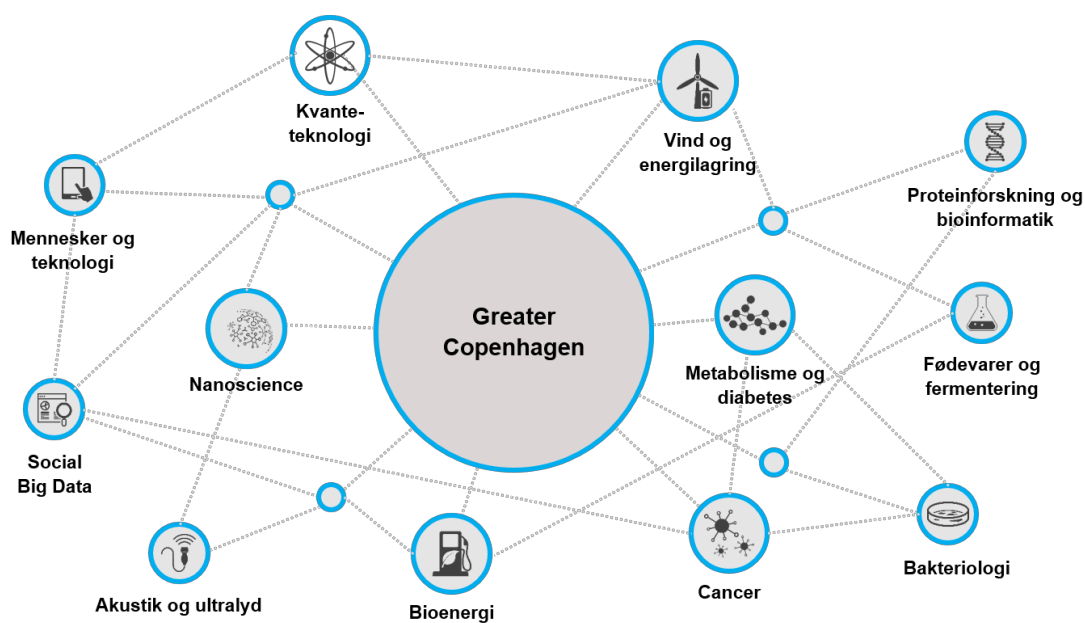

Greater Copenhagen forsknings- styrker med potentiale for investeringsfremme

Baggrundsrapport

December, 2016



Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	2
Forord.....	3
Kapitel 1.....	4
Forskningsmæssige styrkepositioner i et investeringsfremmeperspektiv.....	4
1.1 Greater Copenhagens konkurrencesituation.....	4
1.2 Formål og tilgang	4
1.3 Forskningsstyrker med investeringsfremmepotentiale.....	8
1.4 Læsevejledning til faktaark	10
Kapitel 2.....	11
Metode.....	11
2.1 Bibliometrisk analyse og dialog med universitetsledelser.....	11
2.2 Særlige forskningssatsninger og traditioner for erhvervssamspil	13
2.3 Prioritering af 12 udvalgte styrkepositioner	15
2.4 Faktablade - fokus på områdernes investeringsfremme potentiale	16
Bilag 1	17
Bruttoliste med 29 styrkepositioner efter fase 2	17
2.5 Introduktion	17
Bilag 2	25
Sammenligningsregioner og institutioner.....	25

Forord

Greater Copenhagen er en af Europas førende forskningsmetropoler. Regionen er hjemsted for talrige forskningsmiljøer, der er i den absolutte verdensklasse.

Det er forskning, der bidrager til at give svar og løsninger til mange af de samfundsudfordringer, som mennesker globalt er konfronteret med. Det gælder fx nye behandlingsformer målrettet sygdomme på global fremmarch som cancer, fedme og diabetes. Det gælder udvikling og design af fremtidens bæredygtige energisystemer. Og det gælder metoder og ny indsigt, der kan sikre mennesker større nytte af nye digitale teknologier og produkter.

Samtidigt er virksomheder og investorer globalt på jagt efter ny banebrydende forskning, som kan være afgørende for udviklingen af nye produkter, services eller forretningsmodeller, der kan styrke deres position i en intens international konkurrence!

Denne analyse har identificeret Greater Copenhagenes forskningsstyrker i et investeringsfremmeperspektiv. Fælles for styrkepositionerne er at de kombinerer forskning i verdensklasse med en række andre værditilbud, der kan være medvirkende til at tiltrække udenlandske FoU-investeringer til regionen – fx stærk forskningsinfrastruktur, en solid talentmasse og et udbygget erhvervssamarbejde.

Analysen, der bygger på en kombination af kvalitative og kvantitative metoder, har resulteret i udvælgelsen af 12 særligt løfterige forskningsområder, der har et stort potentiale for investeringsfremme. Områderne er detaljeret beskrevet i 12 faktablade.

De forskningsmæssige styrker spænder bredt - fra forskning i nye behandlingsformer af livstruende sygdomme til kvanteteknologi, som kan anvendes i fremtidens supercomputere.

Udenlandske investeringer i forskning og udvikling medfører nye jobs, vækst og dynamik og er med til at løfte de regioner, der er i stand til at tiltrække dem. Greater Copenhagenes særlige forskningsstyrker udgør således et vigtigt udgangspunkt for en målrettet investeringsfremmeindsats.

Vi håber, at de tolv udvalgte forskningsområder udgør et stærkt afsæt for tiltrækningen af fremtidens udenlandske investeringer til Greater Copenhagen.

Analysen "Greater Copenhagenes forskningsstyrker med potentiale for investeringsfremme" er udarbejdet for Region Hovedstaden og Copenhagen Capacity i regi af den regionale vækst- og udviklingsstrategi (ReVUS).

God læselyst!

Kapitel 1

Forskningsmæssige styrkepositioner i et investeringsfremmeperspektiv

1.1 GREATER COPENHAGENS KONKURRENCESITUATION

Virksomheder investerer i stigende grad globalt for at få adgang til ny forskningsbaseret viden, som kan skabe grundlag for at udvikle fremtidens produkter og services.

Det er tilfældet, hvad enten der er tale om udviklingen af nye supercomputere til håndtering af big data, nye individualiserede behandlingsformer, der kan kurere livstruende sygdomme med meget få bivirkninger, eller i udviklingen af nye bæredygtige energilagringsteknologier, der kan stabilisere elforsyningen – også når vinden ikke blæser eller solen ikke skinner.

Når virksomheder investerer globalt, er det bl.a. for at høste de gevinster der følger af at være tæt på førende forskningsmiljøer, at få adgang til særligt talentfulde medarbejdere eller for at udnytte særlig forskningsfaciliteter, fx laboratorier eller big-science infrastruktur (som det kommende "supermikroskop" European Spallation Source i Lund).

Globalt konkurrerer lande og metropoler om at tiltrække forsknings- og udviklingsaktiviteter. Investeringerne er typisk ledsaget af højtloønnede jobs, ny viden og øget økonomisk aktivitet. Det er en konkurrence, som Greater Copenhagen deltager i – især vis-a-vis sammenlignelige nord-europæiske metropoler, eksempelvis Stockholm-Uppsala, Amsterdam og Hamborg.

Greater Copenhagenes udgangspunkt for at tiltrække flere forskningsrelaterede investeringer til regionen er stærkt på flere parametre. Dansk forskning klarer sig generelt godt i internationale sammenligninger. Regionen er hjem for Skandinavien største koncentration af forskningsinstitutioner og videregående uddannelsesinstitutioner samt flere verdensførende klynger inden for fx life science og cleantech.

Men konkurrencen mellem metropolerne om at tiltrække investeringerne er hård. Det er vigtigt, at Greater Copenhagen formår at differentiere sig og synliggøre regionens forskningsstyrker og deres potentiale i forhold til at udvikle banebrydende viden og ny teknologi.

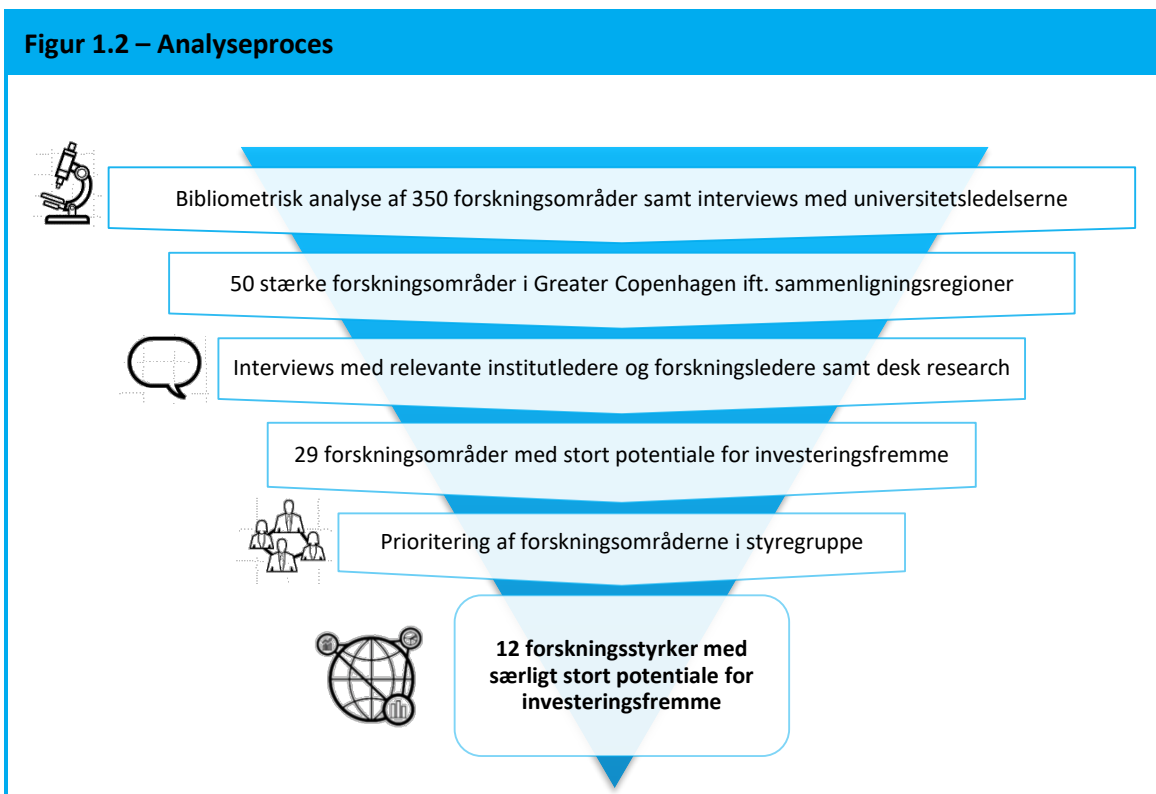
1.2 FORMÅL OG TILGANG

Formålet med denne analyse er at identificere forskningsstyrker i Greater Copenhagen, der har et stort potentiale for tiltrækning af udenlandske investeringer og virksomheder.

Ambitionen for analysen har været at skabe et stærkt, faktabaseret, videngrundlag for en målrettet investeringsfremmeindsats og give ny indsigt i, hvad der motiverer udenlandske virksomheder til at samarbejde med universiteter i Greater Copenhagen og fx etablere FoU-funktioner i Danmark.

Arbejdet er gennemført i perioden april til november 2016. Det har resulteret i en indkredsning af 12 forskningsområder, som har særligt stort potentiale i en investeringsfremmesammenhæng. De tolv områder er detaljeret beskrevet i de udbyggede faktaark, som er denne analyses hovedprodukt. Denne rapport beskriver analysemodellen og den metodiske tilgang, der har ledt frem til valget af de 12 områder.

Tilgangen hviler på en kombination af en grundig bibliometriske analyse, kvalitative dybdeinterviews med universitetsledelserne, institutledere, forskningsledere og virksomheder samt desk research og anvendelsen af tilgængelig registerdata. Analysens faser, der vil blive uddybet i kapitel 3, er opsummeret i nedenstående figur;



De tolv forskningsområder er ikke alene udvalgt på baggrund af deres forskningsmæssige kvaliteter og skal ikke tolkes som en "rangordning" af Greater Copenhagens forskningsområder. Derimod er det de forskningsområder, som ud fra en samlet vurdering af en række kriterier, forventes at indeholde det største potentiale for at tiltrække udenlandske FoU-relaterede investeringer til Greater Copenhagen.

Figuren på næste sider opsummerer de 12 forskningsområder, analysen har ledt frem til samt de institutter og centre, som forskningen fortrinsvis er forankret på.



Akustik og Ultralyd

Udvikling af nye avancerede audioløsninger samt teknologier for hørehæmmede. Anvendelse af ultralyd og 3D imaging til kompleks diagnosticering.

Forankring: DTU Elektro (herunder Oticon Centre of Excellence for Hearing and Speech Sciences og Center for Fast Ultrasound Imaging).



Bakteriologi

Løsninger til afhjælpning af antibiotikaresistens og til forstyrrelse af bio-film. Forankring: Biologisk Institut, Institut for Immunologi og Mikrobiologi samt Institut for Veterinær Sygdomsbiologi på Københavns Universitet og DTU Fødevareinstituttet.



Bioenergi

Anvendelse af enzymer, fermenteringsteknologi og biokemiske processer til udviklingen af 2. generations biobrændsler.

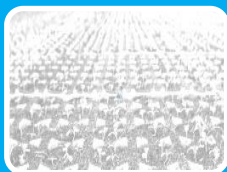
Forankring: Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Biologisk Institut og Kemisk Institut på Københavns Universitet. Kemiteknik, Miljø og Biosustain (NNF) på DTU. Center for Corporate Social Responsibility og BioBusiness Innovation Platform, CBS.



Cancerforskning

Grundlæggende forståelse af cancercellers udvikling og spredning, cancerdiagnostik samt stærke miljøer med fokus på udvikling og test af ny medicin og nye behandlingsmetoder.

Forankring: Biotech Research and Innovation Centre (BRIC), Stamcellecentret DanStem, Institut for Immunologi og Mikrobiologi samt Institut for Cellulær og Molekylær Medicin på Københavns Universitet, DTU Bioinformatik, Rigshospitalet.



Fødevarer og fermentering

Kvalitetskontrol af fødevarer med spektroskopiske metoder, fødevarers holdbarhed, mineralers optagelse i kroppen, ernæringsforskning samt fødevarerfermentering.

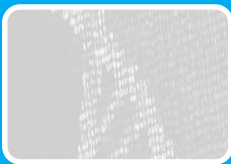
Forankring: Institut for Fødevarevidenskab og Institut for Veterinær Sygdomsbiologi på Københavns Universitet, DTU FOOD mv. samt BBIP CBS.



Kvanteteknologi

Udnyttelse af elementarpartiklers kvanteegenskaber i udviklingen af supercomputere, ultrapræcise sensorer og lynhurtig kommunikation.

Forankring: Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet, DTU Fysik og DTU Fotonik



Proteinforskning og bioinformatik

Verdensførende forskning i anvendelse af proteiner til diagnosticering via biomarkører, nye protein- og sukkerbaserede metoder til drug delivery og ny individualiseret medicin.

Forankring: Institut for Cellulær og Molekylær Medicin og NNF Center for Protein Research.



Mennesker og teknologi

Forståelse af menneskers samspil med, og brug, af ny teknologi.

Forankring: Det Samfundsvidenskabelige og Det Humanistiske Fakultet på Københavns Universitet, CBS



Metabolisme og diabetes

Forståelse af stofskifteprocesser og årsagerne bag livsstilsrelaterede sygdomme som svær overvægt og type-2 diabetes.

Forankring: Biomedicinsk Institut, NNF Center for Basic Metabolic Research samt Institut for Idræt og Ernæring på Københavns Universitet, IOA CBS, Herlev Hospital



Nanoscience

Manipulation af materialer/stoffer på molekylenniveauet, fx til udvikling af materialer med nye egenskaber, manipulation af planteregenskaber og nye behandlingsformer, fx inden for individualiseret behandling og nye præcise metoder til levering af medicin på det sted i kroppen, den skal virke (drug delivery).

Forankring: Nano-Science Center på Københavns Universitet, samt DTU Nano og DTU Mekanik.



Social big data

Brug af Big Data analyse til afdækning af holdninger og trends blandt individer og grupper ved hjælp af algoritmer, som kombinerer data fra sociale medier og registerdata.

Forankring: Det Samfundsvidenskabelige Fakultet (bl.a. Institut for Antropologi og Økonomisk Institut), Det Humanistiske Fakultet samt Datalogisk Institut på Københavns Universitet), ITM, IBC og ECON CBS, DTU Compute.



Vind og energilagring

Udvikling af vindmøller og nye energilagringsformer, fx flowbatterier, elektrolyse og brændselsceller, samt smart grid ift. en mere effektiv og jævn energiidnyttelse af vedvarende energi.

Forankring: DTU Vind, DTU Energi, DTU Mekanik, DTU Elektro samt DTU Compute

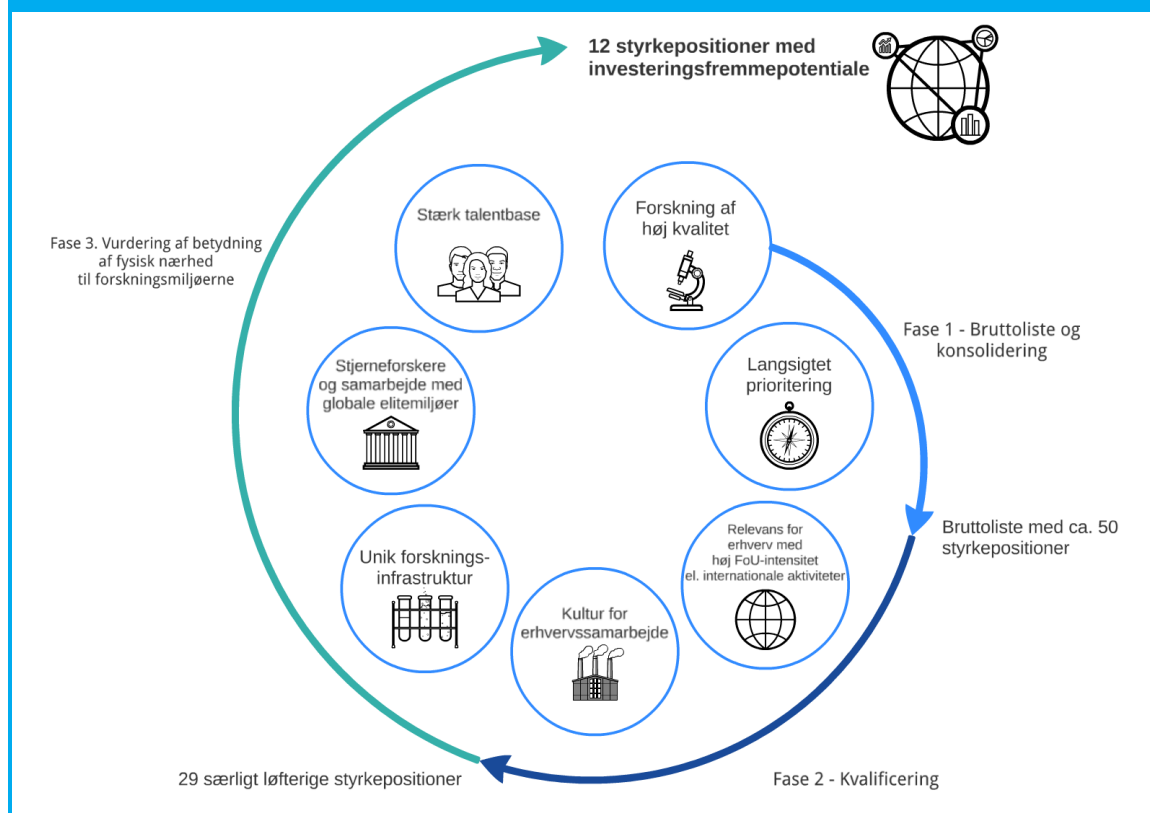
1.3 FORSKNINGSSTYRKER MED INVESTERINGSFREMMEPOTENTIALE

Som led i analysen af Greater Copenhagens forskningsmæssige styrkepositioner har IRIS Group udviklet en særlig model for vurdering af et forskningsområdes investeringsfremmeperspektiv.

Modellen inddrager syv centrale parametre, der typisk vil være afgørende værditilbud for virksomheder, der overvejer at placere forskningsaktiviteter i et andet land på basis af en særlig styrkeposition. De syv parametre er med andre ord "argumenter" for at virksomhederne kan opnå værdi ved at være fysisk tæt på forskningen.

Det er disse syv kriterier, vi benytter til at vurdere investeringsfremmepotentiale af Greater Copenhagens forskningsområder. Den nedenstående figur illustrerer de syv dimensioner.

Figur 1.3 – Analysemodel



Forskning af høj kvalitet er en afgørende forudsætning for at tiltrække FoU-relaterede investeringer til Greater Copenhagen. Der kan både være tale om excellent grundforskning og anvendt forskning i verdensklasse. En høj forskningskvalitet vil i mange tilfælde (men langt fra alle) give sig udslag på bibliometriske indikatorer for forskningskvalitet¹.

¹ Bibliometrien tegner et bagudrettet billede af de forskningsmæssige styrkepositioner, og er således ofte ikke tilstrækkelig til at identificere nye, "upcoming" områder. Samtidigt er bibliometrien kategoriseret

For det andet er en virksomheds beslutning om at investere i Greater Copenhagen betinget af en **langsigtet strategisk prioritering af området** fra universitetets side – og gerne også fra nationalt og regionalt plan. Den strategiske prioritering sender et vigtigt signal om, at forskningsområdet også fremadrettet vil stå stærkt. Det kan fx være via større langsigtede forskningsbevillinger (fx Grundforskningsfonden, Novo Nordisk Fonden mv.) eller interne strategiske prioriteringer på det enkelte universitet – fx særlige centre eller kommende storsatsninger. De fremadrettede prioriteringer er et vigtigt supplement til den bagudrettede bibliometri.

For det tredje, at **forskningen har relevans i forhold til brancher med høj FoU-intensitet samt erhverv med en høj grad af grænseoverskridende aktiviteter**. Der udføres en del højkvalitetsforskning, hvis relevans i et virksomheds- og investeringsfremmeperspektiv vil være begrænset (inden for en overskuelig tidshorisont). Det kan f.eks. være forskning, der har et meget grundforskningsorienteret sigte².

For det fjerde er det væsentligt, at forskningsområdet har en **kultur for virksomhedssamarbejde**. Der kan fx være tradition for at publicere forskningsresultater i samarbejde med private virksomheder. Eller miljøer der har en stor aktivitet inden for kommerialisering af forskningsresultater, fx licensering af forskningsbaserede opfindelser, etablering af spinout-virksomheder mv. Det er vigtigt med en stærk kultur for erhvervssamarbejde, hvis området skal fremstå som attraktivt for potentielle udenlandske investeringer. Samtidigt kan en løfterig spinout være et direkte mål for udenlandske investorer.

For det femte er adgang til **unik forskningsinfrastruktur**, fx i form af faciliteter til test og afprøvninger, højteknologiske anlæg, specialiseret teknisk og videnskabeligt personale eller big-science satsninger (som ESS i Lund), for mange virksomheder et tungtvejende argument for at placere investeringer i Greater Copenhagen. Unik forskningsinfrastruktur – samt adgangen til forskere/specialister, som kan anvende den – kan eksempelvis give virksomhederne mulighed for at teste og demonstrere nye materialer eller lægemidler.

For det sjette er tilstedeværelsen af **”stjerneforskere” og/eller forskere, der samarbejder med de globalt førende miljøer** inden for deres felt, et centralt argument over for virksomhederne. Det kan fx være forskergrupper, der er internationale frontløbere med forskningsmæssig gennemslagskraft, eller miljøer der i særlig grad formår at bringe deres forskning i anvendelse. For virksomhederne er det bl.a. centralt at kunne rekruttere yngre forskertalenter, der har samarbejdet med internationale stjerneforskere.

For det syvende spiller **virksomhedernes adgang til talent** (kvalificeret arbejdskraft i form af kandidater og ph.d.er) fra universiteterne en vigtig faktor for udenlandske investeringer. Adgan-

efter prædefinerede, journalbaserede overskrifter, der ikke altid giver et retvisende billede af indhold, sammenhænge og snitflader i en styrkeposition.

² Det er dog væsentligt at understrege, at det er yderst vanskeligt at opstille et generelt relevanskriterium for forskning i et erhvervs- og investeringsfremmeperspektiv. Fx vil erhverv med meget langsigtede udviklingshorisonter ofte være meget optaget af nye grundlagsskabende opdagelser.

gen til en pool af talenter og specialister, skolet inden for de forskningsmæssige styrkepositioner, er en væsentlig kanal til overførsel af viden fra forskningsmiljøerne. Adgangen vil udgøre et vigtigt rekrutteringsgrundlag for de udenlandske virksomheder.

Det er således ikke i sig selv nok, at et forskningsområde præsterer godt på generelle bibliometriske indikatorer for forskningskvalitet. I det enkelte tilfælde kan nogle forhold være af større eller vigtigere betydning, ligesom andre forhold kan spille ind.

I virkelighedens verden vil der i den enkelte konkrete investeringssag samtidig være forskel på vægten af de forskellige faktorer, der er nævnt her. Dertil kommer, at en række andre faktorer kan spille ind - fx forhold vedrørende omkostninger, adgang til markeder, flyforbindelser, livskvalitet i regionen mv.

1.4 LÆSEVEJLEDNING TIL FAKTAARK

De tolv faktaark er analysens hovedprodukt. De indeholder en detaljeret beskrivelse af forskningsområdet og dets investeringsfremmepotentiale. Arkene følger overordnet den samme struktur;

Forsiden opsummerer faktabladet med en kort introduktion til indholdet, centrale miljøer og forskningsområdets investeringsfremmepotentiale.

Introduktionen indeholder en overordnet karakteristik af forskningsområdet og fremhæver de centrale nicher, hvor der er tale om international topkvalitetsforskning.

De **bibliometriske nøgletal** er centreret omkring en tabel, der illustrerer nogle af de centrale bibliometriske indikatorer, der dokumenterer, at Greater Copenhagen er i en førerposition. Det drejer sig om indikatorer for forskningsoutput, excellence og sampubliceringer med erhvervslivet samt Greater Copenhagens placering/rank blandt sammenligningsregionerne på de pågældende parametre (se afsnit 2.1.2).

Afsnittet om **Centrale argumenter for investeringsfremmepotentiale**, følger i hovedtræk figuren ovenfor og fremhæver argumenter for områdets potentiale i kraft af;

- Tilstedeværelsen af stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud
- Talentmassen
- Unikke forskningsfaciliteter
- Stærkt samarbejde med førende internationale forskningsmiljøer
- Udbygget erhvervssamarbejde

Endelig indeholder flere af faktaarkene eksempler på citater, der understreger områdets potentiale – eller løfterige spinouts, som forskningsområdet har affødt.

Kapitel 2

Metode

2.1 BIBLIOMETRISK ANALYSE OG DIALOG MED UNIVERSITETSLEDELSE

Første skridt i analysen var en omfattende bibliometrisk analyse af i alt 334 forskningsområder. Målet med den bibliometriske analyse var at indkredse en bruttoliste af forskningsområder med høj forskningsmæssig kvalitet.

Analysens bibliometriske datagrundlag er databasen Scopus, der omfatter ca. 55.000.000 registreringer af forskningsartikler, konferencebidrag og patenter fordelt på forskere og forskningsinstitutioner over hele verden.

2.1.1 Sammenligningsregioner

Den første opgave bestod i at udvælge en række europæiske metropoler som kunne udgøre et relevant sammenligningsgrundlag for Greater Copenhagen. Sammenligningsregionerne blev blandt andet udvalgt under hensyntagen til, hvilke europæiske storbyregioner Greater Copenhagen typisk konkurrerer med, når det gælder tiltrækning af udenlandske investeringer. Referenceregionerne fremgår af nedenstående tabel 2.1.

Tabel 2.1. Ni sammenligningsregioner i den bibliometriske analyse

Amsterdam	Geneve-Lausanne	München
Berlin	Hamburg	Oslo
Dublin	Helsinki	Stockholm-Uppsala

Kilde: IRIS Group

For Greater Copenhagens vedkommende dækker analysen de tre store universiteter: Københavns Universitet (KU), Copenhagen Business School (CBS) samt Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

I alle ni sammenligningsregioner dækker analysen en tilsvarende kombination af tekniske universiteter, business schools og mindst ét klassisk universitet, som også har forskning inden for humaniora, samfundsvidenskab, teologi mv. For både Greater Copenhagen og de ni sammenligningsregioner gælder endvidere, at forskning udført ved regionens universitetshospitaler også er omfattet af analysen³.

