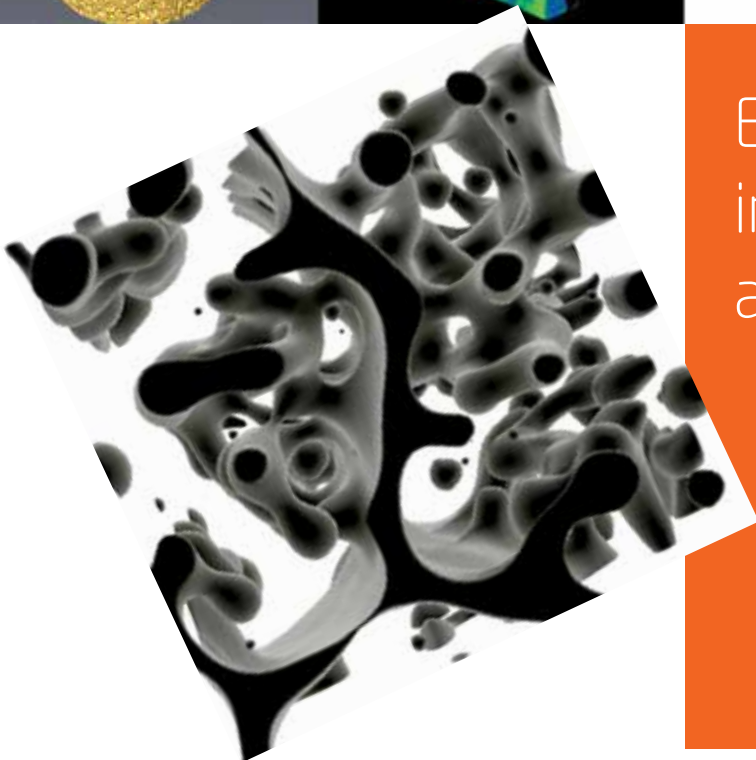
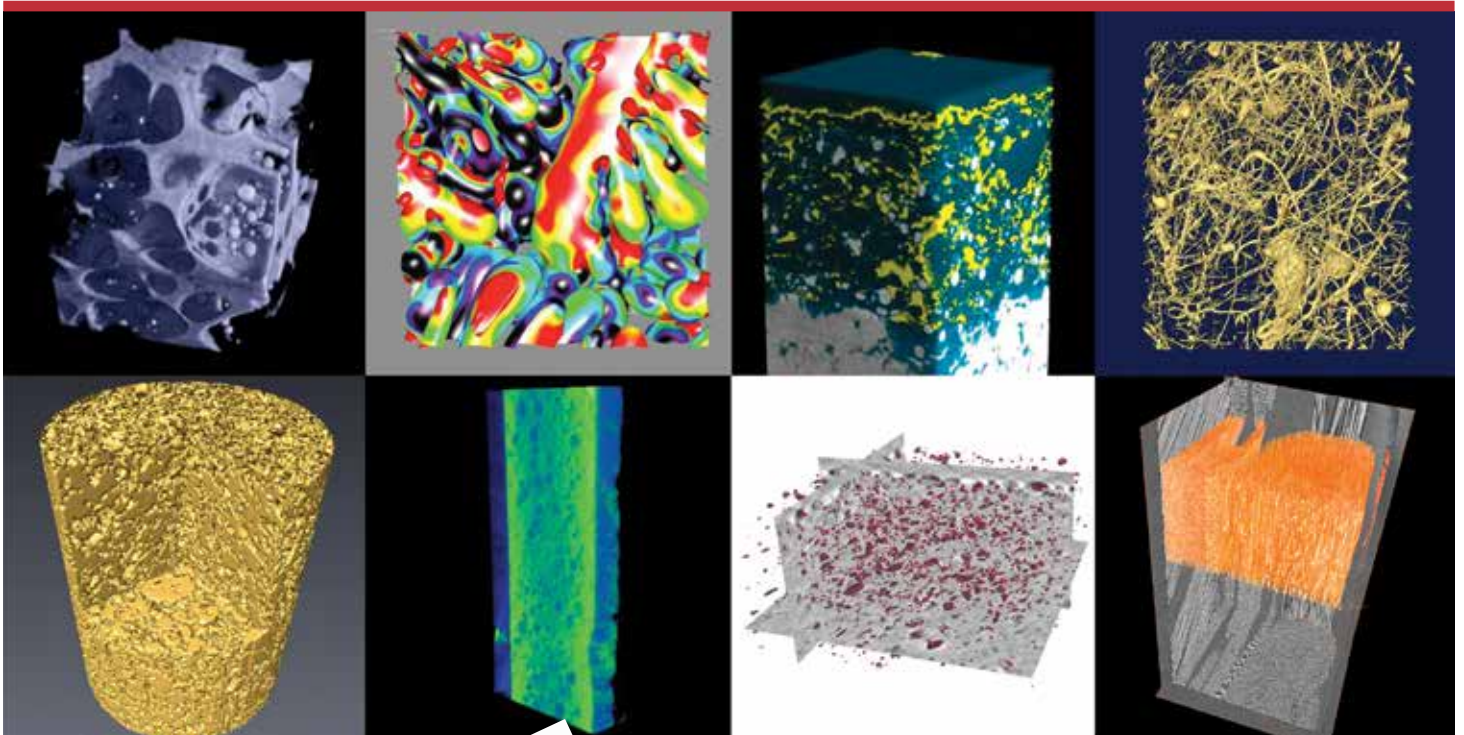


# 3D Imaging Center



En portal for  
industriel anvendelse  
af ESS og MAX IV

# Øresundsregionens videnskabelige og industrielle kvantespring

Om få år vil verdens bedste neutronkilde, the European Spallation Source (ESS), og en unik røntgen-kilde, synkrotronen MAX IV, begge stå klar til brug i Lund. Tilsammen vil de to faciliteter udgøre det største mikroskop i verden med helt unikke muligheder for at studere alle slags materialer – fra de mindste atomare strukturer til store proteinkomplekser.

