



Bridging nanotechnological opportunities and construction needs

NanoByg

A survey of nanoinnovation in Danish construction

Executive summary, Dansk

Maj 2007



Nano•DTU
Center for Nanoteknologi på DTU



BYG•DTU



Author: Maj Munch Andersen, Måns Molin
Title: NanoByg – A survey of nanoinnovation in Danish construction – Executive summary Dansk
Department: Systems Analysis Department

Denne tekst er et Executive summary af Risø rapporten, "NanoByg – A survey of nanoinnovation in Danish construction". (Risø-R-1602 (EN), 72 p.)

ISSN 0106-2840
ISBN 978-87-550-3591-1

Maj 2007

Forside :
Storebæltsbroen
Fotograf Boback
<http://www.flickr.com/photos/boback/266497577/>

Risoe National Laboratory
Information Service Department
P.O.Box 49
DK-4000 Roskilde
Denmark
Telephone +45 46774004
bibl@risoe.dk
Fax +45 46774013
www.risoe.dk

EXECUTIVE SUMMARY - HVORFOR NANOBYG?



Lundgaard & Tranberg.
Industrikollegiet, 2004,
København.
Fotograf: Michael Beck,
Lundgaard & Tranberg.



Lundgaard & Tranberg
Industrikollegiet, 2004,
København.
Fotograf: Michael Beck,
Lundgaard & Tranberg.

Nanoteknologi handler om at manipulere materialer på nano-skala niveau. Gennem det sidste årti har nanoteknologi tiltrukket sig stor opmærksomhed og masser af forskningsmidler, og mange ser nanoteknologi som den næste industrielle revolution. I praksis er nanoteknologi stadig på et tidligt udviklingsstade, og kommercialiseringen er først lige startet.

Byggesektoren har i næsten 2 årtier været betragtet som et område, hvor nanoteknologi kunne give mange nye muligheder, uden at der er sket større udvikling og anvendelse.

Denne rapport kortlægger perspektiver og muligheder for at bruge nanoteknologi i byggesektoren og diskuterer mulighederne for et dansk initiativ indenfor området, kaldet NanoByg.

Den centrale udfordring for et NanoByg initiativ kan formuleres på følgende måde:

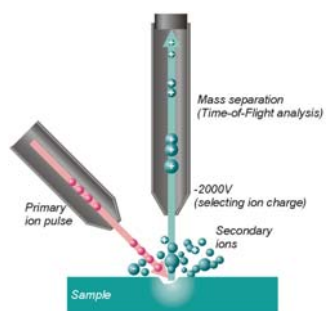
Hvordan kan vi skabe innovation i skæringspunktet mellem behovene i byggesektoren og mulighederne inden for det fremspirende nanoteknologiske felt?

NanoByg initiativet bygger på følgende tre bagvedliggende antagelser:

1. Nanoteknologi kan rent faktisk skabe innovation inden for arkitektur og byggeri.
2. Den nuværende nanoforskning er rettet mod andre industrier og får derfor ikke uden videre direkte indflydelse på byggesektoren.
3. Den opdelte struktur i byggesektoren gør det vanskeligt for branchen at indarbejde nanoteknologi, hvis ikke der bevidst tages initiativer.

Rapporten omfatter en kort analyse af innovationstendenser og dynamikken inden for nanoteknologi og byggesektoren. Den kortlægger aktiviteter og aktører, der allerede anvender eller vil anvende nanoteknologi i arkitektur og byggeri. Rapporten identificerer nanoaktiviteter, der kan være relevante for byggesektoren.

