

**Nanovitenskap
forskning & utdanning**

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet



Anbefalinger fra en arbeidsgruppe
15. februar 2013

Arbeidsgruppen, oppnevnt av dekanen, legger med dette fram sine anbefalinger for håndtering/organisering av forskning og utdanning innen nanovitenskap ved Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet.

Bergen, 15. februar 2013

Instituttleder Anne Marit Blokhus, Kjemisk institutt (leder)

Instituttleder Geir Anton Johansen, Institutt for fysikk og teknologi

Professor Bodil Holst, Institutt for fysikk og teknologi

Professor Knut Børve, Kjemisk institutt

Professor Pascal Dietzel, Kjemisk institutt

Professor Lars Egil Helseth, Institutt for fysikk og teknologi

Forskningsrådgiver Kari Nordvik har vært gruppens sekretær

Innhold

1.	OPPNEVNING OG MANDAT.....	4
2.	OPPSUMMERING OG ANBEFALINGER.....	4
3.	BAKGRUNN	5
4.	OVERSIKT OVER FORSKNING OG UTDANNING KNYTTET TIL NANOVITENSKAP VED MN-FAKULTETET	7
4.1	NANOVITENSKAPELIG FORSKNING VED MN-FAKULTETET.....	7
4.1.1	<i>Nanofysikk</i>	7
4.1.2	<i>Nanokjemi</i>	8
4.1.3	<i>Øvrig nanovitenskapelig forskning ved fakultetet</i>	9
4.2	NANOVITENSKAPELIG UTDANNING VED MN-FAKULTETET	10
4.2.1	<i>Bachelorprogram i nanoteknologi</i>	10
4.3	FORSKERUTDANNING.....	11
5	INFRASTRUKTUR.....	11
5.1	INFRASTRUKTUR VED INSTITUTT FOR FYSIKK OG TEKNOLOGI	11
5.1.1	<i>Nanostrukturlaboratoriet</i>	12
5.2	INFRASTRUKTUR VED KJEMISK INSTITUTT	12
5.2.1	<i>Laboratorium for gassadsorpsjon</i>	12
5.3	INFRASTRUKTUR VED MOLEKYLÆRBIOLOGISK INSTITUTT	13
5.4	ELEKTRONMIKROSKOPISK FELLESLABORATORIUM.....	13
5.5	INFRASTRUKTUR VED DET MEDISINSK-ODONTOLOGISKE FAKULTET	13
6	FREMTIDSPERSPEKTIV FOR FORSKNING OG UTDANNING INNEN NANOVITENSKAP VED FAKULTETET	13
6.1	FAGLIG INNRETNING FOR NANOVITENSKAP VED MN-FAKULTETET	13
6.2	ORGANISERING OG FINANSIERING.....	14
6.3	HVORDAN STYRKE OG SYNLIGGJØRE FAKULTETETS UTDANNINGSTILBUD INNEN NANOVITENSKAP?	16

1. Oppnevning og mandat

I forbindelse med implementering av strategiplan for Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet for perioden 2011-2015, har dekanen oppnevnt en arbeidsgruppe som skal gjennomgå aktiviteten ved fakultetet relatert til nanovitenskap, og komme med innspill om videreutvikling av nanovitenskap-relatert forskning og utdanning ved fakultetet.

Arbeidsgruppen ble oppnevnt med følgende sammensetning:

- Instituttleder Anne Marit Blokhus, Kjemisk institutt (leder)
- Instituttleder Geir Anton Johansen, Institutt for fysikk og teknologi
- Professor Bodil Holst, Institutt for fysikk og teknologi
- Professor Knut Børve, Kjemisk institutt
- Professor Pascal Dietzel, Kjemisk institutt
- Professor Lars Egil Helseth, Institutt for fysikk og teknologi

Forskningsrådgiver Kari Nordvik har bidratt med administrativ støtte til gruppen etter behov.

Gruppen har hatt 5 møter, samt arrangert en halvdagssamling for nanovitenskapelig forskning ved fakultetet.

Arbeidsgruppen har fått følgende mandat:

Å synliggjøre kompetansen, potensialet, forskningsaktivitet og utdanningen som eksisterer innen nanovitenskap ved fakultetet i dag med mål om:

- At den forskningsaktiviteten og utdanningen som er bygget opp ved fakultetet innen nanovitenskap blir godt ivaretatt og videre utviklet i planperioden 2011-2015
- Forslag til organisering, derunder styringsstruktur og økonomi
- Kartlegging av infrastruktur, behov og muligheter for samarbeid

2. Oppsummering og anbefalinger

Fakultetets forskning og utdanning innen nanovitenskap bør synliggjøres gjennom en profilering og organisering som kalles *NanoBergen*. Organiseringen skal bidra til tydelig ansvarsfordeling for videreutvikling av nanovitenskap ved fakultetet. Profilering innebærer utvikling av informative websider og aktivt å fremme nanovitenskap i relevante fora. Relevante fagmiljøer ved UiB for øvrig og ved eksterne institusjoner inviteres til deltakelse i *NanoBergen*.

MN-fakultetet har gjennom de siste årene bygget opp en betydelig eksperimentell og teoretisk aktivitet innen nanovitenskapelig forskning, primært ved Institutt for fysikk og teknologi (IFT) og Kjemisk institutt (KI). Grovt sett har aktiviteten tre hovedområder: (i) instrumentutvikling, top-down nanostrukturering og karakterisering av faste overflater, (ii) bottom-up syntese og funksjonalisering av nanoporøse strukturer og nanostrukturerte katalysatorer, og (iii) modellering av elektroniske prosesser og strukturelle forhold ved nanostrukturerte systemer inkludert nanopartikler, samt spektroskopiske undersøkelser av slike. I et overordnet perspektiv inkluderer forskningen basale problemstillinger som bl. a. tar sikte på å utvikle nye instrumenter for strukturbestemmelse, å øke forståelsen av strukturer og egenskaper og hvordan disse er relatert, å lage nye strukturer og undersøke deres egenskaper. Virksomheten er i flere tilfeller rettet mot anvendelser innen energi (inkludert petroleum),

avanserte materialer, instrumentering/sensorer, prosessapplikasjoner som for eksempel gass-seperasjon, og medisin.

