

Danmarks anvendelse af medlemskabet af CERN

Anbefalinger fra en arbejdsgruppe om det danske
CERN-medlemskab

Juli 2024



Udgivet af Uddannelses- og Forskningsstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø
Tel.: 7231 7800
ufs@ufm.dk
www.ufm.dk

Publikationen kan hentes på ufm.dk/publikationer

ISBN (elektronisk publikation): 978-87-85248-04-6

Indhold

1. Sammenfatning og anbefalinger	5
2. Baggrund og mål for arbejdsgruppen	7
3. Kortlægning af Danmarks anvendelse af CERN: Udfordringer og muligheder	10
3.1 Dansk forskning ved CERN	10
3.2 Muligheder og udfordringer for dansk forskning ved CERN	14
3.2.1 Et faldende antal danske CERN-forskere og behovet for et generationsskifte	14
3.2.2 For få danske universiteter anvender CERN	15
3.2.3 Begrænset teknisk forskning	15
3.3 Uddannelse og unge forskere på CERN	18
3.3.1 CERN og uddannelse	18
3.3.2 Det danske uddannelsesprogram på CERN	19
3.3.3 Tekniske studerende	20
3.3.4 Danske ph.d.-studerende	23
3.3.5 Danske postdocs på CERN	25
3.4 Rammerne for det danske engagement på CERN	26
3.4.1 Den danske finansiering til CERN	26
3.4.2 Forskning på CERN	28
3.4.3 Følgeforskningscenteret NICE	28
3.4.4 Finansiering af eksperimentelt udstyr	30
3.4.5 BigScience.dk	31
3.5 Kortlægning af bevillinger til CERN-forskning i Danmark 2006-2023	31
4. Anbefalinger	35
Bilag 1 Kommissorium	39
Bilag 2 Bibliometrisk analyse	43

1. Metode	44
1.1 Definition af "Danmarks CERN-publikationer"	44
1.2 Den bibliometriske metode og datagrundlag	44
1.3 Indikatorer	45
1.4 Opmærksomhedspunkter	46
2. Bibliometrisk analyse	47
2.1 CERN-forskningens volumen, gennemslagskraft og internationale sampublicering	47
2.2 Danske universiteter og samarbejdsinstitutioner	51
2.3 Hoved- og fagområdefordeling	52

1. Sammenfatning og anbefalinger

Det europæiske center for højeenergifysik (CERN) er verdens største forskningsfacilitet for partikelfysik, kernefysik og kernekemi. Danmark var en af grundlæggerne af CERN, som blev etableret gennem en international konvention i 1954. Danmarks medlemsbidrag til CERN betales fra finansloven, og udgør 168,3 mio.kr. i 2024, hvilket gør CERN til én af de internationale forskningsinfrastrukturer, som Danmark investerer mest i.

Danmark har historisk haft et stærkt forskningsmiljø på CERN. Den danske anvendelse af CERN er imidlertid under et alvorligt pres, idet det eksisterende danske forskningsmiljø er i risiko for at forsvinde inden for få år, pga. pensioneringer blandt forskerne.

Arbejdsgruppen om det danske medlemskab af CERN blev nedsat i begyndelsen af 2023. Baggrunden var rapporten fra CERN-Komiteen rECFA's¹ besøg i Danmark i 2022, samt Uddannelses- og Forskningsstyrelsens (UFS's) udarbejdelse af mål- og handleplaner for Danmarks medlemskaber af de store internationale forskningsfaciliteter. Arbejdsgruppen har været under ledelse af UFS med deltagelse af fire institutledere fra hhv. KU, AU, DTU og SDU, den danske delegerede til rECFA, samt formanden for det nationale følgeforskningscenter NICE.

Arbejdsgruppens hovedformål har været at afdække udfordringer og muligheder ved det danske medlemskab af CERN med særligt fokus på tre centrale temaer: 1) forskning, 2) uddannelse og 3) rammer for det danske CERN-engagement.

