle fall før virksomheten får et slikt omfang at den forsvarer et eget byråkrati. Nanoteknologiene berører området for flere eksisterende tilsynsorgan, f.eks. Helsetilsynet, Datatilsynet og Nasjonal sikkerhetsmyndighet. Muligens kan ansvaret i alle fall i første omgang overlates til ett av de eksisterende tilsyn som i samarbeid med de etablerte nasjonale forskningsetiske komitéer på ulike områder vurderer virksomheten, og har hjemmel til å gi nærmere bestemmelser.

Involvering av lekfolk

Det er flere grunner til å involvere lekfolk i vurdering av nanoteknologier. Prinsipielt bør borgerne ha en demokratisk rett til å uttale seg om viktige sider ved samfunnsutviklingen. Nanoteknologiene vil kunne sette nye premisser for våre liv og for vår livsutfoldelse, og det vil være galt å ekskludere dem fra belysning, opplysning, refleksjon og demokratisk debatt om teknologiske valg. I siste instans er det jo den enkelte borger som skal ta del i mulighetene og leve med konsekvensene som nanoteknologiene skaper. I Norge vil dessuten utviklingen av teknologiene skje med store investeringer som i stor grad kommer fra offentlige midler. Samfunnet kan derfor ikke sitte og beundre utviklingen fra sidelinjen.

Vår kunnskap om konsekvensene av en teknologi vil dessuten normalt øke desto lenger den har vært i bruk. Samtidig vil muligheten til å påvirke utformingen av en teknologi ha en tendens til å avta ettersom teknologien er ferdig utviklet, eller har funnet sin form. Enhver vurdering av teknologi innebærer en avveining mellom ønsket om kunnskap om utviklingen og mulighet til å påvirke den. Dette vil ha innvirkning på når og hvordan en samfunnsmessig vurdering av nanoteknologier bør foregå (Teknologirådet 2004).

Involvering av ikke-eksperter kan også begrunnes mer pragmatisk. Vanlige borgere kan bidra med andre perspektiver enn ekspertene. De kan ha en annen erfaringsbakgrunn og andre verdivurderinger, og ved å inkludere disse kan utviklingen av nanoteknologier bli mer robust. Dersom det ikke legges til rette for en åpen og informert dialog om nanoteknologier, kan det tenkes at vi får en polarisert opinion preget av manglende tillit til eksperter og politikere. Kontroversene om genmodifiserte organismer (GMO) blir ofte brukt som eksempel på en uheldig polarisering i forholdet mellom den teknologiske ekspertisen og offentligheten. En viktig lærdom er at myndighetene må satse på åpen kommunikasjon om teknologien og forutse folks anliggender for å unngå at innovativ og allmenntilgjengelig forskning blir stanset i sin helhet.

Beslutningstagere og forskere betrakter derfor i økende grad borgernes oppfatninger og aksept som en av drivkreftene bak teknologiutviklingen. På den ene siden krever dette at man har gode samfunnsvitenskapelige studier om hva befolkningens kunnskap, oppfatninger og meninger om hva nanoteknologier faktisk er. Men befolkningen er ikke bare en størrelse som skal registreres, påvirkes, informeres og læres opp. Det vil være en viktig oppgave å legge til rette for en aktiv, offentlig meningsdannelse om nanoteknologier. Men å diskutere nanoteknologier per se vil lett bli for generelt og overordnet. Ulike områder har ulike problemstillinger både når det gjelder risiko og etikk. De enkelte områder bør derfor gjøres til gjenstand for workshops, åpne møter, enkeltstudier etc. som en introduksjon til en offentlig debatt.

Dersom en reell, samfunnsmessig dialog skal kunne pågå, må det med andre ord både skapes gode arenaer for meningsutveksling og -utvikling, og muligheter for at tilbakemeldinger får innvirkning på retningen i utviklingen. Arenaer kan fungere som møteplasser mellom lekfolk, politikere, eksperter og interessenter/berørte parter. Det er siden 1980-tallet utviklet en rekke metoder for å legge til rette for demokratisk medvirkning i teknologiutvikling: Lekfolkskonferanser, rundebordskonferanser, fokusgrupper, scenarieverksteder, planleggingsceller o.a. (Slocum 2003 og Fixdal 1998).

Det må dessuten legges til rette for at viktige diskusjoner om samfunnsmessige implikasjoner av nanoteknologier føres i representative politiske fora. Å skape gode og informerte diskusjoner byr imidlertid på mange utfordringer. I forhold til nanoteknologier gjelder spesielt at (Pedersen og Vincentsen 2004, side 2):

- Nanoteknologier er et nytt teknologiområde som er ukjent for mange
- Nanoteknologier er en meget bred betegnelse som rommer mange teknologier med forskjellige karakteristika og formål
- Det eksisterer mange usikkerheter angående nanoteknologiernes anvendelsesmuligheter og risikoer

Samspill mellom teknologi og samfunn

I EU-kommisjonens handlingsplan for vitenskap og samfunn henvises det til behovet for å lage gode arenaer for dialog mellom forskning og samfunnet, en dialog som involverer politikere, «stakeholders» (interessenter), forskning, myndigheter og folk flest:¹⁹

The Commission is committed to improving transparency and consultation between administrations and civil society, as outlined in the White Paper on European Governance. To this end, it will adopt a set of minimum standards to be followed by its departments in all policy areas, including research. If citizens and civil society (1) are to become partners in the debate on science, technology and innovation in general and on the creation of the European Research Area in particular, it is not

¹⁹ http://europa.eu.int/comm/research/science-society/action-plan/07_action-plan_en.html. Se punkt 2, «A science policy closer to the citizen».

*enough to simply keep them informed. They must also be given the opportunity to express their views in the appropriate body.*²⁰

Det vises til behovet for å videreutvikle kunnskapen om og bruken av medvirkningsprosesser i Europa.²¹ Når det gjelder nanoteknologier, har dette fått sitt konkrete uttrykk i rapporten omtalt i kapittel 2 om konvergerende teknologier (nano-, bio- og informasjonsteknologi, samt kognitiv vitenskap) fra en ekspertgruppe oppnevnt av EU-kommisjonen. Ekspertgruppen ble gitt i oppdrag å gi en oversikt over muligheter og risikoer ved konvergerende teknologier og relatere dette til europeiske omgivelser og gjeldende politikk. En hovedkonklusjon i rapporten *Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies* er at disse teknologiene kan fremme konkurransevnen til EU betraktelig (EU Conv. 2004).

Delgruppen som tok for seg etiske, rettslige og samfunnsmessige forhold formulerte imidlertid noen nødvendige forutsetninger. For selv om nanovitenskapene kan betraktes som ferske, så krever konvergensen med bioteknologi, IKT og hjerneforskning i følge rapporten et rammeverk som sikrer samspill og samutvikling («co-evolution») med samfunnet nå og på lang sikt. Dette innebærer at man:

- *Overvåker:* Et troverdig bilde av hva forskningen med konvergerende teknologier og dens anvendelser betyr for samfunnet må formuleres hvert fjerde år
- *Flagger:* Forskere, teknologer, organisasjoner o.a. bør ha muligheten til å følge med på utviklingen
- *Organiserer refleksjon:* De store spørsmålene må adresseres i dag, så de kan besvares i morgen
- *Regulerer:* Det er nødvendig å løpende evaluere eksisterende lovverk og institusjonelt rammeverk

Det store endringspotensialet til konvergerende teknologier er koblet til stor frykt i befolkningen. Dette må i følge ekspertgruppens konklusjoner tas med i betraktningen. Gruppen foreslår derfor at teknologien utvikles ved tett integrasjon mellom teknologisk ekspertise, samfunnsvitere og humanister og berørte parter. Etiske og samfunnsmessige betraktninger er altså ikke eksterne eller rent reaktive. På denne måten håper ekspertgruppen at forskere og investorer kan gå fram uten å frykte at arbeidet blir overregulert eller avvist i samfunnet.

Det er således viktig at informasjonsbehovet tas på alvor. Informasjon til allmennheten og til myndigheter må være et nødvendig og pålagt ansvar for fagmiljøene. Disse miljøene må selv ta initiativ og styring i informasjonsprosessen. Dette kan være en forutsetning for å skape gode rammevilkår og generell aksept for nanoteknologier.

²⁰ Som «appropriate bodies» nevnes spesielt EPTA (European Parliamentary Technology Assessment network), der Teknologirådet er norsk medlem.

²¹ For en oversikt over nylig avholdte dialogseminarer i Tyskland og Sveits, se Haller (2004).

Medvirkningsprosjekter

Det danske Teknologirådet har gjennomført en fokusgruppeundersøkelse om borgeres holdninger til nanoteknologier (Pedersen og Vincentsen 2004).²² 29 borgere ble invitert gjennom medier og nettverk til å delta i et intervjumøte, der de først ble gitt korte innledninger om nanoteknologiens mulige anvendelser samt aspekter knyttet til helse, miljø, sikkerhet og etikk. Deretter ble det gjennomført et gruppeintervju og en spørreundersøkelse – det første for å skape dynamikk og mulighet til å dra inn aspekter som arrangørene ikke hadde tenkt på, det andre for å sørge for at alle deltakerne skulle høres og for å få sammenlignbare data på de vesentligste områdene.

En slik metode har flere svakheter: gruppen er liten og ikke representativ for befolkningen. Deltakerne er dessuten relativt avhengige av den informasjonen de får på møtet, og med et såpass ukjent og bredt formulert tema er det umulig for deltakerne å vurdere hva som er realistisk å oppnå ved nanoteknologier. Men gruppen var generelt meget positiv i sitt syn på nanoteknologier, og ønsket at Danmark skulle være et foregangsland i utvikling av nanoteknologier for å bidra til fellesgoder som miljø, energi og velferd, så vel som forskning på risiko og etikk. Bekymringene var særlig knyttet til kommersielt motivert forskning og manglende internasjonal regulering.