NANOTEKNOLOGI I BYGGESEKTOREN: TENDENSER, MULIGHEDER OG UDFORDRINGER



TOF-SIMS (Time-of-flight secondary-ion-mass-spectroscopy)
Instrument for mapping the chemical composition of a material within a few nano-meters
(Niels B. Larsen, Risø)



KHR, Jens Bangs
Gæstebolig.
Fotograf: Ib Sørensen

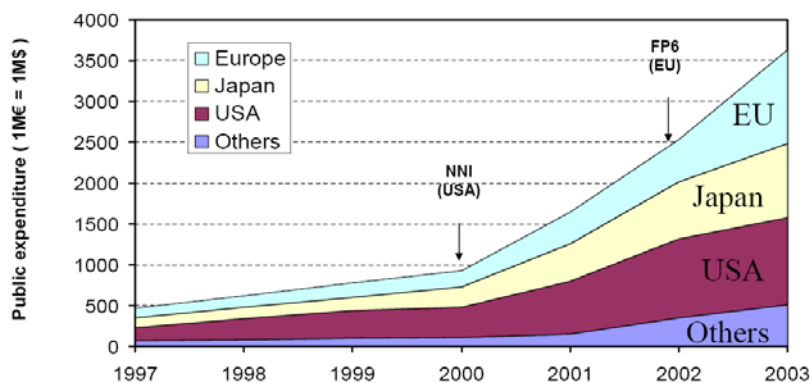


Henning Larsens
Tegnestue. Woodland boliger, Sverige.
Visualisering: HLT

Nanoteknologi har tiltrukket sig markant interesse verden over de sidste ti år. Det ses bl.a. ved, at investeringen i forskning og udvikling inden for nanoteknologi beløb sig til ca. 9 milliarder USD i 2004. Denne investeringslyst ser ud til at stige.

I øjeblikket er USA i front i kapløbet om hvem, der bedst udnytter mulighederne i det, mange kalder den næste industrielle revolution. Asien følger tæt på, mens EU ligger noget bagud. Indsatsen i nanoforskning fordobledes i EU og Japan mellem 1997 og 2000. Blandt nye lande, der satser på nanoteknologi, er Kina, Indien og Rusland.

Public expenditure in nanotechnology is growing by ~40% annually to around 3.5 billion €/€\$ in 2003.



Source: European Commission (2003)

Nye gennembrud inden for nanoteknologi kan føre til innovationer som omdanner eksisterende industrier og muligvis skabe helt nye industrier. Denne udvikling vil ske over de næste 20-30 år, hvis udviklingen af nanoteknologi sammenlignes med udviklingen af lignende teknologier som bioteknologi og IKT.

Det er først i de seneste år nanoforskning og nanoteknologi er blevet udnyttet i kommercielle produkter. Kommercialiseringen varierer meget fra branche til branche, og i mange tilfælde er udviklingen stadigt på et eksperimenterende plan.

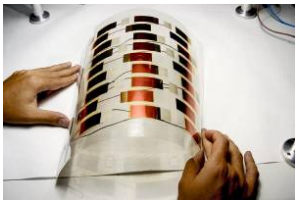
Både EU og Danmark driver nanoforskning på højt niveau, men den industrielle anvendelse er lav målt ud fra patenter, opstartsvirksomheder og privat investering.

UDVIKLINGEN AF NANOTEKNOLOGI I DANMARK

Danmark har en stærk position inden for nanoforskning, men kommercialiseringen halter noget bagefter, fordi dansk erhvervsliv hidtil har spillet en begrænset rolle. Der har siden 2003 været afsat betydelige forskningsmidler til nanoforskning, hvilket har haft en markant effekt på det danske innovationssystem. Flere nye nanocentre og netværk har opnået en betydelig faglig styrke. I dag foregår nanoforskning primært i fire nanocentre, nemlig iNANO¹, Nano SDU², Nano•DTU³ og Nano-Science Center⁴. De to sidstnævnte

¹ Aarhus Universitet og Aalborg Universitet

har indgået en alliance for at styrke forskningsindsatsen. Der er dannet flere tværfaglige initiativer og forskerskoler inden for nanoforskning. I 2005 blev der for offentlige midler etableret et nationalt netværk, NaNet.



Organiske Solceller,
Frederik Krebs, Risø.
Fotograf: Gitte Sofie
Hansen.

