

De nye mikroskoper kan forstørre 10-100 millioner gange og billeder med atomar opløsning kan filmes et par gange i sekundet.

SUPERMIKROSKOPER SER ATOMERNE I BEVÆGELSE

Nu står de klar til brug. Syv elektronmikroskoper. Det største er unikt i sig selv, og i kombination vil mikroskoperne åbne nye forskningsmuligheder, der er enestående på verdensplan.

ROLF HAUGAARD NIELSEN >

Forstør en negl op til en størrelse, der svarer Sjælland. Eller gør stuen lige så enorm som Jorden. Dét er i overført betydning, hvad fysikere, kemikere, biologer og materialeforskere bliver i stand til, når de anbringer deres prøver i de to store transmissions elektron mikroskoper på DTU's nye Center for Elektron-nanoskopi, også kaldet DTU Cen.

Her er prøverne selvfølgelig mindre – i mikrometerskalaen eller nanometerskalaen – og de to mikroskoper kan visualisere deres opbygning med en opløsning på helt ned til 0,07 nanometer svarende til halvdelen af diameteren på et kulstofatom. Forstørrelsen er på 10 til 100 millioner gange.

”Det største transmissions elektron mikroskop (TEM) er det eneste i verden, som kombinerer de tre vigtigste

teknologiske gennembrud i de senere år. Mikroskopet kan korrigere for fejl i de magnetiske linser, og alle elektronerne har samme bølgelængde. Tilsammen eliminerer de to egenskaber den normale sløring af billedet, hvilket forbedrer opløsningsevnen og gør billedet knivskarpt”, siger DTU Cen's direktør Rafal Dunin-Borkowski. ”Derudover har mikroskopet et reaktionskammer, hvor prøven ikke behøver at være i vakuum, og det sætter os i stand til at filme fysiske og kemiske reaktioner, mens de sker.”

Et eksempel er reaktioner mellem katalytiske nanokrystaller og gasser, hvor mikroskopet kan vise atomernes bevægelser under forløbet. Det giver helt nye muligheder for at skræddersy grøn kemi. Billeder med atomar

opløsning kan filmes et par gange i sekundet, mens knap så detaljerede snapshots optages 20-50 gange i sekundet, hvilket er lige så kvikt som i en videofilm.

100 mio. kr.

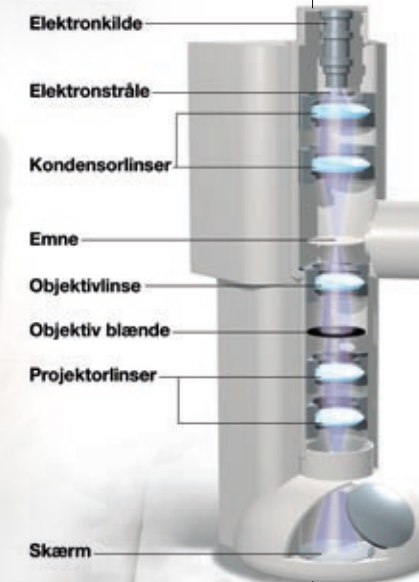
Der er næppe mange forskere, som ikke ville give højre arm for et sådant mikroskop, men DTU Cen er især enestående, fordi centret takket være en donation på 100 millioner kr. fra A.P. Møller og Hustru Chastine Mc-Kinney Møllers Fond til almene Formaal råder over syv elektronmikroskoper med forskellige egenskaber, som komplementerer hinanden.

Det andet store TEM mikroskop har samme opløsningsevne som flag-skibet, men bruges til strukturelle

>>



Tegningen viser princippet i et transmissions elektron mikroskop (TEM).



VERDENS MEST AVANCEREDE TEM MIKROSKOP

Et TEM mikroskop fungerer efter samme princip som et lysmikroskop, blot bruger man i stedet for lys en stråle af elektroner, som sendes gennem en tynd prøve.

