



Om 'Nanoteknologiske Horisonter'

'Nanoteknologiske Horisonter' er skrevet af forskere på NanoDTU, Danmarks Tekniske Universitet. Bogen henvender sig til alle, der er interesserede i at vide mere om nanoteknologi og kan downloades gratis på www.nano.dtu.dk. *Kursiverede* ord i teksten er forklaret i ordlisten bagerst i bogen.

Nanoteknologiens muligheder

Anne Hansen, NanoDTU

'Nanoteknologiske Horisonter' handler om nanoteknologisk forskning og anvendelse. Dette kapitel gennemgår en række begreber og definitioner, der er vigtige for læsningen af bogens øvrige kapitler. Desuden beskrives teknologiens baggrund og udvikling sammen med en kort præsentation af kapitlernes indhold. Nanoteknologi er ikke bare én teknologi. Det er en fælles betegnelse for en lang række metoder, processer og produkter, der allerede i dag bliver brugt inden for mange forskellige områder og i fremtiden udbredes endnu mere. Nanoteknologi er tværfaglig, og forskere med mange forskellige naturvidenskabelige uddannelser samarbejder på tværs af faggrænser i de projekter, der er beskrevet i resten af bogen.

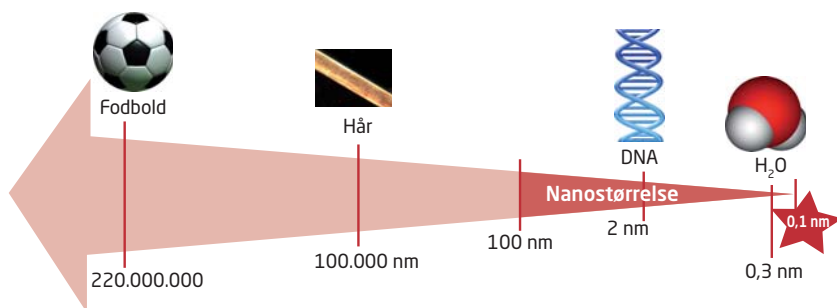
Til lærere og elever

'Nanoteknologiske Horisonter' er en lærebog om nanoteknologi til elever og lærere ved STX, HTX og HF. Bogen indeholder 13 kapitler, der dækker et bredt udsnit af nanoteknologisk forskning og anvendelse og suppleres af yderligere undervisningsmateriale, herunder øvelser og opgaver, uddybende læsestof og links, som findes på hjemmesiden www.nano.dtu.dk. Kapitlerne kan læses uafhængigt af hinanden og udvælges enkeltvis i forbindelse med pensum eller valgfrit stof.

Denne bog handler om nanoteknologi. 'Nanos' betyder dværg på græsk, men selvom vi bevæger os nede blandt meget små størrelser, betyder det ikke, at nanoteknologiens muligheder er små eller begrænsede. Tværtimod. Forskere og andre, der arbejder med nanoteknologi, bliver ofte stillet to spørgsmål: 'Hvad er nanoteknologi' og 'Hvad kan det bruges til'. Det mest korrekte, men også ret upræcise svar på de to spørgsmål er: 'Mange ting'. *Bilkatalysatorer*, computerchips, *sensoren* i bilens airbag, madindpakning, pap, kræftmedicin, tandpasta, solceller og biodiesel er alle eksempler på produkter, hvor der allerede i dag bliver anvendt nanoteknologi, og fremtiden vil bringe mange flere. Denne bog beskriver mangfoldigheden og potentialet i nanoteknologi, men før vi for alvor kaster os ud i emnet, gennemgår vi her nogle vigtige begreber og definitioner samt fortæller lidt om nanoteknologiens baggrund.