Arrangørene peker på følgende nytte av medvirkningsprosjekter:

- Bidrag til kommunikasjon av borgernes ønsker knyttet til en teknologi
- Bidrag til den offentlige debatt
- Bidrag til en samtale mellom borgere og næringsliv, som kan være avgjørende for å skape en «holdbar pakt» om bruk av teknologi
- En måte å få viten til å bre seg som ringer i vannet

Oppbygging av en samfunnsmessig dialog fra null

En av de sentrale observasjonene til det danske borgerpanelet var at det er nødvendig å skille mellom ulike bruksområder for nanoteknologier for å kunne foreta en kvalifisert vurdering av aspekter som helse, miljø, sikkerhet og etikk. Ergo kan det være nyttig med forberedende undersøkelser for å legge til rette for en offentlig dialog om nanoteknologier.

I Nederland har dette vært utført av det uavhengige Rathenau-instituttet.²³ I løpet av 2004 har instituttet gjennomført en kartleggingsstudie, bestående av en oversiktsrapport og fire workshops om henholdsvis nanopartikler og risiko, nanoelektronikk og intelligente omgivelser, nanoteknologier i landbruk og næringsmiddelindustrien, og biomedisinske nanoteknologier. Det er også laget en rapport basert på intervjuer med ressurspersoner i energisektoren. Tanken er at den sosiale og politiske relevansen av nanoteknologier er i ferd med å utkrystallisere seg, og at det i første omgang er en viktig oppgave å kartlegge nærmere de viktigste problemstillingene innenfor de ulike

²² Undersøkelsen er et bidrag til det teknologiske fremsynet om nanoteknologi, som gjennomføres av Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling. Se

http://www.tekno.dk/pdf/projekter/p04_nanoteknologi.pdf og

<http://www.teknologiskfremsyn.dk/doc.php?id=29>

²³ Se <http://www.rathenau.nl/nl/projecten/default.asp?cat=79&scat=1&catname=Nanotechnologie>

anvendelsesområder av nanoteknologiene. Et annet siktemål er å involvere forskjellige miljøer, organisasjoner og kompetansemiljøer i den begynnende samfunnsdebatten om nanoteknologier.

Det er verdt å merke seg at panelene har bestått av kompetansepersoner fra samfunnsvitenskap og humaniora så vel som naturvitenskap og teknologi. I tillegg til at rundebordssamtalene mellom disse er dokumentert og fritt tilgjengelig, har arbeidet også innbefattet oversiktsfremstillinger fra instituttet selv og en intervjuundersøkelse med en gruppe master-studenter. Avslutningsvis har Rathenau-instituttet dessuten arrangert et møte i det nederlandske parlamentet, med parlamentarikere og eksperter.

Erfaringer fra Nederland viser at det er viktig å invitere bredt i forhold til institusjoner, og involvere så vel samfunnsvitere som teknologer i fagdebatten.

Kapittel 6: Nanoteknologier og nasjonale kompetansebehov

Rekken av helsemessige, miljømessige, etiske og samfunnsmessige sider ved nanoteknologiene og deres stadig økende relevans reflekteres i et økende volum av rapporter og utredninger om tematikken.²⁴ Felles for disse studiene er gjerne understrekingen av behovet for videre forskning og fundamental kompetansebygging.

I det følgende gis en oversikt over kompetansebehov for nanoteknologier og etikk og samfunn, samt for nanoteknologier og helse og miljø. Aktuelle forskningsproblestillinger relatert til disse kompetansebehovene er formulert i det påfølgende kapitlet.

Kompetansebehov knyttet til nanoteknologier og etikk og samfunn

En nasjonal målsetting bør være å bidra til kompetanseoppbygging innenfor etiske, rettslige og samfunnsmessige aspekter ved nanoteknologier, å utvikle forskningsbasert kunnskap på feltet, samt å styrke kommunikasjonen mellom eksperter og befolkningen når det gjelder nanoteknologier. Spisskompetanse må utvikles innen de relevante humanistiske, samfunnsvitenskapelige og rettslige fagmiljøer som studerer vitenskap og teknologi. Dette forutsetter selvsagt også at man sikrer at det nasjonalt finnes nødvendige miljøer på disse områdene.

Akademisk kompetanse innenfor vitenskaps-, forsknings- og teknologietikk er først og fremst knyttet til landets universiteter. I tillegg finnes det kompetanse ved de nasjonale forskningsetiske komitéer, enkelte vitenskapelige høgskoler, private høgskoler, forskningsinstitutter og bedrifter, samt Teknologirådet. Men selv om det finnes noen eksempler på forskningsinteresse innen nanoteknologier og etikk, er det ingen etablerte forskningsmiljø på dette temaet i Norge. Det er derfor et betydelig behov for kompetanseoppbyggende tiltak.

Det er i det foregående kapitlet antydning mulighet for etablering av en tilsynsstrategi som skal gi offentlige myndigheter oversikt og mulighet til å regulere forskning om og utnyttelse av teknologien. Men det må også finnes i det minste ett nasjonalt kompetansesentrum hvor det drives juridisk forskning i forhold til de tema som er skissert ovenfor. En målsetting om styrket kommunikasjon mellom eksperter på nanoteknologier og befolkning innebærer også et behov for kunnskap om etiske og samfunnsmessige aspekter blant disse ekspertene. Dette kan skje gjennom egne kurs, men også som en spin-off-effekt av tverrfaglig forskerkontakt i praksisnære forskningsprosjekter.

Av alle disse grunnene bør det derfor oppmuntres til studier av etiske, rettslige og samfunnsmessige dimensjoner ved igangværende prosjekter innenfor nanoteknologier, spesielt for de prosjekter som går utover ren naturvitenskapelig grunnforskning. Samtidig bør de nødvendige arenaene for samhandling og fagdiskusjon etableres, gjerne ved hjelp av workshops og seminarer om nanospesifikke problemstillinger og anvendelser. Det bør også stimuleres til faglig samarbeid med tilsvarende satsinger i andre land.

²⁴ Se utredningens litteraturliste for eksempler.

Kompetansebehov knyttet til nanoteknologier og helse og miljø

At fagfeltet fremdeles er uutviklet reflekteres av behovet for å klargjøre selv den grunnleggende terminologien knyttet til nanoteknologier og nanopartikler (HSE 2004, 54, EU Risk Workshop 2004, side 17). Skal definisjoner av nanopartikler eksempelvis baseres på fysiske dimensjoner eller partikkelens oppførsel (som deres diffusivitet)? Frie partikler utviser andre egenskaper, og dermed andre helse- og miljøutfordringer enn oppbundne partikler. Relaterte spørsmål er knyttet til kategoriseringen av sammenhengende nanostrukturer, og om det bør skilles mellom fabrikkerte og naturlig forekommende partikler.

I et helse- og miljøperspektiv synes det særlig viktig å etablere en omforent terminologi for fabrikkerte nanomaterialer, og å støtte opp under videre forskning og analyseutvikling, særlig hva gjelder eksponeringsdata, dose-responsmønstre, toksikologistudier, studier av nanopartikler i miljøet, herunder frie partiklers oppførsel og transportegenskaper (EU Risk Workshop 2004, sidene 24-27). Målemetodikk og måleutstyr må videre-utvikles, sammen med standardiserte metoder for risikovurderinger og veiledninger for beskyttelsestiltak. I dag finnes det ikke standardisert utstyr, metoder eller metodikk for å måle nanopartikler eller eksponering mot omgivelsene (HSE 2004, side 55).

Effektene av kontrolltiltak er tilsvarende vanskelig å slå fast, sammen med hva som kan være akseptable eksponeringsgrader ut fra et helseperspektiv. Samtidig er dyremodeller utilstrekkelige og det epidemiologiske grunnlaget svært tynt. Videre synes det klart at negative effekter av nanopartikler ikke kan bestemmes på grunnlag av mikro- og makromaterialers kjente giftighet. Nanoteknologiske effekter på miljøet har per i dag ikke blitt studert i tilstrekkelig grad (Nanoforum 2004, side 68). Bare et begrenset antall studier har blitt utført på dette komplekse problemområdet, og forskere har enda færre konkrete funn på denne tematikken enn på mulige helseeffekter av nanopartikler. I sum er kunnskapsnivået utilstrekkelig for tradisjonelle risikovurderinger (HSE 2004, side 56).

Forvaltnings- og reguleringsmessige utfordringer blir følgelig store. Det er behov for å gå igjennom eksisterende nasjonale lovverk, og eventuelt revidere disse slik at det blir tatt hensyn til materialenes nanospesifikke egenskaper. Militære nanoapplikasjoner utgjør særskilte trusler, samtidig som kontrollen er særlig vanskelig. Det foreligger ikke internasjonale avtaleverk for å kontrollere militær produksjon og bruk av nanoteknologier. En tilsynsstrategi som skissert innledningsvis i kapittel 5, kan bidra til å møte de juridiske utfordringene.

Myndighetsdialogen med befolkningen og berørte industrier bør også styrkes. Industrien har sannsynligvis selv en interesse i å være proaktiv. Politiske og regulative føringer for den videre nanoteknologiske utviklingen vil komme. Gitt dagens usikkerhet har noen ikke-statlige grupper argumentert for bruks- og utviklingsmatorium for nanoteknologier. Andre går i bresjen for å forby bruken av frie nanopartikler og å utvise mest mulig forsiktighet i påvente av sikrere forskningsresultater.