Arbeidsgruppen foreslår følgende tiltak for å styrke nanovitenskapelig forskning og utdanning ved fakultetet:

- Fakultetet bør ha fortsatt fokus på grunnleggende forskning innen nanovitenskap generelt og innenfor de tre identifiserte områdene gitt over spesielt.
- For å øke den biorelaterte forskningsaktiviteten innen nanovitenskap ved fakultetet anbefales Molekylærbiologisk institutt (MBI) å vurdere sin deltakelse i *NanoBergen*.
- En organisering av *NanoBergen* som er tilpasset den eksisterende linjestrukturen ved UiB (institutt – fakultet – UiB sentralt)
 - En fagansvarlig for satsingen med eget mandat og definerte ansvarsområder.
 - Ett institutt får det administrative ansvaret for *NanoBergen* og instituttleder ved dette instituttet får et særlig ansvar for oppfølging av fakultetets aktivitet innen nanovitenskap. Fagansvarlig rapporterer til instituttleder ved dette instituttet.
 - Det oppnevnes et strategiutvalg som får det faglig-strategiske ansvaret for nanovitenskap ved MN-fakultetet. Strategiutvalget ledes av dekanatet, og instituttlederne fra de deltakende instituttene samt fagansvarlig person er medlemmer i utvalget.

3. Bakgrunn

Nanovitenskap og nanoteknologi handler om å studere funksjonelle materialer, systemer eller fenomener basert på byggesteiner i nanometerskala, og slik utforske hvordan atomer og molekyler kan utnyttes for design av materialer, komponenter eller systemer med forbedrede eller nye egenskaper. Nanovitenskap og -teknologi er et generisk fagområde som virker sammen med en rekke fagdisipliner og som har potensiale til å påvirke mange sider ved samfunnet.

I forbindelse med utarbeiding av UiB sin strategi for perioden 2005-2010, ble det etter forslag fra fakultetene identifisert flere mulige tematiske satsingsområder ved universitetet, deriblant nanovitenskap. Det ble nedsatt et tverrfakultært utvalg som utarbeidet forslag til strategi for en satsing på nanovitenskap og rapporten, *Towards nanotechnology – A strategy for nanoscience at the University of Bergen*, ble positivt evaluert av et internasjonalt panel. Som oppfølging til denne prosessen ble nanovitenskap fra 2005, et eget satsingsområde ved UiB. Fagområdet fikk en egen 5-årig bevilgning og tett oppfølging av Forskningsadministrativ avdeling. Det ble definert 4 hovedområder innen NanoUiB: Nanobiologi, Nanoprosess, Nanobasic og Nanoetikk. Videre ble det etablert en egen styringskomite Nanoscience Advisory Committee (NAC) og satsingen fikk en egen programleder. Det ble opprettet en webside med god informasjon om aktivitet, organisering og kontaktpersoner. I 2007 ble studieprogrammet bachelor i nanoteknologi etablert og i 2009 ble det opprettet et masterprogram i nanovitenskap. Den sentrale satsingen på nanovitenskap ved UiB ble avsluttet i 2011 og det ble da opp til fakulteter og institutter å følge opp fagområdet videre. I løpet av satsingsperioden (2005-2010) ble det gjort investeringer i nanovitenskapelig infrastruktur på 5 mill. kroner fra UiB sentralt. I tillegg hadde MN-fakultetet en egen avsetning på 5,75 mill. kroner i samme periode. Ved Kjemisk institutt (KI) og Institutt for

fysikk og teknologi (IFT) er nanovitenskap fortsatt et uttalt satsingsområde og instituttene har også gjort investeringer over flere år.

I den nye strategiplanen for MN- fakultetet for perioden 2011-2015, uttrykkes det at fakultetet ønsker å skape handlingsrom for og prioritere utvalgte faglige satsningsområder og identifiserer nanovitenskap som en aktuell tverrfaglig satsing. Dette er også grunnlaget for arbeidsgruppens mandat.

Ved MN-fakultetet er den nanovitenskapelige forskningen i hovedsak tilknyttet KI og IFT, men også deler av aktiviteten ved MBI kan betraktes å være innenfor dette området. I tillegg til aktiviteten ved MN- fakultetet, er det forskning innen nanotoksikologi og nanobiologi ved Det medisinsk-odontologiske fakultet (Institutt for klinisk odontologi og institutt for biomedisin) og innen nanoetikk ved Senter for vitenskapsteori (SV-fakultetet).

Ekstern finansiering

Synliggjøring av institusjonell forankring er viktig for søknader om ekstern finansiering. Ved å etablere en god organisering og profilering av nanovitenskap, gjennom *NanoBergen*, kan fakultetet bidra til å styrke søknader om finansiering av nanovitenskapelig forskning, både nasjonalt og internasjonalt.

Norge hadde en målrettet nasjonal satsing innen nanoteknologi gjennom NANOMAT programmet i NFR fra 2002 til 2011. I 2012 kom regjeringens nye FoU-strategi¹ for nanoteknologi og som oppfølging til denne ble det i 2012 opprettet et Stort program for nanoteknologi og avanserte materialer (NANO2021). I programplanen beskrives den nasjonale aktiviteten innen nanoteknologi å ha sitt tyngdepunkt innenfor fagene fysikk, kjemi og materialvitenskap, men det er også betydelig forskningsaktivitet innenfor mikroteknologi, bionanoteknologi, samt etiske, samfunnsmessige og rettslige aspekter (ELSA).² Det uttrykkes videre at de sentrale forskningsinstitusjonene innen nanovitenskap/teknologi er NTNU, UiO, SINTEF og IFE, fulgt av UiB og Høgskolen i Vestfold.