Arbejdsgruppen har foretaget en kortlægning af den danske anvendelse af CERN. Kortlægningen understreger den alvorlige situation, som det danske eksperimentelle forskningsmiljø på CERN i dag befinder sig i. Antallet af fastansatte danske CERN-forskere er i 2023 opgjort til 10 personer, hvoraf ca. halvdelen ventes at gå på pension inden for en kort årrække. Den forskningsmæssige anvendelse er i dag for lav til, at Danmark kan få optimalt udbytte af medlemskabet, og der vurderes at være behov for hurtigst muligt at gennemføre et generationsskifte i forskningsmiljøet. Udfordringen med det vigende antal forskere står dog ikke alene. I hele værdikæden fra studerende til fastansatte forskere er der fra dansk side en begrænset interaktion med CERN i dag.

CERN tilbyder en platform for forskning, som rækker ud over fysikmiljøet i Danmark, idet CERN som et laboratorium for eksperimentel forskning investerer betydelige ressourcer i teknologisk forskning, datalogi og innovation. CERN investerer endvidere i anvendelsen af grønne teknologier, som kan nedbringe klimaafttrykket.

På uddannelsessiden er der eksempler på succesrige danske CERN-initiativer i de senere år. Det drejer sig bl.a. om et uddannelsesprogram ved CERN målrettet studerende fra danske uddannelsesinstitutioner. Dette program drives af CERN's danske liaison

¹ Brev fra rECFA til uddannelses- og forskningsministeren, dateret 31 maj 2022.

officer gennem et netværk af CERN-ambassadører på danske uddannelsesinstitutioner. I de seneste fem år har 93 studerende fra en række forskellige danske uddannelsesretninger gjort brug af dette program.

Når der ses på antallet af danske ph.d.-studerende og postdocs på CERN, ses samme udfordringer som for de fastansatte danske CERN-forskere. Der er i dag fem danske ph.d.-studerende inden for eksperimentel CERN-forskning. Til sammenligning var der 22 danske ph.d.-studerende inden for samme felt i 2019. Der er sket en stigning i antallet af danske postdocs ved CERN de seneste år, men over en femårig periode fra 2018-2022 er der i alt kun rekrutteret syv postdocs til forskning på CERN. Sammenlignes antallet af ph.d.-studerende og postdocs ved CERN, med situationen i sammenligningslande som Norge, Finland og Holland, så ligger Danmark dårligst placeret per capita, med en tydelig margin til den næst-dårligste placering.

En del af arbejdsgruppens analyse af rammerne for at anvende CERN, beskæftiger sig med forskningsfinansieringen. Arbejdsgruppen har med bistand fra NICE, Danmarks Frie Forskningsfond og Danmarks Grundforskningsfond kortlagt en stor del af de bevillinger, der er givet til CERN-forskning i Danmark i perioden 2006-2023. Det fremgår bl.a., at danske CERN-forskere har en succesrate ved de offentlige forskningsfinansierende fonde, som ligger over gennemsnittet. Samlet set kan der ikke konstateres væsentlige udfordringer med bevillinger til den danske CERN-forskning i perioden. Når alle bevillinger inkluderes, har de danske CERN-forskere i gennemsnit modtaget ca. 26 mio. kr. årligt i perioden 2006-2023. Det faldende antal danske CERN-forskere udgør dog i sig selv en risiko for, at forskningsmiljøet bliver så småt, at det kan blive svært at tiltrække den nødvendige eksterne finansiering, til at sikre et generationsskifte gennem opbygningen af talentmasse.

En ny bibliometrisk analyse (bilag 2) viser, at den forskningsmæssige gennemslagskraft er på et internationalt højt niveau. Analyserne indikerer dermed, at den forskningsmæssige relevans af dansk forskning på CERN er høj. Volumen i forskningen udgøres i dag hovedsageligt af det eksperimentelle CERN-miljø på to ud af otte danske universiteter, hvorimod dansk teknologisk forskning kun har en begrænset berøring med CERN.