En kortlægning fra 2005 viser, at 58 danske virksomheder samarbejder med danske nanoforskere. Mange af disse er små nystartede virksomheder, men der er også et par store, veletablerede virksomheder. Erhvervslivets centrale aktør er Haldor Topsøe A/S, som bl.a. udvikler miljøvenlige katalysatorer, et område hvor Danmark er med helt i front. I tilknytning til dette område sker der en nanoteknologisk udvikling inden for keramik- og brintforskning, lige som nanoteknologi i stigende grad vinder indpas i medicinsk forskning.

Case: SCF Technologies

Når en ny teknologi møder markedet, sker der en fokuseringsproces. Et eksempel er virksomheden SCF Technologies, der har udviklet "en teknologi, der gør det muligt at anvende naturlige stoffer som vand og kuldioxid under højt tryk og temperatur – i nær- og superkritisk tilstand - til at skabe bæredygtige løsninger på samfundsmæssige problemer som fedme, affald og oliemangel."

Eksemplet viser, hvordan nanoteknologi generelt bidrager til udvikling af produkter, i dette tilfælde teknologi til at behandle materialer generelt. Teknologien gør det muligt at mindske fedtprocenten i madvarer og producere olie. Hvad firmaets fokus bliver i fremtiden afhænger helt af feedback fra markedet og om det lykkes at skaffe samarbejdspartnere. I dag ligger mulighederne hovedsageligt inden for energi, fødevarer og avancerede materialer.

NANOTEKNOLOGI I BYGGESEKTOREN

I øjeblikket er viden om nanoteknologiens muligheder i byggeriet yderst begrænset. Der er for nylig udkommet fire rapporter om emnet. De omhandler forventninger og cases, men rummer ikke egentlige analyser af tendenser og nanoteknologis mulige påvirkning af byggesektoren ("nanobyggeri").

En af konklusionerne fra rapporten fra Nanoforum er, at der er et stort, uudnyttet potentiale i byggesektoren. Byggesektoren anvender en række forskellige konstruktionsmaterialer, der alle kan forbedres ved hjælp af nanoteknologi. En spørgeskemaundersøgelse blandt internationale eksperter i nanobyggeri viser, at innovation på det nanoteknologiske område vil give nye muligheder i byggesektoren i løbet af de næste 5 år. Det kan få stor økonomisk betydning i betragtning af byggesektorens størrelse og forbrug af materialer.

Byggesektoren beskyldes ofte for at være en lavteknologisk industri med innovationsproblemer. Udviklingen i produktiviteten og omfanget af innovation har da også været betydeligt lavere i byggesektoren end i andre sektorer og økonomien som helhed over de sidste tyve år. Endvidere er forskning og udvikling i forhold til omsætningen lavere for byggebranchen end for den danske industri generelt. Endelig har forskning og udvikling i byggebranchen været nedadgående de senere år.

"If construction continues to ignore nanotechnology it will be the one left paying a fortune for a last minute ticket it could have had for a song if it had acted earlier."

Nanoforum Report, 2006

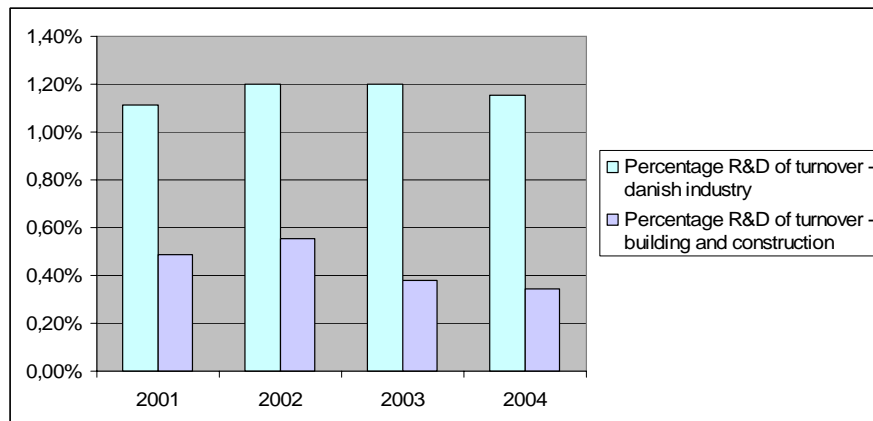
² Syddansk Universitet

³ Danmarks Tekniske Universitet, herunder i fremtiden Forskningscenter Risø

⁴ Københavns Universitet

I 2004 var den totale produktionsværdi af byggesektoren 448,7 milliarder DKK, og antallet af ansatte var 306.000 personer.