³ Den præcise afgrænsning af de forskningsinstitutioner, der er omfattet af analysen fremgår af bilag 2.

2.1.2 Centrale bibliometriske indikatorer

Trin 1 bestod i at definere relevante mål for forskningsoutput og forskningskvalitet. De centrale indikatorer er kort beskrevet neden for:

Forskningsproduktion: Som mål for forskningsproduktion anvendes indikatoren scholarly output, der dækker forskningspubliceringer i form af artikler, reviews og conferencebidrag. For at sikre, at kun forskningsområder med en vis tyngde indgik i analysen, var det et minimumskrav, at et forskningsområde har præsteret et forskningsoutput på mindst 250 artikler i perioden 2005-2015, for at området kunne indgå i analysen.

Forskningskvalitet: Som mål for forskningskvalitet anvendes følgende to indikatorer:

- *Forskningsexcellence:* Andelen af artikler som er blandt de 10% mest citerede på verdensplan inden for fagområdet samlet i perioden 2005-2015.
- *Field Weighted Citation Impact (FWCI)*, der angiver forholdet mellem citationer per publikation for et forskningsområde og det gennemsnitlige antal citationer per publikation for forskningsområdet på verdensplan. FWCI er et indekstal, hvor et FWCI = 1 betyder, at forskningsområdets gennemslagskraft ligger på verdensgennemsnittet. Et FWCI >1 indikerer en højere gennemslagskraft end verdensgennemsnittet, mens FWCI <1 indikerer en lavere gennemslagskraft end verdensgennemsnittet.

Trin 2 bestod i at rangere forskningsområderne efter forskningskvalitet. Først normaliserede vi de to indikatorer for forskningskvalitet og lagde dem sammen til ét sammenvejet kvalitetsmål.

Samtidig opgjorde vi Greater Copenhagens rangering blandt sammenligningsregionerne på de tre indikatorer for hhv. forskningsoutput, andel højt citerede artikler og Field Weighted Citation Impact.

Dernæst sorterede vi alle forskningsområder efter deres score på den sammenvejede kvalitetsindikator. Derefter gennemgik vi listen fra toppen i forhold til at vurdere det enkeltes forskningsområdes rangering på hhv. scholarly output, andel højt citerede artikler (forskningsexcellence) og field weighted citation impact i forhold til sammenligningsregionerne.

Kriteriet for at komme på den indledende bruttoliste var:

- 1) At forskningsområdet scorede højt på den sammenvejede kvalitetsindikator
- 2) At forskningsområdet rangerede i Top 3 blandt sammenligningsregionerne på mindst en af de tre indikatorer (scholarly output, andel højt citerede artikler (forskningsexcellence) og field weighted citation impact).

I første omgang udvalgte vi en bruttoliste med ca. 70 forskningsområder, som havde høj score på den samlede indikator for forskningskvalitet og som placerede sig i Top 3 blandt sammenligningsregionerne på mindst en af de nævnte indikatorer.

2.1.3 Fokusgruppeinterview med universitetsledelser

Der blev afholdt fokusgruppeinterview med universitetslederne ved hver enkelt af de tre universiteter (Copenhagen Business School, Danmarks Tekniske Universitet og Københavns Universitet). Formålet med fokusgruppeinterviewene var at få kvalificeret listen over forskningsmæssige styrkeområder og potentielle styrkeområder.

Indledningsvis blev bruttolisten over styrkepositioner og potentielle styrkeområder forelagt universitetsledelserne og der var efterfølgende en grundig drøftelse med henblik på at kvalificere listen.

Fokusgruppeinterviewene var struktureret om følgende overordnede temaer.

- 1) En gennemgang af områderne på bruttolisten med henblik på at vurdere genkendeligheden af de bibliometriske fund og evt. pege på forskningsområder, der er tæt relaterede og som med fordel kan analyseres som en samlet styrke.
- 2) Supplere med forskningsmæssige styrkepositioner, som er velkendte, men som ikke træder frem i den bibliometriske analyse.
- 3) Drøfte bagvedliggende årsager til, at universitetet har særlige styrker inden for de områder, der træder frem i den bibliometriske analyse.
- 4) Om der er gennemført nyere eller planlagt større fremadrettede investeringer inden for de identificerede forskningsområder.

Det samlede resultat af den bibliometriske analyse og fokusgruppeinterviewene med universitetsledelserne var en konsolideret bruttoliste med i alt ca. 50 forskningsområder, der kunne betegnes som potentielle kandidater til en Top 10 over forskningsområder med stort potentiale for at tiltrække udenlandske investeringer.

2.2 SÆRLIGE FORSKNINGSSATSNINGER OG TRADITIONER FOR ERHVERVSSAMSPIL

Næste skridt i analysen var en screening af de ca. 50 forskningsområder på bruttolisten i forhold til at vurdere forskningsområdernes relevans i et investeringsfremmeperspektiv.

For det første skulle det afdækkes, om forskningen havde en karakter og indhold, som er relevant for F&U-intensive virksomheder inden for brancher, der har tradition for grænseoverskridende investeringer.

For det andet skulle det afdækkes, om der inden for forskningsområderne er en kultur og en tradition for erhvervssamarbejde. For eksempel gennem fælles forskningsprojekter med private virksomheder, licensaftaler og spin out virksomheder på området.

2.2.1 Interviews med institutledere

For at få dybere forståelse af indholdet i forskningen og en overordnet vurdering af forskningsområdernes relevans for investeringsfremme, gennemførte vi interviews med en bred vifte af institutledere ved institutter, der har bidraget med vigtig forskning på de udvalgte områder.

De relevante institutter blev indkredset ved først at identificere de mest citerede forskere, fra hhv. KU, CBS og DTU inden for de enkelte området via Scopus-databasen og derefter undersøge, hvilket institut topforskerne er ansat ved.

De relevante institutledere blev kontaktet for et telefoninterview om de forskningsområder på bruttolisten, som forskere ved deres institut havde leveret væsentlige forskningsbidrag til.

Interviewene med institutlederne blev struktureret efter en spørgeguide med følgende indhold:

Boks 2.1. Temaer for telefoninterview med relevante institutledere

- a) Genkendelighed af de bibliometriske fund
- b) Kort om de identificerede forskningsområder
 - Vigtigste erhvervsmæssige anvendelsesmuligheder og relevans i et investeringsfremmeperspektiv, herunder betydningen af nærhed?
 - Antal forskningsårsværk i de pågældende miljøer og evt. samarbejder med andre institutter
- c) Excellencefunding til forskningsmiljøet de seneste 3-5 år (Grundforskningsfonden, ERC-grants, private fonde, etc.).
- d) Samarbejde med førende udenlandske forskningsmiljøer
- e) Ekstraordinære, nyere og planlagte forskningssatsninger
- f) Talent - antal kandidater, ph.d.er og post.docs der uddannes årligt?
- g) Kommercialisering og erhvervssamarbejde - tradition for erhvervssamarbejde med danske eller internationale virksomheder, spinouts, etc.

Kilde: IRIS Group

Interviewene med institutlederne bidrog både til en dybere forståelse af indhold og anvendelsesområder for forskningen samt hjælp til at indkredse centrale stjerneforskere, større forskningsgennembrud og relevante fremadrettede forskningssatsninger. Interviewene gav således en dybere indsigt i mere fremadrettede forhold, der er vigtige i forståelsen af forskningens anvendelses- og investeringsfremme potentiale.

2.2.2 Supplerende desk research

Institutlederinterviewene blev fulgt op af yderligere desk research af de forskellige forskningsområder.

Første skridt havde fokus på at gruppere de meget findelte forskningskategorier til mere sammenhængende forskningsområder på baggrund af input fra institutlederen og ved at sammenlægge forskningskategorier, hvor der var stort sammenfald af højt citerede forskere under en fælles overskrift.

Andet skridt i researchen havde fokus på at belyse og vurdere forskningsområderne på følgende centrale forhold:

- Tiltrækning af excellencemidler (ERC grants, Grundforskningsmidler, private fonde etc.)
- Større, ekstraordinære forskningssatsninger
- Tradition for erhvervssamspil (fx via særlige erhvervsrettede enheder mv.)
- Internationale samarbejdspartnere og evne til at tiltrække gæsteforskere mv.
- Forhold der betinger fysisk nærhed fx særlig forskningsinfrastruktur, adgang til talent mv.

Resultatet af denne fase var en konsolideret bruttoliste med 29 potentielle styrkepositioner og en samlet vurdering af de enkelte områders investeringsfremmepotentiale – både vurderet ud fra bibliometriske indikatorer for forskningskvalitet og på de ovennævnte forhold om forskningsinvesteringer og forhold der betinger nærhed mv., som er centrale i en vurdering af forskningsområders investeringsfremmepotentiale.

Den samlede oversigt over de 29 områder og vurderingen af områderne på centrale parametre knyttet til investeringsfremmepotentiale fremgår af bilag 1.

2.3 PRIORITERING AF 12 UDVALGTE STYRKEPOSITIONER

Den konsoliderede bruttoliste med de 29 forskningsområder blev sendt til projektets styregruppe, der bl.a. har repræsentanter fra de tre universiteter. Styregruppen foretog en vurdering af områderne på listen og bidrog til at udpege 10-12 områder med et særligt stort investeringsfremmepotentiale.

Det blev besluttet at prioritere 12 styrkeområder. For alle 12 områder udarbejdes mere dybdegående faktablade, der beskriver områdernes potentialer for tiltrækning af udenlandske investeringer.

De 12 prioriterede områder fremgår af tabel 5.2.

Tabel 2.2. Oversigt over 12 prioriterede styrkeområder

Bakteriologi	Fødevarer og fermentering	Nanoteknologi	Proteinforskning og bioinformatik
Bioenergi	Metabolisme	Kvanteteknologi	Social Big Data
Cancerforskning	Mennesker og teknologi	Lyd og ultralyd	Vind og energilagring

Kilde: IRIS Group

2.4 FAKTABLADE - FOKUS PÅ OMRÅDERNES INVESTERINGSFREMME POTENTIALE

For alle 12 områder er der gennemført en dybdegående research for at opnå en indgående forståelse af områdernes potentiale for investeringsfremme. Målet for researchen har været at samle viden om områdernes særlige styrker inden for de områder, der har central betydning i et investeringsfremmeperspektiv, jf. figur 1.2.

Researchen har bestået af følgende aktiviteter:

- Telefoninterview med forskergrupperledere og stjerneforskere på området.
- Interview med udvalgte danske og udenlandske virksomheder, som har F&U-aktiviteter på feltet og kender miljøerne i Greater Copenhagen.
- Indsamling af supplerende kvantitative indikatorer på de 12 områder for hhv.
 - Kandidat- og ph.d. produktion
 - Anmeldte opfindelser og spinout-virksomheder
- Afdækning af større forskningsgennembrud, som har rod i Greater Copenhagen's forskningsmæssige styrkeområder.

Interviewene med topforskere og virksomhederne havde især fokus på at få en dybere forståelse af de forhold inden for forskningsområdet, hvor det at være fysisk tilstede og have aktiviteter i Greater Copenhagen kan give virksomhederne vigtige fordele, som man ikke kan få andre steder. Det handler bl.a. om betydningen af adgang til en særlig ekspertise, talent, forskningsudstyr, data, mv.

Resultatet af denne fase er 12 udbyggede faktaark, der giver en dybdegående beskrivelse af de udvalgte forskningsstyrker med stort potentiale for tiltrækning af udenlandske investeringer og virksomheder, jf. den overordnende model i kapitel 1.

Bilag 1

Bruttoliste med 29 styrkepositioner efter fase 2

2.5 INTRODUKTION

Som beskrevet i kapitel 2 resulterede fase 2 i 29 forskningsmæssige styrkepositioner, der vurderedes at have potentiale i et investeringsfremmeperspektiv. De er oplistet og kort beskrevet i tabellen nedenfor.

I fase 3 blev denne bruttoliste snævret ned til 12 områder med særligt stort potentiale i et investeringsfremmeperspektiv. I den proces blev der identificeret snitflader og overlap mellem de enkelte områder. Tabellen skal læses med det forbehold, at den er et "mellemprodukt". Relevante elementer af de områder, der ikke var blandt de endelige 12, vil således indgå i de 12 faktaark.

Indikatorerne, der benyttes i tabellen, er nærmere beskrevet i kapitel 2. Trafiklysene indikerer vores samlede kvalitative vurdering af tilstedeværelsen af de opstillede faktorer, der har betydning for områdets investeringsfremmepotentiale;

- Grøn indikerer en klar tilstedeværelse af faktoren
- Gul indikerer en delvis tilstedeværelse af faktoren
- Rød indikerer en svag eller ikke-eksisterende tilstedeværelse af faktoren

Navn	Samlet vurdering	Beskrivelse	Impact rank	Top 10 rank	Specialisering	Output rank	Excellencefunding	Gæsteforskere	Større forskningsindsatser	Erhvervsamarbejde	Behov for nærhed
Cancer	1	Omfatter både grundvidenskabelig forskning i årsagerne til udvikling og spredning af cancer (inkl. stamceller) samt klinisk forskning og test omkring diagnostik og behandling. Den forskningsmæssige styrke går på tværs af bl.a. BRIC, NNF Stamcellecenter og Rigshospitalet. Ikke mindst samspillet mellem medicinsk og klinisk forskning fremhæves som en styrke i regionen. En yderligere styrke i København er, at der uddannes mange forskere inden for en bred vifte af medicinske discipliner relateret til cancer-området. Tidlig anvendelse af "personalised medicine" teknologier bl.a. på Fase 1 Enheden på Riget.	2	2	0,8	5					
Fødevarerforskning	1	Fødevarerforskningen i Hovedstaden har en stærk position. Forskningen foregår på en lang række institutter fx Fødevarervidenskab, Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Folkesundhedsvidenskab, Idræt og Ernæring, Veterinær Sygdomsbiologi på KU samt DTU Fødevarerinstitutionen. De særligt perspektivrige områder i et investeringsperspektiv omfatter hvid bioteknologi, herunder fermentering (aftages bl.a. af Chr. Hansen, Carlsberg mv.), fødevarerens sikkerhed, udvikling af high-value fødevarer, fx probiotika og nutricosmetics og massespektrometri. Forskningen understøttes af væsentlige investeringer bl.a. ved DTUs Center for Hygiejnisk Design, forsøgsstalde på KU Science, DTU Biosustain og DTUs kommende bygning for Life Science and Bioengineering.	2-4	2-5	2,1	1					
Lyd/ultralød	1	Danmark har her et meget stærkt område – både fsva. høreapparater, lydteknologier og ultralød til medicinske formål mv. Hovedparten af forskningen foregår på DTU Elektro. Vigtige centre er Center for Acoustical-Mechanic Micro Systems, Center for Hearing and Speech Sciences, Center for Applied Hearing Research og Center for Fast Ultrasound Imaging. Forskningen er grundlaget for Danmarks unikke position på høreapparatområdet – men har også stor medicinsk betydning. Fx udviklede DTU Elektro i samarbejde med private virksomheder for nogle år siden verdens kraftigste ultralødsscanner.	1	2	1,7	1					

Metabolisme og diabetes	1	Meget stærkt forskningsområde med fokus på biokemiske processer til omdannelse af næringsstoffer og danner grundlag for nye effektive behandlingsformer mod fedme, type-2 diabetes og andre hormonrelaterede sygdomme. KUs medicinske forskning på området har bl.a. dannet grundlag for Novo Nordisks succesfulde produkt Victoza. En særlig styrke er det tætte erhvervssamspil og et tæt samspil mellem medicinsk forskning og forskning på bl.a. Institut for Idræt og Ernæring samt Institut for Folkesundhedsvidenskab. Fokus er både på at forstå mekanismer til forebyggelse, udvikle nye lægemiddelkandidater og store randomiserede studier (af medicinsk behandling og studier af diæter mv).	2-4	1	1,7	1-2					
Bioenergi	1	Hovedstaden – især DTU – er stærke på miljøteknologier til genanvendelse (af stoffer/materialer og til energi, enten gennem forbrænding eller gennem biobrændstoffer). DTU Miljø har en række stærke afdelinger, herunder Environmental Chemistry og Residual Ressource Engineering. Instituttets laboratorier anvendes af virksomheder til forsøg og fælles finansierede forskningsprojekter. Instituttet samarbejder med en række af de stærkeste forskningsmiljøer i verden og har modtaget et ERC-grant. DTU Biosustain er et Novo-finansieret institut med 260 medarbejdere, der forsker i biokemiske og biologiske processer på området (helt i front på bibliometriske indikatorer inden for Environmental Engineering).	1	1	2,0	1					
Vind og smart grid	1	Hovedstaden – især DTU – står meget stærkt på vind- og smart grid området. Kompetencerne er især på DTU Elektro og DTU Vind, herunder CEE, Center for Electric Power and Energy. Forskningen har tre hovedgrene: Udformning af vindmøller, lagring af energi, og indretning af fleksible elsystemer – herunder komponenter og systemer, der tillader fluktuerende strømforsyning.	4	4	1,7	1					
Bakteriologi	2	Stærkt miljø inden for bakteriologisk forskning forankret ved både DTU og KU - stærke niches inden for især to områder 1) antibiotika resistente bakterier og 2) metoder til forstyrrelse af biofilm. Begge områder har væsentlig erhvervsrelevans. Forskningen i resistens handler om at forstå de genetiske og bakteriologiske processer, der fører til antibiotikaresistente bakterier samt om at udvikle nye typer af antibiotika. Metoder til forstyrrelse af bakteriologisk biofilm handler om at udvikle metoder til forstyrrelse af biofilm, der gør bakterier modstandsdygtige og er et problem inden for mange forskellige industrier.	3	3	1,9	1					
Big Data	2	Et meget interessant vækstområde – men også meget heterogent. Koblinger mellem NBI, ESS, Datalogisk Institut og DTU mfl. Datalogisk institut og Niels Bohr har generelt stærke kompetencer i forhold til udvikling af algoritmer og "machine learning". Big data kompetencen kan anvendes	4	2	0,7	8					

		inden for en bred vifte af forskningsområder fra bioinformatik til "social big data".								
Bioinforma- tik og prote- inforskning	2	Kombinationen af proteinforskning og bioinformatik handler om at opnå dybere forståelse for biologiske processer, der ligger til grund for sygdommes udvikling med henblik på at udvikle nye lægemiddelkandidater og behandlingsformer. Kbh. Både DTU og KU har særlige styrker inden for forskning, der kobler gen- og proteinteknologi vha. big data science/bioinformatik. Særlig styrke omkring forskning, der kobler data fra elektroniske patientjournaler, materiale fra biobanker og avancerede metoder til analyser af molekulære strukturer.	2	2	1,0	4				
Bæredygtigt byggeri	2	Danmark har en stærk position på dette område. Det dækker byggeri, indeklimate, energirigtige boliger, byudvikling mv. Hertil kommer arkitektur, landskabsarkitektur, byudvikling, GIS-systemer og klimatilpasning. De stærke forskningsmiljøer er DTU Byg, herunder Center for Bygningsdesign, Center for Bygningsenergi og Center for Indeklima og Bygningsfysik. Hertil kommer det tidligere SBI, der i dag er en del af Aalborg Universitets Københavnsafdeling. Området drives bl.a. af globalt stigende krav til energi- og sundhedsstandarder – svagheden er, at byggemarkederne er nationalt opdelte pga. tradition, forskellige vejr- og klimaforhold mv.	3	3-4	1,6	1-2				
Hjerteområ- det	2	Der er et stærkt miljø inden for kardiologi, der blandt andet udspringer af det nu afsluttede Grundforskningscenter, DARC. Der er en relativ stor gruppe af yngre, lovende forskere, som forsker i ion-kanaler, der styrer hjertets sammen- trækning og årsager til hjerteflimmer (arytmi) og hjertestop. Forskningen flytter samlet til den nye Mærskbygning, hvor der vil være adgang til state-of-the-art faciliteter. Miljøet er kendetegnet ved en meget udadvendt, erhvervsrettet kultur og har betydelig erfaring med erhvervssamspil samt et betydeligt antal licenser og spinouts. Har endvidere samarbejde med et højt kvalificeret klinisk forskningsmiljø på hospitalssiden.	4	3	1,0	5				
Kvantefysik	2	København har i de sidste 100 år haft en meget stærk position på det kvantefysiske område. Niels Bohr Instituttet har modtaget flere ERC-grants end alle andre institutter (på KU), i alt 11, hvoraf 6 vedrører kvanteområdet (resten er geo- og astrofysik). Området har modtaget 4 grundforskningsbevillinger: Center for Kvanteeoptik, Center for Partikelfysik, Center for Quantum Devices og Center for Stem Cell Decision Making. NBI har etableret QUBIZ.dk sammen med DTU Fysik og Århus Universitet og 14 virksomheder. Potentialet er stort – men svagheden er, at mange virksomheder ser kvanteområdet som meget grundforskningsorienteret.	3	3	0,8	5				

Nanoscience	2	Nanoscience dækker over teknologier, der påvirker stoffer med en størrelsesorden på 1 til 100 nanometer – oftest på molekyle-niveauet. DK står stærkt – bl.a. i kraft af Nano Science Centret, der blev dannet i 2001 i et samarbejde mellem NBI og Kemisk Institut. Samarbejdet er siden udvidet med Biologisk Institut, Institut for Neurovidenskab og Farmakologi og Sundhedsvidenskabeligt Fakultet. Centret har 150 forskere og har modtaget betydelig finansiering fra EU og fra Højteknologifonden. Centret har endvidere modtaget grundforskningsbevillinger til et Center for Syntesebiologi et dansk-kinesisk Center for Molekylær Nanoelektronik.	-	-	-	-					
Planteforskning	2	Planteforskningen i Hovedstaden er i den internationale topklasse. Området omfatter flere institutter på både KU og DTU, men har sit tyngdepunkt omkring det tidligere KVL på KU Science, herunder Institut for Biologi og institut for Plante og Miljøvidenskab (PLEN). PLEN arbejder bl.a. med energiproduktion gennem omvendt fotosyntese, syntesebiologi, glykobiologi og forædling af afgrøder. KUs Plant Science Center er forankret på PLEN.	3-4	3	1,2	1					
Teknologi og mennesker	2	København huser et af Europas største antropologiske miljøer og har en skarp forskningsprofil med fokus på interaktion mellem teknologi og mennesker. Var blandt de første i Europa til at sætte fokus på "Business Anthropology". Endvidere findes velfungerende tværdisciplinære forskningssamarbejder omkring kommunikation og computerbrug i hverdagslivet på tværs af Institut for Medier, Erkendelse og Formidling, Datalogisk Institut og Det Kongelige Bibliotek. Der er tradition for samarbejde mellem bl.a. antropologi og virksomheder inden for medico, sundhed, miljø mv. Leverer kandidater til en voksende konsulentbranche, der rådgiver om brugerforståelse, produkt- og forretningsudvikling, mv. Området har tiltrukket forskningsfinansiering fra VeluxFonden, CarlsbergFonden, Laurits Andersens Fond, mv.	4	5	1,5	2					
Vand	2	Hovedstaden har en række stærke kompetencer på vandområdet. Det meste af forskningen foregår på DTU Miljø, der har tre vandafdelinger: Urban Water Systems og Water Resources Engineering og Water Technology. DTU har endvidere et tæt samarbejde med DHI, Dansk Hydraulisk Institut. Hovedstaden har kompetencer mht. by- og landskabsplanlægning og ift. klimatilpasning på Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning. En svaghed ift. erhvervsmæssig udnyttelse af vandkompetencerne er kultur og regulering af de danske vandselskaber og væsentlige nationale forskelle på vandsystemerne.	-	-	-	-					
Allergi	3	Spændende vækstområde, både i Danmark og i mange andre lande. Det ledende center er Dansk Allergi Center på Gentofte Hospital, som er knyttet til Institut for Klinisk Medicin. Centret har to	3	3	1,3	3					

		gange modtaget Region Hovedstadens pris for Global Excellence. Miljøstyrelsen etablerede endvidere i 2001 et Videntcenter for Allergi, som forsker i og vejleder om giftige kemikalier og stoffer, der kan udløse allergi. Indtil videre synes virksomhedsinteressen for området dog at være begrænset – dog har området tæt samspil med bl.a. Leo og Lundbeck.									
Automatisering, robotics og space	3	Forskningen er i topklasse på DTU Elektro og DTU Space. DTU Space er samarbejdspartner for såvel ESA som Nasa og har haft en væsentlig rolle ifm. opsendelse af en rumsonde til Mars. DTU Elektro har et stærkt Center for Automation and Control. Centret har et samarbejde med Mærsk McKinney Møller Centret på SDU. Begge institutters forskning er relevant for udviklingen af fine måleinstrumenter og kommunikationsudstyr.	1	4	0,7	4					
Bodytech	3	Begrebet Bodytech dækker over forskning i proteser og scopi. Området er med andre ord et delområde af medtech. Hovedstaden har et stærkt medicinsk miljø. For proteser og implantater er det centreret omkring Bispebjerg Hospital, og for scopi omkring Herlev og Gentofte Hospitaler. Områdets handicap er manglen på danske producenter.	-	-	-	-					
Energikonvertering og -lagring	3	København står – med DTU som omdrejningspunkt - stærkt inden for en række energiteknologier, som hver for sig har et potentiale til at kunne bidrage afgørende til et sammenhængende, bæredygtigt energisystem. Det omfatter brændselsceller, elektrolyse, batterier og plastsolceller. Forskningen på DTU foregår især på DTU Energi og DTU Elektro, og er især rettet mod disruptive teknologier. Områdets styrke er en stærk international position på udvalgte teknologier. Svagheden er, at en del miljøer i fx Tyskland, Frankrig, Korea og Japan er mindst lige så stærke, og større.	3	3	2,0	2					
Fertilitet og reproduktion	3	Området omfatter fertilitet, gynækologi, obstetrik, pædiatri, neonatale patienter (for tidligt fødte børn) mv. Danmark står stærkt på dette område, bl.a. på grund af forskningen og patientbehandlingen på Juliane Marie Centret på Rigshospitalet. Forskningsmæssigt hører centret til de bedste i verden. Medvirkende hertil er Danmarks internationalt set gode patientregistre. Hertil kommer, at fertilitetsbehandlinger i det meste af verden sker i privat regi. Rigshospitalet har et tæt samarbejde med Lunds Universitet. Der er en vis erhvervsinteresse for området.	1	1	1,4	2-3					

Materiale- teknologier	3	Materialeteknologier omfatter materiale- og overfladeteknologier samt udviklingen af polymerer. Forskningen foregår på DTU Mekanik, DTU Nano og DTU Kemiteknik, der bl.a. har etableret Dansk Polymer Center. Materialeteknologien er tværfaglig og baserer sig på en række fysiske og kemiske specialer – og kan anvendes i en lang række erhverv. Området har et stærkt erhvervs-samarbejde – og en væsentlig styrke vil være de nye forskningsmuligheder, der opstår i Lund med det nyåbnede MAX IV samt det kommende ESS. Svagheden er, at den internationale konkurrence er hård på området.	1-3	1-2	0,9	4-5					
Neuroforsk- ning	3	DK har en styrke inden for neuroforskning med fokus på hjernecellers udvikling, signalmekanismer og aldringsprocesser i hjernen. Fokus er på en dybere forståelse af energiniveauer og biologiske processer i hjernen. Forskningen adresserer bl.a. de bagvedliggende mekanismer for sygdomme som Alzheimer, demens mv. KU har en række stærke forskningsgrupper, men også AU er stærk på området. AU har opbygget et europæisk top-forskningscenter med støtte fra bl.a. Lundbeck Fonden	4	2	0,9	6					
Algebra/to- pology	4	Internationalt forskningsmiljø af høj kvalitet inden for en bred vifte af matematiske discipliner – bl.a. styrke omkring algebra og topologi forankret omkring Center for symmetri og deformation. Generel høj forskningskvalitet og et betydeligt udbud af matematisk talent. Institutet rangerer blandt top50 på verdensplan. Erhvervssamarbejdet og investeringsinteressen antages dog at være beskeden.	2	2	0,7	6					
Arktisk forskning	4	Danmark har forskning i høj klasse på det arktiske område. Niels Bohr-Instituttet har således et Center for Is og klima, og Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning et grundforskningscenter – Center for Permafrost. DTU har Center for Arktisk Teknologi. Den historiske baggrund for aktiviteterne er Danmarks rolle i Grønland, og på længere sigt kan erhvervspotentialet være stort, fx i forhold til råstoffer, maritime ruter mv.	1	1	1,4	2					
Geogenetik	4	Forskningen på Statens Naturhistoriske Museum er i verdensklasse og har af denne grund modtaget en grundforskningsbevilling til dannelsen af Center for Geogenetik. Centret har bl.a. modtaget et ERC-grant til at forske i folkevandringer i det 2. og 3. årtusinde f.Kr. Også Retsmedicinsk Institut har en vis forskning på området. Erhvervsinteressen er imidlertid begrænset.	3	2	1,1	3					
Internatio- nal politik	4	Hovedstaden har en fremtrædende position internationalt inden for forskning i international politik. Forskningen er centreret omkring Institut for Statskundskab på KU. Blandt de særlige stærke forskningsområder er sikkerhedspolitik og fredsforskning (Københavnerskolen/Center for Advanced Security Theory, Center for Advanced Security	2	1-2	2,0	2					