Regjeringens sterke fokus på nanoteknologi som et verktøy for å styrke fremtidig konkurransekraft i norsk næringsliv og bedre samfunnets evne til å håndtere globale samfunnsutfordringer, er i tråd med de europeiske prioriteringene som er foreslått i EUs nye rammeprogram for forskning (Horisont 2020), samtidig som det i EU legges opp til en styrking av mulighetene for å drive fremragende fri forskning, gjennom ERC ordningen.

Horizon 2020 består av tre prioriterte områder:

- **Excellent science:** ERC, Marie Curie Actions, Forskningsinfrastruktur, Future and Emerging Technologies (FET).
- **Industrial leadership:** IKT, nanoteknologi, bioteknologi og romforskning, tilgang på risikovillig kapital og støtte til små og mellomstore bedrifter.
- **Societal challenges:** Seks ulike utfordringer som rammeprogrammet skal støtte:
 - Health, demographic change and wellbeing
 - Food security, sustainable agriculture, marine and maritime research and the bio-economy
 - Secure, clean and efficient energy
 - Smart, green and integrated transport
 - Climate action, resource efficiency and raw materials
 - Inclusive, innovative and secure societies.

¹ Regjeringens FoU-strategi for nanoteknologi 2012-2021

² Programplan NANO2021

Da nanovitenskap er et utstyrstungt fagområde, er mulighetene for finansiering av infrastruktur viktig, INFRASTRUKTUR programmet i Forskningsrådet finansierer stort utstyr av nasjonal karakter. Utstyr som det er naturlig finnes ved flere institusjoner omfattes ikke av programmet, noe som er en utfordring for forskningsinstitusjonene.

Tematiske satsingsområder som nanovitenskap spenner over flere institutter og fakulteter, og det er derfor viktig å arbeide fram en struktur som kan ta hånd om og sørge for samhandling på tvers i vår disiplinorienterte organisasjon. Nanovitenskap er knyttet tett til disiplinene med en gjensidighet i forhold til faglig utvikling. På grunn av den sterke koplingen mot disiplinene, har UiB betydelig kompetanse også utover de få stillingene som er dedikert til nanovitenskap. For å utnytte potensialet som ligger i den kompetanse og infrastruktur som er bygget opp ved UiB, kreves det en organisering og profilering av nanovitenskap som kan bidra til synliggjøring og samhandling.

4. Oversikt over forskning og utdanning knyttet til nanovitenskap ved MN-fakultetet

4.1 Nanovitenskapelig forskning ved MN-fakultetet

4.1.1 Nanofysikk

IFT har syv forskningsgrupper hvorav flere er involvert i nanovitenskap og ved to av disse er nanovitenskapelig forskning en hovedaktivitet: *Nanofysikk og elektronikk* og *Optikk og atomfysikk*. I tillegg har også andre forskningsgrupper ved instituttet deler av sin virksomhet innen nanovitenskap.

Forskningsgruppen Nanofysikk og elektronikk

Forskjellige kjemiske og fysiske egenskaper hos materialer utnyttes til utvikling av sensorer og instrumenter til en rekke anvendelser. Instrumenteringen omfatter blant annet utvikling av elektroniske kretser, modellering, simulering og styring av sensorer og prosesser.

Forskningsgruppen har bygget opp et nanostrukturlaboratorium som er Norges mest avanserte for nano-strukturering basert på elektronlitografi (se seksjon 5.1.1.), og er internasjonalt ledende for produksjon av frittstående nanostrukturer. Slike nanostrukturer har en rekke anvendelser fra atomoptikk, via røntgengitre til fotoniske krystaller. Forskningsgruppen har dessuten et unikt helium spredningsinstrument, hvor en stråle av nøytrale heliumatomer benyttes til å karakterisere atomære overflatestrukturer av skjøre og ikke-ledende materialer som silkater, karbonater og oksider. Dette er mulig fordi heliumatomene er nøytrale med rundt 1000 ganger lavere energi enn elektroner med samme bølgelengde. Forskningsgruppen er ledende innen utvikling av atomoptiske eksperimenter basert på de Broglie bølgelengden og utvikler for tiden et helt nytt måleinstrument for nanokarakterisering - et mikroskop som bruker fokuserte, nøytrale helium atomer til avbildning. Forskningsgruppen fikk i 2012 bevilget et EU prosjekt med et samlet budsjett på 32 MNOK til dette formålet. Dette er per i dag det eneste EU prosjektet i NMP programmet, som er koordinert fra Norge. Forskningsgruppen samarbeider med CMR, SFI Michelsensenteret og med bedrifter og universiteter i inn- og utland. Gruppen har instrumenter for måling av flere tilstandsvariabler, brytningsindeks, UV-VIS absorpsjonsspektroskopi, mikrovekt (kvartskrystall mikrovekt, QCM) samt potentiostater for impedansspektroskopi (syklisk voltammetri) og elektrokjemi.

Forskningsgruppen Optikk og atomfysikk

Gruppen arbeider med kvantekontroll og kvanteinformasjon innen to typer nanoskalaobjekter:

(i) To dimensjonale kvanteprikker og (ii) Rydbergatomer. Innenfor (i) studerer gruppen struktur og tidsavhengig dynamikk til en rekke forskjellige prikk-systemer: koplede prikker (molekyler), ringer og sirkulære / ovale prikker. Effekten av ytre statiske og tidsavhengige elektromagnetiske felt og hvordan disse kan kontrollere ladningstransporten er et sentralt forskningstema. Effekter av spinn-bane kopling og hyperfin kopling har også vært fokusert på. I studiet av Rydbergatomer studeres kontrollert bølgepakkedynamikk, ionisasjonsdynamikk og dipolblokkade fenomener. Forskningen under (i) er utelukkende modelleringsbasert mens det under (ii) arbeides både eksperimentelt og teoretisk.