ESS og MAX IV er den største investering i forskningsinfrastruktur i Norden, med et dansk bidrag i milliardklassen. En investering som vil løfte forskning og uddannelse til et nyt niveau, og være til gavn for en meget bred vifte af discipliner, fra fysik, kemi og biologi over medicin, fødevarer, geologi og

miljøforskning til arkæologi og skanninger af kunstværker. Investeringen rummer også store muligheder for innovation og for industriel udnyttelse i Danmark og den øvrige Øresundsregion grundet nærheden til faciliteterne og den løbende opbygning af kompetencer på universiteterne.

I praksis er der en række barrierer, der skal overkommes, hvis industrien skal høste det fulde potentiale af ESS og MAX IV. Med det foreslåede 3D Imaging Center ønsker DTU at skabe en portal, som understøtter virksomhedernes brug af ESS og MAX IV, så dansk erhvervsliv får størst muligt udbytte af faciliteterne.



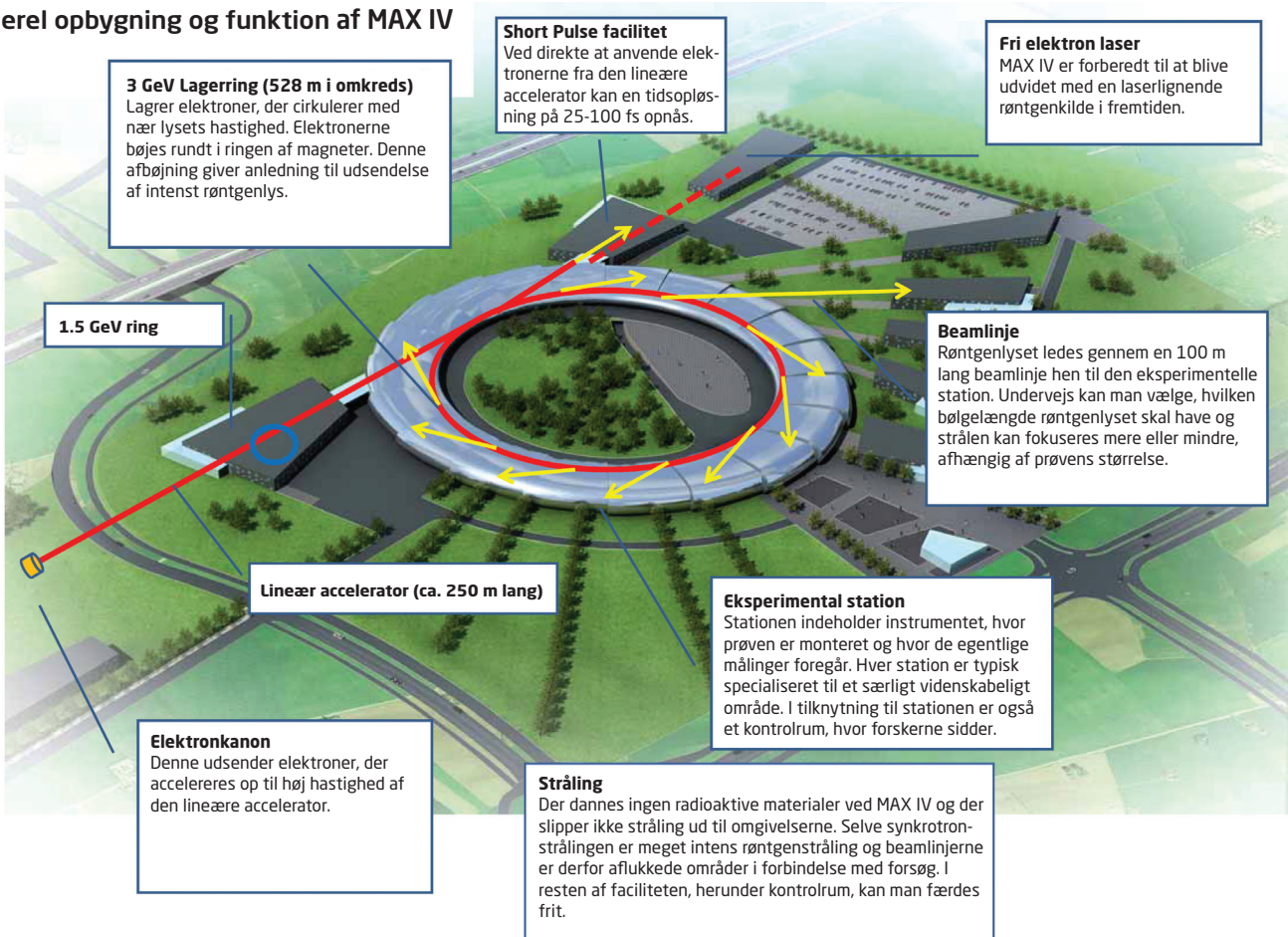
# European Spallation Source (ESS)