Manglende kunnskap er også et dårlig utgangspunkt for en optimal kompetansebygging og rekruttering til fagfeltet. Etableringen av en informert, kvalifisert og åpen dialog mellom ulike interessenter vil sannsynligvis også lide under slike mangler. Grunnforskning på en rekke felt er med andre ord nødvendig. Men mens et fokus på

helse-, miljø-, og sikkerhetsaspekter ved nanoteknologier er en *nødvendig* forutsetning for å forstå tematikkens kompleksitet og teknologiens risikopotensialer, er dette ikke *tilstrekkelig* for å forstå fremtidens individuelle og kollektive utfordringer knyttet til nanoteknologier. Kompletterende ELSA-studier er påkrevet.

Kapittel 7: Utvidet forskning på nanoteknologier

Nanoteknologiene befinner seg stadig på et tidlig, men også meget eksplorativt og kreativt stadium. Dette betyr gode muligheter for spennende og relevant forskning, ikke minst hva gjelder behovet for å understøtte den nanoteknologiske utviklingen med ELSA-studier.

I det følgende diskuteres faktorer som kan påvirke den nanoteknologiske forskningen. Stikkord i denne sammenheng er styringsgrad og kommersialisering, prioriteringer, organisering og bevilgninger. Videre i kapitlet gis en oversikt over relevante forskningsproblemstillinger knyttet til nanoteknologier og etikk og samfunn, som del av en forestående nasjonal ELSA-satsing. Avslutningsvis presenteres også en oversikt over aktuell forskning på helse- og miljøaspekter. Forslagene til utvidet nanoteknologiforskning er verken prioriterte eller fyllestgjørende.

Forskning, frihet og styring

Det er helsemessig, miljømessig, etisk og politisk problematiske sider knyttet til nanoteknologiernes fremtidige konsekvenser. Dette leder naturlig til det politiske spørsmål om hvordan man eventuelt skal styre denne forskningen og teknolog utviklingen. Slik forholder det seg med all ny teknologi, og her står mer på spill enn teknologiens konsekvenser.

På den ene side har man i vitenskapsfilosofien og -sosiologien sterkt betonet at forskningen må være fri fra ideologiske innskrenkninger. Dette grunnprinsippet har vært sett på som en nødvendig forutsetning ikke bare for forskningen selv, men for opprettholdelsen av et demokratisk og åpent samfunn (Merton 1942, Popper 1945). I praksis er likevel absolutt og total frihet verken mulig eller ønskelig, ikke en gang om forskningen begrenser seg selv gjennom etiske grunnprinsipper som Helsinki-erklæringen²⁵ og selvpålagte forskningsmuratorier.

Forskningsfellesskapet er ikke en nøytral instans, men har bestemte interesser. Selv om forskningen innledes ut fra ønsket om innsikt og kunnskap, vil drivkraften også kunne være ønsket om ressurser til egen aktivitet, behov for å fremstå i et godt lys, samt ønske om inntjening på sine resultater. I forhold til nanoteknologier, har det vært hevdet at noen av dens pådrivere fremstår med en unyansert teknologioptimisme.

Likevel, eller kanskje på grunn av dette, har tekno skeptikerne ofte hatt suksess med å mobilisere mot innovative teknologier (Grunwald 2004, side 32). Politikere har, under offentlig press, vært tvunget til å innføre kontroll og til å restrukturere forskningsmidler, ofte i navn av et overfortolket føre-var-prinsipp. Tidlig bruk av nye teknologier, eksempelvis innen medisin, kan bli tilsvarende vanskelig. I visse miljøer kan det derfor være lite populært å bringe mulige negative aspekter ved nye teknologier på banen. Dette kan påvirke både offentlige og faginterne diskusjoner.

Spesifikke forskningsmiljøer sikrer dessuten sin eksistens og videre virke gjennom nettopp fokusert og spesifikk forskning. ELSA-vurderinger, ja selv basale helse- og miljøbetragtninger, vil kunne falle utenfor slike miljøers nøye avpassede forskningsportefølje. Det samme gjelder i forhold til de etablerte juridiske forskningsmiljøer. I

²⁵ Se <http://onlineethics.org/reseth/helsinki.html>

visse instanser kan slike prioriteringer oppfattes som en hemske og belastning for forskningsmiljøets utvikling og fagprestasjoner.

Alle disse interessene og vurderingene påvirker hvilken forskning som finner sted, og hvordan denne utføres. Forskning er dessuten i aller høyeste grad en del av samfunnet og vil ha stor betydning for hvordan virkeligheten vil se ut for alle i fremtiden. Men samtidig besitter forskerne gjerne spisskompetanse som det kan være vanskelig å forene med tilstrekkelig overordnet innsikt i mulige følger og betydningen av forskningen for samfunnet.

Derfor mener mange at forskersamfunnet alene ikke kan styre hvilken retning forskningen bør ta. Det er et felles anliggende, noe som i så fall betyr en politisering av forskning og teknologiutvikling. Dette har egne fallgruver, slik vi har sett i dagens bioteknologiske debatt. Skal vi forby eller prioritere bestemte prosjekt ut fra hva slags samfunn vi ønsker? Hva slags politiske prosesser er i så fall legitime? Et samfunnsdiktat om hva som er «politisk korrekt» forskning vil kunne hindre en fri kunnskapsutvikling og gjøre stor skade både på forskning og samfunn.²⁶

På den annen side, som eksemplifisert ovenfor, finnes det normative valg underveis både i forskningsprosesser, forskningsprioriteringer, og bruk av ny teknologi som fortjener en bredere samfunnsdebatt. Hvor mye skal man betone føre-var-prinsippet under forskning og forskningsprioritering? Hvilke farer, og hvor store farer er samfunnet villig til å akseptere? Hvilke endringer i hva det vil si å være menneske, inkludert våre muligheter til å kjenne og påvirke egne helserisiko og andre egenskaper, hilser vi velkommen? Hvilke endringer vil vi fraråde eller forby?

Etiske overveielser og prinsipper som rettferdighet og menneskeverd spiller en rolle i disse valgene. Likevel kan ikke disse normative spørsmålene besvares gjennom en etisk eller rettslig analyse. Et valg om å risikere en ukjent, muligens ikke-eksisterende bivirkning for å prøve å behandle en kreftform med nanopartikler, er i liten grad et spørsmål om moral og etikk. Alle, eller de aller fleste, ønsker sitt eget og sine medmenneskers beste. Diskusjoner omkring et «akseptabelt risikonivå» og lignende er fremfor alt spørsmål om hvilket samfunn og hvilken samfunnsutvikling man ønsker, og hvilken rolle man tror vitenskap og teknologi kan og bør spille i utviklingen. Forskningsetiske komitéer og akademiske «etikere» har her en oppgave i å bidra med sin ekspertise, men også i å synliggjøre grensene for denne ekspertisen. Spørsmål som er mer politiske og ideologiske enn moralfilosofiske, må slippe ut av komitélokalene og inn i brede lag av offentligheten.

Kommersielle hensyn og aktører

Forskning og utvikling innen bio- og genteknologi gjøres i dag hovedsakelig av private selskaper, og de årlige investeringer er rundt USD 20 milliarder. I fremste rekke ligger store multinasjonale konsern som Monsanto, Novartis og Zeneca. Disse selskapene er også de som vil være i forskningsfronten på nanoteknologier innen matproduksjon, utvikling av legemidler og biosensorer. Det er mange betenkeligheter relatert til at forskning og utvikling flyttes fra offentlige forskningsinstitusjoner og over til kommersielle aktører.

²⁶ Skrekkeksempler er Lysenkos og Stalins bestrebelser på å utforme en marxistisk korrekt biologi og landbruksvitenskap.

En av utfordringene er å styre utviklingen, og en annen er hvordan få innsyn. Erfaring viser at forskning og utvikling utført av private aktører fører til lite åpenhet og begrenset innsyn fra det offentlige. For å kunne ta stilling til nanoteknologi som sådan, og til anvendelse av de enkelte nanoteknologier, må samfunnet kunne forhåndsvurdere både fordeler og ulemper på en meningsfylt måte. Det må finnes tilstrekkelig kunnskap og adekvate metoder til å identifisere, unngå, overvåke og motvirke skadevirkninger. Stilt overfor det kommersielle presset for å ta i bruk nanoteknologier, blir det avgjørende spørsmålet om disse forutsetningene vil være tilstede når de trengs.

Enkeltforskernes roller

I en fokusert og prestasjonskrevende forskerhverdag kan det være mindre plass for helhetlige betraktninger om teknologiutvikling, etikk og moral. For mange forskere synes det kanskje fjernt at nettopp deres spesifikke forskningsfunn skal kunne misbrukes eller ha uoverskuelige konsekvenser. Forskeren har dessuten som regel ikke kontroll over sine forskningsresultater eller bruken av disse. Dette kan ikke desto mindre forhindre den enkelte forsker fra ærlig å forsøke fortløpende å bedømme tenkbare konsekvenser av sin forskning, å informere om disse, samt å avstå fra forskning som en måtte anse som uetisk.

Gitt begrensede muligheter til å kontrollere nanoteknologiene, kombinert med forsvarsindustriens økende interesse for feltet, synes enkeltforskernes roller og nanoteknologiske virke særlig viktig. For nanoteknologi i særdeleshet, er en god forsker en reflektert forsker. Ethiske kodekser for forskere er blitt formulert pga. uro over anvendelser og konsekvenser av vitenskapelig forskning.²⁷ Slike kodekser er tenkt brukt av forskeren selv – det er først og fremst han eller hun som har et særlig ansvar for å bedømme konsekvensene av egen forskning.