Forskningsgruppen arbeider også med avansert mikroskopi av nanoskalaprosesser. Dette er basert på tofotons eksitasjon av materiale med påfølgende avbildning av fluorescenslevetiden. Fluorescenslevetid er en parameter som avhenger av nærmiljøet (innenfor en avstand på 10 nm) til det eksiterte molekylet, og vil derfor kunne gi informasjon om prosesser på nanoskala.

De øvrige forskningsgruppene ved IFT som har deler av sin virksomhet innen nanovitenskap, og som også har relevante laboratorier og utstyr, er:

- *Petroleums og prosessteknologi*
- *Teori, energi og prosessteknologi*
- *Akustikk*

4.1.2 Nanokjemi

KI er organisert i åtte forskningsgrupper og ved to av disse er nanovitenskaplig forskning en hovedaktivitet: *Uorganisk nanokjemi og katalyse*, og *Nanomodellering og teoretisk kjemi*. I tillegg har også andre forskningsgrupper ved instituttet ekspertise relatert til nanovitenskap, blant annet gjennom forskningsprosjekter som har en nanovitenskapelig komponent.

Forskningsgruppen Uorganisk nanokjemi og katalyse

Aktiviteten omfatter syntese og karakterisering av nye materialer med bruksområder innen katalyse for framstilling av finkjemikalier og naturgasskonversjon, fornybar energi (solceller, energilagring, brenselceller), gassabsorpsjon og – separasjon, f. eks. innen CO₂-fangst, og sensorer. Uorganisk-organiske nanoporøse hybridmaterialer (koordinasjonspolymere, metallorganiske nettverksforbindelser) står sentralt, sammen med syntese av nanopartikler på porøse bærere, funksjonalisering av nanoporøs silika ved hjelp av metallorganiske forløpere, heterogenisering av metallorganiske komplekser på nanostrukturerte materialer, polymerisasjon av fornybare monomerer (inkl. CO₂), samt metallkompleksbaserte faste stoffer med metastabile spinntilstander, dvs. materialer som kan endre magnetisering på en kontrollerbar måte ved relativt små endringer i ytre parametere. Forskningsgruppen opererer tungt utstyr innen røntgenstrukturanalyse, syntese (hanskebokser, Schlenk vakuumanlegg, ovner og autoklaver for solvothermal syntese), materialkarakterisering (termogravimetrisk vekt, differensial-sveip kalorimeter, polymeranalyse, gassadsorpsjonsinstrument for analyse av adsorpsjonsegenskaper, overflate og porestørrelse). Karakterisering av materialer blir gjennomført også med hjelp av synkrotronstrålingseksperimenter ved den sveitsisk-norske strålelinjen på ESRF³. I kombinasjon åpner disse metodene for konklusjoner om strukturegenskap forholdet av interessante materialer under operando betingelser.

³ European Synchrotron Radiation Facility

Forskningsgruppen Nanomodellering og teoretisk kjemi

Hovedverktøyet i forskningsgruppen er kvantekjemi og molekylmodellering, men gruppen har også spisskompetanse innen synkrotronbasert røntgen-elektronspektroskopi og syntese, karakterisering og testing av metallbaserte katalysatorer. De fleste forskningsprosjektene er teoretisk-eksperimentelle kombinasjonsstudier, hvor teori benyttes til å predikere strukturer med interessante egenskaper og/eller for å analysere og tolke eksperimentelle observasjoner. Katalyseaktiviteten er hovedsakelig rettet mot anvendelse og videreforedling av naturgass og omfatter hele spekteret i naturgassens verdikjede fra aktivering (dehydrogenering) av alkanene, til videre anvendelse av alkener i metatase (til andre alkener, naturprodukter, legemidler, finkjemikalier og polymere) og polymerisasjon (til plast). Det arbeides både med oppklaring av reaksjonsmekanismer og forutsigelse og utvikling av nye katalysatorer med ønsket aktivitet og selektivitet. Gruppen er også involvert i utvikling av *in silico* verktøy for prediksjon av aktive katalysatorer. Forskningsgruppen har et sterkt engasjement inn mot produksjon og karakterisering av "myke" nanopartikler i gassfase, i hovedsak molekylære cluster bestående av én eller to komponenter. Forskningen tar dels sikte på å utvikle karakteriseringsmetoder og en forståelse av hvordan strukturen i molekylære nanopartikler avhenger av komponentenes egenskaper, og dels studeres de fysio-kjemiske egenskapene til molekyler og ioner i nanodråper, bl.a. av interesse for atmosfærisk kjemi. Gruppen har ekstern ressurstilgang fra Forskningsrådet (med løpende prosjekter finansiert gjennom programmene eVITA, FORNY, FRINAT, GASSMAKS og NOTUR), NordForsk (forskningsnettverk) og MAX-lab (bevilgning av stråletid).

Øvrige forskningsgrupper ved KI der deler av aktiviteten er definert innen nanovitenskap:

- *Organisk syntese og legemiddelkjemi*
- *Petroleum- og kolloidkjemi*
- *NMR-spektroskopi*

4.1.3 Øvrig nanovitenskapelig forskning ved fakultetet

Ved MBI kan aktiviteten innen forskningsgruppene LIPIDSTRUCT og *Molecular modelling of protein dynamics* betraktes som nanovitenskap, men det kan være potensiale for orientering av flere grupper i nanovitenskapelig retning.

Forskningsgruppen LIPIDSTRUCT

Gruppen studerer ulike nanomaterialer (produsert av NTNU) som bindes kovalent til proteiner. Et sentralt spørsmål er hvordan proteinene endres med hensyn på struktur og funksjonelle egenskaper som følge av interaksjon med nanostrukturene, samt hvordan partiklenes optiske egenskaper kan utnyttes teknologisk, spesielt innen diagnostikk. Det er også av interesse å utrede nanokonstruktenes toksisitet, spesielt deres eventuelle teratogene egenskaper.