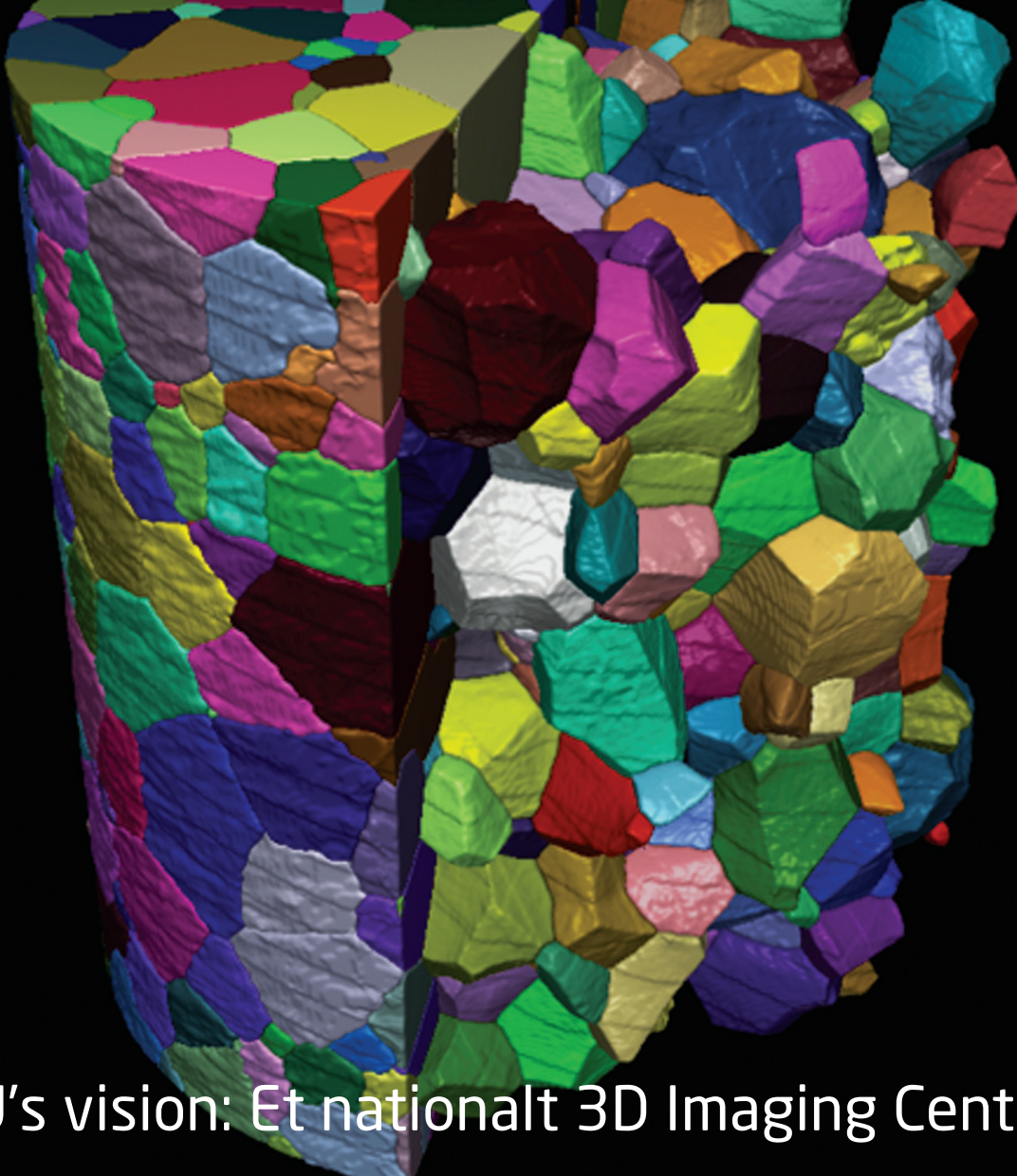
ESS-faciliteten bygger på spallationsprincippet, dvs neutronerne dannes ved at accelerere lette partikler op til 90 % af lysets hastighed og derefter lade dem ramme et target bestående af et tungt materiale, i dette tilfælde en wolframlegering. Neutronerne udsendes i forskellige retninger og vil, når faciliteten er fuldt udbygget, blive opfanget i 22 dedikerede specialinstrumenter. Hvad enten det er biologiske komponenter eller hårde materialer, der skal undersøges, vil neutronerne ramme objektet og trænge dybt ind uden at beskadige dette. Neutronerne kan afdække materialets sammensætning og objekternes egenskaber og de dedikerede ESS-instrumenter kan optage billeder og hele filmsekvenser af de skjulte strukturer og atomare processer. Til sammenligning med røntgenstråling er neutroner specielt velegnede til at studere biologiske emner og til meget store prøver, fx hele motorblokke. ESS er et fantastisk redskab med enormt potentiale og ESS vil fra ibrugtagningen i 2019 have verdens mest intense neutronkilde. Afhængig af instrumentet vil ESS kunne tilbyde 5-100 gange mere intensitet end de bedste eksisterende kilder, såsom ILL i Grenoble og SNS ved Oak Ridge i USA. ESS har p.t. tilslutning fra 17 lande. Danmark er medvært med 12.5 % af aktierne, svarende til at vi bidrager med 1.4 mia. kr. til etableringen.