Statistik Danmark
www.statbank.dk



Figur 1:
Procent R&D (F&U) af omsætning
Kilde:
F&U fra Dansk Forskningsstatistik
Omsætning fra Danmark Statistik



Dorte Mandrup Arkitekter.
Kvarterhus Jemtelandsgade,
eksteriør. Fotograf: Jens Markus
Lindhe



Dorte Mandrup Arkitekter.
Kvarterhus Jemtelandsgade,
interiør. Fotograf: Jens Markus
Lindhe

Innovation i byggesektoren er vanskelig på grund af den opdeltede og projektopbyggede struktur i branchen. Det betyder, at muligheder, risici, villighed og modstand er meget ulige fordelt på aktørerne gennem værdikæden. Det er derfor nødvendigt skabe stabile og dedikerede netværk og alliancer af aktører og ressourcer.

Barriererne for innovation i byggesektoren er:

1. En lang værdikæde
2. Projektbaseret produktion
3. Fragmentering
4. Forskelligt rettede målsætninger og interesser langs værdikæden
5. Omfattende regulering og standarder
6. Manglende international konkurrence.

Den lange værdikæde sammenholdt med en projektor organiseret struktur giver en fragmenteret byggebranche, der er svær at overskue, og hvor hvert nyt projekt sammensættes af nye aktører ud fra byggeherrens specifikke ønsker til projektet. Denne diversitet i organisering fra det ene projekt til det næste giver iøjefaldende vanskeligheder i forhold til systematisk erfaringsopsamling og videndeling mellem aktørerne. En forudsætning for fremtidig succesfuld innovation vil være opbygning af systemer, der kan samle og sprede viden og kompetencer mellem alle aktørerne i de ofte skiftende værdikæder.

Arkitekter, ingeniører, konsulenter, entreprenører, og bygherrer har alle en mening om et nyt projekt, og hvem der skal deltage. Forskellige interesser og incitament er står i vejen for samarbejde, fx vil en entreprenør sjældent være motiveret for at indgå samarbejde med materialeproducenter, fordi rettighederne til innovationerne går til materialeproducenten.

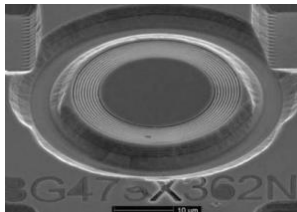
Regler og standarder spiller en vigtig rolle i byggebranchen, men det kan også ofte hindre innovation. På europæisk plan bliver der arbejdet hårdt for at øge konkurrencen på byggematerialer ved at etablere fælles standarder. Danske producenter med et stærkt hjemmemarked bliver nu udfordret af globaliseringen af økonomien samt den meget efterspurgte industrialisering af byggesektoren, som nu endelig er gået i gang. Modulære byggesystemer bliver mere udbredt i form af f.eks. træhuse. Nye materialer som glasfiber kompositter kommer på

markedet, præfabrikerede badeværelser og køkkener bliver udbredt, de produceres typisk i billige østeuropæiske lande.

KORTLÆGNING AF NANOTEKNOLOGI AKTIVITETER I BYGGESEKTOREN

I denne rapport er der på baggrund af en kortlægning af danske nanokompetencer, opstillet 6 nanosøjler, dvs. områder hvor nanoteknologi forventes at kunne vinde indpas i byggesektoren.

De seks nano-søjler er:



Researchers at the National Institute of Standards and Technology (NIST) have made semiconductor light-emitting diodes (LEDs) more than seven times brighter by etching nanoscale grooves in a surrounding cavity to guide scattered light in one direction.