Forskningsfokus, organisering og bevilgninger

For å forstå nanoteknologiernes muligheter og begrensninger bør mer av fremtidens nanoforskning sannsynligvis være interdisiplinær. Fagfeltets kompleksitet påkaller tidlig tverrfaglig kompetanse og samarbeid, nasjonalt så vel som internasjonalt. Internasjonal samhandling synes særlig viktig, gitt behovet for etableringen av en felles målemetodikk, generelle standarder og allmenne rammeverk for forvaltning, lover og regulering. Samtidig er det behov for nasjonale spydspisser, sammen med en viss breddekompetanse innen nanoteknologier, dels for å følge den internasjonale forskningen, og dels for å utvikle denne. Dette fordrer at norsk forskning på utvalgte områder ligger på høyt internasjonalt nivå, slik at Norge fremstår som en attraktiv samarbeidspartner i det europeiske og det internasjonale forskningsrom gjennom en koordinert norsk satsing. Dette kan utfordre de enkelte forskningsmiljøer, så vel som myndigheter og bevilgende instanser som må tilrettelegge for forskningen, for faglig åpenhet og for offentlige møteplasser.

²⁷ Eksempler innbefatter Russel-Einstein manifestet fra 1955, se <http://www.pugwash.org/about/manifesto.htm>, og den såkalte Uppsala-kodeksen fra 1984. For en diskusjon av sistnevnte, se Natvig (2002).

Stikkord for fremtidens forskningsaktivitet på feltet er forståelse av den dynamikken som vil prege den nanoteknologiske utviklingen på alle nivå, herunder klargjøring av:

- Nanoteknologiernes iboende kompleksitet og virkningsmekanismer
- Ulike brukergrupper, og deres behov og prioriteringer
- Behovet for åpenhet og faglige, så vel som offentlige, møteplasser

Mens helse- og miljøaspekter i stor grad må kartlegges med spesialiserte naturvitenskapelige forskningstilnærminger, kan særlig en belysning av ELSA-aspekter knyttet til nanoteknologier kreve nytenking og tverrfaglighet, nye felles forskningsarenaer, og tidlig integrering med øvrig forskningsinnsats på det nanoteknologiske området. Samtidig bør samfunnsvitere komme langt sterkere på banen for å trekke vekslere på hittil isolerte fagdebatter. Det synes dessuten nå å være en mulighet for nytt tverrfaglig samarbeid mellom miljøer med spisskompetanse innen nanoteknologier og materialvitenskap og forskere innen mer tradisjonell miljøforskning.

På denne bakgrunn bør det etableres institusjoner for å overvåke nanoteknologier, muligens i form av uavhengige nasjonale råd (EU Risk Workshop 2004, side 26), og institusjonene bør tilføres kompetanse og midler for å utføre sitt virke kvalitetsmessig. Av totalmidlene innenfor Funksjonell genomforskning i Norge (FUGE), er nå tre til fem prosent øremerket til satsinger innenfor etikk, samfunn og miljø. Dette er et nivå som etter hvert har blitt en internasjonal praksis, og som også Forskningsrådets NANOMAT-program bør ha som uttalt målsetting, gjerne som et eget delprogram.

Det bør også etableres en dialog med industrien og med befolkningen, for å sikre at de deltar i beslutningsprosessene. Dialogen må være toveis og bygge på ulike interessenters forventninger, holdninger og oppfatninger av risiko. Industrien bør selv gå foran og påse at den nødvendige helse-, miljø- og sikkerhetskompetansen etableres hos den enkelte produsent, så vel som hos nasjonale myndigheter.

I Storbritannia har the Royal Society anbefalt at det etableres et interdisiplinært forskningssenter for å forske på giftigheten, epidemiologien, eksponeringsveier og bioakkumuleringen assosiert med fabrikkerte nanopartikler og nanorør (Royal Soc. 2004, side 48). The Royal Society anbefaler videre at det etableres en database over effekter, og at forskningsmiljøet samhandler tett med regulerende myndigheter, som del av en tilpasset tilsynsstrategi. Det understrekes også her at den finansielle støtten til senteret bør følge den nanoteknologiske utviklingen i samfunnet for øvrig.

Tilsvarende kan et interdisiplinært forskningssenter etableres i Norge. Senteret bør fokusere på mange av forskningsoppgavene beskrevet nedenfor, opptre som rådgivende organ for rekken av spørsmål knyttet til nanoteknologier, jevnlig gjennomføre dialogseminarer mellom publikum, forskere, beslutningstagere og regulerende myndigheter, fostre og opprettholde et relevant forskningsnettverk både nasjonalt og internasjonalt, og opprettholde en database over relevante forskningsfunn. En slik satsing bør dessuten bidra til at det tilbys gode kurser i nanoetikk ved forsker-utdanningen innenfor ulike universiteter/høgskoler i Norge, og stimulere til at etikk og kunnskap om gjeldende rett blir en integrert del av utdanning innen nanoteknologi. Et nasjonalt nettverk bør kunne tjene begge formål, og i den grad det er mulig, også la felles kurstilbud gi en mulighet til tverrfaglig kontakt mellom forskere innen nanoteknologi og forskere innen nanoetikk og nanojus.

Nanoteknologier og etikk og samfunn: Aktuelle forskningsproblemstillinger

Anvendelsen av nanoteknologier innen humanmedisin

Bruk av avanserte bioteknologiske metoder, som molekylærgenetikk, har gitt kunnskap som reiser flere spørsmål knyttet til begrepene helse, sykdom, det normale og funksjonshemming, og hva vi legger i dem. Toleransen for avvik kan reduseres. Medisinsk bruk av bioteknologi (jamfør Bioteknologiloven) skal skje i samsvar med prinsipper om "respekt for menneskeverd, menneskelige rettigheter og personlig integritet, og uten diskriminering på grunnlag av arveanlegg". Dette er verdier som også er relevant for bruk av nanoteknologier innen humanmedisin, og som reiser et spekter av forskningsmessige utfordringer.

Nanoteknologier og personvern

Bruk av nanoteknologier innen humanmedisin aktualiserer også spørsmål om fortrolige opplysninger og akseptabel bruk av slike opplysninger. Hvordan bør vi behandle spørsmål som gjelder konfidensialitet, personvern og hva som er rettferdig overfor de involverte parter ved bruk av nanoteknologier innen humanmedisin? Hvordan vil økende kontroll- og overvåkningsmuligheter påvirke den enkeltes rettigheter? Videre vil spørsmål knyttet til autonomi og økt avhengighet av teknologi være relevante forskningsområder.

Anvendelsen av nanoteknologier i militæret

Nye materialer som bedrer overvåkningsutstyr, våpen og beskyttelse av stridende kan bidra til å redusere trusler og konfliktnivåer. Men samtidig kan terskelen for voldsbruk og angrep senkes. Nanoteknologiene kan også bidra vesentlig i utviklingen av ikke-konvensjonelle stridsmidler. Forståelsen av slike prosesser bør bli vesentlige forskningsområder, ikke minst på bakgrunn av erfaring fra våpenkappløp og terrorbalanse i forrige århundre, og dagens rekke av væpnede konflikter.

En relatert problemstilling er knyttet til betydningen av at så vidt mye nanoteknologisk forskning er underlagt militær hemmelighet. Er det i strid med prinsippet om åpen samfunnsdebatt om forskningen, og vil det ha betydning for den generelle aksepten av og utviklingen av andre anvendelser av nanoteknologi?

Anvendelsen av nanoteknologier innen matproduksjon

Nanoteknologier for matproduksjon og -prosessering representerer lovende og kostnadsbesparende områder for næringen. Samtidig synes det klart at helse- og miljøaspektene blir særlig relevante. Dette gjelder ikke minst i forbindelse med bruk av nanoteknologier for fremtidige, designede produkter for konsumering. Matproblematikken har dessuten relevans i forhold til fordelingsperspektiver, både hva gjelder goder, og hva gjelder problemer.

Lover og reguleringsregimer

Det finnes i dag ikke lovgivning og retningslinjer for å ivareta etiske, samfunnsmessige og miljømessige hensyn ved bruk av nanoteknologier, FoU, næringsutvikling og kommersialisering av forskningsresultater. Tolkning av om eksisterende rettslige instrumenter kan brukes til å regulere nanoteknologier, og i hvilken grad det er behov for nye regimer, utgjør derfor viktige utfordringer.²⁸ Faktorer for en effektiv implementering av nytt og gammelt regelverk bør identifiseres, sammen med en kartlegging av ulike interessenters legale behov og forventninger i forhold til nanoteknologier.

Videre er den internasjonale dimensjonen åpenbar: I hvilken grad er det juridisk eller praktisk mulig å regulere dette bare på nasjonal basis, og i hvilken grad må vi ta sikte på internasjonal samordning? Finnes det etiske, folkerettslige og institusjonelle premisser for utvikling av internasjonal lovgivning og forvaltning av nanoteknologier? Problemstillingene er nært knyttet opp mot utviklingen av standardisert (internasjonalisert) målemetodikk og -prosedyrer for nanoteknologier.

Nanoteknologier og patentering

Immaterialrettslig vern gjennom patentering er relevant også for nanoteknologier. Det kan være behov for en patentordning for å inspirere til anvendt nanoteknologisk forskning. Men immaterialrettslig vern innebærer en risiko for at produkter utviklet via nanoteknologi vil komme spesifikke grupper til gode. Slike aspekter bør klargjøres, også i lys av fordelings spørsmål. Det kan være ønskelig med utvikling av spesielle rettslige strategier for å gi et ønsket immaterialrettslig vern til nanoteknologiske nyvinninger, samtidig som man legger forholdene til rette for deling og utnyttelse av kunnskapen.