En nanometer (nm) er en milliardtedel af en meter, det vil sige 0,000000001 meter eller 10^{-9} meter. Til sammenligning er et vandmolekyle 0,3 nm stort, bredden af et DNA-molekyle er 2 nm, et menneskehår er 100.000 nm, og en fodbold er 22 millioner nanometer (figur 1). For at blive kaldt nanoteknologi, skal et materiale eller det apparat eller den proces, hvori materialet indgår:

- være i nanostørrelse, det vil sige i størrelsesordenen 0,1-100 nm på mindst en led, og
- have nye egenskaber, som skyldes dets nanostørrelse.

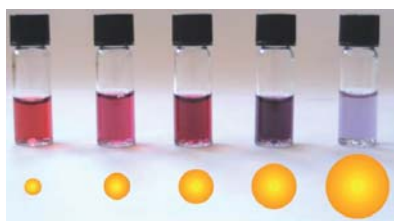


Figur 1. Forskellige materialer målt i nanometer.

Materialer i nanostørrelse ændrer opførsel

Et godt eksempel på et *nanomateriale* med nye egenskaber er guldnanopartikler. Guld er normalt et ædelmetal, der ikke reagerer med andre stoffer. For eksempel oxiderer guld i modsætning til sølv ikke. Det er derfor, man aldrig behøver at pudse sine guldsmykker. Men til forskernes store overraskelse, har det vist sig, at 2-3 nm små guldpartikler faktisk er meget reaktive og kan få kemiske reaktioner til at ske hurtigere end normalt. Det er ikke blot gulds reaktivitet, der ændrer sig, også farven forandres, når guld er i nanostørrelse (figur 2). Mens en guldring er gul, så er guldnanopartikler røde. Du kan læse mere om de reaktive guldnanopartikler i kapitel 3, der handler om de fysiske egenskaber ved katalyse og forskernes arbejde med at udvikle bedre katalysatorer.

Der er mange andre eksempler på materialer, der får nye egenskaber, når de er i nanostørrelse. Titaniumdioxidpulver (TiO_2) er hvidt og bruges som pigment i hvid maling. Nanopartikler af TiO_2 er derimod gennemsigtige for synligt lys og bruges til at blokere UV-stråling i mange solcremer. Aluminiumsdåser er svære at sætte ild til, mens nanopartikler af aluminium derimod er så eksplosive, at de bruges som tændingsmateriale i raketbrændstoffer.

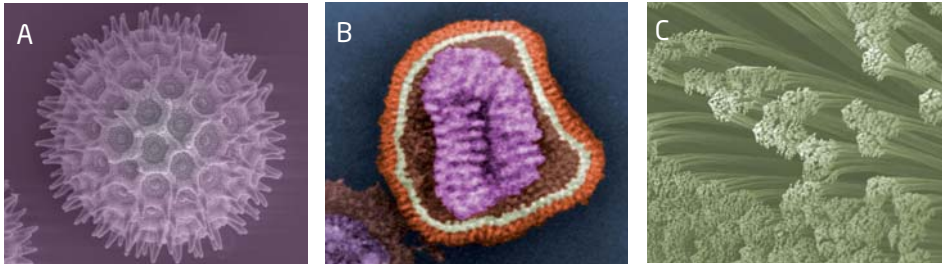


Figur 2. Guldpartikler i forskellig størrelse har også forskellig farve.

Naturen kom først

Nanoteknologi er dog ikke noget, vi mennesker har skabt. Naturen har i millioner af år brugt nanoteknologi. Pollen, viruspartikler, mælkeproteiner og DNA-molekyler er alle biologiske nanopartik-

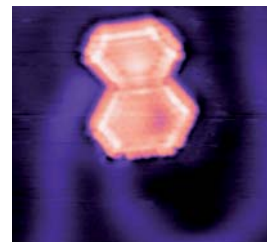
ler, og kopiering af DNA og fotosyntese sker ved hjælp af naturens egne nanomaskiner (figur 3A og B). Nanostrukturer på lotusblades overflader gør dem både vand- og smudsafvisende, mens overfladekræfter mellem nanotynde hår på undersiden af gekkoens fødder og overfladen under den hjælper den med at hænge fast på loftet (figur 3C). Du kan læse mere om *lotuseffekten* i kapitel 6 og om *gekkoeffekten* i kapitel 7.