Forskningsgruppen Molecular modelling of protein dynamics

Gruppen benytter molekylmodellering til utforskning av enzymkatalyse og egenskapene til bionanomotorer. Det er en viss overlapp med metodene som benyttes i nanomodellering innen nanokjemi (4.1.2) men her med fokus på biomolekyler. Denne aktiviteten hadde støtte fra Nanobasic i 2005-2010 og er fremdeles aktiv. Forskningsgruppen er knyttet til Computational Biology Unit (CBU), men aktiviteten knyttes nå tettere til instituttet.

Ved Institutt for geovitenskap (GEO) foregår noe nanorelatert forskning knyttet til analyse av nanostrukturer i krystaller, herunder såkalte «fission tracks», som kan gi informasjon om jordskorpens evolusjon.

4.2 Nanovitenskapelig utdanning ved MN-fakultetet⁴

4.2.1 Bachelorprogram i nanoteknologi

Bachelorprogrammet i nanoteknologi (BScNano) er et tverrfaglig studieprogram som skal gi studentene en bred basiskunnskap i de naturvitenskapelige disiplinene fysikk, kjemi, molekylærbiologi og matematikk, alle essensielle for videre oppbygging av kunnskap om og forståelse av nanoteknologiske fenomen. Studieprogrammet inneholder tre nanoemner NANO100 *Perspektiver i nanovitenskap og – teknologi*, NANO160 *Innføring i nanoteknologi* og NANO200 *Nanoprosesser og nanomaterialer*. Emnet NANO100 fikk i 2010 Ugleprisen som er UiB sin pris for utdanningskvalitet. Det faglige ansvaret for nanoemnene er fordelt mellom KI og IFT.

Tabell 1: Anbefalt studieplan for BScNano

År	Sem.	Emne	Emne	Emne
6	V	Valg	Valg	Valg
5	H	NANO200	INF100/INF109/STAT101/STAT110	Valg
4	V	NANO160	PHYS102/PHYS112	Valg
3	H	KJEM120	PHYS101/PHYS111	MOL200
2	V	NANO100	MAT112	MOL100
1	H	Exphil	MAT111	KJEM110

Det er 20 studieplasser på bachelorstudiet i nanoteknologi. Antallet aktive studenter på BScNano ligger i overkant av 40 og det vil si at kun 70 % av kapasiteten til studieprogrammet er utnyttet. Bedre studentrekruttering til nanoprogrammet er derfor viktig.

Masterprogram i nanovitenskap

Studieplanen til masterstudiet i nanovitenskap (MScNano) består av et teoretisk pensum tilsvarende totalt 60 studiepoeng hvorav 30 er obligatoriske. De obligatoriske emnene er KJEM220 *Molekylmodellering* (KI), NANO300 *Seminar i nanovitenskap* (KI) og NANO310 *Nanoetikk* (Senter for vitenskapsteori). Det er lagt opp til en lang mastergradsoppgave på 60 studiepoeng.

Opptaksrammen til MScNano er 10 studieplasser hvert år. Det har vist seg vanskelig å fylle alle studieplassene. For å bedre dette er opptakskravet endret fra høsten 2012 slik at det skal bli enklere for søkere uten bachelorgrad i nanoteknologi å søke seg til MScNano. Det er per i dag 9 aktive masterstudenter og det er klart at bedre rekruttering til masterprogrammet i nanoteknologi er en viktig oppgave fremover.

⁴ Utdanningsmeldingen nanovitenskap 2011

4.3 Forskerutdanning

Forskerutdanningen innen nanovitenskap er tett knyttet til instituttene sine fagmiljøer på samme måte som for disiplinfagene og det har ikke vært formalisert en egen forskerskole innen nanovitenskap ved UiB. Gjennom NanoUiB ble det fordelt stipendiatstillinger til nanovitenskap fra UiB sentralt, fra fakultetet og fra institutter, i tillegg til noen få eksternt finansierte stipendiatstillinger. I perioden 2006 og frem til i dag er det utdannet i overkant av 10 ph.d.-kandidater relatert til nanovitenskap ved fakultetet.

UiB er gjennom IFT partner i en nasjonal forskerskole innen nanoteknologi for mikrosystemer (NanoNetwork), som har fått fornyet finansiering fra Forskningsrådet for perioden 2013-2020. Fagmiljøene ved fakultetet er positive til forskerskolen og ønsker å utnytte mulighetene innen skolen. Forskerskolen tilbyr en rekke ph.d.-kurs, workshops og laboratoriekurs, og gir finansiell støtte til reiser til konferanser etc. Sammen med NTNU har UiB ansvar for et nytt ph.d.-kurs i *nanofabrication*, der UiB står for elektronlitografi-delen. Kurset har nettopp vært gjennomført første gang med meget positive tilbakemeldinger fra ph.d.-kandidatene. Selv om kursporteføljen inneholder både generiske og mer fagspesifikke kurs, er det nødvendig å jobbe for å øke forskerskolens aktiviteter innen fagområder som nanokjemi, for å gjøre forskerskolen mer relevant for fakultetets ph.d.-kandidater.

Den nasjonale forskerskolen BioStruct tilbyr 14-15 spesialiserte kurs innen biofysikk og strukturbologi, bredt definert, samt samlinger og andre tilbud tiltenkt å støtte progresjonen til ph.d.-studentene. Mange av kursene vil være svært relevante for ph.d.-kandidater innen nanovitenskap som må håndtere komplekse (bio) molekylære strukturer.

5 Infrastruktur

I tillegg til den infrastrukturen som normalt finnes ved institutter med eksperimentell aktivitet, krever nanovitenskapelig forskning utstyr spesialisert mot denne aktiviteten. Nanovitenskap er med andre ord et fagfelt som er svært utstyrskreven og hvor utvikling innen instrumentering går raskt. Det vil derfor være et kontinuerlig behov for fornying av infrastruktur for å kunne være i forskningsfronten, tilby relevant undervisning og være konkurransedyktig i forhold til samarbeid med eksterne forskningsinstitusjoner og næringsliv.