Mens lysmikroskopet ikke kan se strukturer, som er mindre end bølgelængden af synligt lys, har elektroner ikke samme begrænsning. Når man øger elektronernes energi, falder deres bølgelængde, og derfor er det muligt at opnå langt kraftigere forstørrelser. Høj energi øger også elektronernes evne til at trænge gennem prøven.

Et almindeligt godt TEM mikroskop har en opløsning på omkring 0,2 nanometer, og indtil for få år siden var det umuligt at forbedre opløsningen yderligere. Det skyldes to forhold. Der er altid fejl de magnetiske linser, som fokuserer elektronstrålen, og der er altid en vis spredning i elektronernes energi og dermed i deres bølgelængder. Begge dele slører billedet.

I de to store TEM mikroskoper på Cen er fejlene i de magnetiske linser afhjulpnet ved at indbygge ekstra ringe af magneter, som korrigerer for fejlene.

Spredningen i elektronernes energi er elimineret ved hjælp af et ekstra magnetfelt, som afbøjer og fjerner alle elektroner, der ikke har præcis den rigtige energi. Derfor rammes prøven kun af elektroner med den udvalgte bølgelængde.

Tilsammen øger de to nyskabelser opløsningen fra 0,2 til 0,07 nanometer. Et tigerspring.

Et elektronmikroskop kræver normalt vakuum for at fungere. Men det største TEM mikroskop har et særligt reaktionskammer, hvor kemiske reaktioner kan studeres under rimeligt høje tryk. Fidusen er, at den fint fokuserede elektronstråle kommer ind i kammeret gennem et meget lille hul, hvilket gør det muligt at opretholde vakuum i resten af mikroskopet ved hjælp af kraftige pumper.

FOTO: STEEN BROGAARD

studier af prøver i vakuum, fx med henblik på at optimere den atomare opbygning i halvledermaterialer til nanoelektronik, nanooptik og nanosensorer. Et mindre TEM mikroskop vil blive anvendt til forstudier og udvikling af prøver til de store mikroskoper.

Centret råder også over tre avancerede Scanning Elektron Mikroskoper, de såkaldte SEM mikroskoper, hvor en elektronstråle scanner en overflade, og her er forstørrelsen på op til 200.000 gange. To af mikroskoperne kan ved

hjælp af ionstråler skære tynde lag af prøvens overflade på samme måde som en osteskærer.

”Ved at fjerne det ene lag efter det andet og filme hvert lag med elektronstrålen kan vi gendanne prøvens tredimensionelle struktur via en computerbehandling”, siger docent Andy Horsewell.

”Den slags studier kan bruges til at optimere materialer som metaller, legeringer og polymerer. Vi satser blandt andet på at forbedre det

videnskabelige grundlag for at øge støbejerns styrke i forhold til vægten via visualisering og efterfølgende forbedring af mikro- og nanostrukturen. Det er f.eks. en forudsætning for at udvikle tilstrækkeligt lette og stærke gearkasser til fremtidens store vindmøller.”

Med ionstrålerne kan forskerne også fremstille tynde prøver til undersøgelser i de store TEM mikroskoper. Tilmed kan ionstrålerne udskære bittesmå funktionelle strukturer som nanopincetter, som under TEM

mikroskopernes skarpe blik kan manipulere med nanoelektroniske komponenter som kulstofrør.

Det sidste SEM mikroskop er et øvelsesmikroskop, som førsteårsstuderende hurtigt kan lære at betjene – i et mildt sagt inspirerende miljø.

Realistisk katalyse

Katalyse er kemiens tryllestav, som får kemiske og petrokemiske reaktioner til at forløbe hurtigere og ved lavere temperaturer og tryk, end det ellers

ville være muligt. Katalysatorer anvendes i stigende omfang til miljøformål som afsvovling af olie og rensning af bilernes udstødningsgasser.