Figur 3. Pollen (A), viruspartikler (B) og gekkofødder (C) er alle eksempler på naturens nanoteknologi. Viruspartiklen i B er en influenzavirus. På C ses et udsnit af de millioner af 100 nm brede hår, der sidder på undersiden af gekkoens fødder.

‘Nano’ har altså altid været en del af vores hverdag. Grunden til, at teknologien ofte bliver præsenteret som noget helt nyt og menneskeskabt, er, at det først er inden for de sidste 30 år, at vi mennesker for alvor er blevet i stand til at se på nanoskalaen og dermed også bygge og manipulere med materialer i nanostørrelse. Startskuddet kom med udviklingen af *Skanning Tunnel Mikroskopet* (STM), der blev opfundet i 1981. Mikroskopet virker ved at, der løber en strøm mellem to elektrisk ledende materialer, når disse er få nanometer fra hinanden. Det er meget overraskende, da strøm, der som bekendt består af elektroner, normalt kun løber mellem materialer, der er i fysisk kontakt med hinanden. Strøm, der løber mellem to materialer uden fysisk kontakt, er næsten lige så uventet som at sparke en fodbold gennem en mur. Forklaringen på det usædvanlige fænomen, der kaldes for *tunneleringsstrøm*, er, at der på nanoskalaen gælder andre love end den klassiske fysik. Nanoverdenen styres efter *kvantemekanikkens* regler, der blandt andet tillader elektroner at ‘gå gennem mure’. Takket være STM kan forskerne i dag lave billeder af materialers overflader, der er så detaljerede, at de kan se de enkelte atomer (figur 4). Du kan læse mere om STM i kapitel 2, der handler om mikroskoper.

Figur 4. På *Center for Atomic-Scala Materials Design* og *Center for Individual Nanoparticle Functionality* undersøger forskerne katalytiske molybdænsulfidpartikler (MoS₂) med STM. Mikroskopets opløsning er så god, at man kan se de enkelte atomer på partiklernes overflade (lyse pletter).



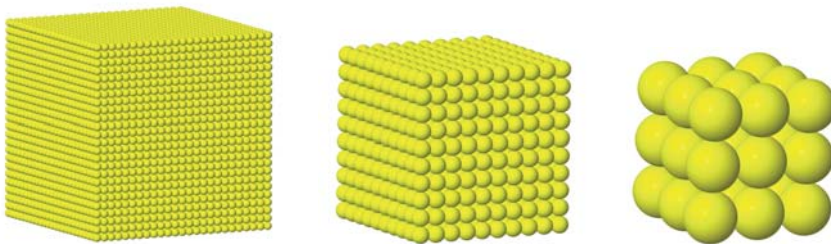
I 1986 blev et andet vigtigt nanoteknologisk værktøj opfundet, *Atomic Force Mikroskopet* (AFM), der er en videreudvikling af STM. Princippet i AFM går ud på at måle på de kræfter, der er mellem to materialer i nanometers afstand fra hinanden (figur 5). I mod-

sætning til elektrisk strøm, der kun løber mellem elektrisk ledende materialer, så påvirker alle – både elektrisk ledende og ikke-ledende – materialer hinanden på atomar skala. Det betyder, at man med AFM kan lave billeder af biologiske materialer, eksempelvis DNA og bakterier, ved at måle på atomare kræfter såsom *van der Waals-kræfter*, som du kan læse mere om i kapitel 6 og 7. Kapitel 11 handler om biofilm, som er slimede bakteriefilm, der er meget svære at bekæmpe med antibiotika. For at komme dem til livs, studerer forskerne bakterier og biofilm med AFM (*figur 5*). I dag er AFM og STM nogle af forskernes vigtigste nanoteknologiske værktøjer.

Figur 5. På Institut for Systembiologi studerer forskerne bakterier i biofilm med AFM. Billedet viser to Pseudomonas aeruginosa-bakterier med flageller ('haler').