*July 17 issue of Applied Physics Letters.
Credit: NIST*

1. Nanostrukturerede materialer
2. Funktionelle overflader
3. Optik
4. Sensorer og elektronik
5. Integreret energiproduktion og forsyning/lagring
6. Integreret miljøkontrol og miljøpåvirkning

Nedenstående skematiske oversigt illustrerer igennem de seks nano-søjler det store udvalg og omfang af dansk nanoforskning og teknologiområder med relevans for byggesektoren, sådan som det er blevet identificeret igennem NanoByg processen.

Den overordnede konklusion fra kortlægningen er, at der er afstand mellem nanoteknologien og byggesektoren. Danske aktører inden for nanoteknologi er ikke aktive inden for byggesektoren, og de ved meget lidt om byggesektorens behov og problemstillinger. Byggesektoren er endnu mindre aktiv inden for nanoteknologi og ved meget lidt om nanoteknologiens muligheder for sektoren.

Kortlægningen viser desuden, at der er behov for at belyse de specifikke muligheder nanoteknologien kan tilbyde byggesektoren inden for fx indeklima, brandsikkerhed, risiko, energieffektivitet, lyssystemer, metoder til øget produktivitet, genbrug og genanvendelse af materialer.

Oversigten viser at nanoteknologien potentielt byder på forbedrede egenskaber i materialer og komponenter samt nyskabende løsninger og forbedring af forholdene i produktionsprocesser. Det gælder både nybyggeri og renovering af eksisterende bygninger.

Derudover ses der store muligheder inden for energieffektivisering og økologihensyn. Dog er mange af de nyskabende løsninger på et meget tidligt udviklingstrin og kun ganske få er kommercialiseret. På de fleste områder venter der et stort forsknings- og udviklingsarbejde før nanoteknologien og nanoforskningen kan tilbyde løsninger på byggebranchens problemstillinger og behov.

Nanorelaterede forsknings- og teknologiområder	Relevans i byggeriet (hovedtemaer)	
Temaer i kortlægningen	Anvendes indenfor	Vigtige egenskaber eller funktioner:
1. Nanostrukturerede materialer 1) Kompositter 2) Træ 3) Nanoporøse materiale 4) Polymerer 5) Andre materialer	Isoleringsmaterialer Bærende materialer Konstruktionsmaterialer-indvendige Konstruktionsmaterialer-udvendige Overflader	Styrke, lethed, holdbarhed Produktion og udførelse Indeklima Vedligeholdelse Energieffektivitet Ressourceeffektivitet Genanvendelighed Nedbrydelighed Brandbeskyttelse
2. Funktionelle overflader 1) Kemisk modificerede overflader 2) Fysisk modificerede overflader	Bygningsoverflader Vandsystemer Overfladebehandling af bærende materialer Materialer Ventilation Opvarmning Elektricitet Belysning Sensorer Integrerede funktioner	Holdbarhed Rengøring Hygiejne Vedligeholdelse Styrke
3. Optik 1) Planare optiske kredsløb 2) Fotoniske krystal fibre 3) Lys emitterende dioder, LED 4) Integrerede optiske sensorer	Sensorer, Integrerede funktioner, Elektriske systemer, Belysningsystemer, Fiber kabler	Energieffektivitet Klimakontrol Sikkerhed (Brand mm.) Rengøring
4. Sensorer & Elektronik 1) Overvågning 2) Transmission	Biosensorer, Optiske sensorer, Kemiske sensorer, Mikromekaniske Sensorer, Mikrobiologiske sensorer, Elektroaktive materialer, Vandsystemer, Elektriske systemer, Belysnings-systemer	Overvågning og kontrol Integrerede funktioner
5. Integreret energiproduktion og forsyning/lagring 1) Brændselsceller 2) Solceller 3) Andet	Solceller Hydrogenlagring Brændselsceller Udvendige konstruktionsmaterialer Ventilation Opvarmning	Energieffektivitet Selvforsyning Ressourceeffektivitet Indeklima
6. Integreret miljøkontrol og miljøpåvirkning 1) Katalytisk rensning 2) Andre separations/rensningsprocesser 3) Risikovurdering	Vandsystemer (forsyning og spildevand) Katalyse, Separationssystemer, Affaldssystemer	Rengøring og hygiejne Indeklima Integrerede funktioner Nedbrydelighed Ressourceeffektivitet Energieffektivitet Substitution af farlige stoffer Produktion og udførelse
Generel nanoforskning og kompetencer 1) Syntese 2) Fremstilling 3) Karakterisering	Fundamental materialeforståelse og design	