		Theory og Centre for Resolution of International Conflicts), EU-forskning (Center for EU-politik).									
Management og International business	4	CBSs managementforskning nyder en høj international position, især i kraft af forskningsmiljøet inden for international business. Området går på tværs af en række institutter, fx Institut for International Økonomi, Institut for Strategic Management and Globalization, og Institut for International Økonomi og Ledelse. Området har samtidigt et tæt samspil med erhvervslivet, men har overvejende en komplementær styrkeposition i et investeringsfremmeperspektiv. Dvs. området skal fortrinsvis ses i kombination med Greater Copenhagen's øvrige styrkepositioner ift. at tiltrække investeringer.	2	1	1,5	1					
Økonomi og finans	4	Forskningskvaliteten på Økonomisk Institut på Københavns Universitet er steget stærkt de sidste 10-20 år. Instituttet ligger i dag blandt Top 20 internationalt og samarbejder med en række af de tungeste forskningsmiljøer i verden. På CBS er det især FRIC – Center for Financial Frictions på Institut for Finansiering, der skiller sig ud. Økonomisk Institut på KU har bl.a. modtaget to grundforskningsbevillinger og to ERC-grants. Kandidaterne er efterspurgt af erhvervslivet – men svagheden i investeringsfremmesammenhæng er, at virksomhedernes behov for nærhed ift. forskningsmiljøerne formentlig er lille. Som med international business ovenfor har området dog en væsentlig komplementær betydning ift. tiltrækning af udenlandske investeringer.	4	4	1,7	1					

Bilag 2

Sammenligningsregioner og institutioner

Amsterdam	University of Amsterdam Vrije Universiteit Municipal Health Service of Amsterdam
Berlin	Technische Universität Berlin Freie Universität Berlin Humboldt-Universität zu Berlin Helmholtz Centre Berlin for Materials and Energy Federal Institute for Materials Research and Testing Berlin Max Delbrück Center for Molecular Medicine Robert Koch-Institut Max Born Institut 5 Leibniz-Institutter Staatliches Museum für Naturkunde Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics Federal Institute for Risk Assessment Paul Drude Institut für Festkörperelektronik Universitätsklinikum i Berlin Zuse Institute Berlin
København	University of Copenhagen Technical University of Denmark Copenhagen Business School Universitetshospitaler i Region Hovedstaden
Dublin	University College Dublin Trinity College Dublin Dublin City University Maynooth University Dublin Institute of Technology Beaumont Hospital, Dublin Dublin Institute for Advanced Studies
Geneve/Lausanne	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) University of Geneva University of Lausanne Business School Lausanne
Hamburg	University of Hamburg Deutsches Elektronensynchrotron DESY Hamburg University of Technology Helmut-Schmidt-Universität Bernhard Nocht Institute for Tropical Medicine Hamburg Outstation

Helsinki	University of Helsinki Aalto University Hanken School of Economics Hospital District of Helsinki and Uusimaa Minerva Foundation Institute for Medical Research Helsinki
München	Technische Universität München Ludwig-Maximilians-Universität München Helmholtz Center Munich German Research Center for Environmental Health European Southern Observatory 7 Max-Planck-Institute Universität der Bundeswehr München Munich University of Applied Sciences - Hochschule München Fraunhofer Institute for Embedded Systems and Communication Technologies ESK International Max Planck Research School for Molecular and Cellular Biology
Oslo	University of Oslo Norwegian University of Life Sciences Oslo University College Norwegian School of Sport Sciences BI Norwegian Business School
Stockholm/Uppsala	Karolinska Institutet Uppsala University Royal Institute of Technology Stockholm University Stockholm School of Economics Stockholm Environment Institute

Akustik og ultralyd



Indhold og anvendelse

Danmark er en lydnation med stolte traditioner og lydforskningen i Greater Copenhagen har i mange år været i en global førerposition. Styrkepositionen rummer banebrydende forskning inden for audiovisuelle teknologier for hørehæmmede, rumakustisk modellering og støjreduktion i bygninger og byer. Desuden har forskningen dannet afsæt for udviklingen af nye revolutionerende ultralydsteknologier, som med en langt højere præcision og hastighed end tidligere kan revolutionere diagnosticeringen af en lang række sygdomme, herunder kardiovaskulære lidelser og kræft.



Centrale miljøer og stjerneforskere

DTU Elektro er tyngdepunktet for Greater Copenhagen's lydforskning. Særligt fremtrædende eksempler er Oticon Centre of Excellence for Hearing and Speech Sciences, der arbejder med interdisciplinær audiologisk grundforskning og hvordan oplevelsen af høreapparater kan forbedres. Centeret ledes af Torsten Dau. På Center for Fast Ultrasound Imaging udvikler forskerne nyskabende ultralyds- og imagesystemer, der potentielt kan revolutionere diagnosticering- og behandlingsmetoder i sundhedsvæsenet. Centeret ledes af Jørgen Arendt Jensen.



Investeringsfremmepotentiale

DTU og det omkringliggende økosystem for lydteknologi rummer et betydeligt investeringsfremmepotentiale. Greater Copenhagen har et veletableret økosystem inden for audiologi, og den knowhow, der findes i området er i den absolutte verdensklasse. Ultralydsteknologierne rummer et stort potentiale i forhold til bedre diagnosticering og omkostningsreducering i sundhedssektoren. Forskningen har fra begyndelsen været karakteriseret ved en stor erhvervsinvolvering - og flere store internationale virksomheder anvender software til ultralydsløsninger udviklet på DTU.

Karakteristik af forskningsområdet

Greater Copenhagen's styrkeposition inden for lydområdet har dybe historiske rødder. Ingeniøren Valdemar Poulsen opfandt i starten af det 20. århundrede buegeneratoren og telegrafonen, der revolutionerede henholdsvis trådløs telegrafi og udviklingen af båndoptageren. Den første funktionelle højttaler blev opfundet af danskeren Peter L. Jensen i 1915. Og allerede i 1941 etableredes Lydteknisk Laboratorium ved den Polytekniske Lærestanstalt - det senere DTU.

Lydforskningen i Greater Copenhagen er i en international førerposition. Forskningen spiller blandt andet tæt sammen med regionens verdensførende virksomheder inden for høreteknologi, heriblandt Oticon, Widex og GN Resound samt virksomheden BK Ultrasound, der udvikler revolutionerende ultralydsløsninger til sundhedsvæsenet.

DTU Elektro er tyngdepunktet for regionens forskning i lydteknologi. Forskningen rummer mange forskellige specialer, fx inden for akustisk teknologi, produktion og transmission af lyd, støjkontrol, avancerede akustiske måleteknikker, modellering af rumakustik samt virkning af nye byggematerialer på lydtransmission. Samtidig har Greater Copenhagen en førerposition på audiologiområdet. Forskere på DTU Elektro forsker bl.a. i udviklingen af bedre høreapparater gennem avancerede signalbehandlingsmetoder og objektive målemetoder for hørelse.

Ultralydsforskningen på DTU Elektro er blandt de stærkeste miljøer i verden inden for området. Forskerne har hen over en årrække udviklet fremtidens ultralydsløsninger til sundhedsvæsenet, der muliggør billeddannelse af kræft og analyse af blodstrømmes dynamik og hastighed i 3D, fx i hjertet, med en langt højere præcision, hastighed og opløsning end tidligere. Forskningen danner i dag grundlag for nogle af verdens mest avancerede ultralydsskannere fra fx BK Ultrasound og Phillips.

Samtidig har forskerne arbejdet på at udvikle nye håndholdte transducere, der kan tilkobles smartphones eller tablets, og som vil gøre det muligt for den praktiserende læge eller paramedicinen at foretage ultralydsskanninger hurtigt, billigt og med muligheden for at sende informationen trådløst og hurtigt videre til hospitaler mv. via nettet.

Ultralydteknologierne gør det muligt at diagnosticere en lang række sundhedstilstande både bedre og billigere end tidligere. Forskningen udføres i samarbejde med BK Ultrasound også andre institutter og aktører, fx DTU Nanotech, Alexandra Instituttet i Aarhus og forskere fra Rigshospitalet.

Nicher med international topkvalitet

Danmark har en forskning på lyd- og ultralydsområdet, der er i verdensklasse. Topforskningen omfatter miljøerne;

ACT - Acoustic Technology - forsker i lyd og vibration, herunder produktion og transmission af lyd, støjkontrol, transducerteknologi, avancerede akustiske måleteknikker, rumakustisk modellering og design, samt virkningerne af nye byggematerialer på lydtransmission. De kommercielle anvendelsesmuligheder indbefatter rumakustik i bygninger, højtalere, koncertlyd og støjreduktion i trafik og bygninger. Området ledes af professor Finn Agerkvist.

CFU - Center for Fast Ultrasound Imaging er DTU Elektros center for udviklingen af nye banebrydende ultralydsteknologier til sundhedssektoren. Centeret har eksisteret siden 1998, og har udviklet nye forskningsværktøjer og billeddannelsesteknologier, der anvendes af universiteter, virksomheder og hospitaler over hele verden. CFU driver i øjeblikket et af de største projekter under Danmarks Innovationsfond, der skal lede frem til udviklingen af fremtidens bærbare ultralydsskannere. Centeret ledes af Professor Jørgen Arendt Jensen.

CAMM - Center for Acoustical-Mechanic Micro Systems - beskæftiger sig med mikroakustik og materialers akustiske egenskaber på mikroniveau.

Centerets forskning finansieres af Widex, GN Resound og Oticon. Området ledes af Professor Jakob Søndergaard Jensen.

Hearing Systems, der omfatter: 1) Oticon Centre of Excellence for Hearing and Speech Sciences, der arbejder med interdisciplinær audiologisk grundforskning, herunder diagnosticering og behandling af høretab og hjernens repræsentation af tale og musik. Centeret ledes af Professor Torsten Dau. 2) Center for Applied Hearing Research, der har en mere anvendelsesorienteret profil. Centeret arbejder bl.a. med perceptuelle konsekvenser af høretab, modeller for hjernens bearbejdning og perception af lyd, anvendelsen af modellerne i høreapparater og målinger/test af høreapparater.

Bibliometriske nøgletal

De bibliometriske indikatorer for forskningsproduktion og -kvalitet dokumenterer, at Greater Copenhagen indtager en klar førerposition i Europa, når det gælder forskning inden for akustik og ultralyd, jf. tabel 1.

Forskere inden for lydområdet har de seneste ti år offentliggjort tæt ved 742 forskningsartikler i internationalt anerkendte tidsskrifter. Det bringer Greater Copenhagen ind på en førsteplads blandt sammenligningsregionerne målt på samlet forskningsoutput.

Greater Copenhagen er endvidere stærkt specialiseret, hvilket vil sige, at lydforskningen udgør en betydeligt større andel af forskningsproduktionen i Greater Copenhagen end i relevante europæiske sammenligningsregioner.

Endelig ligger København nr. 2 blandt sammenligningsregionerne på forskningskvalitet, opgjort som andel publikationer, der er blandt de 10 procent mest citerede inden for forskningsfeltet på verdensplan.

Centrale bibliometriske indikatorer

	Specialisering	Output rank (antal artikler)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
Acoustics and ultrasound	1,72	1 (742)	2 (18,7%)	7 (3,8%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på KU, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering > 1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold til sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Lydteknologi er et integreret element i en bred vifte af løsninger - fra robotteknologi over støjmålere og sensorer, der kan kommunikere med brugerne, til digitale undervisningsplatforme. Samtidig vil lyd spille en vigtig rolle som integreret teknologi i talrige løsninger på det 21. århundredes samfundsudfordringer. Det gælder eksempelvis sundheds- og velfærdsløsninger samt intelligente trafik- og forsyningssystemer.

Greater Copenhagen har en klar forskningsmæssig styrkeposition på lydområdet. Sammenholdt med Danmarks stærke lydklynge, der omfatter både etablerede virksomheder og startups, der arbejder med audio og akustik samt høreteknologi, samt et stærkt økosystem, fremstår investeringspotentialet stærkt. Innovationsnetværket Dansk Lyd anslog i 2014 at nettoomsætningen i de 30 største danske lydvirksomheder beløb sig til godt 30 mia. kr. Og ca. halvdelen af alle verdens høreapparater produceres af danske virksomheder, fx Oticon, Widex og GN Resound.

I forhold til udvikling af audiologi og høreapparater indtager Greater Copenhagen en absolut førerposition. Den mangeårige knowhow og de verdensførende forskningsfaciliteter, der findes i området, er et stort aktiv for udenlandske virksomheder, der arbejder med innovation inden for høreteknologier.

Ultralydsforskningen på DTU har et meget stort potentiale i forhold til at revolutionere diagnosticeringsmetoder i sundhedsvæsenet. Dels gennem langt mere præcise, informationsrige og billigere metoder til at identificere og analysere sygdomme som kræft, blodpropper samt som hjælpemiddel i forbindelse med operationer og analyser af biopsier.

Dels gennem udviklingen af nye bærbare transducere, tilkoblet tablets, som kan udbrede anvendelsen af ultralydsdiagnosticering, fx til den almene

praksis eller paramedicinere i ambulancer. Samtidig anvender samtlige større ultralydsfabrikanter (Phillips, GE, Siemens, Samsung, Sony og BK Medical m.fl.) den simuleringssoftware, som CFU har udviklet,

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

På hørehjælpsområdet er frontløberforskningen fokuseret på at forbedre høreapparater ved hjælp af digitale teknologier, herunder avancerede algoritmer og sensorteknologi. Sammen med GN Resound har forskere på DTU udviklet ear-to-ear høreapparater, der kommunikerer indbyrdes via en trådløs forbindelse. Det betyder fx, at venstre og højre høreapparat kan kommunikere med hinanden og automatisk skrue op eller ned for styrken, således at man får det klareste lydbillede i høreapparatet. Høreapparaterne kan samtidigt reguleres trådløst via en smartphone.

Samtidig arbejder forskere på CAMM forsker bl.a. i hvordan den komplicerede mekanik-akustik kobling i høreapparater kan optimeres. Forskerne forbedrer oplevelsen af apparaterne bl.a. ved at reducere akustisk tilbagekobling (hyl). Jakob Søndergaard Jensen er blandt de centrale forskere på området. CAHR forsker bl.a. i forbedring af taleforståelse ved hjælp af avanceret signalbehandling, herunder anvendelsen af avancerede algoritmer, som kan frasortere støj og hyletoner og forbedre oplevelsen af apparaterne. Torsten Dau er blandt de helt centrale forskere på området.

CFU er internationalt førende på ultralydsområdet og forskningen har stor medicinsk-klinisk betydning. I modsætning til traditionelle ultralydsskannere kan sundhedstilstande i kroppen skannes og visualiseres fra alle retninger på en gang og med sporing af ændringer over tid (4D). Forskningsområdet har samlet set modtaget over 250 millioner i ekstern finansiering fra bl.a. forskningsrådene, Danmarks Innovationsfond, private virksomheder og fonde. CFU udfører translationel forskning inden for avanceret ultralyd, herunder simulering, transducerteknologi, signalbehandling og billedbehandling. Teknologierne, der især er udviklet sammen med virksomheden BK Ultrasound, gør det muligt at undersøge patienters anatomi og blodflow i meget høj opløsning (ned på mikrometer-skalaen) og hastighed (over tusind bille-

der i sekundet) - samt i 4D - det vil sige med 3D-billeddannelse samt information om ændringer over tid.

Fx kan eventuelle hvirvler og forskelle i strømmene gennem blodårerne identificeres i realtid. Teknologien reducerer væsentligt tids- og ressourceforbruget i en klinisk sammenhæng, da ultralydsteknologien i mange sammenhænge vil kunne udgøre et både billigere og bedre alternativ end væsentligt dyrere MR-skanninger.

Samtidig driver CFU et Innovationsfondsprojekt, der udvikler fremtidens bærbare ultralydsskannere, der fx vil kunne bruges af sygeplejersker, læger eller paramedicinere - uden den specialuddannelse, der kræves for at betjene ultralydsskannere i dag.

Ultralydssystemernes måleprober er blevet forbedret med nanoteknologi og anvender avancerede algoritmer, der reducerer antallet af beregninger så ultralydsproberne kan gøres bærbare. Fx vil praktiserede læger kunne foretage indledende undersøgelser og sende ultralydsbilleder videre til hospitaler eller speciallæger. Og kirurger med skannerne vil undervejs i operationer kunne anvende ultralyd til at undersøge blodets flow, inden kroppen syes sammen. Der udvikles også nye grundlæggende måder at udsende og behandle ultralyden på, så de opsamlede data kan efterbehandles på helt nye måder i supercomputere.

Stor talentmasse

DTU uddanner årligt ca. 20 ingeniører årligt med speciale i akustik. Inden for medicin og teknologi uddannes ca. 30-40 kandidater årligt, en del med speciale i ultralyd. Hearing Systems på DTU Elektro har ca. 22 indskrevne ph.d.-studerende og 11 post.docs. Acoustic Technology huser ca. 11 ph.d.-studerende. CFU har gennem sin levetid uddannet 35 ph.d.er og har 10 ph.d.-studerende tilknyttet.

Unikke forskningsfaciliteter

CHESS på DTU indeholder testfaciliteten Audiovisual Immersion Lab (AVIL),

der gør det muligt, at teste høreteknologier i et virtuelt lydmiljø.

Laboratoriet består i et lydisoleret, lyddødt rum med 64 højtalere, der kan genskabe lydvisuelle scener som fx restauranter med baggrundsstøj eller overfyldte banegårde. Faciliteten er til dels finansieret gennem midler fra Oticon Fonden, dels DTUs egne midler til fornyelse af forskningsinfrastruktur. Derudover har DTU et tæt samspil med GTS-instituttet DELTA i Hørsholm, der indeholder en lang række testfaciliteter for lydteknologier.

CFU huser verdens stærkeste ultralydsskanner SARUS, som er udviklet i samarbejde med BK Ultrasound og Prevas. Skanneren kan foretage 25.000 milliarder udregninger i sekundet og kan bl.a. anvendes til at lave billeder af hele hjertets flow i tre dimensioner samt måle blodets hastighed og retning på alle punkter i hjertet.

Stærkt samarbejde med førende internationale forskningsmiljøer

Oticon Centre of Excellence for Hearing and Speech Sciences har et stort antal gæsteforskere på audiologiområdet. Desuden arbejder DTU sammen med eksperter fra universiteter, bl.a. Université Paris Descartes in France og University of California, Berkeley. CFU har bl.a. samarbejde med Stanford University, Duke University, Lunds Universitet, Harrit Watts University samt Institute Langevin i Paris.

Udbygget erhvervssamarbejde

Der er en lang tradition for et tæt samarbejde mellem forskning og erhverv. Både på høreapparatsområdet (Widex, Oticon og GN Resound) og med højtaleringstøjsindustrien (fx B&O og Dynaudio) samt inden for lydmålinger og ultralyd (Brüel og Kjær). Samarbejdsrelationerne er kendetegnet ved en bred vifte af forsknings- og udviklingsprojekter, samt finansiering af større forskningsindsatser som CHESS og CAMM.

CFU har et langvarigt og tæt samarbejde med BK Medical, mens den simuleringssoftware til ultralydssystemer, som centeret har udviklet anvendes af samtlige større ultralydsfabrikanter.

Bakteriologi



Indhold og anvendelse

Inden for bakteriologien indtager Greater Copenhagen en international førerposition på to vigtige områder;

- Forskning i antibiotikaresistente bakterier og hvordan man kan imødegå, at bakterier udvikler antibiotikaresistens.
- Metoder til at undgå, at bakterier danner biofilm, hvilket er en stor udfordring i industrien og for mennesker, hvor det kan føre til livstruende betændelsestilstande.



Centrale miljøer og stjerneforskere

Forskningen er bredt forankret i en række institutioner i Greater Copenhagen. Der er stærke forskningsmiljøer ved bl.a. Institut for Immunologi og Mikrobiologi og Institut for Farmakologi og Lægemiddeldesign ved Københavns Universitet, ved Statens Serum Institut og på DTU Veterinærinstituttet, DTU Fødevareinstituttet og DTU Bioengineering samt Biosustain på DTU.

Blandt stjerneforskerne kan nævnes Professor Michael Sommer og hans forskergruppe, der har udviklet et nyt resistensprincip, der kan nedbringe risikoen for, at behandling med antibiotika fører til udvikling af resistente bakterier.



Investeringsfremmepotentiale

Antibiotikaresistens er en global udfordring. Alene i Europa dør hvert år 25.000 mennesker som følge af infektioner med bakterier, der har udviklet resistens. Inden for husdyravl og fødevareproduktion fører både biofilm og antibiotikaresistens til enorme produktionstab. Forskerne i Greater Copenhagen er blandt de førende i verden på disse områder, og der er et meget bredt forankret fagligt miljø. Dertil kan Greater Copenhagen byde på unik forskningsinfrastruktur med bl.a. faciliteter på Statens Serum Institut, Biosustain på DTU og en, i international sammenhæng, helt særlig kompetence omkring Biofilm Test Facility ved Institut for Immunologi og Mikrobiologi på Københavns Universitet.

Karakteristik af forskningsområdet

Den bakteriologiske forskning har væsentlige berøringsflader med andre af Greater Copenhagen's styrkepositioner, bl.a. fødevarer & fermentering, bioenergi og proteinforskningen.

Det betyder, at miljøet har stor kritisk masse og en stærk forankring på både Københavns Universitet og på DTU.

De særlige forskningsmæssige styrkeområder ligger inden for forståelsen af de mekanismer, der fører til, at bakterier udvikler antibiotikaresistens samt forskning i metoder til forstyrrelse af biofilm. Begge forskningsområder adresserer centrale samfundsøkonomiske udfordringer med globalt perspektiv.

Nicher med international topkvalitet

Forskningen i antibiotikaresistente bakterier i regionen vedrører både det medicinske og det veterinære område. Forskningen fokuserer på at forstå de mikrobiologiske forandringer, der fører til resistens og hvordan risikoen for resistens kan reduceres gennem ændret brug af antibiotika, både i landbruget og på hospitaler samt hos praktiserende læger.

Forskningen omkring biofilm handler grundlæggende om at forstå de mekanismer, der fører til dannelse af biofilm, hvor bakterier klumper sig sammen og danner en biologisk film, der gør det meget vanskeligt at bekæmpe bakterieforekomsterne. Der er et stærkt forskningsmæssigt miljø omkring The Costerton Biofilm Center, der er et tværfagligt forskningscenter på Københavns Universitet og ved The Biofilm Test Facility, ligeledes på Københavns Universitet, der har et tæt samarbejde med erhvervslivet.

Forekomst af biofilm skaber både store problemer hos mennesker, hvor biofilm betyder, at sår har vanskeligt ved at hele. Biofilm kan føre til kroniske, livstruende betændelsestilstande.

Biofilm skaber også udfordringer mange steder i industrien, hvor bakterier danner biofilm, som gør det vanskeligt at leve op til hygiejnekrav. Men biofilm kan også bruges positivt i bl.a. spildevandsrensning.

Bibliometriske nøgletal

Greater Copenhagen's forskningsstyrker inden for antibiotikaresistens og biofilm træder kun delvist frem i den bibliometriske analyse. Det skyldes, at mikrobiologi og immunologi er et relativt bredt forskningsområde, der dækker over forskellige typer af forskning. Applied Microbiology og biotechnology er den forskningskategori, der kommer tættest på at indfange styrkeområderne i Greater Copenhagen, jf. tabel 1.

Heraf fremgår det, at forskere fra Københavns Universitet og DTU de seneste ti år har publiceret omkring 1054 forskningsartikler i internationalt anerkendte tidsskrifter.

Greater Copenhagen har det største samlede output blandt sammenligningsregionerne. Det fremgår også, at Greater Copenhagen er stærkt specialiseret inden for dette felt. En specialiseringsgrad på 1,92 er udtryk for, at forskningen udgør en næsten dobbelt så stor andel af den samlede forskning i Greater Copenhagen i forhold til sammenligningsregionerne.

Greater Copenhagen ligger også i toppen, når der måles på forskningskvalitet, hvor regionen er nummer tre målt på andel artikler blandt de mest citerede på verdensplan. Amsterdam og Geneve-Lausanne er bedre placeret, men deres styrker ligger inden for andre områder af mikrobiologien.

Greater Copenhagen ligger nummer 1 blandt sammenligningsregionerne målt på andelen af forskningsartikler, der er sampubliceringer med private virksomheder.

Centrale bibliometriske indikatorer				
	Specialisering	Output rank (antal artikler)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
Applied Microbiology and biotechnology	1,92	1 (1054)	3 (18,6%)	1 (12%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på KU, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver, at Greater Copenhagens andel ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering >1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold til sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Bakterier der udvikler resistens over for kendte antibiotika, er et alvorligt globalt problem. WHO har dokumenteret, at multiresistente bakterier har spredt sig til alle dele af verden.

Bakteriel resistens betyder, at behandlingsforløb bliver mere langvarige, dyrere og på sigt kan føre til, at flere dør af simple infektioner. En britisk rapport anslår, at op mod 10 millioner mennesker på verdensplan kan dø som følge af resistente bakterier, hvis ikke der sættes ind i de kommende år.

Også udfordringerne relateret til biofilm er alvorlige. Bl.a. betyder den stigende anvendelse af kunstige reservedele i form af hofteproteser, implantater og indopererede medicinske devices, at et stigende antal mennesker oplever infektioner, hvor bakterierne danner biofilm, bliver modstandsdygtige og at der udvikles kronisk betændelsestilstand i kroppen.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

Greater Copenhagen huser en række internationalt anerkendte forskere med specialer inden for bakteriologi og resistens.

DTU har en række internationalt anerkendte forskere inden for området. En af dem er Professor Morten Sommer, der i 2010 blev rekrutteret fra Harvard og ansat som Danmarks yngste professor på DTU Bioengineering, med ansvar for at opbygge en stærk forskergruppe omkring bakterier, bl.a. med fokus på resistens.

På DTU Fødevareinstituttet arbejder Frank Aarestrups forskningsgruppe med sammenhængen mellem brug af antibiotika til husdyr i landbruget og konsekvensen for menneskers sundhed. Forskningen har bidraget til udviklingen af internationale praksisser for overvågning og detektion af fødevarebårne antibiotikaresistente bakterier. Den unikke viden har endvidere bidraget til at gøre DTU Fødevareinstituttet til et referencelaboratorium for WHO og EU.

På Københavns Universitet har man både støttet et Stjerneforskerprogram med fokus på resistens samt etableret et internationalt førende center omkring studier af biofilm (Costerton Biofilm Center). Centeret er tværdisciplinært og sigter både på at forstå de grundlæggende mekanismer bag dannelsen af biofilm og på at udvikle nye behandlingsformer til at forstyrre biofilm, med fokus på at forebygge og behandle kroniske betændelsestilstande. Blandt centerets internationalt anerkendte forskere er Professor Niels Høiby, der er tidligere chef for Klinisk mikrobiologisk afdeling på Rigshospitalet og Professor Michael Givskov, der er direktør for centeret.

Stor talentmasse

Greater Copenhagen rummer et stort antal forskertalenter i form af ph.d'er og post docs med indgående viden om de mikrobiologiske processer, der ligger til grund for multiresistente bakterier og udvikling af biofilm. Et meget stort antal institutter ved både DTU og Københavns Universitet beskæftiger sig med forskning relateret til dette område, både medicinsk forskning og forskning inden for det veterinære område.