Som de ovenstående eksempler viser, er der flere årsager til, at materialer opfører sig anderledes på nanoskalaen. I nogle tilfælde, som med STM, skyldes det, at der i nanoverdenen gælder andre love end den klassiske fysik. I andre tilfælde skyldes det, at nanopartikler af eksempelvis TiO_2 er mindre end lysets bølgelængde og derfor bliver usynlige for øjet, eller at nanomaterialerne har et større overflade/volumen-forhold som med guldnanopartiklerne. En terning, der måler 300 nm på hver side indeholder cirka 1 milliard atomer, hvoraf 0,6 % befinder sig på overfladen. En meget mindre terning blot 3 nm på hver side indeholder kun 1000 atomer, men her sidder 50 % på overfladen (*figur 6*). Denne enorme forøgelse af overfladearealet er skyld i mange nanopartiklers store reaktionsvillighed.

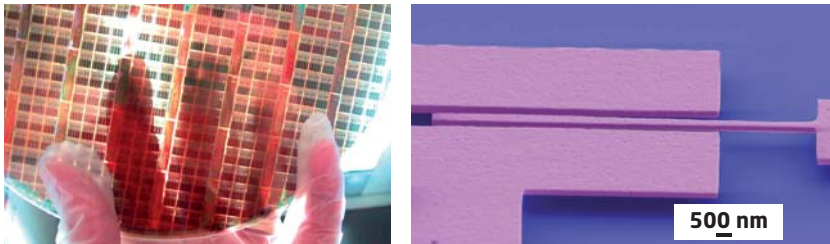


Figur 6. Jo mindre en terning eller partikel bliver, desto større en andel af materialets atomer (kugler) sidder på overfladen. Kemiske reaktioner sker altid på overfladen af partikler og derfor har nanopartikler ofte langt højere reaktivitet end større partikler af det samme materiale.

Nano her, der og alle vegne

Som vi har set, bruger vi allerede i dag nanoteknologien til mange ting. For eksempel indeholder din computer både nanotransistorer på mikrochips og nanotynde magnetiske lag i harddiskens læsehoved. Computerchippet fremstilles ved nanofabrikation, der dækker over en række teknikker, som også bruges til at fremstille bittesmå bjælker, der

kan spore bakterier i blodprøver og sprængstoffer i lufthavnen (figur 7). I kapitel 8 bliver tre grundlæggende teknikker bag nanofabrikation gennemgået.



Figur 7. Både computerchips (venstre) og bittesmå bjælker i mikro- (højre) og nanosensorer fremstilles ved nanofabrikation.

Der findes også en fjerde metode til at fremstille strukturer på nanoskalaen. Det kaldes lidt for sjov for nano-kartoffeltryk, fordi det minder om den måde, børnene i børnehaven laver tryk på t-shirts. Med nano-kartoffeltryk kan forskerne lave proteinmønstre på plastik, som de bruger til at binde og undersøge cellers evne til at finde vej (figur 9). Forskningen indgår i udviklingen af en vaccine mod kræft, som du kan læse mere om i kapitel 12. Nanoteknologi anvendes også til at designe overflader med særlige egenskaber. Ved at efterligne nanostrukturerne på lotusplantens blade som beskrevet i kapitel 6, laver forskerne blandt andet vandafvisende bilruder og smudsafvisende materialer. Nanostrukturerede overflader forhindrer også graffiti i at sidde fast på togene og mikroorganismer i at gro på skibsbunde.

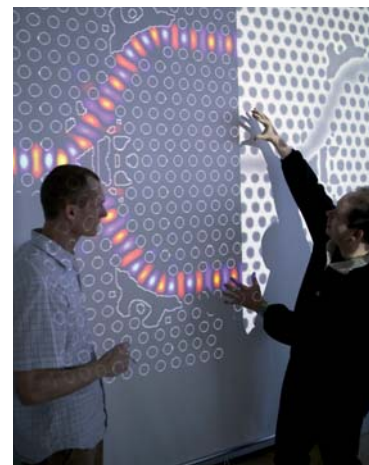
Andre nanoteknologiske opfindelser kommer først om 10-15-20 år eller endnu længere ude i fremtiden. I kapitel 10 om *nanofotonik* kan du læse mere om forskernes arbejde med at lave, kontrollere og opfange lyspartikler (= *fotoner*). Målet er at bygge en optisk computer, der fungerer ved hjælp af lys frem for strøm, og som derfor arbejder op til 1000 gange hurtigere end de computere vi har i dag (figur 8).