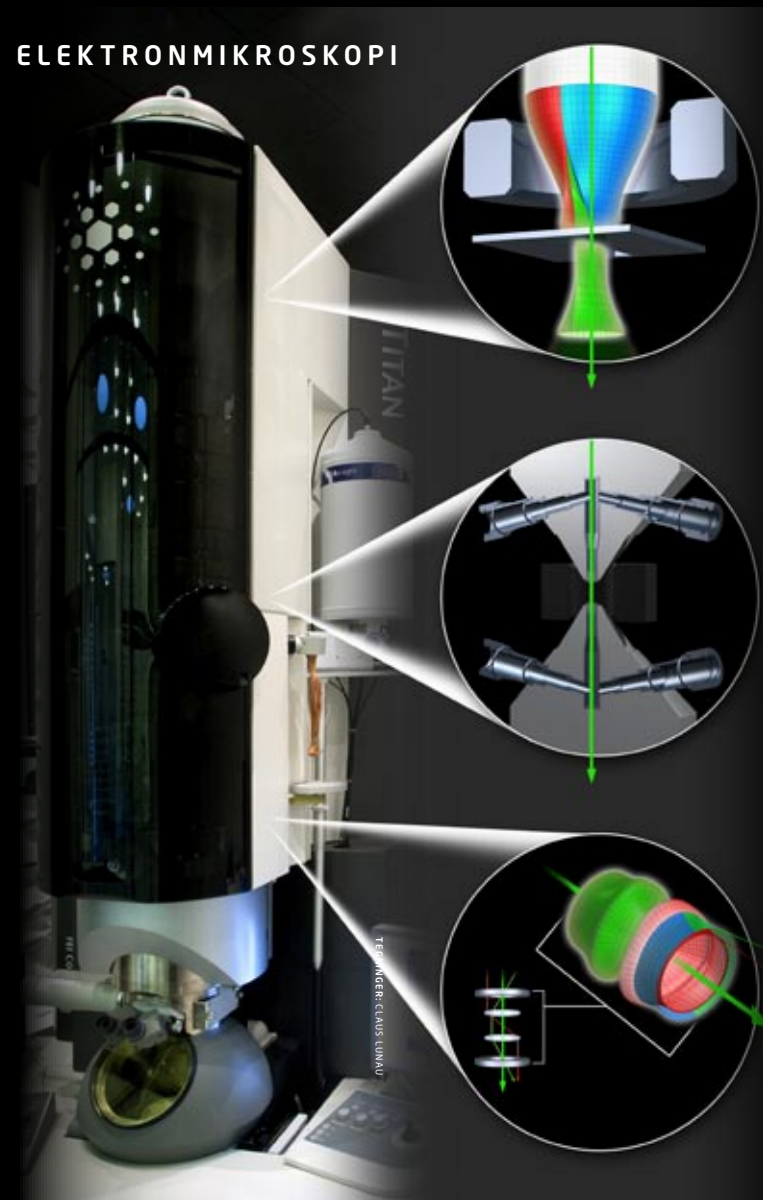
En katalysator består normalt af små partikler af et porøst materiale, fx en keramik eller en polymer, som på grund af porerne har et enormt overfladeareal i forhold til partiklernes volumen. På bærematerialets overflade sidder der katalytisk aktive nanokrystaller af metaller, oxider eller legeringer.

Først i de senere år har Scanning Probe Mikroskopi gjort det muligt at kortlægge katalytiske processer på atomart niveau.

Men indtil videre har der været tale om simple modelsystemer, hvor de aktive nanokrystaller dyrkes på rene overflader. Derfor er det ikke altid muligt at overføre resultaterne til industrielle forhold.

”I det store TEM mikroskop med reaktionskammeret kan vi for første gang nogensinde undersøge