Alene på Københavns Universitet er der de seneste 5 år optaget ca. 500 ph.d.-studerende på relevante institutter som Biomedicinsk Institut, Institut for Immunologi og Mikrobiologi, Institut for Lægemediddesign og Farmakologi samt Institut for Veterinær Sygdomsbiologi.

En betydelig andel af disse er udannet og trænet under ledelse af regionens mange internationale topforskere inden for det mikrobiologiske og strukturelle biologiske forskningsfelt.

Unikke forskningsfaciliteter

Forskning i antibiotikaresistens bygger bl.a. på avanceret massespektroskopi til studier af proteineres funktion i bakterier. På nationalt plan har Forsknings- og Innovationsstyrelsen besluttet at støtte etableringen af den nationale platform PRO-MS (Danish National Mass Spectrometry Platform for Functional Proteomics) med 40 mio. kr.

Satsningen skal gøre det muligt for bl.a. DTU og Københavns Universitet at

indkøbe og anvende de mest avancerede massespektrometre til studier af proteineres kemiske sammensætning.

I forhold til forskningen i biofilm udgør The Biofilm Test Facility på Københavns Universitet en i international sammenhæng unik forskningsinfrastruktur. Testfaciliteten har bl.a. opbygget stærk kompetence i at producere biomateriale, som kan anvendes af forskere på universiteterne og af en lang række medicinalvirksomheder, der ser biofilm som et nyt forretningsområde.

Stærkt samarbejde med førende internationale forskningsmiljøer

De globalt førende forskningsinstitutioner på dette område er bl.a. en række amerikanske topuniversiteter som Harvard og MIT, samt førende landbrugsuniversiteter, bl.a. INRA i Frankrig. Både DTU og Københavns Universitet hører til blandt top 25 i verden inden for dette område.

Der er et udbygget internationalt forskningssamarbejde mellem miljøerne i Greater Copenhagen og topmiljøer i USA, bl.a. Harvard University. Der er også tætte samarbejder på det veterinære område med førende forskningsmiljøer, herunder bl.a. også med forskere ved Lunds Universitet, der ligeledes er stærke inden for dette område. Biofilm centeret har et tæt samarbejde med bl.a. Singapore Centre of Environmental Life Sciences Engineering.

Udbygget erhvervssamarbejde

Der er et udbygget erhvervssamarbejde på området. På det veterinære område rækker samarbejdet med erhvervslivet lagt tilbage i tiden. Der er i dag et udbygget samspil om bl.a. at udvikle metoder til at begrænse brugen af antibiotika i husdyrproduktionen.

The Biofilm Test Facility samarbejder med en række medicinalvirksomheder, der i stigende grad er begyndt at interessere sig for området, og har indledt forskning og test af nye lægemidler, der retter sig mod biofilm. Biofilm tilbyder state of the art faciliteter for samarbejde og har bl.a. ubegrænset adgang til avanceret udstyr i form af mikroskoper mv. via Core faciliteten for Integrated Microscopy, der er placeret dør om dør med centeret.

Bioenergi



Indhold og anvendelse

Bioenergi skabes ud fra organisk materiale som affald eller planterester. Biomassen kan forbrændes eller bruges til at skabe biogas, som igen kan bruges til opvarmning eller i gasmotorer, fx på de store kraftvarmeverker, eller til højenergiprodukter som fx bioethanol, der kan blandes med benzin. De danske forskere i Greater Copenhagen på både havns Universitet og DTU hører til blandt de bedste i verden - og de kan yde et væsentligt bidrag til at gøre bioenergi billigere ved at optimere alle disse delprocesser fra affald eller planter til brændstof.



Centrale miljøer og stjerneforskere

På bioenergiområdet har Greater Copenhagen et stærkt forskningsmiljø på DTU med hhv. DTU Kemiteknik og DTU Miljø. På Københavns Universitet er der stærke miljøer på Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Biologisk Institut og Kemisk Institut. Institut for Plante- og Miljøvidenskab huser også Copenhagen Plant Science Center. På CBS er koblingen mellem bæredygtighed, bioteknologi og forretningsudvikling et stort tema.

En mulig game-changer på bioenergiområdet er opdagelsen af "omvendt fotosyntese" i foråret 2016 af en gruppe fremtrædende forskere, herunder professorerne Claus Felby fra Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Morten Bjerrum fra Kemisk Institut og Poul Erik Jensen, leder af Copenhagen Plant Science Center. Opdagelsen er et af en række eksempler på nye teknologier, fra Greater Copenhagen forskere, som kan få stor betydning på sigt.



Investeringsfremmepotentiale

Relevansen for investeringsfremme er høj. Danske virksomheder og forskere er blandt de bedste i verden til at udvikle effektive processer til forbrænding af biomasse og har også været involveret i de første bioenergianlæg i Europa, der er etableret i de seneste år. I dag er der i en række lande krav om, at 5,75 pct. af benzin og diesel er biobrændstof. Såkaldt 1. generations biobrændstof (der fremstilles af plantemateriale) udgør i dag det meste af biobrændslerne. Men 2. generations biobrændstof (der er fremstillet fra affald eller planterester), som dansk forskning er rettet mod, er på vej frem.

Karakteristik af forskningsområdet

Forskningen i Greater Copenhagen foregår i en række grupper på Københavns Universitet og på DTU. På Københavns Universitet er de centrale miljøer Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN), Institut for Plante- og Miljøvidenskab (IPM), Copenhagen Plant Science Center, Biologisk Institut og Kemisk Institut. På DTU er der to stærke miljøer på hhv. DTU Kemi-teknik og DTU Miljø.

Forskerne i disse miljøer samarbejder i en række projekter og kombinerer en række forskellige faglige områder og discipliner. Det samlede antal forskere på området udgør i alt ca. 200 fastansatte lektorer og professorer.

Desuden har CBS en bred erhvervsorienteret forskning i bæredygtig forretningsudvikling og understøttelse af biobaseret iværksætteri. Det indbefatter bl.a. Center for Corporate Social Responsibility og Sustainability Platformen, der beskæftiger sig med en lang række aspekter omkring grøn forretningsudvikling og bæredygtighed virksomhedsledelse, samt BioBusiness Innovation Platform (der er et samarbejde mellem CBS, DTU og Københavns Universitet), der fokuserer på biobaseret iværksætteri.

Nicher med international topkvalitet

Forskningen i bioenergi består af en række hovedspor. Et hovedspor er effektive processer til forbrænding af biomasse, som er kompliceret, bl.a. fordi der dannes en række affaldsstoffer, som kan korrodere forbrændingsovnene og som skal håndteres gennem kemiske processer. Et andet hovedspor er omdannelsen af planterester og andet organisk materiale gennem anvendelsen af enzymer og gæringsprocesser. Hertil kommer teknologier baseret på katalysatorer, som ud over at lave bioenergi også kan lave biobaserede kemikalier. Der er endelig en række kemiske teknikker og processer, der kan rense affald for stoffer, der forringer de biologiske processer eller som kan frigøres og bruges i andre sammenhænge.

Der er flere alternative led i værdikæden, som danske forskere og virksomheder behersker. Fra affald og planterester produceres der metan. Metan kan bruges i gasmotorer, til varme eller som råstof til at producere biomethanol (gennem en iltningssproces) eller bioethanol (gennem en gæringsproces), der kan anvendes i forbrændingsmotorer, især til transport. Bioethanol bruges allerede i dag i almindelige bilmotorer sammen med benzin.

Begge brændstoffer koster i dag mere pr liter at fremstille end benzin og diesel, men vil være et nødvendigt led i fremtidens energiforsyning, når de internationale klimaaftaler får effekt, og når EU's kvotepriser på CO₂ stiger.

EU's VE-direktiv fastsætter, at 10 pct. af energien til al landtransport i 2020 skal være bæredygtig. Det er endnu ikke fastlagt, hvordan dette mål præcist skal imødekommes, men det forventes, at den andel heraf, som udgøres af 2. generations biobrændstof, vil være stærkt stigende. Det gør de danske forskningskompetencer på området centrale i en investeringsfremmesammenhæng.

Bibliometriske nøgletal

De bibliometriske indikatorer for forskningsproduktion og -kvalitet viser, at Danmark er i spidsen på området. De bibliometriske tal giver en indikation, men er ikke præcise, fordi "bioenergi" eller "biobrændstoffer" ikke er en afgrænset kategori i Scopus. Inden for kategorierne Environmental Engineering, General Energy og Bioengineering ligger Greater Copenhagen højt. Det samlede volumen er 2414 artikler, hvilket er en samlet førsteplads blandt de 8 metropoler. Men også på excellence ligger forskningen i Greater Copenhagen på en førsteplads.

De mange sampubliceringer afspejler den store virksomhedsinvolvering i forskningen på de nævnte institutter på Københavns Universitet og DTU.

Centrale bibliometriske indikatorer				
	Specialisering	Output rank (andel)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
Environmental engineering	1,98	1 (948)	1 (24,7%)	1 (4,6%)
General energy	1,13	1 (502)	1 (28,1%)	1 (9,7%)
Bioengineering	1,16	2 (964)	2 (24,9%)	1 (10,4%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på Københavns Universitet, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver, at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering >1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagen's placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagen's placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Forskningen på energiområdet har meget stor samfundsrelevans. Den grønne omstilling til et fossilfrit samfund forudsætter, at energiteknologierne udvikles og bliver billigere. Danmark er allerede foregangsland på den grønne omstilling og vil fortsat have mulighed for at høste meget væsentlige gevinster på dette område, også i de kommende år. I takt med, at EU i de kommende år strammer målsætningerne om at udlede mindre CO₂ og at øge den vedvarende energis andel, skal andre lande også øge bioenergiens andel af energiforbruget, især i transportsektoren. Her kan de lære af de danske erfaringer og drage fordel af danske forskeres og virksomheders kompetencer.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

Centrale forskere på Københavns Universitet er professor Claus Felby fra Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning og professor Morten Bjerrum fra Kemisk Institut, som er to af nøglepersonerne i den gruppe, som i foråret 2016 offentliggjorde den såkaldte "omvendte fotosyntese", som er et af en række eksempler på teknologier, der væsentligt kan fremme bioenergiområdet.

Gruppen har opdaget en proces i naturen, som går ud på, at solens stråler bruges til at nedbryde plantemasse i stedet for at opbygge den, som vi kender det fra fotosyntesen. Solens stråler kan sammen med planternes klorofyl og et enzym nedbryde plante-biomassen til fx kemiske stoffer, bio-brændsel eller andre værdiprodukter, som det ellers tager lang tid at producere. Opdagelsen kan fremme den industrielle produktion af bioenergi ved at øge produktionshastigheden og reducere forureningen.

På Institut for Plante- og Miljøvidenskab på Københavns Universitet er Poul Erik Jensen, som også har været med i gruppen bag omvendt fotosyntese, en central person som leder af Copenhagen Plant Science Center og profes-

sor i molekylær plantebiologi.

På DTU er der også en række centrale forskere. På DTU Miljø er Irini Angelidaki verdens mest citerede forsker på området for Biosystems engineering og biogas - et område, som også omfatter bioraffinaderier. En anden forsker er Thomas Fruergaard Astrup, der forsker i affald og ressourcer og er leder af Center for Residual Ressource Engineering.

På DTU Kemiteknik er fremtrædende forskere Anne Strunge Meyer (enzym, ensilage og fermenteringsprocesser), Anker Degn Jensen (katalyse), Peter Glarborg (forbrænding og forgasning) og Kim Dam-Johansen (forbrænding og pyrolyse). DTU Kemiteknik har bl.a. medvirket til at udvikle processer, der gennem pyrolyse kan omdanne halm til biobrændstof i små, decentrale anlæg, som kan reducere omkostningerne til transport af halm betydeligt.

Inden for CBS' Sustainability Platform forskes der bl.a. i grøn innovation og nye forretningsmodeller, herunder hvordan virksomheder kan optimere ressourceforbruget og transformere forretningsmodeller i lyset af stigende råvarepriser og klimaforandringer.

Stor talentmasse

Både Københavns Universitet og DTU uddanner et betydeligt antal talenter på området. De involverede institutter på Københavns Universitet uddanner flere hundrede kandidater hvert år, hvoraf mindst 200 har beskæftiget sig med en eller flere af de beskrevne teknologier. Det samlede antal ph.d.ere, som beskæftiger sig med området, og som færdiggør deres forskeruddannelse, udgør mellem 50 og 100 årligt. På DTU uddannes lidt færre.

CBS tilbyder i samarbejde med Københavns Universitet og DTU en kandidatuddannelse i Business administration and Bioentrepreneurship, der udklækkede 13 færdiguddannede i 2015.

Unikke forskningsfaciliteter

I de sidste 10 år er der investeret et betydeligt beløb i forskningsinfrastruktur på de institutter på Københavns Universitet og DTU, der er involveret i bioenergi. Institutterne for Geovidenskab og Naturforvaltning, Kemi og Biologi har samlet investeret for flere hundrede mio. kr. i ny forskningsinfrastruktur i de seneste 5 år, bl.a. i state-of-the-art udstyr til spektroskopi, massespektrometri og røntgenkrystallografi.

På DTU er der også investeret for flere hundrede mio. kr. i ny forskningsinfrastruktur, som er helt i top internationalt.

Stærkt samarbejde med førende internationale forskningsmiljøer

Forskerne i Greater Copenhagen samarbejder med ledende forskere på det bioteknologiske område i hele verden. DTU har således et tæt samarbejde med forskere på Lunds Universitet (som forsker i genanvendelse af organisk affald), på Helsinki Universitet (som bl.a. forsker i anvendelse af træ og cellulose til energimæssige formål) samt på Stanford University (som bl.a. forsker i katalyse til energiformål). Forskerne på Københavns Universitet har tætte relationer til forskningsmiljøer i USA på Berkeley, MIT, University of Wisconsin, University of Illinois og Oakridge, Colorado.

Udbygget erhvervssamarbejde

De danske forskningsmiljøer har tradition for et tæt erhvervssamarbejde. På forbrændingsområdet hører B&W Energy, (Burmeister & Wain Energy), BWSC (Burmeister og Wain Scandinavian Contractors) og B&W Vølund (Babcock & Wilcox Vølund) til blandt de mest innovative i branchen globalt. FL Smidth, der fremstiller anlæg til fremstilling af cement, benytter endvidere i dag i betydelig udstrækning biomasse og affald/sidestrømme i anlæggene.

Haldor Topsøe har udviklet effektive katalytiske processer til omdannelse af biomasse til benzin og naturgas, og udvikler processer til fremstilling af biokemikalier, herunder biobaserede monomerer til fremstilling af bioplast. På biobrændselsområdet er det især Novozymes og DONG, der er de centrale

samarbejdspartnere.

DONG ejer virksomhederne Renescience og Inbicon og har investeret mere end 1 mia. kr. i udviklingen af disse virksomheder og andre bioenergi projekter. Renescience producerer biogas samt gødning mv. på basis af især husholdningsaffald, og har leveret affaldsanlæg til danske kommuner samt kunder i Europa og Asien. Inbicon producerer bl.a. bioethanol ud fra planterester, hvor ligning og cellulose omdannes til sukker, der videreforarbejdes til biobrændstoffer.

DONG leverer i 2017 et betydeligt anlæg til Northwich i UK, som skal håndtere husholdningsaffald fra 110.000 husstande. DONG har leveret et antal lignende anlæg med salg af licenser, men Northwich-anlægget bliver det første, som DONG både bygger, ejer og driver.

Også Novozymes har investeret betydelige beløb i udviklingen af enzymer og er både en vigtig leverandør til Renescience og Inbicon samt til andre større bioenergianlæg i hele verden.

Forskningen har også ledt til teknologier, der anvendes af start-ups på området, og i samarbejde med udenlandske virksomheder. Et eksempel er Aikan, der er et datterselskab i Solumgruppen, som blev etableret for godt 10 år siden. Aikan sælger Biovækst-anlæg, der separerer madaffald til biogas og gødning.

Målt på innovationer, patenter og spinouts er bioteknologi og bioenergi langt fremme. På DTU er bioenergi-området det største af de 12 udvalgte områder i denne analyse, når man måler på antallet af innovationer, som er registreret af DTU's centrale innovationsafdeling. Det samme gælder på Københavns Universitet, hvor bio-området tegner sig for ca. 15 pct. af alle registrerede innovationer på hele universitetet de sidste tre år.

"Vi tror, at både Renescience og Inbicon bliver rentable, og at grøn energi bliver et vigtigt vækstområde. Disse grønne virksomheder har selvfølgelig ansat mange af de talenter, der er udviklet på vores universiteter, der er langt fremme på bioenergiområdet. Vi vil være med til at sikre, at mindst halvdelen af den el og varme, der kommer fra vores kraftværker i 2020, er baseret på bæredygtig biomasse i stedet for kul og gas."

Niels Henriksen, senior manager, DONG

"Biofuels constitute a small but rapidly growing part of the global energy supply. They are a renewable energy source with the potential to reduce CO2 emissions from the transport sector and create economic opportunities for rural areas and developing countries. Thus, biofuels will be an important part of the energy mix of the future. That's why we are investing in this area."

Johan Mogensen, direktør, Novozymes

"Som en lille, udviklingsbaseret virksomhed er det vigtigt for os at være i et miljø, hvor der er et godt samspil mellem den mere teoretiske forskning og den mere praktiske virkelighed hos os. Og det er der i høj grad i Danmark."

Morten Brøgger, teknologichef, Aikan

Cancerforskning



Indhold og anvendelse

Greater Copenhagen huser en bred vifte af stærke forskningsmiljøer inden for onkologi (cancerforskning). Regionen rummer både internationalt førende forskningsmiljøer med fokus på grundlæggende sygdomsforståelse, cancerdiagnostik samt miljøer med fokus på udvikling og test af nye behandlingsmetoder.

Cancerforskningen er bredt forankret ved både Københavns Universitet, DTU, Rigshospitalet samt en række af regionens øvrige hospitaler.



Centrale miljøer og stjerneforskere

Den basale cancerforskning foregår primært på Københavns Universitet, hvor BRIC og det nye Stamcellecenter tilsammen danner ramme om et stort antal internationalt førende forskergrupper. Blandt de førende er Kristian Helin, der også er leder af BRIC. DTU har førende miljøer inden for bl.a. immunterapi samt bioinformatik med fokus på cancer ved brug af avancerede supercomputere.

På Rigshospitalet findes både internationalt førende miljøer inden for cancerdiagnostik via PET-scanning og avanceret billediagnostik. Rigshospitalet huser også Fase 1-enheden, der er en internationalt førende enhed for tidlig klinisk afprøvning af nye typer af kræftbehandling.



Investeringsfremmepotentiale

- Der er stærke miljøer inden for hele kæden; fra basal medicinsk forskning, klinisk forskning og cancerdiagnostik til førende miljøer inden for kliniske test af nye behandlingsformer.
- Onkologi er globalt set et af de områder, hvor private biotekvirksomheder investerer mest i forskning og udvikling.
- Der er høj grad af åbenhed overfor erhvervssamarbejde i mange af de førende miljøer.
- Meget stor pool unge, talentfulde forskere, der kan hjælpe virksomheder med at forstå den nyeste forskning og omsætte forskningsresultater til nye typer af behandling.

Karakteristik af forskningsområdet

Den stærke forskning inden for cancer (onkologi) er forankret ved sundhedsvidenskabelige institutter på både Københavns Universitet og DTU samt ved en række førende kliniske forskningsmiljøer ved regionens hospitaler.

Greater Copenhagen rummer international topforskning inden for både basal sygdomsforståelse i forhold til, hvordan cancer opstår og spredes - til topforskning i avancerede metoder til effektiv diagnostik, samt førende miljøer med ekspertise i test og afprøvning af nye behandlingsformer.

Nicher med international topkvalitet

Inden for basal onkologisk forskning har Greater Copenhagen bl.a. førende forskningsmiljøer inden for epigenetik, kræftstamceller samt forskning i kræftens signalveje og biomarkører. Den medicinske forskning trækker bl.a. på forskning inden for bioinformatik og avancerede metoder til at afdække mønstre og identificere nye biomarkører på grundlag af store mængder af biologiske data.

Greater Copenhagen har også førende miljøer inden for cancerdiagnostik og test. Rigshospitalets afdeling for Fysiologi og Nuklear Medicin er blandt Europas største og førende, når det gælder "molecular imaging" og forskning i nye sporstoffer til diagnostiske formål (PET-scanning). Afdelingen har bl.a. et tæt samarbejde med forskere fra Biomedicinsk Institut på Københavns Universitet og med forskere fra DTU.

En anden vigtig styrke inden for cancerområdet er Rigshospitalets Fase 1-enhed, der er blandt Europas førende enheder til tidlige kliniske test af nye typer af kræftbehandling. Der er de seneste år sket en markant stigning i antallet af udenlandske firmaer, som vælger at lade nye behandlingsformer teste via enheden på Rigshospitalet. I 2016 forventes 30 test gennemført. Den kraftige fremgang skyldes bl.a., at Fase 1-enheden, som en af de eneste i Europa, tilbyder en fuld gensekventiering af alle patienter. Senest er der

etableret et bredt samarbejde med alle landets kræftafdelinger om patientrekruttering. Det betyder, at udenlandske virksomheder kan få designet mere skræddersyede test af nye lægemidler og behandlingsløsninger.

Bibliometriske nøgletal

De bibliometriske indikatorer for forskningsproduktion og -kvalitet dokumenterer, at Greater Copenhagen indtager en klar førerposition i Europa, når det gælder forskning inden for onkologi og cancerrelateret forskning, jf. tabel 1.

Tilsammen har forskere fra Københavns Universitet og DTU de seneste ti år offentliggjort knap 3700 forskningsartikler i internationalt anerkendte tidskrifter. Det samlede antal publiceringer er dog mindre end i en række af sammenligningsregionerne. Greater Copenhagen er kun nummer fem målt på antal publiceringer sammenlignet med de øvrige europæiske metropoler. Og relativt set udgør cancerforskningen en mindre del af den samlede forskning i Greater Copenhagen, end i sammenligningsregionerne.

Til gengæld er kvaliteten af forskningen høj. Målt på andelen af forskningsartikler, som er blandt de 10-procent mest citerede på feltet, indtager Greater Copenhagen en plads som nummer to. Og målt på andel af forskningen, der er sampubliceringer med private virksomheder, er Greater Copenhagen nummer et blandt sammenligningsregionerne.

Centrale bibliometriske indikatorer				
	Specialisering	Output rank (antal)	Højtciterede artikler rank (andel).	Sampubliceringer rank (andel)
Oncology	0,83	5 (2080)	2 (19,4%)	1 (5,3%)
Theoretical Computer Science	0,78	5 (1603)	2 (18%)	1 (7,5%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på KU, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver, at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering >1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Hvert år diagnosticeres omkring 14 mio. mennesker med cancer på verdensplan. Og cancerområdet er et af de medicinske forskningsområder, hvor der investeres flest midler i forskning og udvikling.

Et stort antal globale medicinalvirksomheder investerer på tværs af grænserne for at få adgang til ny viden, adgang til talent og for at gennemføre udvikling og test af nye, mere effektive kræftbehandlingsformer.

Greater Copenhagen har forskningsmæssige styrker inden for hele værdikæden, fra basal medicinsk forskning, klinisk forskning og diagnostik samt særligt gode rammer for test og afprøvning af ny cancermedicin og nye kræftbehandlingsformer.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

Regionen rummer en række stjerneforskere inden for en vifte af områder relateret til cancerforskningen. Der er en række stærke forskergrupper på bl.a. BRIC og Stamcellecenteret på Københavns Universitet og på DTU bioinformatik. Et eksempel på en af regionens stjerneforskere er Kristian Helin, der er leder af BRIC og

Helin Group, som arbejder med at forstå de grundlæggende mekanismer bag cancercellers udvikling og vækst. Kristian Helin er også leder af et Grundforskningscenter, der fokuserer på epigenetik og modtog i 2012 et advanced ERC-grant på 2.3 mio. EUR.

Der er de senere år opnået en række forskningsmæssige gennembrud, som er vigtige skridt på vejen til mere målrettet kræftbehandling og en egentlig kur mod cancer.

Blandt andet har Professor Ali Salanti fra Institut for Immunologi og Mikrobiologi på Københavns Universitet, sammen med en international forskergruppe, udviklet ny metode til at føre giftstoffer målrettet frem til cancercel-

lerne. Foreløbige forsøg tyder på, at metoden kan dræbe op mod 95 procent af alle typer af cancerceller. Det er forskergruppens ambition at udvikle og teste teknologien med henblik på, at skabe en effektiv kur mod cancer, som kan testes i mennesker inden for få år.

Henrik Clausen, på Institut for Cellulær og Molekylær Medicin, driver grundforskningscenteret for Glycomics. Centeret har bl.a. udviklet et antistof "5E5", der har vist sig ekstremt lovende i eksperimentel behandling af tumorer, og forventes anvendt i immunterapi i kliniske tests inden for de næste par år. Ligeledes på Institut for Cellulær og Molekylær Medicin har Ian Hickson med sit Grundforskningscenter for Kromosomstabilitet meget lovende resultater med hæmning af DNA reparation i tumorceller.

Stor talentmasse

Der er en meget stor pool af talentfulde postdocs og ph.d'er og kandidater med specialeområder inden for en vifte af discipliner relateret til cancer i området. Greater Copenhagen giver adgang til højt kvalificerede kandidater, der har erfaring med at samarbejde med regionens mange dygtige, internationalt anerkendte forskere.

Alene på Københavns Universitet er der de seneste 5 år optaget mere end 500 ph.d'er på institutter med en stærk profil inden for cancerforskning, bl.a. På Biomedicinsk Institut, BRIC, Institut for Farmakologi og Lægemiddeldesign og Institut for Cellulær og Molekylær Medicin (ICMM).

Også på DTU uddannes hvert år et betydeligt antal ph.d'er og kandidater inden for vigtige discipliner, der relaterer sig til cancerområdet. Bl.a. inden for bioinformatik mv., hvoraf mange er eksperter i "big data-analyser" af biologiske data ved brug af kraftfulde supercomputere.

Unikke forskningsfaciliteter

Regionens universiteter, hospitaler mv. råder over avanceret, state-of-the-art forskningsinfrastruktur, det gælder bl.a.:

- Fase 1 Enheden på Rigshospitalet, der tilbyder state-of-the-art klinisk testservice med effektiv patient rekruttering og komplet gensekventering af patientgrundlaget. Enheden er førende i Europa inden for målrettet forsøg med nye lægemidler på cancerområdet. Fase 1 enheden har etableret et effektivt samarbejde om rekruttering af kræftpatienter til kliniske forsøg via det nationale samarbejde NEXT, der involverer onkologiske afdelinger i hele Danmark.
- DTU Bioinformatik har bygget en af verdens 100 kraftigste supercomputere, som kan håndtere enorme mængder biologiske data, der kan danne grundlag for udvikling af nye lægemidler. Supercomputeren er en del af den europæiske forskningsinfrastruktur ELEXIR.
- Danmarks Nationale Biobank, der indeholder mere end 16 millioner biologiske prøver og mulighed for at koble biologiske prøver med individbaserede sundhedsdata mv.
- State-of-the-art udstyr til diagnostik og medicinsk billeddannelse – bl.a. er der investeret omkring en kvart milliard kr. i avanceret udstyr til PET/CT-scanning ved Rigshospitalet og ved Cluster for Molecular Imaging, der driver en core facilitet til molekulær billeddannelse i forsøgsdyr.

Stærkt samarbejde med internationalt førende forskningsmiljøer

De globalt førende forskningsmiljøer inden for onkologi og cancerforskning findes primært i USA – bl.a. ved Harvard University, John Hopkins og ved Oxford University i England.

De stærke cancerforskningsmiljøer i Greater Copenhagen har samarbejder med en lang række af de globalt førende miljøer, og bl.a. Københavns Universitet rangerer blandt top 50 over de stærkeste cancer-forskningsmiljøer.

Også miljøerne på Rigshospitalet har et veludbygget samarbejde med globalt førende forskningscentre. Bl.a. indgår Fase 1 Enheden på Rigshospitalet i et tæt samarbejde med de absolut stærkeste fase 1 enheder i Europa. Rigshospitalets enhed er bl.a. tovholder på en række større kliniske test, der involverer patienter fra andre landes fase 1 enheder.