# Opbygning og funktion af MAX IV

Ved siden af ESS bygges i øjeblikket synkrotronfaciliteten MAX IV. Den ringformede maskine vil producere ekstrem intens røntgenstråling fra en lagerring med elektroner af en energi på 3 GeV. I forhold til neutronstråling anvendes røntgenstråling endnu bredere og egner sig specielt godt til såkaldte *in situ* forsøg, hvor man filmer materialeforandringer i realtid og under arbejdsbetingelser. MAX IV vil endvidere være førende på verdensplan inden for mikroskopiske studier af materialer med meget høj rumlig opløsning – helt ned til 10 nanometer. MAX IV vil således kunne give os et enestående vindue til nanoverdenen. I praksis ledes røntgenstrålingen gennem sektioner af rør med et ultra-højt vacuum til en serie af strålingsbeskyttede laboratorier, hvor de faktiske eksperimenter foretages. Hver af disse beamlinjer koster af størrelsesordenen 100 mio. kr. at opføre og der er stærk konkurrence om hvilke forskningsfelter der skal have prioritet. Nogle af de planlagte ca. 20 beamlinjer ved MAX IV er allerede reserverede, mens andre stadig er åbne overfor forslag fra forskningsinstitutioner og industrielle udviklingsafdelinger.

## Generel opbygning og funktion af MAX IV





## DTU's vision: Et nationalt 3D Imaging Center

For Danmark og den øvrige Øresundsregion betyder MAX IV og ESS et kæmpeløft til grundforskning, undervisning, anvendt videnskab og industriel innovation. De to faciliteter vil stimulere etablering af teknologiske virksomheder, styrke eksisterende industri, skabe nye arbejdspladser og sætte turbo på vækst og økonomisk udvikling i regionen.

Imidlertid er der en række forhold, som i praksis begrænser mulighederne for udnyttelse af faciliteterne i mange industrier, især de mellemstore vækstvirksomheder:

- Virksomhederne savner detaljeret viden om faciliteternes potentiale og de mangler ekspertisen til at udføre målrettede undersøgelser.
- Måletid uddeles normalt via en peer review proces, som betyder, at man ikke ved, om man får måletid og når man gør, kan der gå over et år fra ide til aktuel måling. Dette er helt uforeneligt med de fleste industriers behov.
- Den efterfølgende dataanalyse er kostbar, tidskrævende og kræver deltagelse af specialister, som ikke nødvendigvis er en del af virksomhedens nuværende medarbejderstab.

- Der er et stort behov for at lave test og screeninger af prøver før selve måletiden for at gøre effektivt brug af denne.

Fra industriens side er en af de mest efterspurgte metoder ved de store faciliteter 3D imaging. 3D imaging gør det muligt at afbillede materialers og komponenters indre struktur samt se, hvordan denne ændrer sig over tid, fx under operationsbetingelser. Dette er vitale parametre i produktudvikling, produktoptimering og kvalitetskontrol, og dermed for virksomhedens konkurrenceevne.

**DTU har allerede et meget stærkt forskningsmiljø indenfor 3D imaging, og på denne baggrund er det DTUs hensigt at oprette et nyt nationalt forskningsflagskib – et 3D Imaging Center. Centret vil fokusere på instrumentering og dataanalyse og være en portal for industriel anvendelse, myndighedsbetjening og forskning. Yderligere vil centret være en samarbejdsplatform i relation til ESS og MAX IV.**

# 3D Imaging Center

Vi foreslår oprettelsen af et dansk kompetencecenter for 3D imaging af materialer med fokus på brugen af røntgen og neutroner og på industrinære anvendelser specielt indenfor:

- Energi
- Clean tech
- Nanotech
- Transport
- Mekanik
- Byggeri
- Miljø

3D imaging er en samle-betegnelse for metoder, som genererer 3D billeder, velkendt fra medicinske scannere. Det er et område inden for materialeforskning, der har været i voldsom vækst gennem de sidste 10 år. Både på neutron- og røntgen-området er det i dag imaging teknikker, der har den største industrielle interesse, når det gælder ikke-biologiske materialer.

Centret vil indeholde lokale røntgeninstrumenter, der kan bruges til forberedelse af målinger i Lund og til mange mindre krævende opgaver, samt til uddannelse. Det vil videre have etableret et omfattende strategisk samarbejde med ESS og MAX IV og andre store faciliteter, der tillader nemmere og langt hurtigere adgang. Og det vil være forankret i et stærkt universitetsmiljø der allerede er specialiseret i denne type data-indsamling og analyse.

Centret vil kunne tilbyde forskningsbaseret rådgivning, teknisk support, dataanalyse og uddannelse i relation til de store faciliteter, der modsvarer behovet i den enkelte virksomhed. Vi forventer, at specielt mindre og mellemstore virksomheder har interesse i en totalentreprise, hvor partnerne leverer prøver og problemformulering og hurtigt får fuldt analyserede og kvantificerede data tilbage samt input til hvorledes den nye viden kan bringe virksomheden videre. Centret kan ligeledes facilitere målrettet samarbejde med relevante forskningsgrupper og vil kunne fungere som kompetenceklynge for fællesprojekter mellem erhvervsliv og universiteter.

Et nyt røntgencenter på DTU vil kunne tilbyde både direkte anvendelsesorienteret 3D imaging samt forberedelse til brug af MAX IV og ESS.



En række forskergrupper og centre fra flere forskellige institutter på DTU støtter op om 3D imaging centret. Grupperne har internationalt ledende positioner med omfattende samarbejds erfaring. Teamet vil blive forstærket med kompetencer indenfor industrielle partnerskaber og interessenter fra de andre danske universiteter.