>>

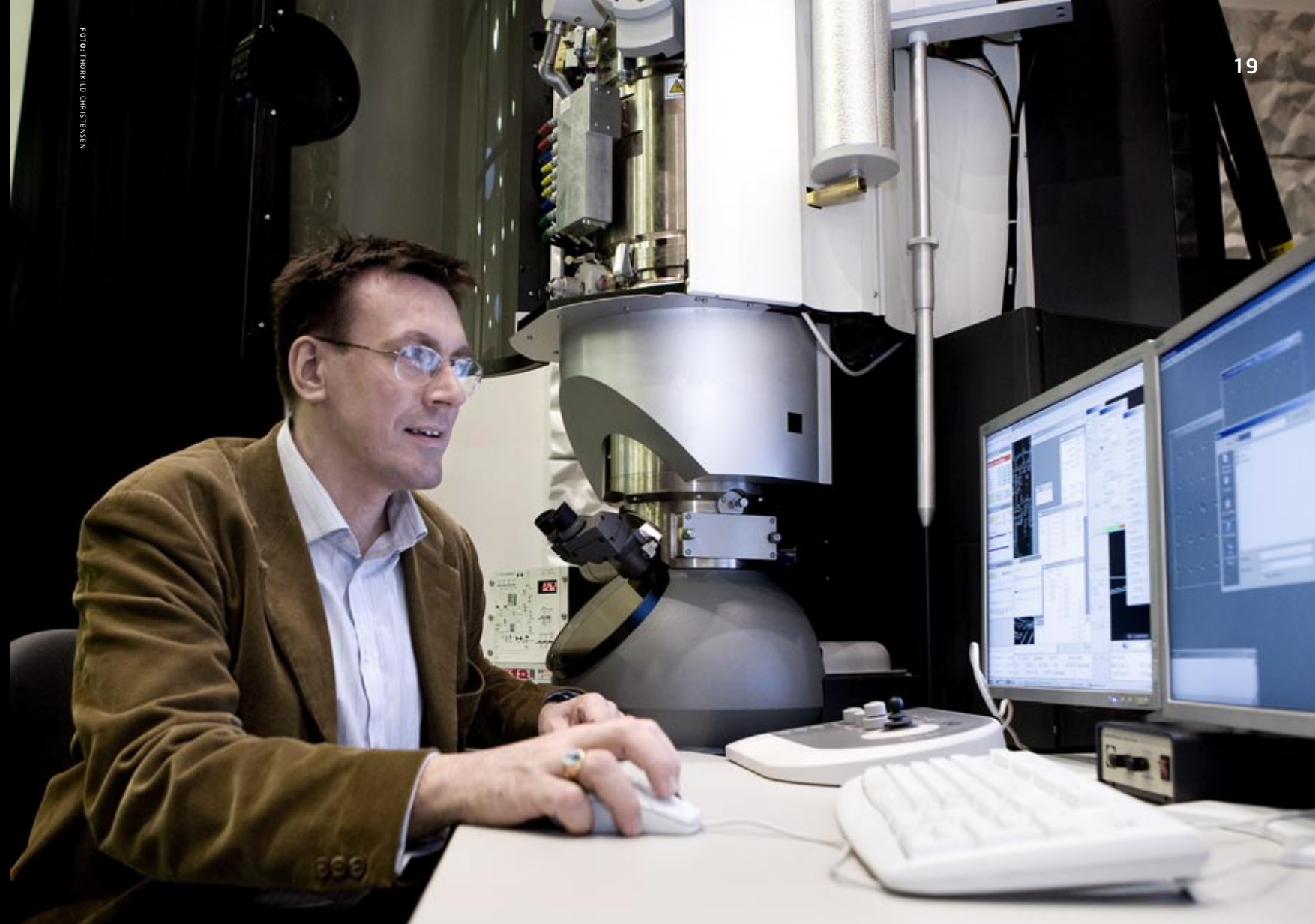


Det største af de i alt syv nye mikroskoper er et næsten fire meter højt såkaldt Environmental Transmission Electron Microscope (ETEM). Mikroskopet er det kraftigste af sin art i verden og det eneste, som kombinerer de tre vigtigste teknologiske gennembrud i de senere år.

(Øverst) Monokromator: Nogle af elektronerne i strålen har energier, der er lidt større eller mindre end gennemsnittet og dermed afvigende bølgelængder, hvilket medfører udtværing af billedet. En ekstra magnetisk linse afbøjer disse elektroner, så de standses af et filter, inden strålen sendes ind i reaktionskammeret.