Udbygget erhvervssamarbejde

De stærke forskningsmiljøer inden for cancerområdet har et meget veludbygget samspil med erhvervslivet. Greater Copenhagen rangerer som nummer et blandt sammenligningsregionerne målt på sampubliceringer med erhvervslivet, både inden for områderne onkologi og cancer forskning (se tabel side 2).

Der er også flere gode eksempler på, at cancerforskningen har skabt grundlag for nye patenter og spin-out virksomheder. På DTU er der de seneste fem år anmeldt syv nye opfindelser inden for cancerområdet, og på Københavns Universitet har forskningen ført til flere succesfulde spin-out virksomheder.

Et af de mest succesfulde eksempler er virksomheden EpiTherapeutics, der baserede sig på forskning inden for epigenetik fra BRIC. EpiTherapeutics blev i 2015 solgt til en stor amerikansk virksomhed for knap en halv milliard kroner (se boks i spalte til højre).

Der er også et meget veludbygget samarbejde med internationalt førende medicinalvirksomheder inden for cancerområdet ved Fase 1 Enheden ved Rigshospitalet.

I de seneste tre år er antallet af tidlige kliniske test udført for udenlandske medicinalvirksomheder steget støt. I 2015 blev der gennemført ca. 20 kliniske test af ny cancermedicin. I 2016 forventes ca. 30 virksomheder af få afprøvet nye kræftbehandlingsformer via Fase 1 Enheden, der er blandt de førende i Europa og, som en af de eneste Fase 1-enheder, tilbyder en komplet gensekventering af patientgrundlaget.

Spin out-virksomhed solgt for knap en halv milliard kr.

EpiTherapeutics blev etableret i 2008 af Kristian Helin i samarbejde med bl.a. en række danske ventureselskaber; NOVO Seeds, SEED Capital, Lundbeck Emerge.

Virksomheden byggede på banebrydende forskning inden for epigenetik og cancer, som Kristian Helin og hans forskerkolleger på BRIC på Københavns Universitet har stået i spidsen for. Forskning blev patenteret, og senere licenseret af EpiTheapeutics baseret på en aftale med Københavns Universitet

Epigenetik handler om at forstå årsagerne bag celleforandringer, som ikke skyldes arveligt betingede forhold knyttet til cellernes DNA. Forskningen ved BRIC førte til opdagelse af en ny proteinfamilie og har givet en ny forståelse af centrale mekanismer, der kan hhv. betinge og begrænse kræftcellers udvikling og vækst.

EpiTherapeutics arbejdede med at udvikle og omsætte de forskningsmæssige opdagelser vedrørende bestemte proteiner og enzymer centrale rolle for forskellige typer af kræftcellers udvikling til nye behandlingsformer og ny kræftmedicin.

EpiTherapeutics arbejdede endvidere med en række udviklingsprogrammer, der skulle bringe nye innovative kræftbehandlingsformer frem til de tidlige stadier af prækliniske test.

EpiTherapeutics blev i 2015 solgt for i alt 444 mio. kr. til den amerikanske farmavirksomhed Gilead Sciences, der er en global virksomhed specialise-

Metabolisme og diabetes



Indhold og anvendelse

Greater Copenhagen huser en af verdens absolut førende forskningsklynger inden for metabolisme, stofskifte- og livsstilsrelaterede sygdomme som diabetes og fedme.

Diabetes og overvægt er i kraftig global vækst og rummer et milliardmarked for de virksomheder, der formår at omsætte forskning til bedre, mere effektive behandlingsformer samt forebyggelse gennem nye, sunde fødevarer, kostregulering mv.



Centrale miljøer og stjerneforskere

Regionen rummer et velfungerende økosystem, der både omfatter medicinsk og klinisk topforskning inden for cellebiologi og molekylær farmakologi. København huser endvidere topforskning relateret til ernæring og motion, herunder forskning i, hvordan fysisk aktivitet og kost påvirker kroppens funktion og bidrager til at forebygge og afhjælpe livsstilsrelaterede sygdomme. Det er forskere fra Københavns Universitet, der står bag den teknologi (GLP-1), som er en af hjørnestenene i moderne diabetes- og fedmebehandling. Forskningen er fordelt på en række institutter på Københavns Universitet samt DTU, og er de senere år blevet styrket betydeligt med en meget stor bevilling fra Novo Nordisk Fonden til etablering af Center for Metabolisme. Der er et velfungerende samspil mellem forskergrupperne, herunder også et stærkt samspil mellem forskere, der arbejder med den basale forståelse af stofskifte-mekanismer og forskere med specialer i ernæring, motion og sundhed.



Investeringsfremmepotentiale

- En stærk tradition for forsknings-erhvervssamarbejde inden for metabolisme-, diabetes- og fedmeforskning.
- En betydelig produktion af ph.d'er, postdocs og attraktive kandidater, som udenlandske virksomheder nemt kan tappe ind i.
- Et verdensførende økosystem for diabetesforskning, som er tilført milliardinvesteringer i hele kæden, fra basal medicinsk forskning til topmoderne centre for effektiv diabetesbehandling på regionens hospitaler.

Karakteristik af forskningsområdet

Den stærke forskning inden for metabolisme og diabetes er forankret ved institutter på både Københavns Universitet og DTU samt i kliniske forskningsmiljøer ved regionens hospitaler. Greater Copenhagen har topforskning inden for hele spektret lige fra basal medicinsk forskning i forståelse af fysisk aktivitet, hormoner og enzymeres rolle for forbrænding og appetit, til klinisk forskning i behandling, diagnostik og forebyggelse af diabetes og fedme.

Den forskningsmæssige tyngde er centreret på Københavns Universitets Nørre Campus samt størstedelen af det Sundhedsvidenskabelige Fakultet har til huse, herunder Biotech Research and Innovation Center (BRIC) samt det af Novo Nordisk Fonden finansierede Center for Basic Metabolic Research.

Nicher med international topkvalitet

Forskningen i Greater Copenhagen rummer bl.a. international topforskning i hormoners betydning for appetitregulering. Forskningen har lagt grunden til en række nye behandlingsformer og medicinske præparater til behandling af type-2 diabetes. Både når det gælder basal forskning i endokrinologi og metabolisme, og forskning i den rolle, som ernæring og motion spiller for forebyggelse og afhjælpning af diabetes og fedme, har Greater Copenhagen forskningsmiljøer i den internationale elite (jf. afsnittet om bibliometriske nøgletal).

En af Greater Copenhagens særlige styrker er også et velfungerende samspil mellem de stærke nicher. Bl.a. arbejder forskere inden for ernæring med at omsætte resultater fra den basale endokrinologiske forskning til ny indsigt om kostsammensætning og motion, så vel som metoder til at forebygge og afhjælpe livsstilsrelaterede sygdomme.

Forskningen udnyttes bl.a. af fødevarevirksomheder til at udvikle fødevareprodukter med særlige egenskaber, som begrænser risikoen for type-2 dia-

betes, overvægt, mv. Der er allerede i dag et betydeligt samspil mellem internationale fødevareproducenter og forskere i ernæring og diætetik.

Bibliometriske nøgletal

De bibliometriske indikatorer for forskningsproduktion og -kvalitet dokumenterer, at Greater Copenhagen indtager en klar førerposition i Europa, når det gælder forskning inden for metabolisme, endokrinologi, fysisk aktivitet samt ernæring/diætetik, jf. tabel 1.

Forskere fra Københavns Universitet og DTU har de seneste ti år offentliggjort tæt ved 3500 forskningsartikler i internationalt anerkendte tidsskrifter. Det bringer Greater Copenhagen ind på en førsteplads blandt sammenligningsregionerne, målt på samlet forskningsoutput.

Greater Copenhagen er endvidere stærkt specialiseret, hvilket vil sige, at forskning inden for metabolisme og ernæring udgør en betydeligt større andel af forskningsproduktionen i Greater Copenhagen, end det er tilfældet i de relevante europæiske sammenligningsregioner.

Endelig ligger Greater Copenhagen også i front blandt sammenligningsregionerne med hensyn til forskningskvalitet, opgjort som andel publikationer, der er blandt de ti procent mest citerede inden for forskningsfeltet på verdensplan.

Centrale bibliometriske indikatorer				
	Specialisering	Output rank (antal)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
Endokrinologi, metabolisme, diabetes	1,7	1 (2436)	1 (21,9%)	1 (26%)
Ernæring og diætetik	1,7	1 (926)	1 (19,7%)	1 (8,5%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på KU, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver, at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering >1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Stofskifterelaterede sygdomme er i vækst på globalt plan, både i Vesten samt i store vækstøkonomier som Indien, Kina, Brasilien og i Mellemøsten.

Allerede i dag lider omkring 390 mio. mennesker på globalt plan af diabetes 2. I 2035 forventes dette tal at være tæt ved 600 mio. Markedet for nye medicinske produkter, behandlingsformer og nye, sunde fødevarer, der kan forebygge og afhjælpe fedme, diabetes-2 og andre livsstilsrelaterede sygdomme, er stort og i hastig vækst.

Greater Copenhagen har en klar forskningsmæssig styrkeposition, der afspejles i de parametre, som er centrale i et investeringsfremmeperspektiv. Forskningen i livstilsrelaterede sygdomme er interessant for en meget bred vifte af udenlandske virksomheder. Dette gælder både virksomheder, der arbejder med udvikling af nye lægemidler rettet mod diabetes og overvægt; fødevarereproducenter, der udvikler nye, sunde fødevarer, samt virksomheder, der arbejder med behandling og forebyggelse, fx udviklere af nye personlige sundheds-devices mv.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

Professor J. J. Holst fra Københavns Universitet er internationalt anerkendt som en af de topforskere, der stod bag opdagelsen af den GLP-1 teknologi, der danner grundlag for bl.a. Novo Nordisk seneste blockbuster-produkt "Victoza" til behandling af type 2 diabetes og svær overvægt. J.J. Holst er i foråret 2016 blevet tildelt et ERC grant på 20 mio. kr, og modtog i 2013 "Den lille Nobelpris" i form af Anders Jahre-prisen og Fernström Prisen. J.J. Holst er i dag både forskningsdirektør på det, af Novo Nordisk Fonden, støttede metabolismecenter og viceinstituttleder på Biomedicinsk Institut.

En anden stjerneforsker på området er professor Oluf Borbye Pedersen, der forsker i tarmbakterier og deres betydning for insulinresistens og fedme. Oluf Borbye Pedersen og hans forskerkolleger har via analyser af store

mængder biologiske data påvist, at insulinresistens er tæt knyttet til udbredelsen af særligt to typer af tarmbakterier. Denne opdagelse åbner helt nye muligheder for at forstå og behandle overvægt og type-2 diabetes ved at påvirke tarmkulturen, fx via målrettet kost etc.

På Institut for idræt og ernæring findes ligeledes en række internationalt anerkendte forskere. Det gælder blandt andet professor Arne Astrup, der har ledet flere internationalt anerkendte forskningsprojekter om ernæring, motion og fedme, og bl.a. påvist hvordan protein, fedt og kulhydrater påvirker appetitten forskelligt, og dermed vist vej til mere effektive behandlinger af overvægtige og prædiabetikere.

En anden profil på området er professor Erik A. Richter, der forsker i molekylær fysiologi med fokus på sammenhænge mellem motion, muskelopbygning og betydningen af motion for stofskifteprocesser, herunder betydning for øget insulinfølsomhed hos raske og type-2 diabetikere.

Forskernes arbejde har resulteret i et stort antal højt citerede forskningsartikler og bl.a. skabt grundlag for et udbygget forskningssamarbejde med både danske og internationale virksomheder inden for fødevarerindustrien

Stor talentmasse

På metabolisme og diabetesområdet optages årligt et stort, to cifret antal ph.d.-studerende, som får mulighed for at udvikle deres talent under ledelse af regionens mange stjerne-forskere. På Center for Basic Metabolic Research på Københavns Universitet er der siden oprettelsen i 2011 optaget 43 ph.d.-studerende. Derudover optages et tilsvarende antal ph.d.-studerende med speciale inden for metabolisme og livsstilsrelaterede sygdomme på bl.a. Biomedicinsk institut og Institut for Idræt og Ernæring.

Der er et udbygget og tæt samspil mellem universiteterne og de store virksomheder om dele af ph.d.-produktionen. Bl.a. finansierer Novo Nordisk årligt omkring 30 ph.d.-stipendier til unge forskere, der ønsker at tage en forskeruddannelse inden for emner relateret til Novos forretningsområder.

På CBS uddannes årligt en række nye kandidater og ph.d'er med specialer inden for bioteknologi. CBS driver i samarbejde med Københavns Universitet og DTU Bio Business Innovation Platform (BBIP), der fokuserer på at styrke entreprenørskabskompetencer inden for life science. Platformen udbyder bl.a. specialiserede forløb inden for Innovation and Strategy in Biobusiness, Finance, Accounting and Valuation in Bio Business, mv. CBS tilbyder også verdens første kandidatuddannelse inden for Business Administration and Innovation in Health Care, møntet på innovation og forretningsudvikling i sundhedssektoren.

Unikke forskningsfaciliteter

Regionens universiteter, hospitaler mv. råder over avanceret, state-of-the-art forskningsinfrastruktur, hvor bl.a. investeringen på 850 mio. kr. i Metabolismecenteret har bidraget til at skabe optimale rammer omkring forskningen. Forskningsinfrastrukturen omfatter blandt andet:

- Unikke biobanker med biologisk materiale samt mulighed for at koble med data fra elektronisk patientjournal mv.
- Unikt persondataregister og stor ekspertise i at gennemføre store randomiserede studier.

Derudover er der indgået aftale om at etablere regionale supercentre for diabetesbehandling mellem Region Hovedstaden og Novo Nordisk Fonden. Det er aftalt at etablere et verdensledende center for diabetesbehandling på Herlev Hospital, som skal integrere førende behandlingstilbud og forskning. Novo Nordisk Fonden har givet tilsagn om at investere 2.8 mia. kr. i det nye center, der skal stå færdigt i 2020

Stærkt samarbejde med førende internationale forskningsmiljøer

Der er et tæt og velfungerende samarbejde mellem forskningen ved metabolismecenteret og andre relevante forskningsmiljøer på bl.a. Biomedicinsk institut og Institut for Idræt og Ernæring samt relevante miljøer på DTU inden for bl.a. bioinformatik og drug delivery. Der er endvidere et udbygget samarbejde med førende miljøer i USA (bl.a. University of Massachusetts og Harvard), Karolinska i Sverige og førende miljøer i Kina og Australien.

På området for endokrinologisk forskning rangerer Københavns Universitet nummer to i verden - både når der måles på samlet forsknings output og på forskningskvalitet målt som andel af forskningsartikler, der er blandt de ti procent mest citerede. Københavns Universitet bliver kun overgået af Harvard University i Boston, USA.

Udbygget erhvervssamarbejde

Der er en lang tradition for et tæt samarbejde mellem forskning og erhverv på området for metabolismeforskning, hvor det i høj grad er universitetsansatte forskere, der laver de grundlæggende opfindelser, mens arbejdet med at omsætte opdagelserne til nye lægemidler og behandlingsformer foregår i et tæt samspil mellem de universitetsansatte forskere og forskere i virksomheder som bl.a. Zealand Pharma, Novo Nordisk, m.fl.

Greater Copenhagen rangerer som nummer 1 blandt de europæiske sammenligningsregioner, når der måles på andelen af offentliggjorte forskningsartikler, der er blevet til i et samarbejde med privatansatte forskere i virksomheder. De stærke forskergrupper ved bl.a. Metabolismecenteret har alle et stærkt fokus på at deres forskning også skal bringes i anvendelse og føre til nye, effektive behandlingsformer.

Der er et udbygget samspil med en lang række international farmavirksomheder som bl.a. Merck, Sanofi m.fl.

Metabolismecenteret på Københavns Universitet

"Vi har samarbejder med en meget bred vifte af de store globale farmavirksomheder. Novo er selvfølgelig en central samarbejdspartner, men vi har også mange andre samarbejder - fx har vi også et tæt samarbejde med Merck Sharp & Dohme. Vi forsøger på mange måder at bringe vores forskning i anvendelse. Vi har fx også gang i to nye spin out virksomheder inden for området og det tegner meget spændende alt sammen."

Professor Jens Juul Holst, Metabolismecenteret

Novo Nordisk

"Jeg er altså nødt til at minde om, at de grundlæggende opdagelser, som vi nu er blevet styrtende rige på, er foregået på universiteterne. Vi omsætter og opfinder så lægemidler på basis af de opdagelser."

Jeg har jo Ole Opfindere ude i mine laboratorier, men den grundlæggende opdagelse har vi aldrig nogensinde lavet. Vi får ofte masser af hæder og ære i medierne, men den virkelige hæder og ære burde meget ofte tilfalde universiteterne og samarbejdet mellem universiteterne og os."

Mads Krogsgaard Thomsen, Forskningsdirektør hos Novo Nordisk i Berlingske Tidende 1. maj 2016.

Zealand Pharma:

"Tilbage i 1998 boede Zealand som nystartet virksomhed til leje i laboratorielokaler på Landbohøjskolen i København. Her blev præparatet ZP10, nu benævnt lixisenatid, opfundet som resultat af et utilsigtet lykketræf – i dag et godkendt lægemiddel forberedt til global markedsføring af Zealands partner Sanofi."

Kilde: Zealand Pharma, Årsrapport 2012.

Fødevarer og fermentering



Indhold og anvendelse

København (og Danmark) huser et af de stærkeste europæiske miljøer for fødevareforskning. Styrkepositionen er til dels vokset ud af landbrugets og de store fødevarevirksomheders historiske betydning i Danmark. I de seneste årtier har det dog særligt været udviklingen af højværdifødevarer, enzymer samt fødevaresikkerhed, som har tegnet forskningen.

Fermentering er kemiske processer, der er drevet af mikroorganismer, fx mælkesyrebakterier eller gærceller. Forskningsområdet er opdelt mellem fødevarefermentering og anvendelse af fermenteringsprocesser i fremstillingen af bio-brændsler, kemikalier og materialer. Området har store fremtidige potentialer.



Centrale miljøer og stjerneforskere

Forskningen breder sig ud over en række institutter, og har mange forskningsmæssige snitflader, fx til sundhedsforskningen, biotek og plantevidenskaben. De to centrale miljøer på fødevareområdet er KU FOOD samt DTU Fødevareinstituttet.

Fødevarefermentering er centreret på KU FOOD, mens DTU arbejder med fermentering inden for biotek. Det omfatter milliardsatsningen Biosustain" på DTU, som forsker i anvendelsen af gærceller som cellefabrikker, der kan anvendes til bæredygtig fremstilling af materialer, kemikalier og brændstoffer samt forskere på DTU Kemiteknik og DTU Bioengineering.



Investeringsfremmepotentiale

Investeringsfremmepotentialet er stort set i lyset af en stigende global efterspørgsel på højværdifødevarer. Sammen med Danmarks avancerede industrielle fødevareproduktion har forskningen i mange år haft fokus på at kombinere produktion af fødevarer med høje kvalitetsstandarder, holdbarhed og miljømæssig bæredygtighed, hvilket rummer et globalt potentiale. Desuden er Danmark specialiseret i at undersøge de sundheds- og ernæringsmæssige aspekter af fødevarer, herunder hvordan fødevarekemi påvirker menneskekroppen.

Karakteristik af forskningsområdet

Fødevarerforskningen i Greater Copenhagen er en bred forskningskategori, som dækker over en lang række verdensførende specialer. Områderne har alle det til fælles, at de centrerer sig om udviklingen og produktionen af højværdifødevarer af høj kvalitet. Desuden er forskningen vokset ud af et tæt samspil med Danmarks stærke fødevarersektor. Det gælder både den højteknologiske landbrugssektor, forarbejdningsindustrien – herunder Arla, Dupont og Carlsberg – og den forskningsintensive biotek-sektor, fx Chr. Hansen og Novozymes.

Denne bredde har også den konsekvens, at fødevarerområdet er delt op i mange forskellige, relativt specialiserede delområder. Samtidig har de enkelte delområder i flere tilfælde tætte snitflader og faglige glidninger til andre forskningsområder, fx proteinforskningen, ernærings- og metabolismeområdet og plantevidenskaben.

En vigtig udløber af fødevarerforskningen er Greater Copenhagens styrkeposition inden for fermenteringsteknologi. Forskningen omfatter på den ene side fødevarerfermentering, der blandt andet relaterer sig til konservering og fordærv af fødevarer herunder biokontrol, mikrobiel fødevarer sikkerhed og hygiejne, tarmmikroflora og probiotika i mennesker og dyr, samt mikrobiologisk kvalitetssikring.

På den anden side anvendelsen af fermenteringsprocesser i bioteknologisk sammenhæng, hvor man især på DTU forsker i udviklingen af gærbaserede cellefabrikker, der kan anvendes til at katalysere biobrændsler og nye materialer (fx plast) fra sidestrømme i landbruget.

De to centrale tyngdepunkter for forskningen er KU's Institut for Fødevarer videnskab (Food) og DTU Fødevarer instituttet. Derudover forskes der i fødevarer og fødevarerproduktion på Institut for Veterinær Sygdomsbiologi, Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Institut for Idræt og Ernæring, Institut for Klinisk Veterinær- og Husdyrvidenskab, Institut for Produktions-

dyr og Heste samt Institut for Veterinær Sygdomsbiologi. På DTU Biosustain, DTU Kemiteknik og DTU Bioengineering forskes der i de bioteknologiske muligheder i fermentering.

Nicher med international topkvalitet

København rummer talrige forskningsmæssige nicher, som på verdensplan er i den absolutte elite. Herunder:

- Forskning i fødevarer sikkerhed og kvalitetskontrol, med anvendelse af avancerede spektroskopiske, datadrevne kvalitetssikringsmetoder, der kan undersøge en industriel produktion af fødevarer hurtigere, billigere og mere effektivt end traditionelle stikprøvekontroller.
- Forskning i fødevarer design og fødevarer kemi, der fokuserer på fødevarernes molekylære sammensætning i forhold til sundhed og ernæring samt fødevarernes indvirkning på kroppen.
- Forskning i menneskers sensoriske perception, accept og adfærd i forhold til til- og fravalg af fødevarer. Dette indbefatter også forskningen i molekylær gastronomi, der har haft stor betydning for udviklingen af det nye nordiske køkken.
- Forskning i bæredygtig fødevarerproduktion, dvs. hvordan man kan optimere ressourceforbruget i fødevarerproduktionen og samtidig minimere spild og miljøbelastning.
- Fødevarer mikrobiologi, herunder avancerede fermenteringsteknologier, der både bruges i fødevarerbranchen til forædling af fødevarer, men som også spiller ind til den forskning, der sigter mod at manipulere "sidestrømme" fra landbruget til produktion af biobrændsler og nye materialer.

På alle disse områder er danske forskere på internationalt niveau – i de fleste tilfælde blandt top 5 globalt.

Bibliometriske nøgletal

De stærke nicher inden for fødevarer- og fermenteringsområdet indfanges ikke særlig præcist af de enkelte bibliometriske kategorier, men er indeholdt i en række forskellige kategorier, som fx anvendt mikrobiologi. Det hænger bl.a. sammen med, at forskningen i høj grad er praktisk og anvendelsesorienteret, møntet på udvikling af nye metoder og teknologier, der kan implementeres i erhvervslivet.

De bibliometriske indikatorer for forskningsproduktion og -kvalitet dokumenterer dog, at Greater Copenhagen har klar en førerposition i Europa, når det gælder forskning inden for anvendt mikrobiologi og bioengineering, jf. tabel 1. Forskere fra KU og DTU har offentliggjort hen ved over 2000 forskningsartikler i perioden 2005-2015 i internationalt anerkendte tidsskrifter.

Særligt stærkt står fødevarer- og fermenteringsforskningen i forhold til sampubliceringer med erhvervslivet, hvilket afspejler forskningens tætte indgreb med industrien - og dens stærke anvendelsesorienterede dimension.

Greater Copenhagen er endvidere stærkt specialiseret, hvilket vil sige, at forskning inden for fødevarer- og fermentering udgør en betydeligt større andel af forskningsproduktionen i København, end det er tilfældet i relevante europæiske sammenligningsregioner.

København ligger også i front på sampubliceringer opgjort som andel publikationer publiceret med forfattere fra det private erhvervsliv.

Centrale bibliometriske indikatorer

	Specialisering	Output rank (antal artikler)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
Applied microbiology and biotechnology	1,92	1 (1045)	3 (18,6%)	1 (12%)
Bioengineering	1,5	4 (1854)	2 (24,9%)	1 (12,4%)
Endocrinology, diabetes and metabolism	1,69	1 (2436)	2 (21,9%)	1 (26,1%)
Plant science	1,58	1 (1735)	3 (21,7%)	1 (3,5)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på KU, DTU og CBS, sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver, at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering > 1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold til sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

På globalt plan er fødevareforsyningen og fødevaresikkerhed kendetegnet ved stigende udfordringer. Dels stiger efterspørgslen på højværdifødevarer i takt med den voksende middelklasse på de store vækstmarkeder. Samtidig har fødevareskandaler i bl.a. Kina understreget behovet for effektive og præcise kvalitetssikringssystemer. Dertil kommer, at fødevareproduktion er behæftet med store klima- og miljømæssige belastninger, især i form af spildevandsudledning og drivhusgasser. Endelig er der stigende fokus på de ernærings- og sundhedsmæssige aspekter af fødevareproduktion.

Greater Copenhagens fødevareforskning spiller direkte ind i disse globale udfordringer. En væsentlig del af fødevareforskningen har haft et meget anvendelses- og erhvervsorienteret sigte, der er kendetegnet ved et tæt samspil med større, forskningsintensive virksomheder som Chr. Hansen, Arla, Carlsberg, Dupont og Novo Nordisk samt forarbejdningsindustrien og primærproducenter.

Men den højteknologiske fødevareforskning har også dannet afsæt for nye bioteknologiske muligheder, herunder særligt anvendelsen af fermenteringsteknologier og cellefabrikker, der både kan bruges til at forædle fødevarer og sikre deres holdbarhed overfor mikroorganismer. Men også til at katalysere skabelsen af biobrændsler og nye materialer (se faktaark om biobrændsel).

Københavns fødevareforskning er bl.a. interessant for udenlandske virksomheder, der arbejder med udvikling af højværdifødevarer, og for bioteksektoren som sådan, som kan drage nytte af forskningens bredere applikationsmuligheder. Desuden er styrkepositionen inden for datadrevne metoder til kvalitetskontrol af fødevarer interessant for industrielle fødevareproducenter. Endelig er der meget store perspektiver i fermenteringsteknologierne, som bl.a. både kan bidrage til at skabe bedre metoder til konservering af fødevarer, samt mindske afhængigheden af fossile brændstoffer.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

På KU arbejder Professor Søren Balling Engelsens forskergruppe med højteknologiske fødevaresikkerhedsløsninger, herunder foodomics og nutritional metabolomics. Forskningen undersøger bioaktive stoffer og biomarkører i fødevarer, der kan indikere, hvordan menneskekroppen reagerer ved indtag af bestemte fødevarer.

Gruppen arbejder bl.a. med Proces Analytisk Teknologi (PAT), hvor kontinuerede målinger, fx af en fødevareproduktion, foretages real-time via spektroskopiske måleinstrumenter (NMR og NIR) og benyttes til at kontrollere og optimere procesbetingelserne.

Samtidig er forskningsgruppen specialiseret i kemometri, dvs. avanceret multivariat dataanalyse, beregnet på de stadig stigende datastrømme fra kvalitetssikringssystemerne og de nye omics teknologiplatforme. Metoderne rummer enorme potentialer i forhold til at sikre kvalitet, sikkerhed og ensartethed af fødevarer i større produktionsanlæg. Det er særligt Professor Rasmus Bro, der driver dette felt.

Et andet, meget stærkt, område i international sammenhæng er fødevarekemien, der ledes af Professor Leif Horsted Skibsted. Professor Skibsted er blandt de danske fødevareforskere, som er citeret mest. Hans forskning undersøger samspillet mellem den kemiske sammensætning af fødevarer og menneskekroppens reaktioner. Det omfatter bl.a. temaer som harskning af smør, bruningsreaktioner (der bl.a. kan have indvirkning på udviklingen af cancer), mineralers (fx calciums) indvirkning på kroppen - og hvordan levnedsmidler kemisk kan designes mere ernæringsrigtigt.