Figur 8. På Institut for Fotonik udvikler forskerne krystalliske bølgeledere med nanostrukturer, der bøjer og deler lyset.

Bolde og rør – nanoteknologiens kæledægger

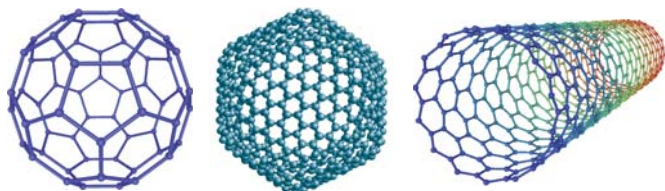
Vi har allerede beskrevet de vigtige nanoteknologiske mikroskoper STM og AFM. Nanoteknologi forbindes også ofte med de nye materialer, *buckyballs* og *nanorør*. Buckyballs eller *Buckminsterfullerener* er sat sammen af 60 carbonatomer til en kugle med en diameter på 1 nm på samme måde som felterne på en fodbold (figur 9).

C_{60} -molekylerne blev opdaget af de tre forskere Robert F. Curl, Harold W. Kroto og Richard E. Smalley i 1985. Før da kendte man kun til to rene former af carbon: *grafit* og *diamanter*. De små carbonbolde var så bane-



brydende, at Curl, Kroto og Smalley i 1996 fik nobelprisen for deres opdagelse. Nogle forskere forsøger at bruge de hule C_{60} -molekyler til behandling af kræft ved at sætte signalstoffer, som kun genkendes af kræftceller, på ydersiden af kuglerne. Når de optages og nedbrydes inden i kræftcellerne, slipper medicinen ud og dræber cellerne. Buckyballs har flere specielle egenskaber, der gør dem velegnede i mange produkter. Fremstillingen af molekylerne er imidlertid så dyr, at det nok er begrænset, hvor meget de bliver anvendt.

En anden vigtig carbonstruktur er *carbonnanorør*, der ligner lange ruller hønsenet (figur 9). Rørene er blot én nanometer brede og op til tusindvis nanometer lange. De er desuden helt fantastiske til at lede strøm samt ekstremt stærke, lette og bøjelige. Derfor bruges de både i tennisketsjere, golfkøller og Tour de France-cykler, hvor de giver øget styrke og mindre vægt. Deres evne til at lede strøm næsten uden modstand betyder, at mange spår dem en stor fremtid blandt andet i nanoelektronik, som kapitel 9 handler om.

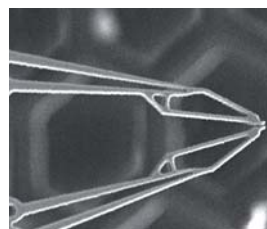


Figur 9. Fullerenener. C_{60} -molekyler er en del af fulleren-familien, der består af rene carbonmolekyler i form af hule kugler (herunder buckyballs) og rør (carbonnanorør).

Hvis computere og anden elektronik i fremtiden skal have dele lavet af nanorør, er det nødvendigt, at forskerne lærer mere om rørenes egenskaber og finder en nem måde at massefremstille dem på. Kapitel 7 handler blandt andet om nanorobotter, der kan flytte rundt på nanorør. Rørene er så små, at det er yderst vanskeligt at gribe fat i dem. Et andet problem er rørenes fantastiske styrke, der faktisk er et problem, når de skal brækkes af det underlag, hvor de bliver dyrket. I stedet for at rørene knækker, knækker robotarmen ofte, så forskerne arbejder hårdt på at udvikle en superstærk nanoarm. Ikke overraskende har det vist sig, at det bedste design for armen ligner knoglestrukturen i en menneskearm, som naturen jo har brugt millioner af år på at udvikle (figur 10).