## Instrumentering

DTU har stolte traditioner for neutron- og røntgeninstrumentering med oprindelse på Forskningscenter RISØ. På imaging området har en DTU-gruppe udviklet to dedikerede instrumenter, der er placeret på materialeforsknings-beamlinjen på den fælles-europæiske synkrotron, ESRF, i Grenoble. Et af disse instrumenter er blevet kopieret af de tre andre store synkrotroner på verdensplan: APS i Chicago, DESY i Hamburg, og Spring-8 i Japan. Den seneste udvikling i denne retning er deltagelsen i den foreslåede nano- og energi-materiale beamlinje på MAX IV.

Med disse instrumenter er vi for første gang i stand til direkte at se, hvordan strukturer ændres inden i materialer og komponenter, under operation, og uden at emnerne ødelægges. Dette betyder, at vi kan korrelere strukturændringerne med systemparametre såsom elektrokemiske gradienter, væskeflow, tryk eller temperatur. Gruppen har for nyligt modtaget et ERC Advanced Grant fra European Research Council for at realisere et røntgen imaging instrument på nano-skala: et diffraktions-baseret transmissions røntgenmikroskop.



Seniorforsker Erik Mejdal Lauridsen, Imaging and Structural Analysis



Seniorforsker Søren Schmidt, Neutrons and X-rays for materials physics



Professor Henning Friis Poulsen, Neutrons and X-rays for materials physics

## CINEMA - Alliance for Imaging and Modelling of Energy Applications

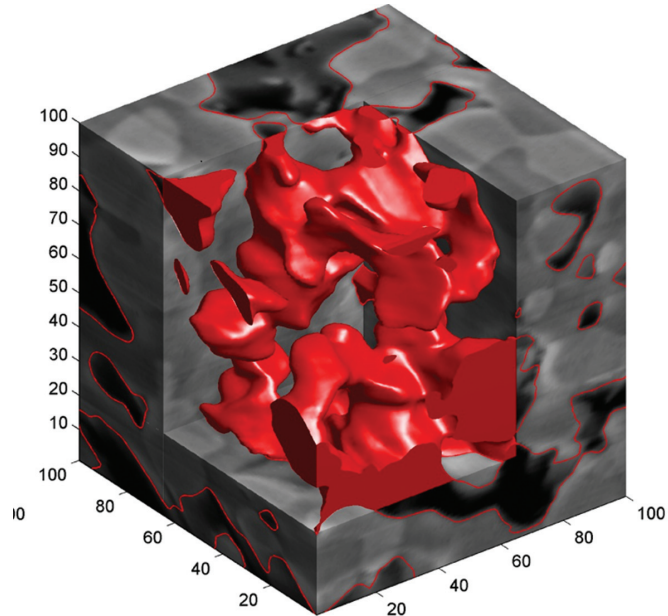
En del af projekterne i industriportalen vil have karakter af længerevarende strategiske forskningssamarbejder. Eksempelvis indledes den strategiske forskningsalliancen CINEMA i januar 2014. CINEMA har som formål at udnytte imaging teknikkerne til bedre at måle, kvantificer og slutteligt modellere opførslen af energimaterialer og komponenter i 3D under realistiske operationsbetingelser. Specielt har vi fokus på at forstå:

- Hvordan gasser og væsker flyder igennem og reagerer med porøse strukturer. Dette er stærkt relevant for at optimere fx brændselsceller eller katalysatorer, og for at forstå om dynamikken og stabiliteten af geologiske lag i Nordsøen tillader lagring af CO<sub>2</sub> i undergrunden.
- Hvordan revner initieres og vokser. Dette er et kritisk spørgsmål for at forbedre levetiden af mange komponenter, fx i vindturbiner.

Projektet, der er støttet af Det Strategiske Forskningsråd, har et samlet budget på 40 mio. kr. Partnerne er DTU, KU, Haldor Topsøe, Amminex, LM Wind Power, Xnovo, MXIF, MAX-IV og Northwestern University i USA.

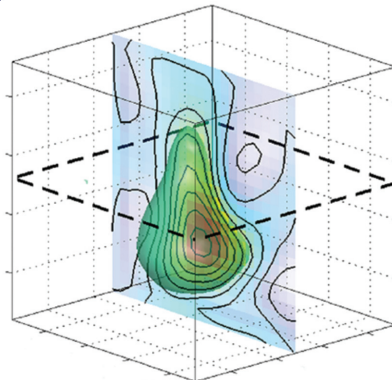
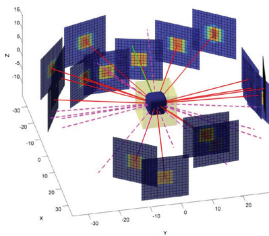


Professor Rasmus Larsen, Image Analysis and Computer Graphics



### 3D Billed- og Dataanalyse

Med 3D billedanalyse kan der udledes kvantitativ information om afbildede strukturers position, størrelse, form, tekstur, samt forekomst af fejl og afvigelser. Nye billeddannende instrumenter gør det muligt at studere dynamiske processer i 3D samt at analysere et stort antal prøver. Automatiseret billedanalyse er en forudsætning for at opnå de fulde fordele ved dette massive data flow. På 3D Imaging Centret er matematisk og fysisk modellering, billedanalyse og visualisering symbiotisk forbundne.