På ingrediensområdet arbejder Professor Wender Bredie desuden i menneskers sensoriske vurdering af fødevarer, herunder karakteriseringen af smag i fødevarer og accepten af fødevarer på tværs af livet.

Fermenteringsteknologi og bioraffinering er blandt de helt centrale styrke-

positioner i København. På KU arbejder Professor Susanne Knøchel med starterkulturer og fermenteringsbaserede konserveringsteknologier. Lene Jespersen forsker i hvordan mikroorganismer kan anvendes til at øge kvaliteten og sundheden af vores fødevarer. Hun har blandt andet forsket i udvikling af starterkulturer til optimering af fermenterede fødevarer som brød, øl, vin, ost og andre mejeriprodukter samt kulturer til hæmning af sundhedsskadelige mikroorganismer.

På DTU-FOOD er der flere interessante forskningsmæssige gennembrud og stjerneprofessorer. Professor Tine Rask Licht leder forskningsgruppen for kost, anvendte mikroorganismer og tarmmikrobiologi, som udfører undersøgelser af kostens indvirkning på sammensætning, aktivitet og genudveksling i tarmfloraen, samt studier af tarmbakteriernes effekt på sundhed og modstandsdygtighed.

DTU-FOOD arbejder endvidere med bioraffinering af fødevarerindustrielle sidestrømme med henblik på at forøge bæredygtighed og værdiskabelse i fødevareresektoren. Desuden arbejdes med bakterielle cellefabrikker til fremstilling af kemikalier, biofuels og fødevarer ingredienser, herunder mikrobiel fremstilling af højkvalitetsproteiner, der kan indgå i mange forskellige sammenhænge. Peter Ruhdal Jensen leder gruppen.

Professor Krist Gernaey fra DTU Kemiteknik fokuserer blandt andet på modellering og optimering af industriel fermentering, biokatalyse og produktionsprocesser inden for fødevarerindustrien og farma. Professor Gernaey's forskning arbejder bl.a. med PAT-teknologi, procesmonitorering og kontrol.

Endelig arbejder professor Jens Nielsen fra DTU Biosustain med fermentering ved at manipulere metabolismen i mikroorganismer med henblik på at få dem til at producere kemikalier så kosteffektivt, at metoden kan anvendes i industrien som alternativ til den oliebaserede kemikalieindustrien. Læs mere om denne anvendelse af fermentering i faktaarket omkring bioenergi.

Stor talentmasse

Greater Copenhagen har naturligt en stor talentmasse, der relaterer sig til fødevarerindustrien. Inden for hele fødevarerforskningen på Københavns Universitet er der ca. 130 indskrevne ph.d'er. DTU har et tilsvarende antal fødevarerelaterede ph.d'er, fordelt på DTU Veterinærinstituttet og Institut for Akvatiske Ressourcer. Ph.d'erne er stærkt efterspurgt af fødevarer- og biotekindustrien. Desuden tilbyder KU to kandidatuddannelser i henholdsvis Food Science and Technology samt Fødevarerinnovation og Sundhed. I alt ca. 60 færdiguddannede fra de to uddannelser i 2015.

CBS tilbyder i samarbejde med KU og DTU en kandidatuddannelse i Business administration and Bioentrepreneurship, der udklækkede 13 færdiguddannede i 2015. DTU tilbyder en kandidatuddannelse i Fødevareteknologi, der færdiguddannede 15 i 2016. Dertil kommer en række andre kandidatuddannelser med relevans for fødevarerbranchen, herunder Biokemi, Folkesundhedsvidenskab, Akvatisk fødevarerproduktion, Human ernæring og Bæredygtig landbrugsudvikling.

DTUs Bryghus er et væksthuse for innovation og nytænkning inden for ølbrygning, hvor studerende, forskere og virksomheder kan mødes. Bryghuset er et samarbejde mellem Novozymes, Nørrebro Bryghus, Ingeniøren og DTU, og giver mulighed for fødevareraktiviteter at komme i tæt indgreb med DTUs talentmasse, herunder gennem konkrete studenterprojekter. Tilsvarende giver DTU Skylab adgang til universitetets bredere gruppe af entreprenørielle studerende, herunder nye innovative studenterdrevne startups.

Unikke forskningsfaciliteter

Life Science & Bioengineering er et bygningskompleks under opførelse på DTU, der skal samle cirka 800 medarbejdere fra de tre institutter; DTU Aqua, DTU Fødevarerinstitut og DTU Veterinærinstitut. Institutternes forskning vil spænde vidt: fra bæredygtig udnyttelse af havet over ernæring, fødevarer sikkerhed og antibiotikaresistens til overvågning og bekæmpelse af husdyrsygdomme, herunder vaccineudvikling. Opførelsen har et budget på

1,3 mia. kr. og forventes færdiggjort i løbet af 2016.

Forskningscenteret Biosustain på DTU forsker i gærbaserede cellefabrikker, dvs. hvordan man genetisk kan modificere gærceller med henblik på at kunne producere materialer, brændsel mv., der kan mindske afhængigheden af fossile råmaterialer. Biosustain er interdisciplinært og trækker på en lang række forskningsmæssige specialer, fx syntesebiologi, genteknologi, bioraffinering og forskning i proteiner. Men udgangspunktet for styrkepositionen er den danske ekspertise omkring fermentering, der er vokset frem i tæt samspil med Carlsberg, Chr. Hansen og Novozymes, Københavns Universitet og KTH. Centeret har ca. 300 ansatte og drives på baggrund af en bevilling fra Novo Nordisk Fonden på 1.1 mia.

Stærkt samarbejde med førende internationale forskningsmiljøer

Fødevarerforskningen i København har stærke internationale samarbejdsrelationer. Både DTU og KU samarbejder med det bedst rangerende landbrugsuniversitet i verden, Wageningen i Holland, samt eliteuniversiteter som fx TUM i München. Biosustain har aktiviteter på University of California, San Diego (UCSD), KHT og Chalmers University i Sverige. Alle disse universiteter præsterer generelt blandt de 30 bedste i verden på de relevante områder, fx inden for anvendt mikrobiologi, hvor University of California og Chalmers er i top ti globalt.

Udbygget erhvervssamarbejde

Fødevarer- og fermenteringsforskningen har traditionelt prioriteret de erhvervsmæssige applikationsmuligheder højere end forskningsmæssig excellence. Det betyder i praksis, at forskerne generelt hjemtager flere eksterne midler fra innovationsorienterede puljer, fx det tidligere strategiske forskningsråd, Danmarks Innovationsfond og Horizon2020, end fx Grundforskningsfonden eller European Research Council.

Fødevarerforskningen i København har især kommercialiseret via licenseret teknologi opfundet i forskningsmiljøerne. I perioden 2013-15 har fødevarerforskningen på KU affødt 8 licenser og ca. 2 spinouts. Forskningsområdet

har dannet afsæt for spinout-virksomheden Biosyntia. Forskningen samarbejder derudover med virksomheder som Novozymes, Carlsberg og Chr. Hansen.

Biosyntia er en spinout-virksomhed, der er vokset ud af DTU's forskning i fermentering.

Virksomheden anvender biokatalysatorer til at fremstille komplekse kemiske stoffer med høj hastighed og effektivitet. Metoden kan væsentligt reducere både produktionsomkostninger og miljøbelastning i forhold til andre processer såsom kemisk syntese.

Virksomheden samarbejder med producenter af fine kemiske forbindelser (smagsstoffer, duftstoffer, pigmenter, tilsætningsstoffer mv.) med fokus på at udvikle bæredygtige fremstillingsprocesser. Biosyntia er placeret ved Symbion i København.

Kvanteteknologi



Indhold og anvendelse

Siden Niels Bohr for 100 år siden blev professor i teoretisk fysik har København været placeret på kvantefysikkens verdenskort. Viden om kvantemekanik anvendes allerede i teknologier som GPS, fiberoptiske kabler, superledende magneter og mobiltelefoner. Teknologierne står imidlertid på dørtrinnet til en ny æra, hvor de kommercielle applikationsmuligheder kan revolutionere verden på flere områder. Først og fremmest forventes supercomputere baseret på kvanteteknologi at kunne sætte helt nye standarder i forhold til håndtering af big data. Kvanteteknologierne forventes at skabe grundlag for en vifte af nye devices, som vil muliggøre behandling og kommunikation af data i helt andre størrelsesordenener, end det kendes i dag. EU har udpeget teknologien som en af Europas flagskibsteknologier.



Centrale miljøer og stjerneforskere

Greater Copenhagen har et særdeles stærkt forskningsmiljø. På Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet er stærke navne bl.a. Charles Marcus og Eugene Polzik, som det er lykkedes at trække til Danmark fra USA, samt Peter Lodahl. På DTU er stærke navne bl.a. Ulrik Lund Andersen på DTU Fysik og Jesper Mørk på DTU Fotonik.

Kvanteområdet er delt i to hovedområder med hver flere discipliner. Faststofområdet og kvanteelektronikken er det ene hovedområde, og kvanteoptik og kvantefotonik det andet.



Investeringsfremmepotentiale

Relevansen for investeringsfremme er høj. Nogle af teknologierne på området vil først blive bredt anvendt om nogle år, mens andre anvendelser som ubrydelig kryptografi allerede er begyndt. Samlet vurderes potentialet som meget stort. Det er baggrunden for betydelige investeringer i området fra bl.a. EU, Innovationsfonden, private fonde og virksomheder. Det vigtigste investerings- og anvendelsesområde vil uden tvivl være udviklingen af fremtidens supercomputere.

Karakteristik af forskningsområdet

Kvanteforskningen i Greater Copenhagen er især forankret på Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet og på DTU Fysik og DTU Fotonik. På institutterne er der en række specialiserede afdelinger og centre inden for området. På Niels Bohr Institutet arbejder ca. 70 forskere inden for kvanteområdet. Et lignende antal forskere inden for området findes på DTU. Hertil kommer, i alle disse miljøer, en række postdocs og ph.d.er.

Nicher med international topkvalitet

Kvanteforskningen består af to hovedsøjler – dog med en del overlap. Den ene søjle er faststofforskningen. Denne søjle inkluderer kvanteelektronik, der bidrager til at udvikle fremtidens elektronik ved at udforske samspillet mellem avancerede materialer og de kvantemekaniske effekter i elektroniske nano-komponenter.

Den anden søjle omfatter kvantefotonik og kvanteoptik, som især sigter mod at lagre og sende digital information i optiske stråler - herunder lagre digital information i den enkelte foton. Nogle projekter sigter mod at kæde de to teknologiområder sammen. Forskningsmiljøet i Greater Copenhagen står internationalt stærkt inden for begge søjler.

Bibliometriske nøgletal

De bibliometriske indikatorer for forskningsproduktion og -kvalitet bekræfter, at Greater Copenhagen er med helt fremme internationalt, jf. tabellen til højre. Kategorien Condensed Matter Physics omfatter faststofområdet. Kategorien Atomic and Molecular Physics and Optics omfatter bl.a. fotonik- og optikområdet. Det fremgår, at Greater Copenhagen bidrager med et betydeligt forskningsoutput – i alt 6700 artikler i anerkendte tidsskrifter over de sidste 10 år. Specialiseringsgraden for Greater Copenhagen er omkring 1.

Kvaliteten af forskningen er i top. Når der måles på, hvor stor en andel af forskningsproduktionen, der er blandt de 10 procent mest citerede artikler på verdensplan, rangerer Greater Copenhagen som nummer 2. Det afspejler,

at kvanteforskningen i Greater Copenhagen foregår i nogle mindre miljøer, med internationale spidskompetencer inden for en række nicheområder. En lige så vigtig indikator i forhold til områdets investeringsfremmepotentiale er andelen af sampubliceringer med forskere fra private virksomheder, som kan give en indikation af erhvervsrelevansen af den forskning, der gennemføres. På denne indikator ligger Greater Copenhagen nr. 1 på begge de viste forskningsområder.

Centrale bibliometriske indikatorer

	Specialisering	Output rank (antal artikler)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
Condensed matter physics	0,8	5 (3636)	2 (19,7%)	1 (6%)
Atomic and molecular physics and optics	1,17	3 (3038)	2 (13,8%)	1 (10,9%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala. Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på Københavns Universitet, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering >1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne. Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes). Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold til sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes). Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Potentialerne på kvanteområdet har et langsigtet perspektiv og er stadig behæftet med en vis usikkerhed. Men kvanteområdet er et af de områder, som forventes at kunne levere helt afgørende teknologigennembrud i de kommende årtier.

Der er dog allerede mange opfindelser på området. Kvantedområdet på KU har således i 2014-15 haft i alt 13 ud af 145 anmeldte opfindelser, dvs. ca. 9 pct. - hvilket kan sammenlignes med, at kvanteområdet kun har ca. 2 pct. af alle Københavns Universitets fastansatte forskere.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

En stribe fremstående forskere har placeret Danmark solidt på verdenskortet for kvanteforskning.

Blandt de førende navne er professor Charles Marcus, som leder Center for Quantum Devices på Københavns Universitet, der arbejder med kvanteelektronik. Forskerne udvikler teknikker og teknologier, der kan danne grundlag for fremtidens supercomputere ved at kontrollere og udnytte atomers fascinerende kvanteegenskaber, fx entanglement.

Professor Peter Lodahl fra Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet leder Center for Kvantefotonik, der arbejder med at kontrollere fotoner via nano-fotoniske strukturer, fx særlige krystaller, der kan anvendes i fremtidens kvantekommunikation. Samme sted udforsker professor Eugene Polzik, som leder Center for Quantop, kvanteteleportation - en teknologi, som kan danne grundlag for fremtidens superhurtige kommunikationsnetværk og kvantesensorer til at måle elektromagnetiske felter og acceleration.

Jan Westenkær Thomsen, ligeledes fra Niels Bohr Institutet, leder Center for Ultrakolde Atomer. Centeret bedriver eksperimentel forskning omkring superpræcise målinger, fx kvantebaserede atomure, der kun mister 1 sek. per

300 mio. år. På DTU Fysik leder professor Ulrik Lund Andersen kvanteinformationsgruppen, der også arbejder med udviklingen af kvantecomputere samt kvanteinformatik, herunder hvordan information kan overføres 100% sikkert. På DTU Fotonik er professor Jesper Mørk i spidsen for forskning i ultrahurtig kommunikation, samt VKR Center of Excellence Nanophotonic Components for Terabit Communications, og Leif Katsue Oxenløwe leder grundforskningscentret Silicon Photonics for Optical Communications.

I Europa er Greater Copenhagen en af de tre regioner, der inden for udvalgte teknologier er længst fremme, i konkurrence med Delft i Holland og ETH i Zürich. I USA er der tre stærke forskningsmiljøer - Yale, Harvard og Santa Barbara i Californien. Forskningsmiljøerne i andre lande - UK, Tyskland, Korea og Japan - har også et højt niveau.

Forskningsgennembruddene er indtil nu blandt andet opstået inden for atomure, styring af satellitter, kryptografi og sensorer. De helt store forskningsmæssige gennembrud ventes fremover at komme inden for supercomputere, kommunikation og ultrapræcise målinger (sensing), hvor forskningen i Greater Copenhagen er med helt i front.

Stor talentmasse

Både Københavns Universitet og DTU uddanner et betydeligt antal talenter. Niels Bohr Institutet har 700 fysikstuderende og uddanner ca. 150 kandidater hvert år, hvoraf stort set alle har taget fag på kvanteområdet. Institutet uddanner 40-45 ph.d'er hvert år. DTU har bl.a. 500 fysikingeniørstuderende, hvoraf ca. 75% tager fag på kvanteområdet, og en stor andel fortsætter som ph.d.-studerende. DTU har et studieforløb inden for kvanteteknologi på kandidatniveau og et hands-on QuantumLab for studerende.

Disse højt specialiserede forskertalenter arbejder dagligt tæt sammen med nogle af verdens dygtigste forskere på kvanteområder. Derved suger de en viden til sig, som giver samarbejdspartnere helt unikke muligheder for at være i front internationalt med hensyn til adgang til viden på området, hvis de benytter sig af rekrutteringsmulighederne.

Unikke forskningsfaciliteter

I de sidste 10 år er der investeret i forskningsinfrastruktur på Københavns Universitet og DTU for samlet ca. 200 mio. kr., og infrastrukturen er nu state-of-the-art. Medvirkende hertil har også været donationer fra bl.a. Villum-fonden, Carlsbergfondet, Lundbeck-fonden, Novo Nordisk-fonden, Grundforskningsfonden samt Det Fri Forskningsråd.

Listen over infrastruktur omfatter en række instrumenter til fremstilling og karakterisering af fotoniske og elektroniske kvantekomponenter. Instrumenteringen består blandt andet af en "electron-beam writer" dedikeret til ultrahøjopløsningsfremstilling af kvante-nanostrukturer og en række instrumenter til fremstilling og karakterisering af fotoniske og elektroniske kvantekomponenter. DTU Danchip er et nationalt renrum for fremstilling af kvantekomponenter med faciliteter og infrastruktur i international topklasse.

Kvanteområdet har således hidtil været højt prioriteret. Området har modtaget betydelige midler fra såvel EU som Højteknologifonden og Innovationsfonden. Forskere fra Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet har således modtaget en række af de prestigefyldte ERC Grants: Eugene Polzik (2011), Peter Lodahl (2010 og 2014), Anders Søndberg Sørensen (2012) og Albert Schliesser (2014). Området har også fået tre bevillinger fra Grundforskningsfonden: Til Center for Kvanteeoptik, til Center for Quantum Devices og til Center for Silicium Fotonik til Optisk Kommunikation.

Prioriteringen af området vil formentlig blive endnu højere fremover. Innovationsfonden har i foråret 2016 givet området en bevilling på 80 mio. kr. Det er Innovationsfondens hidtil største satsning og enkeltbevilling, og skal bl.a. anvendes til at udvikle nye krypteringsmetoder og topologiske kvante-computere.

Den afgørende, fremtidige investering kommer måske fra EU. I foråret offentliggjorde en arbejdsgruppe, med deltagelse af bl.a. EU-kommissær Oettinger, den hollandske erhvervsminister samt Charles Marcus og Eugene Polzik fra Københavns Universitet, et Quantum Manifesto med sigtelinjer for,

hvordan kvanteområdet bør udvikle sig fremover, hvilke nye anvendelsesområder, det vil have, og en ambition om at sætte Europa i spidsen for den globale udvikling på området. Visionen, som EU-Kommissionen har tilsluttet sig, indebærer bl.a., at EU og EU-landene over nogle år skal investere i alt 1 mia. euro på området.

Eugene Polzik sidder endvidere i den styringsgruppe for kvanteområdet, som EU har etableret som led i arbejdet med de såkaldte flagskibsteknologier.

Stærkt samarbejde med førende forskningsmiljøer

Der er stor international interesse for at besøge Niels Bohr Institutet, som derfor har gæsteforskere fra hele verden. Instituttet er selv en aktiv samarbejdspartner, med videntcentre i resten af verden. En nær partner er universitetet i Delft i Holland, men instituttet samarbejder også med kvanteforskere på ETH Zürich, Yale og Stanford. Tilsvarende har DTU en lang række internationalt anerkendte samarbejdspartnere inden for kvanteområdet, for eksempel ved Queensland University, University of California Santa Barbara og universitetet i Delft.

Udbygget erhvervssamarbejde

Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet, DTU og Aarhus Universitet har i fællesskab etableret Quantum Innovation Centre (Qubiz) i tæt samarbejde med en række danske og internationale virksomheder, som alle er førende inden for kommerciel udnyttelse af kvanteteknologien. Ambitionen er at skabe et globalt førende innovationscenter for kommerciel udnyttelse af kvanteteknologisk forskning.

Qubiz samarbejder allerede med virksomheder som Accelink Denmark, Atocube Systems, Cryptomatic, Elionix, Foss, ID Quantique, Microsoft, Montana Instruments, M Squared Lasers, NIL Technology, NKT Photonics, Quantumwise, Scontel og Toptica.

Senest har Seier Capital i foråret 2016 investeret et to-cifret millionbeløb i den nystartede kvante-virksomhed Sparrow Quantum, som leverer chip-løsninger til virksomheder, der har behov for sofistikerede algoritmer til simulering af fx materialeegenskaber. Sparrow Quantum er et spin-off fra kvantefotonik-miljøet på Niels Bohr Institutet.

Seier Capital har investeret et to-cifret millionbeløb i kvantevirksomheden Sparrow Quantum—en spin-out fra Københavns Universitet, der fremstiller en fotonik-chip beregnet som løsning til virksomheder med avancerede behov for simulationsalgoritmer. Investeringen er Seier Capitals hidtil vildeste og mest overraskende:

"Hvis alt går som planlagt, er potentialet her enormt. SPARROW QUANTUM tager de første skridt mod en fremtid med superhurtige kvantecomputere, ubrydelig kryptering og måske ovenikøbet et kvantebaseret internet."

- Lars Seier Christensen

Halvdelen af Qubiz' samarbejdsvirksomheder er udenlandske. Vi interviewede Montana Instruments i Montana, USA. *"We are in the Wild West – both literally and figuratively speaking. We produce optical cryogen systems. With our now single photon developed with our Copenhagen partners, we can help our costumers all over the world produce new materials. We think the guys in Copenhagen are world class."*

- Luke Moritsen, director, Montana Instruments, US

Vi er stærkt inspirerede af det nye Quantum Manifesto, som EU-Kommissionen bakker op om. Vi tror på et stærkt voksende marked for kvante-simulationer – et område, hvor vi indtil videre ikke har mange konkurrenter."

- Civilingeniør Troels Marcussen, Quantumwise Denmark

Mennesker og teknologi



Indhold og anvendelse

Greater Copenhagen har en international styrkeposition når det gælder forskning i forståelsen af samspillet mellem mennesker og ny teknologi. Styrkepositionen bygger bl.a. på en stærk designtradition og et stærkt forskningsmiljø inden for "virksomhedsrettet" antropologi.

Forskningen handler om, hvordan klassiske metoder fra bl.a. antropologi, sociologi, kultur- og sprogvidenskab kan give dybdegående indsigt i menneskers oplevelse af ny teknologi og afdække nye, ikke-erkendte, brugerbehov.



Centrale miljøer og stjerneforskere

Forskningen inden for mennesker og teknologi og mennesker er på Københavns Universitet forankret ved sociologi, antropologi samt ved dele af det Humanistiske Fakultet, bl.a. på Institut for Medier, Erkendelse og Formidling samt Institut for Sprogvidenskab.

Blandt centrale forskningscentre kan bl.a. nævnes Centre for Communication and Computing samt "Antropologisk Analyse - Center for anvendt antropologi", der har fokus på at udvikle erhvervssamarbejdet inden for det antropologiske felt. På Copenhagen Business School er kompetencen omkring mennesker og teknologi bl.a. forankret ved Institut for IT-ledelse, der forsker i IT-management og servicedesign.



Investeringsfremmepotentiale

Den teknologiske udvikling forandrer både hverdagsliv og arbejdsliv for mennesker over hele kloden. Teknologivirksomheder har i stigende grad brug for viden og indsigt i, hvordan mennesker på tværs af kulturer, køn og alder oplever og anvender ny teknologi.

Greater Copenhagen har stærke forskningsmæssige styrker, når det handler om at udvikle og anvende metoder til at fortolke brugeradfærd og afdække ikke-erkendte brugerbehov.

Karakteristik af forskningsområdet

Forskning i teknologi og mennesker handler om, hvordan ny teknologi påvirker menneskers hverdagsliv og arbejdsliv og hvordan mennesker, på tværs af kulturer, oplever og anvender ny teknologi.

Den forskningsmæssige styrkeposition i Greater Copenhagen handler især om, hvordan metoder fra bl.a. sociologien, antropologien og forskning i kultur- og sprogforståelse kan anvendes til at opnå ny indsigt omkring menneskers brug af nye teknologiske produkter og services, herunder udvikle metoder til at afkode nye, ikke-erkendte brugerbehov.

Forskere ved både CBS og Københavns Universitet var blandt de første i Europa til at interessere sig for forskning inden for feltet "Business Anthropology". I dag huser Greater Copenhagen et af Europas stærkeste forskningsmiljøer, når det handler om metoder til at forstå og analysere interaktion mellem teknologi og mennesker på nye måder, som skaber værdi for virksomhederne.

Nicher med international topkvalitet

Forskningen inden for teknologi og mennesker i Greater Copenhagen udmærker sig især ved at koble en stærk faglig forankring inden for de klassiske antropologiske og sociologiske discipliner med et anvendelsesorienteret fokus, hvor forbrugere, teknologi og virksomheder er i centrum.

Forskningsfeltet er udviklet i et tæt samspil med en række af regionens globalt toneangivende virksomheder og klynger. Der er således stærke forskningskompetencer, når det handler om at forstå samspillet mellem teknologi og mennesker inden for bl.a. medico- og sundhedsområdet.

Derudover er der etableret et særligt forskningscenter med fokus på kulturforståelse og kulturens betydning for brugen af bl.a. Internet, smartphones, sociale medier mv.

Bibliometriske nøgletal

Der findes ikke gode bibliometriske indikatorer, som kan indfange Greater Copenhagens særlige forskningsmæssige styrker inden for erhvervsrettet anvendelse af sociologiske og antropologiske metoder og tilgange. Det tætteste man kommer er bibliometriske indikatorer for hele det antropologiske forskningsfelt.

Indikatorerne fremgår af nedenstående tabel, som viser, at der er publiceret knap 900 artikler i internationale tidsskrifter. Specialiseringsgraden for antropologi er under 1, hvilket betyder, at antropologi udgør en lidt mindre andel af den samlede forskning i Greater Copenhagen end i sammenligningsregionerne. Regionen er kun nummer fem på samlet output.

Til gengæld er forskningskvaliteten høj. Målt på andelen af forskningsartikler blandt de ti procent mest citerede, rangerer Greater Copenhagen som nummer to. Generelt er der meget få sampubliceringer med erhvervslivet inden for antropologi. Det gælder for alle sammenligningsregionerne. Og selv om det kun er 0,6 procent for Greater Copenhagen, er det tilstrækkeligt til at sikre regionen en plads som nummer ét.

Centrale bibliometriske indikatorer				
	Specialisering	Output rank (antal artikler)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
Antropology	0,90	5 (872)	2 (20,1%)	1 (0,6%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på KU, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver, at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering >1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold til sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold til sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Internationale teknologivirksomheder er i stigende grad optagede af at opnå dybere brugerindsigt og ikke mindst af at forstå, hvordan brugere, på tværs af kontinenter og kulturer, tager nye teknologier til sig.

Samtidig bliver evnen til at afkode ikke-erkendte behov hos brugerne i stigende omfang et vigtigt input i mange virksomheders innovationsarbejde.

Danmark har generelt en stærk international profil, når det gælder kombinationen af brugerforståelse, teknologi og design. Og Københavns Universitet var blandt de første universiteter i Europa, der tidligt i 00'erne begyndte at interessere sig for at udvikle Business Anthropology som et nyt forskningsfelt.

I dag kan Greater Copenhagen byde på en stor pool af talentfulde kandidater på området samt flere stærke forskningsmiljøer på både humaniora og samfundsvidenskab på Københavns Universitet samt ved bl.a. Institut for IT-management ved CBS.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

Carlsbergfondet har i 2016 støttet et stort forskningsprojekt "The Peoples Internet" (PIN) med 11 mio. kr. Projektet fokuserer på, hvordan borgere i Kina, USA og Europa anvender internettet, med udgangspunkt i den enkelte borgers liv og hverdag. Gennem bl.a. dybdegående feltarbejder afdækker PIN-projektet såvel de store linjer som de små detaljer i forskellige kulturers anvendelse af det 21. århundredes vigtigste infrastruktur. Projektet er forankret ved Institut for Medier, Erkendelse og Formidling, og ledes af professor Klaus Bruhn Jensen.

På det humanistiske fakultet forskes der desuden i digitale mediers betydning for hverdagslivet og samfundet. På Institut for Medier, Erkendelse og Filosofi arbejder Lektor Stine Lomborg blandt andet med projektet

"Exercising with the smartphone", som handler om hvordan smartphones kan understøtte en sund livsstil samt studier af brugen af sociale medier som fx Facebook. Lektor Anne Mette Thorhauge fra det samme institut arbejder blandt andet med computerspil som kommunikation og kulturelt udtryk samt digital kommunikation i organisationer.