Det er viktig for fagmiljøet i Bergen at UiB er medlem i relevant nasjonal infrastruktur, både for å synliggjøre egen infrastruktur og for å få tilgang til fasiliteter andre steder i landet. Norwegian micro- and nanofabrication facility (NorFab)⁵ er et viktig tiltak for koordinering av nanorelatert nasjonal infrastruktur. I november 2012 søkte UiB (ved MN-fakultetet) om medlemskap i NorFab. UiB foreslår i sin søknad å innlemme nanostrukturlaboratoriet og detektorlaboratoriet (begge ved IFT) i den nasjonale infrastrukturen.

5.1 Infrastruktur ved Institutt for fysikk og teknologi

Instituttet har følgende instrumenter relevant for nanovitenskapelig forskning:

Instrumenter for måling av flere tilstandsvariabler, brytningsindeks, UV-VIS absorpsjonsspektroskopi, mikrovekt (kvartskrystall mikrovekt, QCM) samt potentiostater for impedansspektroskopi (syklisk voltammetri) og elektrokjemi. Nitrogen physisorption

⁵ <http://www.norfab.no/>

(Mikrometri), Nanosight mikroskop (måling av partikkel størrelse og størrelsesfordistribusjon). Et state-of-the-art laboratorium for karakterisering av nanopartikler.

5.1.1 Nanostrukturlaboratoriet

Nanostrukturlaboratoriet ble åpnet ved IFT i mars 2011 og er unikt i nasjonal sammenheng som Norges mest avanserte laboratorium for nanostrukturering basert på elektronlitografi. Laboratoriet jobber med utvikling av atomoptiske komponenter, nanostrukturerte overflater, nanosensorer, nanoporøse materialer og nanopartikkelbaserte solceller. Det arbeides også med videreutvikling av heliumatom-mikroskopi som en unik, ny metode til karakterisering av ikke-ledende overflater. Nanostrukturlaboratoriet er en renerombasert fasilitet (ISO-7 og ISO-5 renerom). Laboratoriet har internasjonalt «state of the art» instrumentering: 1) Norges mest avanserte elektronlitografi instrument – et Raith E-line instrument med mulighet til å lage storskala strukturer (opp til 10 cm.) uten stiching errors. 2) En Temescal elektronstråle evaporator, som skal være det beste instrumentet på markedet for presis dekkning av store områder med metallag (per i dag opp til 10 cm, sub-nm presisjon). 3) Reactive ion-etcher fra Plasmaterm og 4) Standard verktøy for prøveinspeksjon og preparering (spincoater, ellipsometer, mikroskop for optisk inspeksjon, etc.).

Gjennom et prosjekt finansiert av Forskningsrådet (The UiB Nanoplattform (2009-2012)), er det også utviklet infrastruktur med hovedfokus på nanobaserte systemer for biomedisinske applikasjoner og applikasjon for *soft-matter* målevitenskap (biometrologi). En del av denne infrastrukturen er tilgjengelig på Institutt for Biomedisin.

5.2 Infrastruktur ved Kjemisk institutt

KI har tungt utstyr blant annet innen røntgenstrukturanalyse (en-krystall- og pulverrøntgendiffraktometer), syntese (hanskebokser, Schlenk vakuumlegger, ovner og autoklaver for solvothermal syntese), materialkarakterisering (termogravimetrisk vekt, differensial-sveip kalorimeter, polymeranalyse (GPC-SEC), gassadsorpsjonsinstrument for analyse av adsorpsjonsegenskaper (standard og høytrykk), overflate og porestørrelse), samt Nanosizer for måling av partikkelstørrelse og zetapotensiale. Amorfe og krystallinske forbindelser kan også analyseres med hjelp av faststoff og flytende NMR spektroskopi, Raman og FT-IR spektroskopi, massespektrometri og elementanalyse. Gasskromatografiske metoder (GC og GC-MS) og NMR er også tilgjengelig på instituttet for katalytiske studier.

Karakterisering av materialer gjennomføres også med hjelp av synkrotronstrålings-eksperimenter ved den sveitsisk-norske strålelinjen på ESRF, og MAX IV laboratoriet i Lund, Sverige. Dette gjelder både strukturopklaring i de tilfeller som er utfordrende for instrumentering tilgjengelig på instituttet, samt undersøkelser av struktur-egenskap relasjoner av materialer og under operandi-undersøkelser som krever en høy tidsoppløsning.

5.2.1 Laboratorium for gassadsorpsjon

Et av Norges fremste laboratorium for gassadsorpsjon er de siste årene bygget opp ved KI som følge av den økende aktiviteten innen forskning på nanoporøse materialer ved instituttet. Laboratoriet gjør det mulig å måle adsorpsjonsegenskaper av (porøse og ikke porøse) faststoffer i forhold til forskjellige gasser og damper (f.eks. N₂, Ar, O₂, H₂, CH₄, CO₂, NH₃, H₂O, alkoholer, høyere hydrokarboner og andre ikke korroderende gasser og damper) i et bredt område av temperatur og trykk (opp til 100 bar for et utvalg av gasser). I tillegg til grunnleggende karakterisering av porøse materialer (overflateareal, porevolum og porestørrelsesfordeling) gir slike fysisorpsjonsstudier detaljerte opplysninger om vekselvirkningen av materialet med forskjellige adsorptiver. Dette kan brukes til bestemmelse av adsorpsjonsvarmer og evaluering av om adsorbenter egner seg i separasjonsprosesser.

Instrumentering er utvidet med en rudimentær evne for måling av kjemisorpsjon (TPO, TPR etc.) som anvendes til karakterisering av nanopartikkelkatalysatorer på bærermaterialet.

5.3 Infrastruktur ved Molekylærbiologisk institutt

Instituttet har et spektrum av instrumentering for produksjon, isolering og karakterisering av biologiske makromolekyler både *in vitro* og i ulike modellsystemer (cellekultur, gjær, sebrafisk). Instrumenter for kvantifisering av molekylære interaksjoner (BIAcore og isothermal titreringskalorimetri) og fluorescens- og radioisotopbaserte målinger er mest relevante for nanovitenskap.