Den kommersielle utnyttelsen av nanoteknologier

Internasjonalt er det ofte privat kapital som finansierer nanoteknologisk forskning og utvikling. Det kan imidlertid hevdes at markeder for slike varer og tjenester ikke bør være uregulerte. Fordelingsvirkningene av et fritt varebytte både innad i samfunn og mellom land, kan vise seg å by på problemer. Politisk inngripen og offentlige tjenester benyttes ofte for å unngå at det skal oppstå uakseptable ulikheter mellom borgere i samme stat. Det er imidlertid ikke så lett å styre forhold mellom land som er på forskjellige nivåer i økonomisk utvikling, eller som har ulik grad av åpenhet knyttet til teknologiutvikling. Studier av slike aspekter kan ha særlig relevans for nanoteknologier.

Nanoteknologier og fordelings spørsmål

Debatten om globalisering har generelt satt temaer som vedrører internasjonal fordeling på dagsordenen. Samtidig har utviklingen innenfor moralfilosofi og politisk filosofi stimulert til økt akademisk interesse for denne type spørsmål. Problemstillinger knyttet til patentering, internasjonal fordeling og økonomiske fordelings spørsmål bør inngå i normative studier av hvordan nanoteknologier påvirker livsbetingelsene i ulike deler av verden.

²⁸ Tilsvarende vurderinger ble gitt av NANOSAFE, et EU-finansiert forskningskonsortium, juni 2004. Se også (Luther 2004), og www.dechema.de/data/dechemaneu/Presse/PM%20Nanosafe-eng.pdf

Nanoteknologi, innovasjonspolitik og bærekraftig utvikling

Nanoteknologi spiller nå en viktig rolle i industrialiserte lands politikk om innovasjon. Innovasjonspolitikken hevdes ofte å være i overensstemmelse med målsetninger om bærekraftig utvikling. Det ligger en viktig forskningsoppgave i en kritisk gjennomgang av det teoretiske og empiriske fundament for ulike visjoner om en «bærekraftig innovasjonspolitik» for nanoteknologi.

Nanoteknologier og indirekte konsekvenser for folkehelse

Det ligger et paradoksalt element i det forhold at de mest forskbare spørsmål knyttet til nanoteknologiens helse- og miljøkonsekvenser er knyttet til direkte, fysiske interaksjoner, mens teknologihistorien viser at de største effekter gjerne er indirekte og langsiktige, og skjer via samfunn og kultur. De metodologiske utfordringene ved samfunnsmedisinske og miljøvitenskapelige studier av fremtidige indirekte effekter er betydelige. Likevel er nanoteknologiens indirekte relasjoner til folkehelse og bærekraftig utvikling så viktig at slik forskning bør stimuleres og gis det nødvendige rom for videreutvikling.

Ideologikritiske studier av legitimering av bruk og utvikling av nanoteknologier

En erfaring fra de senere års debatt om bioteknologi er at det offentlige ordskiftet kan tjene på større grad av nyansering og høyere refleksjonsnivå hva angår forskningens og teknologiutviklingens legitimering. Å legge til rette for en slik mer konstruktiv debatt er imidlertid en forskningsutfordring. Her ligger det uavklarte spørsmål av både vitenskapshistorisk og filosofisk karakter, knyttet til teorier om og holdninger til ny teknologi. Her forutses dermed både grunnlagsteoretiske studier så vel som mer anvendte forskningsprosjekter der publikum, eksperter og ulike berørte parter kan og bør spille en aktiv rolle.

Nanoteknologier og konvergerende vitenskaper

Et av de virkelig lovende utviklingsfelt er samspillet mellom og konvergensen av nanoteknologier og IT, bioteknologi og kognitiv vitenskap. Mulighetene synes mange og store, men spekteret av mulige etiske, rettslige og samfunnsmessige spørsmål er også omfattende. Feltets, eller rettere sagt feltenes, iboende kompleksitet og dyptgripende art fordrer opplagt nye kunnskapsnivåer og intensivert forskning også på de mer overgripende spørsmål, så vel som på mulige (bi)effekter av spesifikke, fremtidige applikasjoner.

Nanoteknologier i lys av øvrige nye teknologier

Representerer nanoteknologiformen noe fundamentalt nytt, eller er det snakk om en evolusjon snarere enn en revolusjon? Hvilke aspekter deler nanoteknologi med andre øvrige nye teknologier som atom-, informasjons- og bio-/genteknologi? Og hva er nanospesifikt? Slike sider ved teknologien og teknologiutviklingen synes viktig å forstå, dels i relasjon til befolkningens oppfatning av risiko og medbestemmelsesgrad, men også i forhold til tilretteleggelse for innovasjon og utvikling og sist, men ikke minst, en sunn og forsvarlig forvaltnings- og reguleringspraksis.

Risikovurderinger og bruk av føre-var-prinsippet

For nanoteknologiene som for andre teknologier, er det relevant å legge føre-var-prinsippet til grunn for risikovurderingen i de tilfeller hvor vi ikke har tilstrekkelige

vitenskapelig kunnskap, hvor kunnskapen er utilfredsstillende eller usikker, og hvor mulige risikoer for menneskers og dyrs helse eller for miljøet anses for å være uakseptable. Generelle problemstillinger knyttet til risikovurderinger og bruk av føre-var-prinsippet ved utvikling og bruk av nanoteknologier, samt spesielle problemer knyttet til usikkerhet om helse og miljømessige konsekvenser bør derfor belyses.

Befolkningens nanokunnskap og oppfatninger

Også de allmenne forventningene til nanoteknologier vil bidra til å styre feltets retning og utvikling. Undersøkelser av forutsetningene for nanoteknologisk samhandling og dialog er derfor viktig. Holdnings-, oppfatnings- og kunnskapsstudier bør følgelig inngå som en integrert del av nanoteknologiutviklingen. Slike studier kan gi indikasjoner på hvilke spørsmål som oppfattes som viktige og relevante for folk flest. De kan også avdekke kunnskaps- og formidlingsbehov knyttet til nanoteknologiene. Nanoteknologiens eksplorative nivå gir unik mulighet til å følge utviklingen over tid. Kvalitative og kvantitative studier kan tenkes å supplere hverandre.

Evaluering av tiltak og metodeutvikling for medvirkning

I utviklingen av den offentlige dialog om nanoteknologier er det en viktig oppgave å stimulere eksisterende institusjoner, organisasjoner og opinionsledere til å begynne en bevisstgjøringsprosess om nanoteknologier. En informert debatt vil være ønskelig ut fra flere hensyn, blant annet idealet om demokratisk medbestemmelse. I forlengelsen av en slik bevisstgjøring er systematisk metodeutvikling og tiltaksevaluering viktige forskningsoppgaver. Dette kan være en forutsetning for å forstå og demokratisere nanoteknologiske medbestemmelsesprosesser. Studier som sammenfatter og sammenligner forskjellige lands erfaringer vil være verdifulle.

Sosiale og økonomiske temaer som kan bli forsterket av nanoteknologier

Nanoteknologiene vil by på enkelte unike etiske og eksistensielle utfordringer, for eksempel knyttet til grensen mellom det organiske og det mekaniske. Det som fremstår som gradsendringer kan være teknologiske pådrivere i en signifikant samfunnsmessig transformasjon. Det vil være behov for samfunnsvitenskapelig forskning som presist kan beskrive utviklingen av nanoteknologiene i samfunnet, som inkluderer makt- og demokratiperspektiver, sosiale og økonomiske konsekvenser etc. Kommersialisering av vitenskapen, informasjonsrettigheter og personvern, immaterielle enerettigheter og Norges antatte innovasjonsproblem kan være aktuelle studier relatert til dette.

Nanoteknologier og behovet for transparens

Behovet for både nasjonal og internasjonal samhandling er viktig for den videre nanoteknologiske utviklingen. I forlengelsen av dette er også studier av hva som skal til for å øke spredningen og forståelsen av relevante forskningsfunn ønskelig. Dagens data på feltet er ufullstendige og komparative undersøkelser av vitenskapelige data bør vektlegges. Premisser for økt transparens innen nanoteknologiske markeder, utvikling og produksjon er også viktige aspekter som bør klargjøres (EU Risk Workshop 2004, 27).

Nanoteknologier og helse og miljø: Aktuelle forskningsproblemstillinger²⁹

Nanoteknologiske hybridsystemer

Mye av dagens bekymring og helse- og miljøfokus er relatert til frie nanopartikler.³⁰ Men hybridsystemer, som eksempelvis kombinerer organisk og uorganisk materiale ved hjelp av forfinet grenseoverflateteknologi, kan også produsere et spekter av nanoteknologiske muligheter – og med dette kanskje også negative helse- og miljøeffekter. En kartlegging av eventuelle skadevirkninger av et utviklingsfelt som til nå i stor grad har fokusert på muligheter, kan være stort. For ulike forskningsmiljøer kan utvidede effektstudier av nanoteknologiske hybridsystemer innebære nye, tverrfaglige og svært relevante utfordringer.

Mulige skadeeffekter av nanopartikler

Gitt det relativt begrensede antall nanopartikler som er produsert, er det kanskje heller ikke så overraskende at det mangler både faktisk kunnskap og praktisk erfaring angående deres helsemessige, miljømessige og sikkerhetsmessige effekter. Dagens begrensede kunnskap baserer seg i stor grad på materialenes makroegenskaper. Som for ethvert nytt kjemisk stoff som kommer på markedet, bør det med andre ord etableres systematiske toksikologiske studier for nanomaterialer. Epidemiologiske studier av eksponering og helseeffekter er viktig, sammen med videreutvikling av dyremodeller. Her kan det være på sin plass å sammenligne med naturlig forekommende nanopartikler, og deres potensielle helseeffekter.