På Institut for antropologi er der en særlig forskergruppe for Business and Organisation Anthropology. Denne forskergruppe koordineres af Karen Lisa Salamon, en førende forsker inden for business anthropology.

På det Informationsvidenskabelige Akademi (IVA) findes en bred vifte af kompetencer indenfor udvikling af informationssystemer, der understøtter læring. IVA's arbejde omkring Information and Technology drives af Professor Morten Hertzum, hvis forskning fokuserer på samspillet mellem mennesker og teknologier - herunder brugbarhed og brugervenlighed af IT systemer.

Betydelig talentmasse

Greater Copenhagen rummer en stor koncentration af talent i form af kandidater, ph.d'er mv, som er undervist og skolet inden for bl.a. business anthropology, design, teknologi- og kulturforståelse.

Alene fra antropologistudiet uddannes årligt 50-60 kandidater, hvoraf omkring en tredjedel har taget fag, der relaterer sig til den virksomhedsrettede anvendelse af både antropologiske og sociologiske metoder. Fx tilbyder Institut for Antropologi på Københavns Universitet en specialisering i sundhedsantropologi, der fokuserer på, hvordan mennesker interagerer med medicinsk teknologi, og en specialisering i Business og Organisationsantropologi.

Et tilsvarende antal kandidater uddannes årligt fra relaterede miljøer på CBS og på Det Humanistiske Fakultet på Københavns Universitet.

Udbygget erhvervssamarbejde

Gennem de seneste 15 år er udviklet et tæt samspil mellem forskningsmiljø-

erne og en lang række af Danmarks toneangivende virksomheder. Særligt inden for medicinalindustrien har virksomheder som bl.a. Novo og Coloplast opbygget kompetencer til at afdække, hvordan brugerne i praksis anvender virksomhedens produkter og til at identificere ikke-erkendte behov, som et led i virksomhedens innovationsarbejde. En lang række kandidater med baggrund i sociologien og antropologien har etableret egne virksomheder. Der er i dag en underskov af mindre rådgivningsvirksomheder, der rådgiver både virksomheder og offentlige myndigheder i Danmark og i udlandet om nye trends, brugerbehov, formgivning og design, med udgangspunkt i antropologiske og sociologiske metoder.

En af de største virksomheder på området er ReD Associates, der rådgiver virksomheder om en bedre forståelse af kundeadfærd. ReD Associates har virksomheder som Adidas, Ford og Novo på kundelisten. I foråret 2016 købte det store amerikanske konsulenthus Cognizant, med 200.000 ansatte, 49 procent af aktierne i ReD Associates.

Nanoscience



Indhold og anvendelse

Greater Copenhagen huser en af verdens førende forskningsklynger inden for nanoscience. Området er bredt og omhandler manipulationen af materialer på nanoskalaen, dvs i størrelsesordenen en til hundrede milliontedele af en millimeter. Nanoscienceområdets fremkomst skyldes primært elektronmikroskopet. Det har revolutioneret materialevidenskaberne og gjort det muligt at udvikle materialer med nye egenskaber med hensyn til fx overflade, styrke og elektrisk ledningsevne. København vurderes at være et af de 5-10 stærkeste forskningsmiljøer i verden på området. Positionen bliver yderligere styrket, når ESS (European Spallation Source, i Lund og København) åbner. Vigtige anvendelsesområder er medicin, diagnostik, sygdomsbehandling, fødevarebehandling og elektronik.



Centrale miljøer og stjerneforskere

Greater Copenhagen's forskningsmiljø er stort og bredt, og dækker mange forskellige discipliner og anvendelser af nanoteknologierne. Forskningsmiljøet har to centre, der hver har en lang række samarbejde med forskere på mange institutter.

Det ene center er Nano Science Centret på Københavns Universitet, med direktør Bo Wegge Laursen i spidsen for 150 forskere og ph.d'er. Stærke navne er fx Jesper Nygaard, Dimitrios Stamou og Morten Meldal.

Det andet er DTU Nanotech, med 200 forskere og ph.d'er. Stærke forskernavne her er Marcel Somers, Anne Ladegaard Skov, Anja Bojsen og Kristoffer Almdal.



Investeringsfremmepotentiale

Relevansen for investeringsfremme er høj, både på kort og på langt sigt. Nanoteknologierne har mange anvendelser, som allerede i dag er rentable, og på længere sigt er potentialet stort. En virksomhed, der vil følge med på nanoområdet, kan i høj grad drage fordel af at være tæt på de stærkeste forskningsmiljøer. Greater Copenhagen er klart et af dem. Ikke mindst fordi det er lykkedes at indgå et langsigtet samarbejde med Kina via etableringen af Dansk-Kinesisk Center for Molekylær Nanoelektronik ved Københavns Universitet og en dansk-kinesisk masteruddannelse i nanovidenskab ved Sino-Danish Center for Education and Research.

Karakteristik af forskningsområdet

Forskningen i Greater Copenhagen er karakteriseret ved at være bredt funderet på en række institutter, og ved at have forskere, der har blik for anvendelsesmulighederne af de mange nye teknologier på området. Forskningen i Greater Copenhagen har to væsentlige centre, nemlig Nano-Science Centret på Københavns Universitet og Nanotech på DTU. Begge centre har deltagelse af, eller samarbejde med, forskere fra mange forskellige institutter og delmiljøer.

Nano Science Centret blev etableret i 2001 i et samarbejde mellem Niels Bohr Institutet og Kemisk Institut på Københavns Universitet. Siden er Biologisk Institut kommet med, og centret samarbejder tæt med en række institutter på Københavns Universitets Sundhedsvidenskabelige Fakultet. Forskningen her er fordelt på 15 forskningsgrupper, som bredt dækker en række områder inden for medicin, biologi, nano/kvante-elektronik og overfladefysik/kemi.

DTU Nanotech har 100 forskere og 100 ph.d'er, der støttes af nære samarbejdspartnere fra flere DTU institutter (DTU-MEK, DTU-KT). Instituttet dækker fire områder, nemlig Biomedical Engineering og Life Science, Sustainable nanotechnology, Lab-on-a-chip og Materialer og Fabrikation.

Nicher med international topkvalitet

De to nanomiljøer på Københavns Universitet og DTU har et godt samarbejde, men også en arbejdsdeling. Forskningen på DTU er koncentreret omkring bioengineering, metaller og polymerer, mens forskningen på Københavns Universitet er koncentreret omkring medicin, elektronik og kemi. I begge miljøer forskes i mange forskellige anvendelser af nanoteknologierne (se afsnittet om relevans for virksomheder og samfund) på globalt topniveau.

Bibliometriske nøgletal

Det er vanskeligt at dokumentere forskningsproduktion og -kvalitet på nan-

området ved hjælp af bibliometri, fordi området er nyt og går på tværs af en række forskellige forskningsområder.

Vurderingen hos de forskere, vi har talt med, indikerer, at København hører til blandt de 5-8 stærkeste forskningsmiljøer i verden på området. Denne vurdering er selvklaart behæftet med en del usikkerhed, fordi styrken kan være meget forskellig inden for de mange forskellige delområder, som nanoområdet består af.

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Nanoforskningens samfunds- og erhvervsrelevans har potentialet til at blive meget stor, og er det allerede på flere områder. Forskningens applikationsmuligheder omfatter så forskelligartede områder som materialeforskning, kommunikation og fødevarer.

Det anvendelsesområde, der formentlig har det største potentiale er sundhedsområdet. Nanoteknologierne muliggør en væsentlig bedre, mere præcis og mere individualiseret diagnostik af sygdomme som cancer og en mere præcis dosering og formulering af lægemidler – ultimativt kan man forestille sig, at hver patient skal have sin egen medicin. Anvendelsen af fluorescerende stoffer og optiske metoder er en styrkeposition for nanomiljøerne på dette område.

Et andet anvendelsesområde er udviklingen af sunde fødevarer. Et tredje område er miljø- og sundhedsvenlige materialer til emballager, beklædning og farvning. Et fjerde område er enzymer og materialer, der kan reducere energiforbruget i processer. Et femte område er nye materialer med meget stærke strukturer og overflader, der fx kan bruges til at skabe vindmøllevinger, der kan tåle meget stærke vindtryk.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

I forhold til Københavns størrelse har vi en betydelig række stjerneforskere

inden for nano-området, som nyder høj international anseelse. På Københavns Universitet er professor i Kemi Bo Wegge Laursen direktør for Nano-Science Centret, og herunder Dansk-Kinesisk Center for Molekylær Nanoelektronik. Andre ledende navne er professor Morten Meldal fra Kemisk Institut, som bl.a. forsker i "klik-kemi" (nye metoder til sammensætning af store molekyler) og professor Jesper Nygård fra Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet, der forsker i faststof-fysik. Kemisk Institut på Københavns Universitet har også været i stand til at tiltrække internationale topforskere som Dimitrios Stamou (som forsker i bio-nano teknikker) og Karen Martinez (som forsker i nanoteknikker på neuroområdet); begge med en baggrund fra EPFL i Schweiz.

På DTU er ledende navne Marcel Somers, der er en af verdens førende metallurger, Anja Boisen, der bl.a. forsker i nanosensorer, og Kristoffer Almdal, som bl.a. forsker i polymerer. Hertil kommer Anne Ladegaard Skov, som leder Dansk Polymer Center, et af verdens førende centre for udvikling af nye polymerer.

Nanoområdet har haft en række mindre gennembrud i de seneste år. Stort set alle gennembrud er det, som forskere kalder "enabling" teknologier, dvs. teknologier, som i sammenhæng med andre teknologier kan give nye løsninger på vigtige udfordringer.

En række af de forskningsmæssige gennembrud vedrører metoder til at diagnosticere sygdomme, især cancer. En anden type gennembrud vedrører katalytiske stoffer, herunder enzymer, som drastisk kan forbedre andre stoffers egenskaber. En tredje type gennembrud vedrører materialer med nye overflader, der fx kan reducere risikoen for angreb af mug og skimmelsvamp. En fjerde type gennembrud er nye typer polymerer (plastik), som kan produceres uden olieprodukter og med nye egenskaber.

Stor talentmasse

Både Københavns Universitet og DTU uddanner et betydeligt antal talenter. DTU uddanner ca. 40 ph.d'er om året, og flere hundrede bachelor- og ma-

sterstuderende modtager en del af deres undervisning på instituttet. Københavns Universitet uddanner 20-25 ph.d'er om året på området, og i alt ca. 50 studerende gennemgår bachelor- og masterforløb med hovedvægt på nano-området.

Unikke forskningsfaciliteter

Nanoområdet har modtaget betydelige midler fra såvel Grundforskningsfonden, EU og private fonde. Grundforskningsfonden har fx støttet Dansk-Kinesisk Center for Molekylær Nanoelektronik på Københavns Universitet, og Center for Syntesebiologi på Københavns Universitet startede i 2009 med en 120 mio. kr. stor UNIK-bevilling fra Uddannelses- og Forskningsministeriet.

DTU har modtaget bevillinger til nanoområdet fra Højteknologifonden, som har styrket industrisamarbejdet

I de sidste 10 år er der investeret et samlet beløb i forskningsinfrastruktur på Københavns Universitet og DTU for samlet ca. 400 mio. kr. En stor del af investeringerne er gået til state-of-the-art infrastruktur. Listen over denne omfatter bl.a. udstyr til røntgen-spektroskopi, kvarts-krystaller, ellipsometri, fluorescens, skanning probe mikroskopi samt spektroskopi og mikroskopi.

I infrastrukturens sammenhæng vil både MAX IV, der åbnede i juni 2016, og det kommende European Spallation Source, ESS, der åbner i 2019, få stor betydning. De to anlæg supplerer hinanden. MAX IV er verdens stærkeste anlæg til røntgenundersøgelse af materialer på et hidtil uprøvet molekylært niveau. ESS vil blive en af verdens stærkeste neutronacceleratorer. Danmark er den næststørste investor i ESS efter Sverige, og ESS' Data Management Center er ved at blive etableret på Københavns Universitets Nørre Campus.

Stærkt samarbejde med førende forskningsmiljøer

Gennem en betydelig udveksling af gæsteforskere og besøgende samt en solid videnskabelig produktion er der et tæt samarbejde med andre forskningsmiljøer i verden – særligt i Kina, Japan, Korea, USA, Tyskland og Storbritannien. Både Nano-Science Centret på Københavns Universitet og DTU

Nano har løbende gæsteforskere fra disse lande og deltager selv aktivt i vidensudveksling med disse miljøer. Der er også et samarbejde med forskere på Lunds Universitet, der huser MAX IV og det kommende ESS.

Udbygget erhvervssamarbejde

De to danske nano-miljøer har et stærkt erhvervssamarbejde med såvel en række danske som udenlandske virksomheder. Vigtige samarbejdspartnere for Københavns Universitet og DTU er bl.a. Novozymes, Dyrup, Mærsk og Airbus. Et andet eksempel på det betydelige potentiale er, at den seneste større spin-out succes på DTU, Scandinavian Micro Biodevices, der sælger nanoløsninger til diagnoser på veterinærområdet, i foråret 2016 blev solgt for en halv mia. DKK. Ifølge virksomhedens ledelse skyldes dette det høje vidensniveau på DTU (se citat).

Denne investering kan være et tegn på, at området – der hidtil overvejende har været kendetegnet af store forskningsinvesteringer finansieret af EU, staten og fonde - bevæger sig ind i en ny fase, hvor private investeringer vil spille en større rolle.

Nanoområdet ligger ikke bare højt mht. spinouts. Nanoområdet er på DTU også det, af alle de udvalgte forskningsråd i vores analyse, der har det højeste antal anmeldte innovationer i de sidste 5 år.

Nanoområdet er så komplekst, at lokal tilstedeværelse er nødvendig, hvis en virksomhed skal følge med i udviklingen på området. De to danske centre er kendt for at have et bredt felt af samarbejdspartnere, herunder både danske og udenlandske virksomheder. Et eksempel på disse er SBM Offshore, som forsker i metoder til udvikling af nye plastmaterialer, som virksomheden kan anvende i offshore bølgeenergianlæg. Virksomheden er fransk, men har valgt Greater Copenhagen som samarbejdspartner i konkurrence med universitetet i Darmstadt, fordi Greater Copenhagen vurderes at være en central videnplatform på grund af sin åbenhed og stærke forskning (se citat).

"I enjoy working with the Copenhagen researchers from DTU. The possibilities of polymers are unknown to many people but really fantastic. SBM is basically an oil company today – but we want to be part of the renewables revolution too. With DTU we are investigating the possibilities of using polymers in new equipment to make sea wave energy"

- Ambroise Wattez, SBM Offshore

"Som en ny, hurtigtvoksende virksomhed, der både lever af nye overfladeteknologier og meget avanceret databehandling, er vi nødt til at være med på beatet. Vi er lige blevet solgt for en halv mia. kr., og vi er kun 40 medarbejdere. Men en fjerdedel af dem er uddannet på DTU Nano. Det siger vist det hele."

- Niels Kristian Bau Madsen, COO, Scandinavian Micro Biodevices

Proteinforskning og bioinformatik



Indhold og anvendelse

Proteiner udgør livets fundamentale byggesten. Forskningen i Greater Copenhagen fokuserer især på proteiner og peptiders betydning i relation til sundhed, fx for cellers og kroppens funktionsevne og anvendelsen af proteiner som biomarkører. Der arbejdes desuden med design af nye proteiner til behandlingen af neurodegenerative sygdomme, som Alzheimers og Parkinsons samt nye individualiserede behandlingsformer. Styrkepositionen drives endvidere af bioinformatikken, som arbejder med analyser af biodata og registerbaseret sundhedsdata, der kan afdække mønstre i samspillet mellem patienttyper, genetik, proteiner og helbredstilstande.



Centrale miljøer og stjerneforskere

Danmark har opbygget en række verdensførende forskningsgrupper inden for proteiner og bioinformatik. Forskningen finder blandt andet sted på det tværfaglige Center for Protein Research og Institut for Cellulær og Molekylær Medicin på Københavns Universitet samt på en lang række andre institutter inden for sundhedsvidenskab og naturvidenskab på både DTU og Københavns Universitet. De centrale forskere omfatter blandt andet Niels Tommerup og Ian Hickson, der arbejder med gener og kromosomers stabilitet og betydning for sundheden. Henrik Clausen og Hans Wandall, som forsker i sukkerstoffers betydning for celler og proteiners funktionsevne samt Søren Brunak, som kobler patientdata og store mængder biologiske data, fx om proteiners vekselvirkninger. Endelig forsker professor Mathias Mann i proteiner som biomarkører.



Investeringsfremme- potentiale

Proteinforskningen har et meget stort potentiale, der især relaterer sig til bioteksektoren og den farmaceutiske industri. forskningen er et afgørende fundament for fremtidens diagnosticerings- og behandlingsmetoder, fx for neurodegenerative lidelser, cancer, fertilitet, allergi. Desuden er forskningen en vigtig forudsætning for udviklingen af bedre metoder inden for drug delivery og personalized medicine. Proteinforskningen har en meget tæt kobling til Greater Copenhagens forskningsstyrker inden for nanoteknologi, cancer og diabetes. Området har affødt en række løfterige spinouts.

Karakteristik af forskningsområdet

Proteinforskningen er blandt de mest lovende områder inden for life-science. Forskningen i proteinstruktur og proteinernes betydning og interaktion med kroppens celler kan åbne et helt nyt kapitel i udviklingen af nye, individuelt tilpassede diagnosticerings- og behandlingsmetoder (personalized medicine).

Forskningen er tværfaglig og er fordelt på en lang række institutter og centre på Københavns Universitet og DTU. Forskere fra mange forskellige discipliner på Københavns Universitet samarbejder på storsatsningen Center for Protein Research, der er støttet af Novo Nordisk Fonden med ca. 850 mio. DKK.

På Københavns Universitet er det endvidere Institut for Cellulær og Molekylær Medicin, hvor der fx arbejdes med glykomforskning (glycomics) samt gener og kromosomers stabilitet, hvilket har betydning for en meget bred vifte af sygdomme. På DTU er det især DTU Bioinformatics og DTU Bioengineering, der er engageret i proteinforskningen. På DTU Bioengineering forskes der blandt andet i proteiner i relation til fødevarer, ernæring og udviklingen af nye enzymer.

Proteinforskningen understøttes af Greater Copenhagen's styrke inden for bioinformatik, dvs. anvendelsen af computerkraft til at analysere store mængder biologisk data. Bioinformatik kan eksempelvis benyttes til at identificere enzymer og proteiner hurtigt og effektivt, eller til at afdække genetiske mønstre, der kan fortælle, hvordan nye lægemidler påvirker patienter i prækliniske tests.

Bioinformatikken trækker blandt andet på Danmarks førerposition inden for anvendelsen af big data fra medicinske registerdata, elektroniske patientjournaler og spørgeskemaundersøgelser. Via disse data, samt samkøring med andre biologiske data, kan forskerne afdække mønstre blandt patienttyper, der kan generaliseres til større populationer.

Desuden har CBS et ben i forskningen via BioBusiness and Innovation Platform (BBIP), som er et samarbejde mellem CBS, København Universitet og DTU. Platformen har til formål at styrke kompetencer og konkrete redskaber til at understøtte biobaseret iværksætteri.

Nicher med international topkvalitet

Center for Protein Research på Københavns Universitet forsker bredt og tværfagligt i proteiners betydning for sundhed, diagnosticering og sygdomsbekæmpelse.

Centerets tilgang til proteinforskningen er integrativ og systembiologisk, dvs. at det undersøger betydningen af proteiner i samspil med en lang række andre faktorer, fx gener, sukkerstoffer, kredsløb mv. Forskningen beskæftiger sig bl.a. med proteiners strukturer, proteiners samspil med interne processer i cellerne og hvordan celler kommunikerer med hinanden via proteiner, fx immunforsvarets reaktioner i forbindelse med sygdomme.

Centeret forsker også i, hvordan proteiner kan anvendes terapeutisk, og hvordan særligt designede proteiner kan produceres hurtigt og effektivt. Desuden undersøger centeret proteiner via bioinformatik i kraft af udviklingen af algoritmer, der kan genkende sammenhænge og mønstre i en kombination af komplekse biodata, registerdata og elektroniske patientjournaler. Disse big-data analyser kan fx få afgørende betydning for cancerbehandling samt forståelsen af immunforsvaret og molekylær evolution.

Ligeledes har Greater Copenhagen's forskning i sukkerstoffers betydning for proteiners funktionsevner, "glycomics", et stort potentiale i forhold til understøttelse af fremtidige behandlingsformer, genteknologi og diagnosticering. Her er det især København Universitets Center for Glycomics, der træder frem. Centeret er blandt de stærkeste miljøer i verden på området, og er finansieret af Grundforskningsfonden.

Bibliometriske nøgletal

Der er ingen enkeltstående forskningskategori i den bibliometriske database, som indfanger proteinforskning og bioinformatik. Området er tværgående og træder frem i kategorier som structural biology, molecular biology og cell biologi. I forhold til sampubliceringer med erhvervslivet er Greater Copenhagen i top på alle kategorier.

For andelen af artikler, som er blandt de 10 procent mest citerede på verdensplan, ligger forskningen som nr. 2 blandt sammenligningsregionerne i to af kategorierne og nr. 1 i en af kategorierne (biochemistry). Endelig er Greater Copenhagen gennemsnitligt specialiseret på området, hvilket er udtryk for, at talrige forskningsmiljøer på verdensplan beskæftiger sig med proteinforskning.

København ligger også i front blandt sammenligningsregionerne på sampubliceringer, opgjort som andel publikationer, der er publiceret med forfattere fra det private erhvervsliv.

Centrale bibliometriske indikatorer

	Specialisering	Output rank (antal artikler)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
Structural biology	0,98	6 (464)	2 (16,4)	1 (13,6%)
Molecular biology	0,68	8 (1122)	2 (18,4)	1 (10,1%)
Biochemistry	1,49	1 (337)	1 (15,3)	1 (12,9%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på KU, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver, at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering >1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Der er en global efterspørgsel efter nye, hurtigere og mere effektive måder til diagnosticering på et tidligt tidspunkt i sygdommes udvikling.

Desuden udfordres den globale farmaceutiske industri i disse år af den hastige udvikling inden for individualiserede behandlingsformer, designet og tilpasset det enkelt menneskes biologiske karakteristika (personalized medicine). Det gælder fx lidelser som HIV, Cancer, blodsygdomme, neurodegenerative lidelser (der har årsager stærkt relateret til ændringer i proteiner). Proteiner, peptider (kæder af aminosyrer), glykomer (sukkerstoffer) samt forståelsen af geners stabilitet er helt afgørende forudsætninger i udviklingen af disse nye diagnosticerings- og behandlingsformer.

Systembiologiforskningen på Københavns Universitet og DTU rummer i den sammenhæng enorme potentialer. Forskningen har til formål, at undersøge proteiner, peptider og glykomers interaktion med andre biologiske faktorer i kroppen, og hvordan man kan designe nye proteiner via nanoteknologi. Det er samtidig en forskning, der for en stor dels vedkommende stadig er på grundforskningsstadiet, hvorfor et evt. investeringsmæssigt afkast har i mange tilfælde lange tidshorisonter.

På kort sigt rummer især bioinformatikken, kombineret med Danmarks konsistente registerbaserede sundhedsdata, et meget stort potentiale i forhold til at undersøge sammenhænge mellem biologiske karakteristika og forskellige behandlingsformer. Forskningen arbejder frem mod en bedre og mere præcis segmentering af patientgrupper samt optimering af lægemidler, der stadig er på et præklinisk udviklingsstadium.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

Proteinforskning og bioinformatik i Greater Copenhagen har medført en række forskningsmæssige gennembrud. Center for Glycomics under Professor Henrik Clausen fra Institut for Cellulær og Molekylær Medicin på Køben-

havns Universitet har udviklet en teknik, baseret på proteiner med påhægtede sukkerstrukturer. Strukturerne stabiliserer proteinerne og kan bestemme, hvor længe det skal blive i kroppen. Der anvendes CHO-celler fra hamstere til at producere sukkerstrukturerne, som er kompatible med mennesker, der er modificeret via avancerede teknologier til genredigering. Teknikken kan bl.a. benyttes til udvikling af nye, mere effektive lægemidler til kræft og gigtpatienter.

Center for Protein Research huser flere løfterige forskningsgrupper med en række stjerneforskere. Eksempelvis professor Jiri Lukas, som leder et program, der fokuserer på proteinsignaler mellem celler, fx i forbindelse med DNA-skader, samt hvordan mekanismerne kan bremses. Ligeledes arbejder professor Mathias Mann arbejder med proteinbaserede biomarkører for diabetes og andre livsstilssygdomme, der er en vigtig brik i udviklingen af individualiserede behandlingsformer.

Professor Søren Brunak fra DTU Bioinformatik og Center for Protein Research er blandt Danmarks førende proteinforskere, herunder ift. anvendelse af bioinformatik og registerdata som basis for at udvikle mere individualiseret medicin. Brunaks forskning fokuserer på, hvordan forskellig medicin vekselvirker, særligt i forhold til patienter med forskellige lidelser, der tager mange forskellige typer medicin.

På Institut for Cellulær og Molekylær Medicin på Københavns Universitet arbejder professor Ian Hickson med ustabilitet i kromosomer, der medfører tidlig aldring af cellerne – i form af at proteiner ikke regenereres. Det har eksempelvis betydning for udviklingen af kræftceller, knoglesygdomme og neurogenerative lidelser samt talrige andre helbredsmæssige lidelser. Hans forskning har blandt andet modtaget et Advanced Grant fra European Research Council, som garant for forskningsexcellence på meget højt plan. Professor Ian Hickson leder Grundforskningscenteret Center for Chromosome Stability.

Endelig arbejder Professor Niels Tommerup med design af nye proteiner i

udviklingen af nye lægemidler, primært med fokus på diabetes og fedme. Det område kan danne afsæt for nye blockbuster-drugs i fremtiden.

Stor talentmasse

Greater Copenhagen er blandt Europas stærkeste life science regioner, hvilket også afspejler sig i talentmassen inden for proteinforskning og bioinformatik. På Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet omfatter det fx en kandidatuddannelse i bioinformatik, som færdiguddanner ca. 12 studerende årligt. Biokemi, som uddanner ca. 58 årligt. Biologi-bioteknologi, som uddanner 57 årligt samt molekylær biomedicin, som uddanner 44 årligt.

På det sundhedsvidenskabelige fakultet udbydes der kandidatuddannelser i lægemiddelvidenskab og medicinalkemi. DTU uddanner kandidater inden for bioteknologi, farmateknologi, systembiologi samt medicin og teknologi. CBS tilbyder en kandidatuddannelse inden for bioentrepreneurship, hvor der uddannes 13 årligt. Samlet set færdiguddannes der ca. 375 kandidater inden for området årligt.

Center for Protein Research havde i 2015 34 post.docs, mens Institut for Cellulær og Molekylær Medicin havde 28. Ph.d.-tilgangen på Institut for Cellulær og Molekylær Medicin er ca. 18 pr. år, mens den er ca. 10 pr. år ved Center for Protein Research. I alt har SUND på KU en årligt ph.d.-tilgang på 450-500.

Unikke forskningsfaciliteter

Bioinformatik på højt niveau kræver en enorm computerkraft. DTU, Københavns Universitet og DeC har i et samarbejde investeret i en ny supercomputer til 40 mio. kr. Computeren skal bl.a. anvendes til big-data analyse af enorme mængder patientdata, fx DNA-data, patientjournaler mv., med henblik på at afsløre nye mønstre mellem sygdomme, patienter og faktorer som genetik og livsstil. Det forventes, at analyseresultaterne på sigt vil gøre det muligt at designe lægemidler billigere og mere effektivt samt mere målrettet den enkelte patient. Det er Søren Brunaks gruppe, der er forsknings-

mæssig tovholder for supercomputeren.

Forskningsmiljøerne som er engageret i proteinforskningen arbejder alle med state-of-the-art massespektroskopisk udstyr (fx Nuclear Magnetic Resonance), der kan foretage avancerede strukturanalyser af proteiner. Center for Protein Research arbejder desuden med mikroskopisk imaging af proteiner. Fra nationalt plan har Styrelsen for Forskning og Innovation besluttet at støtte etableringen af den nationale platform PRO-MS (Danish National Mass Spectrometry Platform for Functional Proteomics) med 40 mio. kr.