5.4 Elektronmikroskopisk felleslaboratorium

Fellesavdeling for analytisk elektronmikroskopi (ELMI laboratoriet) ved Universitetet i Bergen er organisert direkte under MN-fakultetet. Avdelingen har to sveip elektronmikroskop (SEM), tre transmisjon elektronmikroskop (TEM), samt prepareringslaboratorium for mikroskopisk metodikk. Laboratoriet er tilgjengelig for forskere fra hele UiB, men har hovedvekt av brukere fra MN-fakultetet. ELMI laboratoriet er en meget viktig fasilitet for nanoforskningen og det er nødvendig at MN-fakultetet sikrer at kompetanse og drift av laboratoriet ivaretas fremover.

5.5 Infrastruktur ved Det medisinsk-odontologiske fakultet

MOF har utstyr relevant for nanovitenskap ved Molecular Imaging Center (MIC): SEM, TEM, fluorescens- og konfokal mikroskopi, samt MRi, optisk imaging, flow cytometri og AFM. Annet relevant utstyr er Ultrahigh resolution dark-field microscopy (CytoViva) og Unit for nano-system in biomedicine: BioNanoSurface, micro-fluidic systems, micro-contact printing.

6 Fremtidsperspektiv for forskning og utdanning innen nanovitenskap ved fakultetet

6.1 Faglig innretning for nanovitenskap ved MN-fakultetet

MN-fakultetet har gjennom de siste årene bygget opp en betydelig eksperimentell og teoretisk aktivitet innen nanovitenskapelig forskning, primært organisert innenfor IFT og KI. Grovt sett kan aktiviteten deles i tre hovedområder:

- (i) Instrumentutvikling, top-down nanostrukturering og karakterisering av faste overflater.
- (ii) Bottom-up syntese og funksjonalisering av nanoporøse strukturer og nanostrukturerte katalysatorer.
- (iii) Modellering av elektroniske prosesser og strukturelle forhold ved nanostrukturerte systemer inkludert nanopartikler samt spektroskopiske undersøkelser av slike.

I et overordnet perspektiv inkluderer forskningen basale problemstillinger som bl. a. tar sikte på å utvikle nye instrumenter for strukturbestemmelse, å øke forståelsen av strukturer og egenskaper og hvordan disse er relatert, å lage nye strukturer og undersøke deres egenskaper.

I mange tilfeller er de aktuelle systemene valgt med tanke på anvendelser innen energi (inkludert petroleum), avanserte materialer, instrumentering/sensorer, prosessapplikasjoner som for eksempel gass-separasjon, og medisin.

Område (i) foregår hovedsakelig ved IFT og innenfor forskningsgruppen Nanofysikk og elektronikk. Det forskningsrådsfinansierte prosjektet *The UiB Nanoplattform* omfattet etablering av en infrastrukturplattform med hovedfokus på utvikling av nanobaserte systemer for biomedisinske applikasjoner og applikasjon for *soft-matter* målevitenskap (biometrologi) og har gitt basis for søknad om medlemskap i den nasjonale infrastrukturen NorFab. Utvikling av helt nye målemetoder gir aktiviteten og fakultetet et godt utgangspunkt også for nanoteknologiske anvendelser innen en rekke områder.

Område (ii): Innen utvikling og syntese av avanserte materialer er det en stadig økende aktivitet ved KI. Det er gjort store investeringer i infrastruktur for materialkarakterisering og syntese og fagområdet ble i 2011 tildelt ISP midler som oppfølging av kjemievalueringen i 2009. Forskningen overlapper en del med energiområdet blant annet gjennom utvikling av materialer for bruk innen katalyse for framstilling av finkjemikalier og naturgasskonversjon, fornybar energi (solceller, energilagring, brenselceller), gassabsorpsjon og – separasjon, f.eks. innen CO₂ fangst og sensorer.

Det tredje forskningsområdet, foregår ved både IFT og KI og har blant annet fått støtte gjennom to NANOMAT-finansierte prosjekter. Det bør ligge godt til rette for ytterligere samarbeid mellom instituttene på dette området, bl.a. på grunn av god komplementaritet og mange fellesnevne.

Fakultetet har omfattende forskning innen petroleum og fornybar energi og et antall nanovitenskapelige prosjekter inngår i energiforskningen vår, for eksempel innen brenselceller, batteri, solceller, foredling av hydrokarboner og CO₂-håndtering. Mye av aktiviteten skjer i tett samarbeid med CMR og andre nasjonale og internasjonale aktører.

Nanovitenskapelig forskning innen medisin finnes i hovedsak ved Det medisinsk-odontologiske fakultet, hvor flere institutter har nanoforskning og gjerne i samarbeid med MN-fakultetet, blant annet innen nanotoksikologi og gjennom bruk av nanostrukturlaboratoriet ved IFT.

Arbeidsgruppen anbefaler at fakultetet viderefører og fokuserer nanoforskning innenfor de tre identifiserte områdene gitt over. Videre bør MBI vurdere sin deltakelse innen nanoforskning, da dette ville vært et viktig bidrag for å styrke den biologiske forskningsaktiviteten innen nanovitenskap ved fakultetet.

6.2 Organisering og finansiering

Nanovitenskapelig forskning ved fakultetet griper inn i ulike institutter og fagdisipliner og bidrar til samarbeid mellom disse. Fakultetets aktiviteter favner grunnleggende forskning, samt problemstillinger knyttet til avanserte materialer, energiteknologi og medisin. Den nærmeste samarbeidspartneren for MN-fakultetet, er fagmiljøer ved Det medisinsk-odontologiske fakultet og det er gjennom flere år opparbeidet et godt faglig samarbeid mellom fakultetene. Samtidig har fagmiljøene ved MN-fakultetet en rekke viktige samarbeidsrelasjoner med andre nasjonale og internasjonale forskningsinstitusjoner.