Professor Per Christian Hansen, Scientific Computing

### Scientific Computing

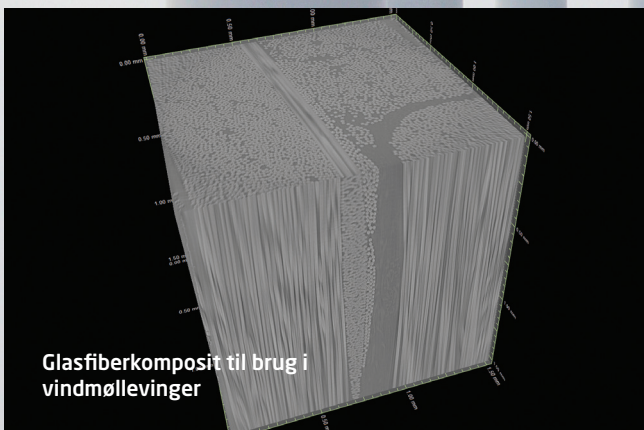
Scientific computing beskriver hvordan tekniske og videnskabelige beregningsproblemer formuleres, implementeres og løses vha high-performance computing. Et af sektionens store projekter er "High-Definition Tomography", finansieret af et European Research Council Advanced Grant. Målet er at få computeren til at efterligne hjernens evne til at frembringe 3D-information ud fra vores forhåndsviden om rekonstruktionen ved hjælp af matematik og scientific computing. Vi udvikler teknologien til en ny generation af tomografiske imaging-metoder som kan udnytte al tilgængelig forhåndsviden og hermed producere 3D-billeder i den højest mulige opløsning.

# Industrielle perspektiver

Anvendelse af 3D imaging teknikker kan tilføre industrien unik viden inden for produktudvikling, produktoptimering, og kvalitetssikring – parametre som er af afgørende betydning for konkurrenceevnen.

Den danske vindmølleindustri har i mange år ligget helt i front på verdensplan, bl.a. i kraft af et langsigtet målrettet samarbejde mellem producenter og forskningsmiljøer. For fortsat at kunne bevare førertrøjen i den skarpe globale konkurrence er det afgørende at udvikle nye stærke materialer og innovative designs af komponenter.

3D imaging gør det muligt at udføre ikke-destruktive 3D tests af eksempelvis skadesudbredelse på mikrometer- til centimeterskala, og derved opnå input til optimering af materialer og designs. Dette vil kunne medvirke til øget levetid og forbedrede egenskaber i næste generations vindmøllevinger.





# Imaging industriportalen

Som første skridt hen mod 3D imaging centeret er der blevet etableret en imaging industriportal med fem mand tilknyttet. Det første røntgeninstrument, et Xradia Versa 410, blev taget i brug i sommeren 2013. Dette state-of-the-art instrument med en opløsning på 1-3  $\mu\text{m}$  er siden blevet anvendt af en lang række af virksomheder, enten under en de minimis ordning eller kommercielt.

I starten af 2014 forventes yderligere to instrumenter taget i brug. Det ene er et høj-energi udstyr til meget store emner. Det andet er et hjemmebygget udstyr, hvor vi baseret på en ny type røntgenkilde arbejder vi mod et instrument, der vil kunne give en opløsning helt ned på 50-100 nm skalaen, med en stråle der er 10 gange mere intens end hvad der eksisterer på markedet. Tilsammen vil de tre instrumenter give muligheder for en bred vifte af undersøgelser mht. opløsning, prøvestørrelser og prøveomgivelser.

Samtidig har industriportalen aftaler om strategiske samarbejder med eksisterende storskala facilititeter, som gør det muligt for industrien allerede i dag at lave forsøg på en synkrotron. Mere langsigtet er der underskrevet en samarbejdsaftale med MAX IV med henblik på et tæt fremtidigt samarbejde.

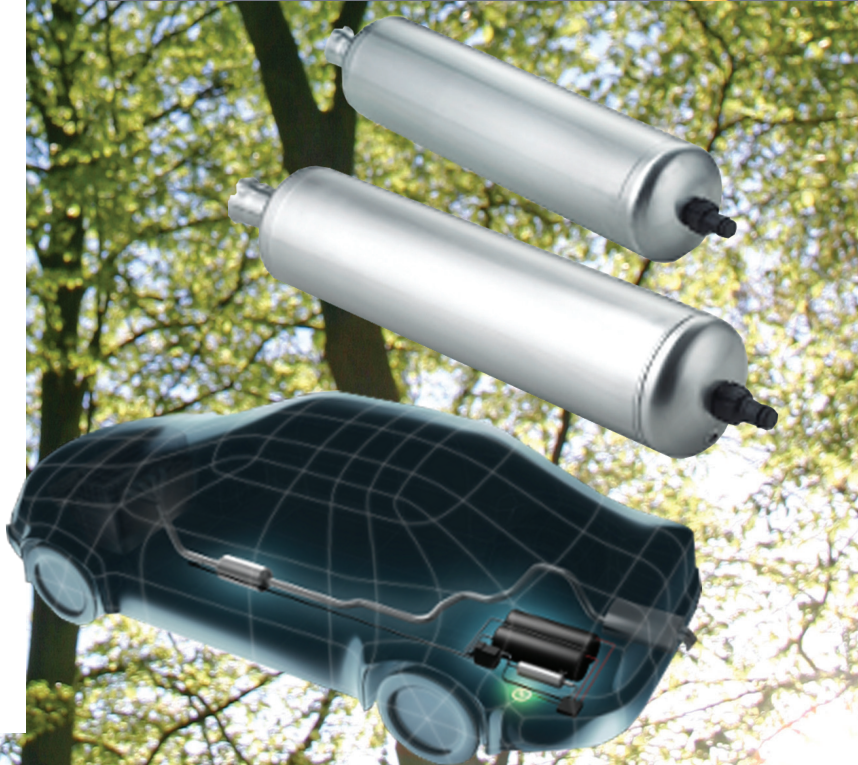
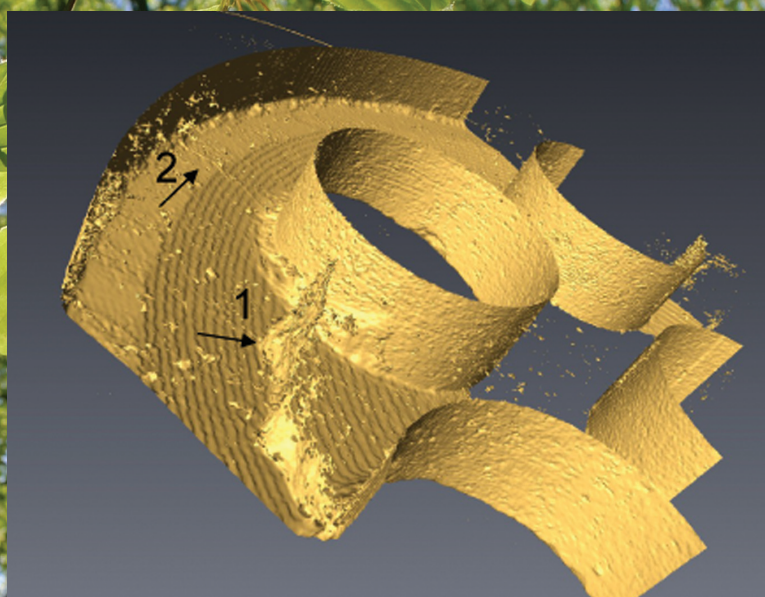
**Finansieringen** til portalen kommer delvist fra DTU og delvist fra strukturfondsprojektet "ESS og MAX IV som vækstmotor i Hovedstadsregionen". Sidstnævnte har som overordnet mål at identificere og forberede initiativer, der fremmer industriens udbytte af faciliteterne i Lund. Dette projekt er medfinansieret af Vækstforum Hovedstaden.