Tabel 1: Oversigt – Kortlægning

OMFANGET AF NANOBYGGERI

Flere analyser peger på den lave forsknings- og udviklingsaktivitet i byggesektoren. Desuden er forskning og udvikling i den danske byggesektor for nedadgående både i forhold til andre sektorer og i forhold til OECD landene. Derfor er byggeindustrien dårligt rustet til at imødegå fremtidige problemstillinger som øget konkurrence, nye markeder, nye energi- og miljøkrav, krav til indeklima, udbredelsen af modulært design og urbanisering. Den seneste danske plan for byggesektoren, Vision 2020, pointerer at branchen skal blive bedre til at åbne op og kigge på den omliggende verden og absorbere ny forskningsbaseret viden til at løse problemstillinger. Spørgsmålet er så om nanoteknologi som en særdeles forskningsbaseret teknologi kan tilbyde spændende nye løsninger på byggeriets udfordringer.



KHR, Fiberline.



KHR, Fiberline.
Photographer: Torben Eskerod.

Litteraturen på området er begrænset, hvilket afspejler den tidlige udviklingsfase. Til gengæld er forventningerne høje til, at nanobaserede lette, stærkere, tynde, mere holdbare og selvreparerende materialer kan føre til forbedret byggeri. Også inden for energi- og miljøeffektivitet er der store forventninger til nanoteknologi. Vores kortlægning af det fremspirende nanoteknologiske område, og vores overvejelser om deres relevans og betydning for byggesektoren har resulteret i en bred vifte af potentielle muligheder for anvendelse af nanoteknologi i byggesektoren.

Nanoteknologi åbner nye muligheder og har en tværfaglig og visionær karakter. Dette tankesæt kan måske starte kreative processer i byggesektoren på områder, hvor der er behov for at løse problemer på nye måder. Derved kan der måske skabes nye platforme, hvor de mange aktører i de forskellige led af byggesektoren kan mødes og skabe innovation. På den anden side er det vigtigt at holde sig for øje, at nanoteknologi kan have destruktiv effekt på eksisterende teknologier og at eksisterende forretningsgange kan blive forældede.

Denne rapport viser at der er 5 fem hovedargumenter for at stimulere nanobyggeri i Danmark:

1. Der er behov for bedre kommunikation mellem byggesektoren og nanoteknologi-miljøet, for der er en lav grad af vidensudveksling imellem dem. En bedre kommunikation, der kan skabe politisk og strategisk engagement i byggesektoren.
2. Det er nu der skal tages initiativ til at sikre, at viden fra nanoforskning og nanoteknologi overføres og implementeres i byggesektoren. Ellers vil nanoteknologien ikke udvikle sig på dette område.
3. Der er markant politisk interesse de danske ministerier for et nanoteknologisk initiativ i byggesektoren, ikke mindst inden for energi- og miljøaspektet af nanobyggeri. På EU plan fokuseres der på bred, industriel anvendelse af nanoteknologi, og her indgår byggesektoren som en naturlig del.
4. Mange steder i verden er der allerede startet aktiviteter inden for nanobyggeri. Meget er skjult bag andre nanoaktiviteter og svært at identificere. Hvis der startes et dansk initiativ, er der gode muligheder for at samarbejde med de eksisterende centre og dermed for at komme med i den teknologiske front inden for nanobyggeri.
5. Igennem dette projekt er der identificeret mange interesserede aktører, som vist i kontaktlisten og interessant mappen. At der er få aktiviteter i gang skyldes,