Arbeidsgruppen mener det er viktig at man legger opp til en videreutvikling av den nanovitenskapelige aktiviteten i fagmiljøene ved MN-fakultet, og samtidig invitere til deltakelse fra fagmiljø utenfor eget fakultet. Arbeidsgruppen foreslår å kalle satsingen for *NanoBergen*.

Faglig deltakelse i *NanoBergen* må forankres i instituttledelsen ved de gjeldende institutter og innebærer en forpliktelse til aktiv deltakelse i det nanovitenskaplige forskningsmiljøet ved UiB.

NanoBergen bør ha en fagansvarlig koordinator, med hovedoppgaver å:

- Være brobygger mellom ulike fagretninger innen nanovitenskap
- Stimulere til prosjektsamarbeid
- Bidra til gode mekanismer for bruk av kjernefasiliteter
- Ha ansvar for websider, organisere møteplasser og informasjonsutveksling.

Det bør knyttes en administrativ person i en begrenset stillingsprosent til dette arbeidet.

Tverrfaglige fagområder som nanovitenskap er utfordrende å få tilpasset den organisatoriske strukturen vi har ved universitetet, og nettopp derfor mener arbeidsgruppen det er viktig å legge opp til en organisering som ligger tettest mulig opp til den eksisterende strukturen ("linjestrukturen"). Det vil i praksis bety at ett institutt bør være den utøvende administrative enheten og at instituttleder ved dette instituttet får et særlig ansvar for hele fakultetets aktivitet innen nanovitenskap. Dette blir analogt til lokalisering av ansvar for disiplinlagene til enkeltinstitutter. Den fagansvarlige koordinator rapporterer til instituttleder ved det administrativt ansvarlige instituttet.

Arbeidsgruppen ser det som naturlig at administrativt ansvarlig institutt og fagansvarlig koordinator pekes ut av fakultetet.

Arbeidsgruppen anbefaler at det opprettes et faglig-strategisk organ for nanovitenskap ved MN-fakultetet. Dekanetet har det overordnede ansvaret for den tverrfaglige satsingen innen nanovitenskap og arbeidsgruppen mener derfor at strategiutvalget bør ledes av dekanetet. En forankring av utvalget i dekanetet kan også gjøre det lettere for fakultetsnivået å holde nanovitenskap høyt på agendaen og fronte dette feltet i ulike sammenhenger. Øvrige medlemmer i strategiutvalget vil i første omgang være instituttlederne ved KI og IFT, og den fagansvarlige koordinatoren, men med mulighet for utvidelse til også å omfatte andre institutter som har aktivitet innen nanovitenskap, både ved eget og andre fakulteter. Fakultetet bør stille med sekretær for utvalget. Strategiutvalget vil få ansvaret for å:

- Være fakultetets organ for å gi innspill til og følge opp strategier innen nanovitenskapelig forskning og bidra til at disse blir implementert.
- Bidra til at fakultetet profilerer nanovitenskap som eget satsingsområde både lokalt og nasjonalt.
- Bidra til anskaffelser av ny infrastruktur (både ved instituttene og ved det planlagte Teknologibygget)
- Bidra til forsvarlig drift og forvaltning av infrastruktur ved fakultetet
- Medvirke til at MN-fakultetet sender søknader til Forskningsrådet og EUs programmer innen nanovitenskapelig forskning og prioritere søknader når det er aktuelt
- Bidra til utvikling av samarbeid med eksterne aktører

Fagansvarlig person må, sammen med ansvarlig instituttleder og dekanetet, ha et særlig ansvar for å delta i strategiske fora som i Forskningsrådet.

Tematiske fagområder som nanovitenskap blir normalt ikke gjenstand for fagevalueringer på samme systematiske måte som disiplinlagene. Arbeidsgruppen anbefaler derfor at man vurderer behovet for en Scientific Advisory Committee (SAC) om noen år.

Som del av fakultetets strategiske satsing innen nanovitenskap, mener arbeidsgruppen at det bør settes av resurser til frikjøp for den fagansvarlige koordinatoren ved *NanoBergen*, og til administrativ støtte. Det bør videre settes av midler til seminarer og workshops, samt incentiver i form av egenandeler til prosjektsøknader og såkornmidler. Slike egenandeler kan for eksempel være stipendiatstillinger.

6.3 Hvordan styrke og synliggjøre fakultetets utdanningstilbud innen nanovitenskap?

Etablering av et aktivt og synlig *NanoBergen* vil ha positiv effekt også i forhold til rekruttering av kandidater til utdanningsprogrammet innen nanovitenskap og -teknologi.

Bachelorprogrammet i nanoteknologi har lyktes med å bygge opp et faglig solid studium som er dimensjonert fornuftig i forhold til helheten i studiet. Det er likevel viktig å fortsette rekrutteringsarbeidet, slik at man i best mulig grad fyller opp plassene på studieprogrammet med dyktige studenter. Arbeidsgruppen ser det som positivt at det er satt i gang et arbeid med å lage et undervisningsopplegg om nanoteknologi for elever i videregående skole. Dette kan bidra til økt kjennskap til fagområdet og studietilbudet ved UiB.

Det er behov for å se på hvordan fakultetet kan øke rekrutteringen til masterstudiet i nanovitenskap. Det er så langt gjort endringer i opptaksgrunnlaget for opptak til masterstudiet i nanovitenskap for studenter som ikke har en bachelorgrad i nanoteknologi fra UiB. Dette kan, sammen med bedre synliggjøring av bredden i tilbudet av masterprosjekt, og synliggjøring av fakultetets nanovitenskapelige forskning generelt, bidra positivt til utdanningen innen nanovitenskap i Bergen.

Studieprogram som går på tvers av flere institutter/fakulteter har utfordringer, med hensyn til synliggjøring av kandidatproduksjon og fordeling av resultatmidler. Dette er ikke en ny problemstilling og det er viktig at MN-fakultetet arbeider aktivt for å finne gode løsninger for de tverrfaglige studieprogrammene.