Stjerne eller problembarn

Nanoteknologien kan også bruges til at bekæmpe forurening og til at forbedre miljøvenlig energiproduktion. Nanopartikler i bilkatalysatorer fjerner skadelige giftstoffer fra bilernes udstødning, jernnanopartikler kan rense forurenede grundvand, og nanobiosensorer kan spore bakterier i drikkevandet. Endelig kan nanomaterialer bruges til effektive *elektrolyseceller*, der fremstiller hydrogen ved hjælp af elektricitet fra solceller eller vindmøller, eller til *brændselsceller*, der omdanner hydrogen til strøm. Forskere fra DTU arbejder med at udvikle bedre elektrolyse- og brændselsceller, som du kan læse om i kapitel 5. Kapitel 4 handler om bioraffineriet, hvor nanokatalysatorer blandt andet bruges til fremstilling af biobrændstoffer og miljøvenlig plastik ud fra planterester og slagteriaffald.



Figur 10. Nanoarmen er designet, så den ligner knoglerne i menneskearmen.

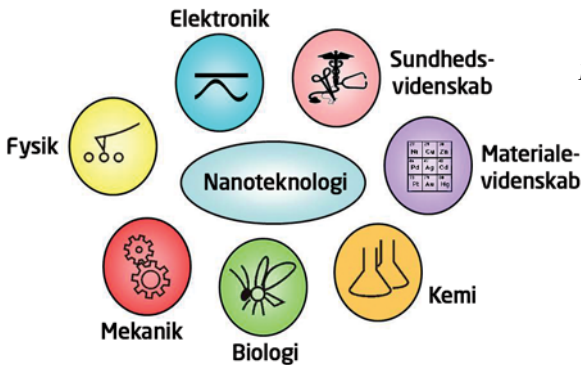
Figur 11. Dafnier er en vigtig del af økosystemet. På Institut for Vand og Miljøteknologi bruger forskerne de små krebsdyr til at undersøge blandt andet C_{60} -molekylers optagelse i organismen (sorte prikker).



Som med alle andre teknologier og nye materialer er der selvfølgelig også en risiko for, at nogle nanomaterialer er skadelige for vores miljø eller helbred. Nanopartiklers ringe størrelse betyder, at de i visse tilfælde kan optages i kroppen og på grund af deres store reaktivitet muligvis forårsage vævsskader. Nanotoksikologi er et nyt forskningsområde, hvor forskerne studerer forskellige nanomaterialers indflydelse på mennesker og miljø (figur 11), som du kan læse om i kapitel 13.

Nanoteknologien krydser faggrænser

Forhåbentlig har du nu fået et indtryk af, at nanoteknologi er mange ting. Nanoteknologi er mere end bare en teknologi, det er en *tilgang* til mange typer forskning og produktion, hvor materialers egenskaber på nanoskala giver os mulighed for at skabe produkter med bedre og i mange tilfælde helt nye egenskaber. Derfor er anvendelsen af nanoteknologi heller ikke begrænset til et enkelt område af samfundet, men vil med tiden blive en naturlig del af forskning, fremstillingsmetoder og produkter alle vegne omkring os. Af samme grund er nanoteknologisk forskning også tværfaglig (figur 12), og forskere med meget forskellige uddannelser arbejder sammen på kryds og tværs. Hvis man vil arbejde med nanoteknologi, kan man for eksempel vælge at læse til ingeniør, studere fysik, kemi, biologi, biokemi eller medicin. Vi håber, at vi med denne bog vækker din nysgerrighed og lyst til at arbejde videre med nanoteknologi både i skolen og senere hen.



Figur 12. Nanoteknologi er tværfaglig.



Kapitlets forfatter. Redaktør Anne Hansen.