(i midten) Reaktionskammeret: Et elektronmikroskop fungerer normalt kun i vakuum, men det største mikroskop på Cen er udstyret med et reaktionskammer, hvor kemiske reaktioner mellem gasser og faste stoffer kan undersøges under rimeligt høje tryk. Det kan lade sig gøre, fordi den fint fokuserede elektronstråle sendes ind i kammeret gennem et meget lille hul, mens kraftige pumper opretholder vakuum i resten af mikroskopet.

(Nederst) Korrektion af fejl i de magnetiske linser: Når en elektronstråle fokuseres i en magnetisk linse, opstår der altid fejl, fordi elektroner i strålens udkanter sendes lidt ud til siderne i forhold til elektronerne midt i strålen. Fejlen korrigeres ved hjælp af to ringe med seks magneter i hver ring.



”Med det nyudviklede mikroskop vil vi kunne se detaljer på atomart niveau, i fremtiden også i 3D,” forklarer DTU Cen’s direktør Rafal Dunin-Borkowski. Det er et kæmpe skridt fremad inden for eksempelvis materialeforskning, hvor forskerne vil kunne se hvad der sker med de enkelte atomer, når materialerne ændres for at give dem nye egenskaber.

industrielle katalysatorers samspil med gasser på atomart plan under realistiske betingelser. Det kan bane vej for design af forbedrede katalysatorer,” siger Rafal Dunin-Borkowski.

Perspektiverne er enorme både med hensyn til økonomi og bæredygtighed. Et eksempel er ammoniaksyntesen, hvor forbedret katalyse kan minimere energiforbruget. En anden katalytisk proces med et tilsvarende potentiale for optimering er dampreformerer. Dampreformerer af naturgas anvendes til fremstilling af syntesegas, som videre kan omsættes til kemikalier, flydende brændstoffer eller brint til brændselsceller. Desuden vil forskerne fokusere på oxidationskatalysatorer, som især bruges i den kemiske industri. Her er målet mere

miljøvenlige kemiske processer og produkter.

Det næste teknologispring

Den fysiske grænse for, hvor små og hurtige chips det er muligt at fremstille med litografiske metoder, vil blive nået inden for overskuelig fremtid, og derfor forskes der verden over i nanoelektronik, som kan bane vej for det næste teknologispring. En af komponenterne i nanochips er nanoledninger af halvledere, som kan fremstilles ved at lukke gasser med de atomare byggesten ind i et reaktionskammer. ”Vi vil kunne fremstille nanoledninger i reaktionskammeret på det store TEM mikroskop, følge vækstprocessen og karakterisere nanoledningerne strukturelt, fysisk og

kemisk,” siger seniorforsker Jakob Wagner.

Når det gælder datalagring, stilles der store forhåbninger til bittesmå magnetiske nanopartikler, som har potentialet til at pakke enorme datamængder sammen på minimal plads. Imidlertid opfører nanomagneter sig anderledes end større permanente magneter – f.eks. kan de spontant ændre magnetisk orientering - og deres egenskaber er langt fra fuldt forstået. ”I reaktionskammeret kan vi udsætte nanomagneter for forskellige kemiske miljøer og undersøge, hvordan kemien påvirker deres magnetiske egenskaber,” siger Rafal Dunin-Borkowski.

Nanoteknologi kan revolutionere dagligdagen inden for

energiproduktion, medicin, fødevarer og elektronik, men små nanokomponenter kan muligvis også rumme sundhedsrisici; f.eks. har indånding af nanofibre i dyreforsøg medført lunge-skader i mus. Derfor er der behov for nanotoksikologisk forskning, inden nanoverdenen for alvor rykker ind i dagligdagen. Også i den sammenhæng kan elektronmikroskoperne på centeret give værdifulde oplysninger. ”Vi kan indføre nanopartikler i vævsprøver, se hvor de havner i cellerne og påvise eventuelle skadevirkninger,” tilføjer Rafal Dunin-Borkowski.