Spesifikke toksikologistudier knyttet til nanopartikler

Særlig er det et stort kunnskapsgap hva gjelder nanopartiklenes mulige giftighet. Identifisering av giftfremkallende egenskaper hos nanopartikler bør være blant de primære forskningsfokus. Fundamentale studier for å forstå vekselvirkninger for nanopartikler på cellulært nivå må initieres, spesielt hva gjelder effekter på blodkar, huden, hjerte- og nervesystemet. Det er et behov for ytterligere studier av hudabsorpsjon av ulike kommersielle nanopartikler brukt i kosmetikkindustrien, spesielt i tilfeller hvor huden er skadet før bruk.

Noen studier om nanopartiklers giftighet er underveis, men per i dag baserer kunnskapen seg i stor grad på relaterte forurensnings- og eksponeringsstudier. Det er ikke kjent hvilke fysiske egenskaper ved nanopartikler som er sterkest korrelert med giftighet (Royal Soc. 2004, side 48). Forskningen bør derfor fokusere på faren knyttet til nye, fabrikkerte nanopartikler, med et særlig fokus på overflateegenskaper som endrer toksisiteten (Royal Soc. 2004, side 42).

Standardisering av måling og overvåking av nanopartikler

Et fundamentalt aspekt ved alle risikovurderinger er muligheten til å kvantifisere farer. Viktigheten av etablerte standardiserte målings- og overvåkingsprosedyrer for å kontrollere konsentrasjoner av nanopartikler er med andre ord stor (Royal Soc. 2004,

²⁹ Noen av disse forskningsforslagene inngår også i EUs 6. rammeprogram, temaområde 3 om nanoteknologi, nye multifunksjonelle materialer, nye produksjonsmetoder og -utstyr. Se Appendiks 4.

³⁰ Dette reflekteres også i de følgende forskningsforslag.

side 49). Tilgjengelig målemetodikk for større partikler må i så fall tilpasses nanopartikler (Nanoforum 2004, side 69). Nanopartikler og nanorør er for små til å kunne måles med de fleste standardinstrumenter. Relatert til dette er behovet for effektstudier av ulike kontrolltiltak, samt forbedrede dose-responsstudier. Studiene er viktige for en sunn forvaltnings- og kontrollpraksis.

Internasjonale protokoller for kontroll av nanopartikler

Effektstudier for rekken av eksisterende og fremtidige fabrikkerte nanopartikler, både in vivo og in vitro, er viktige for å kunne bestemme hvordan og i hvilken grad mennesker eksponeres. I forlengelsen av standardiserte og validerte målemetoder for nanopartikler og nanorør i laboratorier, produksjonssteder og miljøet, bør det arbeides for å etablere internasjonale protokoller for overvåking av hvordan, og i hvilken grad, fabrikkerte nanopartikler og nanorør kommer i kontakt med omkringliggende miljøer.

Spredning og transport av nanopartikler

Ytterligere studier og realistiske tester av hvordan materialer på nanoskalaen kan påvirke mennesker og andre organer, hvordan disse materialene tas inn og opp av næringskjeder og økosystemer er nødvendig for å forstå og, om mulig, kontrollere effekter knyttet til slike nye teknologier. Det bør derfor forskes videre på hvordan nanopartikler og nanorør oppfører seg og transporteres i naturen (i luft, vann og jord), samt deres interaksjon med andre kjemikalier. Igjen er etablering av standardmodeller for å undersøke eksponeringsveier og toksisitet til nanopartikler og nanorør i innendørs og utendørs miljøer viktig, også for å kartlegge mulig akkumulering gjennom næringskjeden og økosystemet. Slike aspekter vil måtte inkludere en forståelse av effektene av nanopartiklens størrelse, så vel som ulike overflateegenskaper.

Litteraturoversikt

Aslaksen, Iulie, Bent Natvig and Inger Nordal. «Environmental risk and the precautionary principle: «Late lessons from early warnings» applied to genetically modified plants». *Journal of Risk Research*. Submitted. 2004.

Better Regulation Task Force (BRTF). *Scientific Research: Innovation with Controls*. January 2003. <http://www.brtf.gov.uk/docs/pdf/scientificresearch.pdf>

Bøgedal, Morten. *Nanotechnology in the Nordic Region. An introduction*. Nanoforum. Juni 2003. <http://www.nanoforum.org/index.php?struktur=5&sent=&step=&folder=99999&modul=showpub&action=showcomplete&scid=110&code=de3c1a733c9c51de130bc7ae775fd930&userid=500767&wb=130125&>

ETC. *Size Matters! The Case for a Global Moratorium*. The ETC Group. Occasional Paper. April 14, 2003. www.etcgroup.org/article.asp?newsid=392

EU Conv., *Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies*. DG research. High Level Expert Group on «Foresighting the New Technology wave». 2004. http://europa.eu.int/comm/research/conferences/2004/ntw/pdf/final_report_en.pdf

EU Risk Workshop. *A Preliminary Risk Analysis on the Basis of a Workshop Organized by the Health and Consumer Protection Directorate General of the European Commission*. 2004. http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/events_risk_en.htm

Fixdal, Jon. *Public Participation in Technology Assessment - An Analysis of Three European Models and Their Contributions to a Well Informed and Democratic Governance of Technology*. TIK-senteret. Universitetet i Oslo. 1998.

Funtowicz, Silvio O. og Jerome R. Ravetz. *Uncertainty and Quality in Science for Policy*. Dordrecht: Kluwer. 1990.

Gorman, Jessica. «Taming High-Tech Particles». *Science News*. mars 2002. <http://www.sciencenews.org/articles/20020330/bob8.asp>

Grunwald, Armin. *The Case Of Nanobiotechnology. Towards A Prospective Risk Assessment*. European Molecular Biology Organization. EMBO Report Vol 5, Special Issue. 2004.

Haller, Matthias. «Nano» as a Phantom Risk? - *Learning from Recent Developments*. Presentasjon ved Matforum 04, Potentials and Risks of Nanoscale Materials. University of Augsburg. Tyskland. 21.-22. september 2004.

HSE 2004. *Nanoparticles: An occupational hygiene review*. Prepared by the Institute of Occupational Medicine for the Health and Safety Executive 2004. Research Report 274. <http://www.hse.gov.uk/research/rpdf/r274.pdf>

Luther, Wolfgang (ed.). *Industrial Applications of Nanomaterials – Chances and Risks*. VDI Technologiezentrum GmbH. August 2004. <http://nano.uts.edu.au/nanohouse/nanomaterials%20risks.pdf>

Merton, Robert K. Ch. XVIII. «Science and democratic social structure», in *Social Theory and Social Structure*. New York: The Free Press, 604-615, 1968 [1942].

- Nanoforum. *Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology*. Report by the Nanoforum Consortium. 2004.
<http://www.nanoforum.org/index.php?struktur=5&sent=&step=&folder=99999&modul=showpub&action=showcomplete&scid=220&code=de3c1a733c9c51de130bc7ae775fd930&userid=500767&wb=130125&>
- Natvig, Bent. «Ansvar for forskningens anvendelse: Pugwash-bevegelsen og Uppsala-kodeksen 1984». Foredrag. 2002. <http://www.etikkom.no/HvaGjorVi/Foredrag/uppsala>
- NBIC. *Converging Technologies for Improving Human Performance*. 2002.
<http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/>
- NENT. *Føre-var prinsippet: mellom forskning og politikk*. Den nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap og teknologi. August 1997.
- Oberdörster, E. «Manufactured nanomaterials (fullerenes, C 60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass». *Environmental Health Perspectives*. 112, 1058-1062. 2004.
- Pedersen, R. og U. Vincentsen. *Borgeres holdning til nanoteknologi*. Teknologirådet (Danmark) august 2004. <http://www.tekno.dk/subpage.php3?article=1080&toppic=kategori7&language=dk>
- Popper, Karl. *The Open Society and its Enemies*, vol II. London: Routledge, 1966.
- Ratner og Ratner. *Nanotechnology. A Gentle Introduction to the Next Big Idea*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, November 2002.
- Royal Society/Royal Academy of Engineering. *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. UK. July 2004. <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>
- Rønning, Magnus. *Bimetallic Catalysts and Platinum Surfaces Studied by X-ray Absorption Spectroscopy and Scanning Tunnelling Spectroscopy*. Dr.Ing Thesis. Department of Chemical Engineering. NTNU. 2000. ISBN 82-7984-025-7
- Slocum, Nikki. *Participatory Methods Toolkit. A practitioner's manual*. A joint publication of the King Baudouin Foundation and the Flemish Institute for Science and Technology Assessment (viWTA) in collaboration with the United Nations University – Comparative Regional Integration Studies (UNU/CRIS), 2003. <http://www.cris.unu.edu/pdf/participatory%20methods%20toolkit.pdf>
- Teknologirådet. *Teknologisk fremsyn – formål, metoder og Teknologirådets rolle*. Rapport . November 2004. <http://www.teknologiradet.no/html/686.htm>
- Torimitsu, Keiichi. «Nano-Bio Science». *NTT Technial Review*. Vol. 2. Nr. 2. Februar 2004.
- Est, Rinie van, Ineke Malsch og Arie Rip. *Om het kleine te waarden... Een schets van nanotechnologie: publiek debat, toepassingsgebieden en maatschappelijke aandachtspunten*. Den Haag: Rathenau Instituut. Werkdocument 93. Mars 2004.
- Wynne, Brian. Uncertainty and Environmental Learning - Reconceiving Science and Policy in the Preventive Paradigm. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*. 2:111-127. 1992.
- Yamago, S., H. Tokuyama, E. Nakamura, K. Kikuchi, S. Kananishi, K. Sueki, H. Nakahara, S. Enomoto, F. Ambe. «In vivo biological behavior of a water-miscible fullerene: 14C labeling, absorption, distribution, excretion and acute toxicity». *Journal of Chemical Biology*. Vol. 2. No. 6. 1995.