**Partnere** er Region Hovedstaden, DTU, KU, Københavns Kommune, Lyngby-Taarbæk Vidensby, Dansk Industri, Copenhagen Capacity, Scion DTU og Cobis.

*Figurene på denne side illustrerer to case stories:*

*Øverst: Haldor Topsøe udnytter at man kan se ind i katalysatorpiller og finde ud af, hvordan de taber deres styrke. Billedet i midten viser revner i en 7-huls cylinder katalysator som anvendes til steamreforming af naturgas.*

*Nederst: Amminex arbejder med ammoniaklagring i relation til udledning af NOx gasser fra dieslbiler. Her er der lavet neutron imaging, som gør det muligt at se, hvordan ammoniakken fordeler sig inde i selv en tyk stålbeholder.*



# En efterprøvet succes

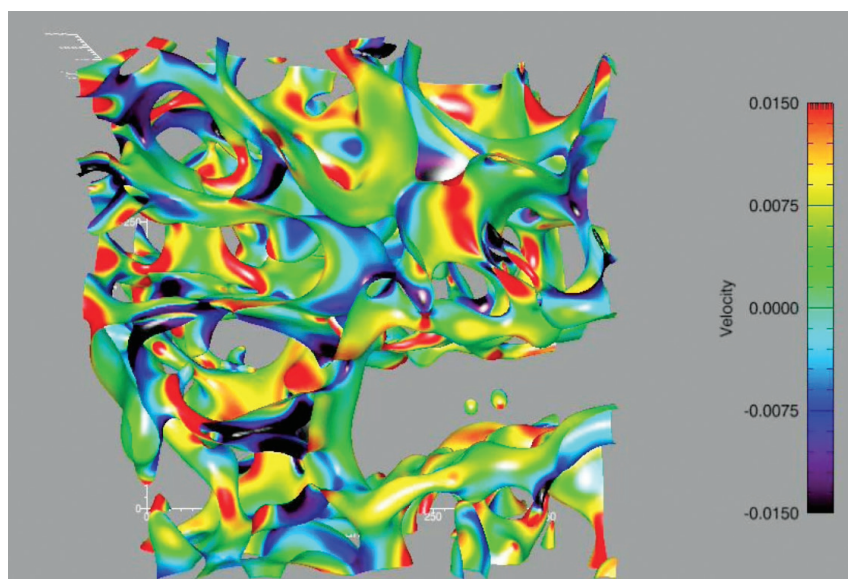
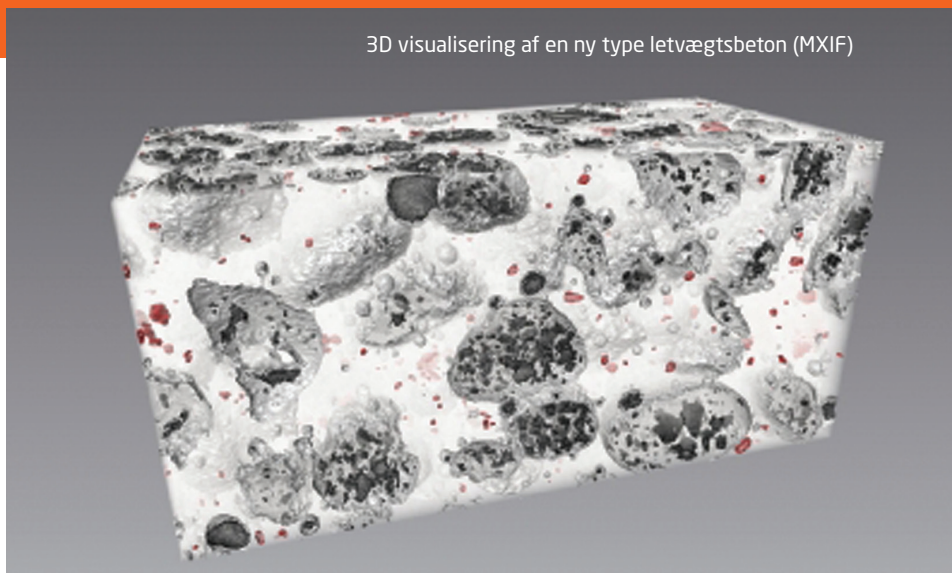
På europæisk plan eksisterer der et tilsvarende center i England, the Manchester X-ray Imaging Facility, MXIF (<http://www.mxif.manchester.ac.uk/>). Med et par år på bagen har MXIF haft stor succes med at tilbyde imaging til både industrielle og akademiske kunder i England. Opsætningen involverer også her kombinationen af et lokalt røntgen-center, i Manchester, og nem tilgang til beamlinier på store faciliteter, i deres tilfælde synkrotronen DIAMOND og neutronkilden ISIS, begge nær Oxford. MXIF har vist sig at være af stor interesse for både store selskaber som Rolls-Royce og mindre virksomheder, og har endvidere samarbejds-kontrakter med en række virksomheder der specialiserer sig i røntgenteknologi.