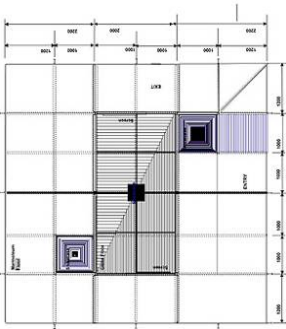
NanoByg



A 2.5 kg brick is supported on top of a piece of aerogel weighing only 2.38 grams (NASA)

at mange nanoforskere og nanovirksomheder mangler indsigt i kravene fra byggesektoren, ligesom byggesektoren mangler indsigt i de eksisterende muligheder i nanoteknologi. Derfor er der et stort behov for at skabe fora for diskussion og demonstration blandt de mange aktører indenfor byggesektoren.

BEHOV FOR ET NANOBYG PROJEKT



*The Glass House, Sidney, Australia, 2003.
Dr Carl Masens, Institute for Nanoscale Technology, University of Technology Sydney 2003 (UTS). Architect James Muir. In collaboration with CSIRO, Haico Schepers, Arups in London, Pilkington Active Glas.*

Overordnet set eksisterer der væsentlige barrierer for brug af nanoteknologi i byggeriet. Barriererne findes både i byggesektoren og inden for nanoteknologifeltet. Disse barrierer vil blive søgt nedbrudt gennem analytisk og praktisk arbejde i et NanoByg initiativ. NanoByg vil gå ud over rammerne for traditionelle forskningsprojekter og søger aktivt at forstærke samarbejdet og videndeling mellem byggesektoren og nanoteknologifeltet. Det skal fokusere på innovation og videndeling og på de institutionelle forandringer byggesektoren gennemgår og har behov for.

Byggesektoren omfatter i denne sammenhæng materiale- og komponentfabrikanter, arkitekter, rådgivere, entreprenører samt bygherrer og ejendomsbesiddere. Nanoteknologifeltet omfatter i denne sammenhæng universiteter, godkendte teknologiske serviceinstitutter og virksomheder inden for nanoteknologi. Det primære er at få en dialog igang, en dialog der ikke har som mål at et projekt bliver afsluttet, men at der opstår kontinuert kommunikation og etableres kanaler for videndeling mellem byggesektoren og nanoteknologifeltet. Der er behov for et system, der kan skabe nye samarbejdsrelationer i en sektor som er præget af konservative forretningsgange. Det gør NanoByg til en udfordring ud over det sædvanlige, men samtidig en opgave med meget store potentialer.



Krydsningsfelt mellem Byggeri og Nanoteknologi

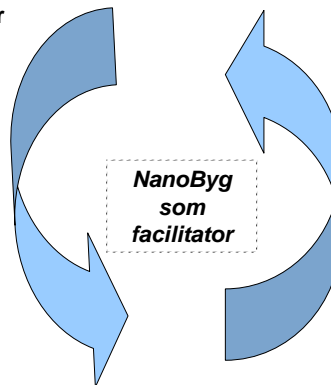
Teknologiske muligheder

Nanoteknologi

❖ Generisk, forskningsbaseret teknologi, multiple potentielle grænseflader med byggesektoren, der pt. er meget lidt udnyttet.

6 Nano-byggeri søjler:

- Materialer,
- Overflader,
- Optik,
- Sensor & Elektronik,
- Integreret energi produktion & lagring
- Integreret miljøforbedring



Byggeri

❖ En vældig vigtig sektor i de fleste økonomier, men klassificeret som lav-innovativ, omend der eksisterer avancerede brugere indenfor design og sikkerheds standarder.

Hovedudfordringer:

- Globalisering
- Individualisering / modulært design
- Energi & økologi effektivitet
- indendørs klima
- Urbanisering

Identificering og udvikling af applikationsområder

Maj Munch Andersen

1

NanoByg vil behandle hele værdikæden fra idéfase til værdiskabelse på markedet. Fokus skal være på forskning og innovation og især på, hvordan man skaber en hurtigere vej fra forskning til innovation ved at sammenkoble visioner og problemer i byggesektoren med de nye muligheder, nanoteknologi bringer.