Utvalgt litteratur for videre lesing

Altmann, Jürgen og Mark A. Gubrud. *Risks from military uses of nanotechnology – the need for technology assessment and preventive control*. Published in M. Roco, R. Tomellini (eds.). The 3rd Joint EC-NSF Workshop on Nanotechnology: *Nanotechnology – Revolutionary Opportunities and Societal Implications*. pp.144-148, 2002. www.ep3.ruhr-uni-bochum.de/bvp/RiskMilNT_Lecce.pdf

Altmann, Jürgen. *Military Uses of Nanotechnology – Risks and Proposals for Precautionary Action*. Paper presented at the seminar on nanotechnology at the European Parliament. 11 June 2003. <http://www.nanotec.org.uk/evidence/93cAltmannEuroParlMilitary%20NT.pdf>

Anton, Philip S., Richard Silbergliitt, James Schneider. *The Global Technology Revolution. Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015*. RAND, National Defense Research Institute. 2001
<http://www.rand.org/publications/MR/MR1307/MR1307.pdf>

ETC Group. *Green Goo: Nanotechnology comes alive!*. Issue 77. January/February 2003. www.etcgroup.org/article.asp?newsid=373

ETC Group. *The Big Down*. 2003. www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf

ETC group. *Nano's Troubled Waters*. 1 April 2004. http://www.etcgroup.org/documents/GT_TroubledWater_April1.pdf

ETC group. *Nanotech Takes a Giant Step Down*. 6 March 2002. <http://www.etcgroup.org/documents/nr2002march6.pdf>

EU Commission. *25 Recommendations on the Ethical, Legal and Societal Implications of Genetic Testing*. DG Research Brussels. 2004.

EU Commission. *Nanotechnology. Innovation for tomorrow's world*. Research DG, 2004. ftp://ftp.cordis.lu/pub/nanotechnology/docs/nano_brochure_en.pdf

Fjelland, Ragnar. *Vitenskap mellom sikkerhet og usikkerhet*. Oslo: Gyldendal Ad Notam. 1999.

Gorman, Jessica. «Cautious steps in the nanotech future». *Science News*. 30 March 30. Vol. 101. No. 13. 2002. <http://www.sciencenews.org/articles/20020330/bob8.asp>

Greenpeace. *Future Technologies, Today's Choices*. Greenpeace Environmental Trust. 2003. <http://www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/5886.pdf>

Healy, Peter and Hans Glimell (eds.). *European Workshop On Social And Economic Issues Of Nanotechnologies And Nanosciences, 14-14 April 2004*. Workshop Report. European Commission, Research Directorate-General. August 2004.

Hermerén, Göran. *Ethical Implications of Nanotechnology. Session 2: Societal Aspects and Communication*. EuroNanoForum. Trieste. 9-12 December 2003.

Howard, Sean. «Nanotechnology and Mass Destruction: The Need for an Inner Space Treaty». *Disarmament Diplomacy*, Issue No. 65, July-August 2002. www.acronym.org.uk/dd/dd65/65op1.htm

Kosal, Margaret E. «Nanotech: Is small scary?». *The Bulletin of the Atomic Scientists*. September/October 2004.

Lie, Svein Anders Noer. «Muligheter i det uendelige». *Om hvordan den teknologiske utvikling er mulig; om dens begrensninger og selvfrembringelse*, Hovedfagsoppgave i filosofi, Universitetet i Tromsø. udatert.

Meridian Institute. *The Global Dialogue on Nanotechnology and the Poor: Opportunities and Risks*. Background paper. <http://www.nanoandthepoor.org/>

Mnyusiwalla, Anisa, Abdallah S. Daar og Peter A. Singer. «Mind the gap»: science and ethics in nanotechnology». *Nanotechnology*. Vol. 14. R9-13. 2003.

National Science Foundation. *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. March 2001. <http://www.wtec.org/loyola/nano/NSET.Societal.Implications/>

New Scientist. «Nanobacteria revelations provoke new controversy». *New Scientist* (web issue), 19. mai, 2004. <http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99995009>

Phoenix, Chris and Mike Treder. *Applying the precautionary principle to nanotechnology*. 2003. www.crnano.org/Precautionary.pdf

Stavseth, Morten. *Weapons of Science Construction*. University of Oslo, Faculty of Social Sciences, Centre for technology, innovation and culture. The European Inter-University Association on Society, Science and Technology.

Strand, Roger. *ELSA Studies of Nanoscience and Nanotechnology*. Memo to the COST Nanoscience and –Technology Advisory Group (NanoSTAG). 16 Nov 2001. <ftp://ftp.cordis.lu/pub/nanotechnology/docs/nanostag-elsa.pdf>

Strand, Roger. *Ethical Aspects of Nanotechnology*. NANOMAT International Conference. Oslo. 3 June 2004. http://www.forskningradet.no/nanommat/konferanse_2004/Foredrag%20RStrand.pdf

Strand, Roger. «Nanoteknologi, tro og opplysning». Kronikk. *Bladet Forskning*. Nr. 4. 2004. <http://forskningradet.ravn.no/bibliotek/forskning/200404/200404005.html>

Tringe, Heidi Mohlman and Jeff Donald. *More research on societal and ethical impacts of nanotechnology is needed to avoid backlash*. House Science Committee, 2003. www.house.gov/science/press/108/108-049.htm

Wood, Stephen, Richard Jones, Alison Geldart. *The Social and Economic Challenges of Nanotechnologies*. Report by the E.S.R.C, (Economic and Social Research Council). <http://www.esrc.ac.uk/esrccontent/DownloadDocs/Nanotechnology.pdf>

SwissRe. *Nanotechnology, Small matter, many unknowns*. <http://www.swissre.com/INTERNET/pwswwspr.nsf/fmBookMarkFrameSet?ReadForm&BM=../vwAllbyIDKeyLu/LCLN-5Z5LUK?OpenDocument>

TEMAG AG. *Overview of completed and ongoing activities in the field Safety And Risks of Nanotechnology*. [http://www.temas.ch/WWWTEMAS/TEMAS_Homepage.nsf/vwRes/Safety/\\$FILE/NANOSafety_Version2_1.pdf](http://www.temas.ch/WWWTEMAS/TEMAS_Homepage.nsf/vwRes/Safety/$FILE/NANOSafety_Version2_1.pdf)

UK Ministry of Defence. *Nanotechnology: its impact on defence and the MOD*. Information Sheet, udatert. www.mod.uk/linked_files/nanotech.pdf

World Technology Evaluation Center. *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. NSF/DOC-sponsored report, June 2002. <http://wtec.org/ConvergingTechnologies>

Appendiks 1: Arbeidsgruppens mandat

Arbeidsgruppens oppgave er å utrede nasjonale forskningsbehov knyttet til etiske, samfunnsmessige og HMS- (helse, miljø og sikkerhet) aspekter ved nanoteknologi og nye materialer. I utredningen skal en generell føre-var-tilnærming vektlegges, sammen med eventuelle internasjonale komparative forskningsfortrinn for Norge.

Spesifikt skal arbeidsgruppen:

- Definere og (kort) diskutere saksfeltet
- Beskrive nasjonale kunnskaps-, kompetanse- og reguleringsbehov
- Peke på områder der det er behov for å bygge opp nasjonal kompetanse
- Formulere aktuelle forskningsproblemstillinger
- Antyde faktorer av viktighet for optimalisert forskning på feltet

I tillegg skal arbeidsgruppen:

- Identifisere internasjonale forskningsmiljøer, med vekt på nordiske, som Norge kan samarbeide med på feltet
- Gi en oversikt over sentrale internasjonale utredninger på feltet

Utredningen skal utføres som et forprosjekt, fortrinnsvis innen medio desember 2004. Den skal avgis til programstyret for NANOMAT, eventuelt med selvstendige delutredninger.

Utredningen og tilhørende notater vil inngå som del av bakgrunns materialet for Forskningsrådets fremtidige utlysninger av ELSA-midler knyttet til nanoteknologi og nye materialer.

Den uavhengige arbeidsgruppen skal bestå av representanter fra relevante nasjonale miljøer. Arbeidsgruppen rapporterer jevnlig til prosjektets referansegruppe.

Appendiks 2: NANOMAT-programmet

Forskningsrådets satsing på nanoteknologi og nye materialer – NANOMAT (<http://forskningsradet.no/nanomat>) – er et av Forskningsrådets store programmer som skal ivareta nasjonal satsing på de aktuelle teknologiområdene.

Målet for satsingen er å styrke grunnleggende kompetanse for å legge grunnlag for et nytt kunnskapsbasert og forskningsintensivt næringsliv og gi en bærekraftig fornyelse av etablert norsk industri. Programmet skal tilstrebe høy vitenskapelig kvalitet gjennom å:

- Utvikle nye materialer med hovedvekt på funksjonelle materialer
- Fokusere på utvalgte deler av nanoteknologien.

Sentrale, nasjonale FoU-utfordringer for forskningsfeltet fremover vil være:

- Støtte nysgjerrighetsdrevet forskning, som ikke bare vil gi ny kunnskap men også være grunnlag for industrivekst.
- Oppbygging av generisk kompetanse, som i stor grad vil være tverrfaglig. Viktige, utvalgte fagområder er:
 - overflatevitenskap, nanodesign og funksjonelle materialer.
 - fundamental materialkunnskap, overflateteknologi, katalyse og polymerisasjon, bearbeiding og forming, struktur/egenskapsrelasjoner, konstruksjonsoppførsel, matematisk modellering samt design og produksjon.
- Ressurskrevende investeringer i utstyr og utvikling av kompetanse i bruk av dette. Samordning og utbygging av infrastruktur vil derfor stå sentralt, f. eks. også ved et tett samspill med satsingen på mikroteknologi.
- Sørge for at forskningen foregår i samsvar med forsvarlige etiske retningslinjer og styrke kompetanse på miljømessige konsekvenser, spesielt knyttet til nanoteknologi hvor det må legges et føre-var-prinsipp til grunn.