**“With the present facility we are now a giant step closer to realising Manchester’s aspirations to be a centre for world-class research, expertise and industrial services.”**

Professor Peter D. Lee, Co-Director of the Manchester X-ray Imaging Facility (MXIF) at Diamond.

MXIF er involveret i flere industrielle forsknings- og udviklingsprojekter og leverer blandt andet porøsitetmålinger, analyser af kompositmaterialer, kvalitetskontrol m.m. DTU’s 3D Imaging Center vil udføre tilsvarende analyser samt ydelser på en række andre felter hvor avancerede 3D teknikker er påkrævede. Endelig vil DTU-centret fra start også have en stærk kobling til data-analysen.

3D visualisering af en ny type letvægtsbeton (MXIF)



Dynamiske studier af materialer er en anden af 3D imaging centrets industrinære ydelser. Her ses eksempelvis mikrostruktur udviklingen af en Al-Cu legering under opvarmning. Farverne repræsenterer den lokale hastighed af grænselaget mellem fast og flydende fase.

# Motor for vækst og innovation

3D Imaging Centret ønskes udviklet i samspil med de øvrige danske universiteter, Dansk Industri, Styrelsen for Forskning og Innovation, GTS institutterne samt ESS og MAX IV. Ambitionen er, at centret allerede fra år 2015/16, når de første beamlinier på MAX IV står klar, vil bidrage signifikant til regional innovation og vækst. Dette vil ske direkte via de ydelser inden for rådgivning og målinger, der tilbydes industrien, via det afledte samarbejde mellem industri og universitet samt ikke mindst via den branding værdi et dansk ESS/MAX IV relateret center vil have i forhold til at tiltrække virksomheder til regionen.

Centret vil naturligt kunne formidle assistance vedrørende komplementære målinger i form af elektronmikroskopi, prøvemani- pulation eller mekanisk prøvning fra en række eksisterende faciliteter som for eksempel DTU Cen og DTU Danchip. 3D Imaging Centret vil spille en central rolle i uddannelsen af fremtidens masterminds i den danske industri, og vil kunne tilbyde efteruddan- nelse inden for området.

Et dansk 3D Imaging Center vil blive en "science hub" for Skandinavien/Nordtyskland, ikke mindst på grund af massive investe- ringer i komplementære forskningsfaciliteter. Tilsammen vil dette skabe et stærkt neutron- og røntgenmiljø, der blandt andet løf- ter materialeforskning og udvikling. Den stærke synergi med en række større forskningsaktiviteter gør det realistisk, at Danmark fortsat vil være ledende i Europa i forhold til instrumentering og softwareudvikling inden for 3D imaging.



"MAX IV laboratoriet hilser med stor entusiasme den udvikling velkommen, der er i gang på DTU med udvikling af en "3D Imaging Science Hub". Den stråling, der vil komme fra den store 3 GeV ring ved MAX IV faciliteten i Lund, har helt enestående egenskaber, som ikke findes bedre på verdensplan. Dette åbner for helt nye muligheder for X-ray imaging med hård røntgenstråling.

Danske forskere udgør mere end 20 % af brugerne ved det nuværende MAX-lab og de har gennem årene bidraget til udviklingen af eksperimentelle faciliteter der udnytter hård røntgenstråling. Samspillet med den ekspertise, der findes på DTU inden for anvendelsen af X-ray imaging med hård røntgenstråling, vil være af den største betydning for at gøre MAX IV laboratoriet internationalt ledende inden for X-ray imaging."

Professor Sine Larsen, Københavns Universitet og direktør ved MAX-IV (februar 2011 - juni 2012)

### Læs mere

<http://www.imaging.dtu.dk/>

### Kontakt:

[3dimaging@dtu.dk](mailto:3dimaging@dtu.dk)

DTU's vision om et nationalt 3D Imaging Center udspringer fra Large Scale Facilities DTU, en åben organisation med medlemmer fra:

DTU Energikonvertering  
DTU Fysik  
DTU Informatik  
DTU Kemi

DTU Mekanik  
DTU Nanotech  
DTU Nutech  
DTU Space

DTU Vindenergi  
DTU CEN  
DTU Danchip



Vækstforum  
Hovedstaden

DEN EUROPÆISKE UNION

Den Europæiske Fond  
for Regionaludvikling



Vi investerer i din fremtid