TEM mikroskoperne kan også medvirke til at øge forståelsen af neurodegenerative sygdomme som den dødelige form for senilitet, Alzheimers syge, ved at optage billeder af de

proteinklumper, der ophobes i hjernen. Tidligere studier har vist, at der dannes magnetiske partikler i proteinklumperne. I dag ved ingen, hvorfor partiklerne dannes, og hvilken rolle de spiller i sygdomsprocessen. Mere detaljerede billeder kan medvirke til at løse gåden.

Sund med nanofood

Studier på SEM mikroskoperne kan føre til udvikling af sundhedsfremmende fødevarer. I samarbejde med en ph.d.-studerende fra DTU Aqua (tidligere Danmarks Fiskeriundersøgelser) vil Andy Horsewell undersøge, hvordan man kan fremstille stabile emulsioner af fiskenes sunde omega-3-fedtsyrer i vand eller vandige opløsninger, f.eks. salatdressinger.

”Vi planlægger at fryse emulsionerne, skrælle dem lag for lag og visualisere fedtkuglernes størrelser, former og overflader i tre dimensioner. Det kan bane vej for design af stabile emulsioner, som ikke har tendens til at blive harske,” fortæller Andy Horsewell.

Ingen tvivl om, at DTU Cen bliver et sprudlende tværfagligt forskningsmiljø, og forskere fra Tyskland, England, Sverige, Brasilien og Singapore har allerede banket på døren for at være med. Man fristes til at servere flosklen ”kun fantasien sætter grænser”, men den holder ikke engang. For når forsøgene først kommer i gang, skal der nok opstå uventede ideer, som end ikke forskerne har fantasi til at forstille sig i dag. > >>



INSPIRERENDE BYGNING

FOTO: THORALD CHRISTENSEN

Mikroskoperne er så følsomme, at man ville kunne se rystelserne fra motorvejen, der ligger omkring en kilometer derfra. Derfor er de placeret på metertyk betonsokkel

Da docent Andy Horsewell drog verden rundt for at studere elektronmikroskoper i forbindelse med planlægningen af Cen, slog det ham, at de altid var placeret i mørke betonkældre, hvor man ikke har lyst til at opholde sig længere end højst nødvendigt. Kontrasten til DTU Cen's nye mikroskopibygning er slående. Højt til loftet. Masser af lys. Hvide mure med lyddæpende relieffer, der nærmest ligner kunst. Dobbelte glasvægge og døre, som giver frit udsyn til alle mikroskoperne. De to store TEM mikroskoper og begyndermikroskopet er

anbragt ved endevæggene i den centrale hal, mens de øvrige mikroskoprum kan iagttages i sidegangene. Mikroskoperne står på metertykke betonplader, der hviler på endnu tykkere puder af grus for at beskytte mod mekaniske rystelser fra den nærliggende motorvej. I første omgang blev der leveret en forkert type grus, så i alt 250 lastbillæs måtte udskiftes, hvilket entreprenøren klarede ved hjælp af kørsel i treholdsskift i vinteren 2007. Nu står mikroskoperne perfekt. Elektronmikroskoper forstyrres også af ujævn temperatur, så derfor

er der indbygget kølerør i loftet, som sammen med ventilationen sikrer ens temperatur i hele rummet. Elektromagnetiske felter accepteres heller ikke, hvorfor strømforsyningen og tilbagekredsløbet er konstrueret, så deres magnetfelter ophæver hinanden. Mikroskopihuset overgår leverandøren FEI's specifikationer på alle parametre. I hallen kan forskere og studerende på en stor fladskærm se, hvad et udvalgt mikroskop viser, og diskutere arbejdet. Eller se OL, hvis de trænger til en pause. Kaffeautomaten er bestilt! <



FOTO: THORALD CHRISTENSEN

FORSKNING I VERDENSKLASSE

"Det er enestående, at et ambitiøst center både kan bygges og udstyres med det absolut ypperste inden for elektronmikroskopi på én gang. De eksperimentelle muligheder for dansk forskning i materialer og nanoteknologi bliver dermed løftet til verdensklasse. Det vil få stor indflydelse på nanoforskning i hele verden," udtalte rektor Lars Pallesen ved indvielsen af det nye Center for Elektron Nanoskopi. Med syv nye supermikroskoper og en specialdesignet bygning vil forskerne få enestående muligheder for at designe nye materialer til gavn for blandt andet miljø, produktion, energi og transport.