Funksjonelle materialer og nanomaterialer, videreforedling og bruk av lettmetaller, samt plast og plastkompositter er tidligere utpekt som tre områder med høyt næringspotensial. Forskningsrådet startet våren 2004 en foresight-studie innen materialteknologi, inkludert nanoteknologi, for å kvalitetssikre igangsatte aktiviteter og peke på nye områder – Avanserte materialer 2020.³¹

³¹ Se

www.forskningsradet.no/forport/application?childAssetType=GenerellArtikkel&childName=For/For/MatWS2&childId=1101240431787&pageid=ForesightOgDialog

Det er viktig at etiske retningslinjer og kompetansen på miljømessige konsekvenser ivaretas. Dette gjelder ikke bare innen material-/nanoteknologi, men også innen områdene mot de andre konvergerende teknologiene:

- Funksjonell genomforskning
- IKT
- Bioteknologi

Forskningsrådet har i dag flere programmer innen disse områdene. Det største av disse er innen funksjonell genomforskning (FUGE – <http://www.forskningsradet.no/fuge>), der etikk, miljø- og samfunnsmessige aspekter er ivaretatt gjennom et eget delprogram.

Hittil i programperioden har NANOMAT bevilget midler til prosjekter innen følgende fagområder:

1. Funksjonelle materialer for energi
2. Funksjonelle materialer for elektronikk, optikk og kommunikasjon
3. Nanomaterialer
4. Design, teori og modellering innen nanoteknologi
5. Infrastruktur og nanoverktøy
6. Nanoteknologi for elektronikk, optikk og kommunikasjon
7. Bio-nanoteknologi
8. Andre funksjonelle materialer

Over 250 mill. kr. er hittil bevilget eller gitt som tilsagn for perioden 2002-2006. Nesten 70 % av midlene er allokert de tre fagområdene øverst på listen.

Forskningsinstitusjonene som hittil er tildelt mest midler (mer enn 96 % av totalen) er:

1. Universitetet i Oslo
2. NTNU
3. SINTEF
4. Institutt for energiteknikk
5. Universitetet i Bergen

Nasjonalt samordning er tillagt stor vekt. Innen NANOMATs område er det to store nasjonalt koordinerte aktiviteter som totalt har blitt tildelt over 60 % av tilgjengelige midler:

- FUNMAT (<http://www.funmat.no>)
- *complex* (<http://www.phys.ntnu.no/complex>)

Appendiks 3: Nordisk nanoteknologiforskning

Det meste av nanoteknologiforskningen i Skandinavia har til nå blitt organisert innen de respektive landene, og med særskilte fokusområder. Men det er nå en internasjonaliseringstrend som også kan bety sterkere nettverksbygging innen Norden.

Ingen av de nordiske landene har så langt gitt ELSA-aspekter ved nanoteknologiene fremtredende roller i forskningen, men Danmark har initiert en «teknologisk fremsyn-prosess om nanoteknologier» hvor tematikken inngår.³² Det konkrete resultat av fremsynet skal være en forsknings- utdannelses- og innovasjonspolitisk handlingsplan for nanoteknologier, som peker og begrunner fremtidige innsatsområder og perspektiver.

I det følgende presenteres kort de viktigste nordiske nanoteknologiske miljøer. Sammenstillingen bygger i all vesentlig grad på Morten Bøgedals rapport *Nanotechnology in the Nordic Region. An introduction*, fra juni 2003.³³ I denne rapporten er også de enkelte miljøene nærmere beskrevet.³⁴

Danmark

Nano-science Center at the University of Copenhagen

www.nano.ku.dk

INANO (Interdisciplinary Nano-science Center) at the University of Aarhus

www.inano.au.dk

Micro and Nanotechnology Center (MIC) at the Technological University of Denmark

www.mic.dtu.dk

Finland

Laboratory of Inorganic Chemistry at the University of Helsinki

http://www.helsinki.fi/~eorkm_ww/index.html

Center for new materials at the Helsinki University of Technology

Laboratory for Optics and Molecular Materials

<http://omm.hut.fi/>

Laboratory of Polymertechnology

<http://pt.hut.fi/polymeeri/english/index.htm>

³² Se programbeskrivelse under <http://www.teknologiskfremsyn.dk/doc.php?id=29>

³³ Rapporten kan lastes ned fra <http://www.nanoforum.de/dateien/temp/NordicNanotechnology.pdf?10092003091143> . For en ytterligere beskrivelse av danske nanoaktiviteter, se delrapport under <http://teknologiskfremsyn.dk/download/59.pdf>

³⁴ Sidene <http://www.nanonordic.com> beskriver også nordiske nanoteknologiske aktiviteter.

Tampere University of Technology

Surface Science Laboratory

<http://www.tut.fi/surfsci/>

Institute of materials chemistry:

<http://www.tut.fi/units/ymp/kem/research/index.html>

Sverige

Nanometerkonsortiet at Lunds Tekniska Högskola

<http://www.teknisknanovetenskap.lth.se>

Materials Chemistry Division at Kungl. Tekniska Högskolan

<http://web.mse.kth.se/matchem/>

Micro and Nanotechnology Center (MC2) at Chalmers (Gothenburg University)

<http://www.mc2.chalmers.se>

Norge

Micro & Nanotechnology Department at the Norwegian Microtechnology Centre

www.ittf.no/ecy/information/org/7280 og www.sintef.no

Physics Department at the Norwegian University of Science and Technology, NTNU

www.phys.ntnu.no

Department of Chemical Engineering at the Norwegian University of Science and Technology, NTNU

www.chemeng.ntnu.no

Department of Materials Technology at the Norwegian University of Science and Technology, NTNU

<http://www.material.ntnu.no/english/>

Department of Electronics and Telecommunications at the Norwegian University of Science and Technology, NTNU

<http://www.iet.ntnu.no/>

NTNU Nanolab

http://www.ntnu.no/materialer/lab/nanolab_fakta.htm

Centre for Materials Science and Nanotechnology at the University of Oslo

<http://www.matnat.uio.no/english/departments/material/>

The Institute for Energy Technology (IFE) /n-Tec AS.

www.ife.no

FUNMAT <http://www.funmat.no>

complex <http://www.phys.ntnu.no/complex>

Appendiks 4: Nanoteknologiforskning i EU

EUs NMP-program (om nanoteknologi, nye multifunksjonelle materialer, nye produksjonsmetoder og -utstyr) skal bidra til å skape det forskningsmessige grunnlaget for at Europas produksjonsindustri endres fra i utstrakt grad å være råvarebasert til å få et vesentlig høyere kunnskapsinnhold og være basert på miljømessig bærekraftige prinsipper.

NMP-programmet inneholder også aktiviteter innen IKT, matvarer og medisin, bygnings- og transportsektoren, samt etiske, rettslige og samfunnsmessige effekter av nanoteknologiene. Se også følgende web-sider:

- Arbeidsprogrammet for NMP-programmet i EUs 6. rammeprogram, tematisk prioritet 3 (nanoteknologier, nye multifunksjonelle materialer, nye produksjonsmetoder og -utstyr):
ftp://ftp.cordis.lu/pub/fp6/docs/wp/sp1/c_wp_200209_en.pdf
- Dynamisk database over nasjonale forskningsaktiviteter og bevilgninger til nanoteknologier, nye multifunksjonelle materialer, nye produksjonsmetoder og -utstyr: <http://www.cordis.lu/nmp/national-research.htm>
- Nanoteknologier i EUs 6. rammeprogram, mai 2004:
ftp://ftp.cordis.lu/pub/nanotechnology/docs/nano_leaflet_052004_en.pdf
- Nanoteknologier i Europa, november 2003:
ftp://ftp.cordis.lu/pub/nanotechnology/docs/nano_leaflet_052002_en.pdf
- Prosjekter innen nanoteknologier støttet av EU-kommisjonen, desember 2002:
<http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/pressroom-pub.htm>



NANOMAT – Nanoteknologi og nye materialer, er et av Forskningsrådets store programmer som skal samle og forsterke forskningsaktivitetene rettet mot nano- og materialteknologi. Målet for satsingen er å styrke grunnleggende kompetanse for å legge grunnlag for et nytt kunnskapsbasert og forskningsintensivt næringsliv og gi en bærekraftig fornyelse av etablert norsk industri. Programmet skal tilstrebe høy vitenskapelig kvalitet.

www.forskningsradet.no/nanomat

Divisjon for store satsinger har ansvaret for programmet.

Kontaktpersoner for NANOMAT-utredningen:

Programleder:
Spesialrådgiver Dag Høvik
dah@forskningsradet.no

Seniorrådgiver Helge Rynning
hr@forskningsradet.no

Konsulent Agnes Aune
aau@forskningsradet.no

Spesialrådgiver Torstein Pedersen
tp@forskningsradet.no

NANOMAT – Nanoteknologi og nye materialer



Norges forskningsråd

Postboks 2700 St. Hanshaugen

N-0131 OSLO

Telefon: 22 03 70 00

Telefaks: 22 03 70 01

www.forskningsradet.no

ISBN 82-12-02092-4

Store programmer er et viktig virkemiddel i Forskningsrådet for å realisere sentrale forskningspolitiske prioriteringer. De skal gi et kunnskapsmessig løft av langsiktig nasjonal betydning med sikte på å stimulere til innovasjon og økt verdiskaping eller frembringe kunnskap som bidrar til å løse prioriterte samfunnsoppgaver.