Endelig forventes mulighederne i "supermikroskoperne" ESS og MAX IV i Lund også at få betydning for proteinforskningen. Det gælder fx studier af enzymatiske reaktionsmekanismer, design af terapeutiske proteiner samt i udforskningen af nye biomembraner.

Stærkt samarbejde med førende internationale forskningsmiljøer

Forskningen i København har et tæt samarbejde med førende udenlandske videnmiljøer. Hans Wandall peger bl.a. på tætte forskningssamarbejder med udenlandske elitemiljøer som Harvard Medical, University of California, University of Pennsylvania og University College London. Center for Protein Research arbejder bl.a. sammen med det tyske eliteforskningsmiljø Max Planck Institute of Biochemistry, hvor Professor Mathias Mann også arbejder

Udbygget erhvervssamarbejde

Forskningen inden for proteiner har et tæt samspil med den danske life science sektor, heriblandt Novozymes, Chr. Hansen og Novo Nordisk. Derudover samarbejdes der med internationale spillere som Novartis og Roche. Novo Nordisk Fonden har finansieret Center for Protein Research og en væsentlig del af forskningen inden for glycomics.

Der er i alt lavet 8 licensaftaler med virksomheder inden for feltet i perioden 2013-15. Institut for Cellulær og Molekylær Medicin samt Institut for Biomedicin på Københavns Universitet har i alt stået for 4 licensaftaler. I samme periode er der desuden blevet oprettet fire spin-out virksomheder (se eksempler i boks).

FIDA-tech, FIDA-tech er en spin-out fra Københavns Universitet, der hviler på en innovativ teknologi til analyse og karakterisering af proteiner, særligt med fokus på diagnose og monitorering af autoimmune sygdomme. Metoderne er kendetegnet ved at være væsentligt hurtigere end eksisterende metoder. Derudover kræver de kun små prøvemængder og er lette at automatisere. Teknologien reducerer testtiden for analyser med mere end 75% og er mere præcis og fleksibel end eksisterende metoder.

Avilex Pharma er en spin-out fra Københavns Universitet, der fokuserer på behandling af slagtilfælde forårsaget af manglende blodtilførsel til hjernen. Det er en af de hyppigst forekommende dødsårsager, og er forårsaget af manglende blodtilførsel til hjernen. Virksomheden udvikler nye lægemidler ved hjælp af nyudviklede proteinstrukturer, der knytter an til hjernens receptorer, lindrer smerter og beskytter imod celledød i forbindelse med slagtilfælde. Virksomheden har modtaget investeringer fra Novo Seeds, Novo Nordisk Foundation og Copenhagen Spin-outs

Social Big Data



Indhold og anvendelse

Greater Copenhagen har en særlig styrke inden for "Social Big Data" og data science. Det handler om at bruge metoder fra bl.a. datalogi, samfundsvidenskab og humaniora til at afdække mønstre i strukturerede og ustrukturerede data, fx tekst fra sociale medier. Social Big Data åbner helt nye muligheder for at forstå, hvordan holdninger og præferencer dannes samt afkode nye markedstrends blandt grupper af forbrugere etc.



Centrale miljøer og stjerneforskere

En række forskellige forskningsområder relaterer sig til Social Big Data og både CBS, Københavns Universitet og DTU har betydelige aktier i feltet. På Københavns Universitet er det særligt institutterne ved det samfundsvidenskabelige fakultet, udvalgte institutter ved det Humanistiske Fakultet samt Datalogisk Institut, som har forskere, der er aktive på området. På CBS arbejder en række forskningsområder med Social Big Data, herunder Ravi Vatrpu ved Department of IT Management, og Thomas Ritter, der står i spidsen for CBS Competitiveness Platform. På DTU er det primært en række forskere fra DTU Compute, der er engagerede i området. Den centrale stjerneforsker på området er Professor David Dreyer Lassen, der i 2016 modtog den prestigefyldte Eliteforsk-pris. Professor David Dreyer Lassen er daglig leder af et nyt, stort forskningscenter med fokus på Social Big Data.



Investeringsfremmepotentiale

Social Big Data er endnu i sin vorden. Men området spås et stort potentiale, både som nyt forskningsområde og som et felt med stort kommercielt potentiale. For virksomheder ligger perspektiverne bl.a. i bedre forudsigelser om nye trends, dybere forståelse af forbrugerpræferencer og i forhold til at opnå nye forbrugerindsigter. Greater Copenhagen er den eneste region i Norden, som har foretaget en større forskningsmæssig satsning på feltet. Det særligt interessante i international sammenhæng er, at de nye indsigter ofte skal findes ved at kombinere ustrukturerede data fra fx sociale medier med registerbaserede data om indkomst, uddannelse, alder mv.

Danmark er et af de lande i verden, der har de bedste registerdata.

Karakteristik af forskningsområdet

Social Big Data er et nyt og meget ungt forskningsfelt, der kobler en bred vifte af forskningsdiscipliner fra både humaniora, datalogi og samfundsvidenskab. Forskningen handler bl.a. om at udvikle metoder til analyse af ustrukturerede data som tweets, facebookopdateringer, data fra apps og censorer etc. Det drejer sig bl.a. om at udvikle algoritmer til mønstergenkendelse og om forskning i at fortolke og forstå de mønstre og sammenhænge, som afdækkes. Det er en forskning, der bl.a. har betydning for udviklingen af nye datadrevne forretningsmodeller i virksomheder og patientforløb på hospitaler.

Det kræver en høj grad af tværfaglighed, hvor sprogforskere, dataloger, sociologer, antropologer og økonomer samarbejder tæt for at udvikle nye tilgange og metoder, som kan omsætte Social Big Data til ny indsigt med værdi for forskning, erhvervsliv og samfundet generelt.

Nicher med international topkvalitet

Forskere i Greater Copenhagen har tidligt interesseret sig for Social Big Data, og der er allerede skabt et solidt fundament for et stærkt forskningsfelt. Greater Copenhagens styrke bygger på en kombination af flere forhold, bl.a. et tæt og velfungerende samarbejde mellem forskere fra samfundsvidenskab og dygtige forskere inden for datalogien, som har stor erfaring i Big Data Science og i at udvikle konkrete algoritmer mv.

Københavns Universitet og DTU Compute har i fællesskab etableret "The Copenhagen Center for Social Big Data Science", der er enestående i verden, idet der her blandt andet arbejdes med at koble ustrukturerede adfærdsdata med mere end 40 års registerdata for hele befolkningen.

Ved Center for Communication and Computing arbejder forskere fra blandt andet humaniora og naturvidenskab med digitale kulturer og samspillet mellem samfundsmæssige fænomener, ICT-teknologi og big data. Centeret forsker blandt mange andre ting i interaktiv visualisering af sociale data og

anvendelsen af big data i sundheds- og velfærdsløsninger.

Derudover er der et velfungerende forskningssamarbejde mellem Datalogisk Institut og Nordisk Filologi i Center for naturlig sprogforståelse, som arbejder med metoder til at danne mening i fx Tweets og søgeadfærd på nettet.

På CBS er der en række aktiviteter, der relaterer sig til Big Data. Fx det treårige projekt, Big Social Data Analytics, der er støttet af Industriens Fond med 6,2 mio. kr. Forskere og virksomheder samarbejder om at udvikle nye metoder og tilgange til at anvende Social Big Data analyse som et element i virksomhedens forretningsudvikling, så de bedre kan træffe beslutninger om produktudvikling, markedsføring, salg, strategi og yderligere øge indsigten i brugeradfærd. Tilsvarende har Industriens Fond støttet CBS-forskningsprojektet Big Data, Big Business forankret ved CBS Competitive-ness Platform. Projektet er fokuseret på at transformere Big Data til profitable forretningsmodeller gennem en nytænkning af eksisterende forretningsmodeller. Center for Business Data Analytics fra Institut for IT-Management deltager i disse projekter og arbejder med Social Big Data på en lang række andre områder, fx i sundhedsvæsenet.

Der er etableret et tværvideenskabeligt center DABAI med støtte fra Innovationsfonden. Centeret fokuserer bl.a. på at bruge Social Big Data til skabe nye innovative løsninger inden for bedre undervisningsformer, bedre forudsigelse af oversvømmelser, bedre sporbarhed i fødevarer og bedre patientoverblik i sundhedssektoren.

Bibliometriske nøgletal

Greater Copenhagens forskningsstyrker inden for Social Big Data kan ikke aflæses i bibliometriske nøgletal. Det skyldes, at forskningen går på tværs af en række forskellige discipliner. Særligt styrkerne inden for humaniora og samfundsvidenskab er vanskelige at afgrænse i bibliometrien.

Nedenstående tabel viser bibliometriske nøgleindikatorer for to af de mere hårde forskningsområder, General Mathematics og Theoretical Computer

Science, som spiller en vigtig rolle inden for Social Big Data General. Det fremgår, at output i Greater Copenhagen generelt er noget mindre end i sammenligningsregionerne. Men målt på forskningskvalitet som andel artikler blandt de 10 procent mest citerede på feltet, ligger Greater Copenhagen på en andenplads blandt de europæiske sammenligningsregioner.

Centrale bibliometriske indikatorer				
	Specialisering	Output rank (antal artikler)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
General mathematics	0,67	6 (464)	2 (21,1%)	5 (1,7%)
Theoretical Computer Science	0,68	8 (1122)	2 (18,0%)	5 (6,3%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på KU, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver, at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering > 1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold til sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Den stigende brug og udbredelse af sociale medier, apps og digitale devices betyder, at vi i stort omfang efterlader digitale spor og data, som kan analyseres og give ny værdifuld indsigt i moderne menneskers præferencer og holdninger, samt hvordan disse ændres over tid.

Samtidig skaber den udbredte digitalisering af erhvervslivet (overgangen til Industri 4.0) helt nye muligheder for at udvikle digitale services og nye typer af digitale forretningsmodeller.

Mange virksomheder er allerede i gang med at høste disse data, afdække mønstre og fortolke de forskellige typer af data. Målet er, at blive bedre til at afkode nye trends i markedet og anvende Big Data som grundlag for at udvikle bedre produkter, effektive processer og nye typer af digitale services.

Danmark har en særlig styrke i kraft af en meget teknologiparat befolkning, samt enestående muligheder for at koble ustrukturerede data og registerdata. Samtidig har Greater Copenhagen som den eneste region i Norden allerede foretaget en række store satsninger på forskning inden for brugen af Social Big Data.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

Der er de senere år gennemført en række interessante forskningsprojekter med fokus på Social Big Data.

På Datalogisk Institut på Københavns Universitet arbejder professor Ingemar Cox med indsamling og analyse af data fra internettet, der kan bruges til forudsigelse af epidemier og afdækning af andre samfundsmæssige fænomener. Professor Cox, som er den højest citerede datalog i Danmark, samarbejder blandt andet med Google. Professor Anders Søgaard, ligeledes Datalogisk Institut (samt med en fortid fra bl.a. forfatterskolen og i lingvistikken),

forsker i kunstig intelligens, sprogteknologi og machine learning. Professor Søgaards forskning har været afgørende for videreudviklingen og forbedringen af maskinoversættelsessystemer, fx Google Translate.

Carlsbergfondets støtter forskningsprojektet "The People's Internet", under Professor Klaus Bruhn Jensen, der kombinerer etnografiske og big-data baserede metoder til at undersøge, hvordan internettets muligheder udfolder sig forskelligt i forskellige samfundsmæssige og kulturelle kontekster.

Center for Information and Bubble Studies under Professor Vincent Hendricks fra Institut for Medier, Erkendelse og Formidling på Københavns Universitet er ligeledes støttet af Carlsbergfondet. Centeret studerer ud fra et tværdisciplinært perspektiv samfundsmæssige "bobler", fx bobler i finanssystemet, politisk holdningsdannelse på sociale medier eller hensigtsmæssig/uhensigtsmæssig "gruppetænkning" i ledelsesrummet i virksomheder. Centeret forsker blandt andet i, hvordan fx virksomheder og investorer "navigerer" i big data, herunder de risici som virksomheder er udsat for, når de forsøger at trække værdi ud af digitale data.

På CBS er hhv. professor Ravi Vatrapi og professor Thomas Ritter tovholder for de to Big Data projekter, der finansieres af Industriens Fond. Forskningen inddrager både virksomheder og forskere, og undersøger udfordringer og potentialer i at udnytte social media data i forretningsudviklingen og egentlige datadrevne forretningsmodeller. Et andet spændende forskningsprojekt er Social Fabric, der har fokus på unges venskaber og brug af mobiltelefon.

Forskere ved Københavns Universitet og DTU har over en treårig periode høstet data fra 1000 unge studerendes brug af mobiltelefon. Ambitionen er, at bruge disse data til at afdække de unges venskaber og netværk og bl.a. belyse, hvad venskaberne betyder for de studerendes chancer for at gennemføre eller falde fra på studiet.

Forskningsprojektet er ledet af Professor David Dreyer Lassen, der er en af de førende forskere inden for Social Big Data, og som også leder The Copenhagen Centre for Social Data Science.

Stor talentmasse

Anvendelsen af Social Big Data kræver et tæt samspil mellem dygtige sociologer, økonomer og sprogforskere mv. på den ene side, og dygtige databehandlere og dataloger med kompetencer inden for statistik, algoritmer og data science på den anden side.

Greater Copenhagen rummer allerede i dag en lang række dygtige forskere, ph.d'er og kandidater, som har opbygget betydelig viden og erfaring inden for området. Det skyldes bl.a. de mange projekter, der de senere år er iværksat på feltet, fx Social Fabric, DABAI samt Center for Business Data Analytics og projektet Big Data Big Business ved Copenhagen Business School.

En af Greater Copenhagens store styrker er en stærk tradition for, at dataloger uddannes inden for algoritmedesign og machine learning og typisk har stor erfaring i at samarbejde tværdisciplinært med forskere fra andre forskningsområder.

Udover Datalogisk Institut er det bl.a. DTU Compute, CBS og miljøer ved både det humanistiske og det samfundsfaglige fakultet på Københavns Universitet, der leverer talentfulde ph.d'er, postdocs og kandidater med speciale inden for området. Den samlede talentmasse inden for Big Data Sciences vil få et stort "boost" i de kommende år, hvor datacenteret for ESS bliver forankret ved Niels Bohr Institutet.

Unikke forskningsfaciliteter

Greater Copenhagen har flere stærke kort på hånden i forhold til at tiltrække udenlandske investeringer til regionen inden for Social Big Data.

Et af de stærkeste kort er de enestående muligheder for at koble data fra sociale medier med registerdata, hvor vi i Danmark er blandt de førende i verden. Det giver mulighed for analyser, hvor adfærd kontrolleres for forskelle i økonomiske forhold, geografi mv. Desuden er danskerne blandt verdens mest digitale folkefærd, med den mest udbredte brug af computere samt udbredelse af internet mv. Det betyder, at der i Danmark er gode mu-

ligheder for at lave naturlige eksperimenter, som kan give nye interessante data.

Et konkret eksempel på, hvordan der kan opbygges nye unikke datasæt, er fx data fra Social Fabric projektet, der indeholder oplysninger om 1000 unges brug af mobiltelefon over en periode på 3 år. Denne type af data udgør et vigtigt fundament for en helt ny type af forskning og indsigt baseret på Social Big Data analyser.

Udbygget erhvervssamarbejde

Den kommercielle udnyttelse af Social Big Data er endnu på et tidligt stadie, og samspillet med erhvervslivet inden for feltet er endnu relativt begrænset.

Der er dog en række konkrete eksempler på et udbygget erhvervssamspil inden for rammerne af projektet Danish Center for Data Analytic Driven Innovation, der er et større projekt støttet af Innovationsfonden, hvor Københavns Universitet og DTU indgår. Her kan virksomheder bl.a. få en "Big Data"-konsultation, hvor to eksperter på feltet samarbejder med virksomheden om at udnytte Big Data Analytics i virksomhedens innovationsarbejde.

Et andet eksempel er på CBS, hvor der er etableret en større satsning under overskriften Big Data – Big Business. Projektet er støttet af Industriens Fond og har bl.a. til formål at rådgive virksomheder om mulighederne for at benytte Big Data i deres forretningsudvikling og forretningsmodelinnovation.

Vind og energilagring



Indhold og anvendelse

Greater Copenhagen står stærkt på området for vindenergi og energilagring. De to områder hænger snævert sammen, idet lagring af energi vil øge værdien af den varierende produktion af vindenergi (samt solenergi). Fundamentalt kan energi lagres ved kemiske processer i materialer – især i batterier – og ved elektrolyse. Den vigtigste elektrolyseform separerer vand til ilt og brint, der herefter kan anvendes til opgradering af biobrændsel eller til at producere strøm i en brændselscelle.



Centrale miljøer og stjerneforskere

Danmark har i en årrække ført en aktiv energipolitik og understøttet en betydelig indsats på forskningsområdet. I Greater Copenhagen er det især afspejlet på DTU, hvor hele seks institutter bidrager til et meget stærkt og stort forskningsmiljø på området. Det er DTU Vindenergi, DTU Energi, DTU Elektro, DTU Mekanik, DTU Compute og DTU Fysik. To helt centrale personer i disse miljøer er institutdirektøren på DTU Vindenergi, Peter Hauge Madsen, og institutdirektøren på DTU Energi, Søren Linderoth.



Investeringsfremmepotentiale

Potentialet for investeringsfremme er meget stort – både på kort og på langt sigt. Danmark er verdens førende vindland, både målt på vindkraftens andel af elforsyningen, på vindindustriens størrelse og internationale konkurrencekraft, og på den bagvedliggende forskningsstyrke.

Men også på området for energilagring og –konvertering og smart grid er potentialet stort. Dette område dækker over elektrolyse og brændselsceller, flow-batterier samt elektriske systemer, der kan styre "smart grids". Vi har både en stor forskningsstyrke og konkurrencedygtige virksomheder på dette område, der kan skabe grundlag for ny grøn vækst, når EU's klimamål skærpes.

Karakteristik af forskningsområdet

Forskningen på energiområdet er karakteriseret af en stærk forskningsindsats på alle de områder, som kan understøtte Danmarks grønne omstilling. Det er bl.a. vindenergi, fleksible energisystemer, energikonvertering (dvs. fra fx kemisk bundet energi i brændselsceller til el) og energilagring.

I Greater Copenhagen bidrager fem DTU-institutter til et meget stærkt og stort forskningsmiljø på energiområdet. DTU Vindenergi (med 250 medarbejdere, herunder 100 fastansatte forskere) forsker i en række forskellige teknologiområder. DTU Energi (der ligeledes har 250 medarbejdere og ca. 100 fastansatte forskere) forsker i energikonvertering og lagring. Hertil huser DTU Elektro en central sektion, CEE (Center for Electric Power and Energy) samt DTU Mekanik med en sektion for termisk energi og DTU Compute, der bl.a. forsker i software, der kan understøtte smart grids.

Nicher med international topkvalitet

Forskningen på området følger en række forskellige spor. Et hovedspor omfatter vindenergi, herunder design, udformning og test af vindmøller og komponenter, med henblik på en stadig optimering af ydelse og omkostninger samt siting og integration med henblik på bedst mulig udnyttelse af vindenergi.

Et andet hovedspor omfatter energisystemer, såvel stærkstrømsudstyr som systemer og software. Et tredje hovedspor er elektrolyse og den modsvarende proces, brændselsceller. Et fjerde hovedspor vedrører udvikling af batterier, der i mindre grad end i dag bruger sjældne eller miljøbelastende materialer, og derfor vil kunne bidrage til en væsentlig udbredelse af batteriteknologierne. Hertil kommer specialer som anden lagring af energi (fx gennem voks eller salte, der skifter fra fast til flydende form) og plastsolceller.

På alle disse områder er danske forskere med fremme internationalt – i de fleste tilfælde blandt top fem globalt.

Bibliometriske nøgletal

Forskerne i Greater Copenhagen står stærkt. Det bekræftes af de bibliometriske nøgletal. Fortolkningen af disse vanskeliggøres imidlertid af, at alle energiområderne i Scopus indeholder en række andre områder, fx forbrændingsteknologier, kernekraft mv, end dem danske forskere er specialiseret i. Også målt på andelen af højt citerede artikler ligger Greater Copenhagen højt, hvilket også er et udtryk for det høje kvalitetsniveau. De mange sampubliceringer afspejler den store virksomhedsinvolvering i forskningen på de nævnte institutter på DTU.

Centrale bibliometriske indikatorer				
	Specialisering	Output rank (antal artikler)	Højtciterede artikler rank (andel)	Sampubliceringer rank (andel)
General energy	1,13	3 (502)	1 (28,1%)	1 (9,7%)
Mechanical engineering	1,15	2 (1853)	2 (24,1%)	3 (6,4%)
Fuel technology	2,1	2 (531)	2 (30,7%)	3 (11%)

Perioden er 2005-15. Sammenligningsregionerne er Amsterdam, Berlin, Dublin, Geneve-Lausanne, Hamborg, Helsinki, München, Oslo og Stockholm/Uppsala.

Specialisering udtrykker hvor stor en andel forskningsområdet udgør af den samlede forskningsproduktion på Københavns Universitet, DTU og CBS sammenlignet med forskningsområdets andel hos sammenligningsregionerne. En specialisering på 1 angiver at Greater Copenhagen ligger på niveau med sammenligningsregionerne. Specialisering >1 angiver, at Greater Copenhagen er mere specialiseret på forskningsområdet end sammenligningsregionerne.

Output rank udtrykker, hvordan Greater Copenhagen på det pågældende område er placeret blandt sammenligningsregionerne i forhold til artikelproduktion (med antal artikler i parentes).

Højtciterede artikler rank angiver Greater Copenhagens placering i forhold sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for forskningsområdet i København, der er blandt de 10% mest citerede i verden (med andelen i parentes).

Endelig angiver sampubliceringer rank Greater Copenhagens placering i forhold til sammenligningsregionerne på andelen af artikler inden for området, der publiceres med medforfattere fra erhvervslivet (med andelen af den samlede artikelproduktion i GC i parentes).

Centrale argumenter for forskningsområdets investeringsfremmepotentiale

Forskningen på energiområdet har meget stor samfundsrelevans. Den grønne omstilling til et fossilfrit samfund forudsætter, at teknologierne udvikles og bliver billigere. Danmark er allerede foregangsland på den grønne omstilling og vil fortsat have mulighed for at høste meget væsentlige gevinster på dette område, også i de kommende år. I takt med, at EU i de kommende år vil skærpe de grønne målsætninger og bla. skærpe kravene til reduktion af CO₂, vil andre lande også skulle håndtere varierende elproduktion og kan her bruge de danske erfaringer - både med elsystemer, med energikonvertering og med lagring af energi.

Stjerneforskere og større forskningsmæssige gennembrud

Det samlede forskningsmiljø på DTU er stort og bredt. Centralt står DTU Vindenergi med institutdirektør Peter Hauge Madsen i spidsen, DTU Energi med institutdirektør Søren Linderøth, og DTU Elektro med Kristian Stubkjær som direktør. Institutterne har en lang række internationalt anerkendte topforskere, som har bidraget med vigtige forbedringer på vind-, system- eller lagringsområdet.

Professor Jens Nørkær Sørensen leder sektionen Fluid Dynamics, der forsker i aerodynamik og strømninger, professor Mathias Stolpe leder Wind turbine structures and component design, der bidrager til udvikling af møllerne og professor Bent F. Sørensen leder sektionen Composites & Material Mechanics, der forsker i materialer til vinger. Professor Jacob Østergård leder en sektion på DTU Elektro, der forsker i elsystemer. Professorerne Jakob Mann, Anke Hagen, Peter Vagn Hendriksen, Teis Vegge og Frederik Krebs har ydet afgørende bidrag til ny viden om vinden, brændselsceller, elektrolyse, batterier og plastsolceller.

DTU har på energiområdet løbende produceret en række forbedringer af vindmølleteknologierne og på teknologier til energikonvertering og –lagring. Blandt af de områder, hvor Danmark er mest foran i kraft af forskningen i Greater Copenhagen, er systemer til at håndtere varierende elproduktion, hvor mange virksomheder fra hele verden er interesserede i at følge udviklingen.

Villum Fonden har givet 150 millioner kr. til et 8-årigt årigt projekt, "Science of Sustainable Fuels and Chemical", hvor Stanford University også deltager. Projektet forsker primært i metoder til energilagring og ledes af Ib Chorkendorff, DTU Fysik.

Stor talentmasse

Produktionen af talenter på energiområdet er meget stor. Af de 1900 ingeniører, der hvert år afslutter en masteruddannelse, har ca. en tredjedel i et eller andet omfang energirelaterede fag. Det samme gælder de ca. 400 ph.d'er, som hvert år afslutter en forskeruddannelse på DTU. Disse fordeler sig bredt på vindområdet, el-systemer, termisk energi, energikonvertering, energilagring mv.

Unikke forskningsfaciliteter

DTU's forskningsfaciliteter på vindområdet, og på energiområdet i øvrigt, har verdensklasse. På den jyske vestkyst er der således to meget store anlæg til real-afprøvning af store vindmøller: i Høvsøre og ved Østerild. På Risø i Roskilde og i Lyngby findes på de nævnte institutter en række state-of-art laboratorier og måleudstyr, herunder den Nationale Vindtunnel, der er under opbygning til vindenergiformål. På systemområdet er der fx adgang til real-time data om produktion og anvendelse af el på Bornholm, der som en afgrænset ø giver en række unikke muligheder for afprøvning af udstyr og systemer til at håndtere svingende produktion og efterspørgsel. Endelig råder DTU over gode testfaciliteter på brændsels- og elektrolyseområderne og på kemiske områder.

Stærkt samarbejde med førende internationale forskningsmiljøer

Forskerne i Greater Copenhagen er populære samarbejdspartnere for forskere fra hele verden. Energiområdet er så bredt, at det varierer fra delområde til delområde, hvem der er de stærkeste miljøer. På vindområdet er der stærke forskningsmiljøer i USA, Tyskland, Spanien og UK, som er blevet understøttet af grønne teknologiprogrammer i de sidste 5-10 år. På området for elsystemer er der stærke miljøer i USA, Schweiz og UK. På området for energikonvertering og –lagring er der stærke miljøer i Kina, Korea, Tyskland, Frankrig, Schweiz og UK. Billedet er således fragmenteret, men en del fremskridt på energiområdet forudsætter samarbejde på tværs af teknologier, og derfor er det meget brede forskningsmiljø på energiområdet en styrke i sig selv.

Udbygget erhvervssamarbejde

De danske energiforskningsmiljøer har tradition for et tæt erhvervssamarbejde. På vindområdet samarbejder DTU med de største i branchen: Vestas og Siemens Windpower, men også med mindre virksomheder som Envision, der er en kinesisk vindmøllevirksomhed med en udviklingsafdeling i Silkeborg, med energiselskaber som DONG og Vattenfall og med underleverandører. På systemområdet samarbejder DTU med mange danske og udenlandske virksomheder – både store som IBM og Siemens og en række mindre virksomheder. På området for energilagring og -konvertering samarbejdes også med en lang række af virksomheder som fx Haldor Topsøe og Varta samt med en række mindre virksomheder.

Målt på innovationer/opfindelser, patenter og spinouts ligger energiområdet højt med i alt ca. 15 pct. af alle innovationer i de sidste fem år, som DTU har registreret inden for de 12 styrkeområder, vi har identificeret i denne analyse.

"Forskerne på DTU er ret godt kørende, for at sige det på jysk. Vi laver methanol-brændselsceller med DTU's viden som et vigtigt input. Og DTU's forskere har grundlæggende forståelse for, hvordan den langsigtede grundforskning spiller sammen med vores behov, som jo har en kortere tidshorisont. Og den måde, de kører forskningsprojekterne på, er bestemt ikke skidt."

Mads Friis Jensen, commercial manager, Serenergy, Ålborg

"Batterier bliver et stadigt vigtigere forretningsområde for os og en vigtig del af fremtidens energisystem. Og i forhold til universiteter i resten af verden er DTU's forskere rigtigt godt med i den gode ende. Så selvfølgelig har det stor værdi for os at bo så tæt ved DTU, som vi gør."

Søren Dahl, program manager, Haldor Topsøe

"For en vindmøllevirksomhed som os (Envision) gælder det bare om at suge til os af viden. Vi samarbejder både med DTU Vind, DTU Energi og DTU Elektro. Især på elsystemer formår DTU at skabe noget grundlæggende viden, som er operationel for en virksomhed som os."

Anders Rebsdorf, country manager, Envision