DTU Cen blev indviet i december 2007 af skibsreder Mærsk Mc-Kinney Møller, her omgivet af DTU Cen's direktør Rafal E. Dunin-Borowski (th), sine døtre Ane Mærsk Mc-Kinney Uggla og Leise Mærsk Mc-Kinney Møller samt videnskabsminister Helge Sander.

K STÅR FOR KOAGULATION

ANNETTE BUHL SØRENSEN OG JAN TAPDRUP >

Lige efter fødslen får de fleste børn i Danmark en lille indsprøjtning af 1 mg phytomenadion. At give et sådant forebyggende K-vitamin tilskud til nyfødte har været rutine i Danmark i over 40 år. K-vitamin er nødvendigt for, at blodet kan størkne, så man undgår blødninger.

Der findes nemlig kun meget små mængder K-vitamin i modermælken, og det dannes kun i ringe mængder i det nyfødte barns tarmkanal. Derfor er det nødvendigt, at barnet får et tilskud af vitaminet. De fleste forældre er så fokuserede på det lille nye vidunder, at de ikke bemærker, at barnet får det lille stik. Endnu færre ved, at det er danskeren og polyteknikeren Henrik Dam, der fandt K-vitaminet.

K-vitaminet var ikke det første vitamin, der blev fundet. Ved studier af årsagen til sygdommen Beriberi opdagede man, at folk, der spiste upoleret ris, ikke fik sygdommen. Der måtte derfor være nogle specielle næringsstoffer i risens skaller. I 1912 navngav polakken, biokemikeren Cashmir Funk de specielle næringsstoffer

"vitamine" efter "vita" som betyder liv and "amine" fra thiamine, som han fandt i risens skaller. Vitamine blev senere til vitamin, og thiamine fik tilnavnet B1-vitamin.

Tilbage til Henrik Dam. Efter uddannelse som kemiingeniør fra Polyteknisk Læreanstalt i 1920, arbejdede han de næste 5 år på Landbohøjskolen og Københavns Universitet. Ved oprettelsen af Danmarks første biokemiske institut ved Københavns universitet i 1928 blev Henrik Dam ansat som assistent og fra 1931 som lektor.

I forbindelse med opdagelsen blev han i 1941 inviteret til USA. På grund af 2. verdenskrig kunne Dam ikke umiddelbart vende tilbage men fik arbejde ved amerikanske hospitalslaboratorier. Under sit ophold blev han flere gange indstillet til Nobelprisen, som han fik i 1943 sammen med en anden K-vitamin forsker, Edward Doisy.

Han vendte først tilbage til Danmark i 1946, da han blev tilbudt et professorat ved Danmarks Tekniske Højskole (nu DTU) som efterfølger



I 1943 blev kemiingeniør Henrik Dam tildelt Nobelprisen i medicin for fundet af K-vitaminet.

for en anden pioner inden for "bioteknisk kemi" Sigurd Orla-Jensen. Her ændrede han Orla-Jensens kursus i Bioteknisk kemi til det mere moderne Biokemi. Hans professorat i biokemi blev ændret til "biokemi og ernæring" som understregning af hans interesse for ernæringsforskning. Henrik Dam nåede i sin levetid at publicere ikke mindre end omkring 350 artikler.

Dam bliver ofte beskrevet som en uhyre arbejdsom, men også sky person. Beskeden må man også sige. Om Nobeltildelingen skulle han have sagt: "ogsaa ved Tildelingen af denne videnskabelige Udmærkelse raader naturligvis nogen Tilfældighed, og der skal nok være mange, der er mere kvalificerede end jeg." >

YDERLIGERE OPLYSNINGER:
"Henrik Dam (1943): En anonym prisvinder" af Helge Kragh og Mads Kleis Møller i bogen **"Nabo til Nobel. Historien om tretten danske Nobelpriser"**, Aarhus Universitetsforlag (2001).