Arbejdsgruppen er nået frem til en række anbefalinger, som fremgår af afsnit 3. Der er et akut behov for at styrke den forskningsmæssige anvendelse af CERN og imødegå det faldende antal danske CERN-forskere. Det vurderes, at der ligger et uudnyttet dansk potentiale i at udbrede anvendelsen af CERN til andre forskningsområder end fysik. Det vil kræve en langsigtet indsats af flere nationale aktører at styrke den danske anvendelse af CERN, og det er arbejdsgruppens forventning, at denne afrapportering er det første skridt i en fælles indsats for at øge Danmarks anvendelse og udbytte af CERN.

2. Baggrund og mål for arbejdsgruppen

Med afsæt i undersøgelser og anbefalinger fra bl.a. målplanerne for de danske medlemskaber af internationale forskningsfaciliteter² og CERN-Komiteen rECFA's besøg i Danmark i juni 2022, besluttede Uddannelses- og Forskningsstyrelsen at nedsætte en national arbejdsgruppe. Denne arbejdsgruppe fik til opdrag at opstille konkrete modeller for at styrke anvendelsen og udbyttet af det danske CERN-medlemskab.

Det fremgår af kommissoriet for arbejdsgruppen (jf. bilag 1), at særligt tre temaer skal adresseres: 1) forskning, 2) uddannelse og 3) rammer for det danske CERN-engagement. For hvert af disse temaer skal arbejdsgruppen beskrive muligheder og barrierer for både at udvikle det eksisterende danske CERN-brugermiljø og udvide brugermiljøet til relevante danske forskningsmiljøer, som i dag ikke er involveret i forsknings- og udviklingsaktiviteter på CERN. De tre temaer har været gennemgående fokuspunkter for arbejdsgruppen og er det ligeledes i nærværende afrapportering. Det fremgår af kommissoriet, at arbejdsgruppens anbefalinger skal holdes inden for Uddannelses- og Forskningsministeriets nuværende økonomiske ramme.

Et centralt element i arbejdsgruppens opdrag har været inddragelse af internationale erfaringer, dels til etablering af et sammenligningsgrundlag for det danske CERN-engagement, dels som inspirationskilde til indsatser, som kan bidrage til at styrke den danske anvendelse af CERN. Arbejdsgruppen har valgt at perspektivere de danske forhold med situationen i Finland, Holland og Norge. Disse tre lande er valgt som sammenligningsgrundlag, dels ud fra landenes størrelse i sammenligning med Danmark. Således har eksperter og embedsmænd fra bl.a. Finland og Holland leveret input til arbejdsgruppen, i form af præsentationer af forskellige nationale tiltag og organiseringer, med det formål at øge anvendelsen og udbyttet af et CERN-medlemskab.

Sammenligningen med andre lande giver indikationer af, hvordan Danmark klarer sig. Kriterier for sammenligningen har særligt været: 1) Karakterisering af det danske CERN-miljø, og om det er sammenhængende og i udvikling, 2) hvorvidt Danmark i et rimeligt omfang anvender de muligheder, som CERN giver, og som der er betalt for gennem medlemsbidraget, og at 3) forskningen skal være relevant og af høj videnskabelig impact med international gennemslagskraft.

De tre kriterier kan detaljeres yderligere, da Danmarks potentielle gevinster ved medlemskabet af CERN har mange facetter:

- Medlemskabet af CERN understøtter grundforskning i fysik. Dvs. eksperimentel og teoretisk forskning i universets skabelse samt egenskaber af stof og atomer. CERN er en unik forskningsinfrastruktur til det formål.

² Mål og ambitioner for de danske medlemskaber af internationale forskningsfaciliteter, Uddannelses- og Forskningsstyrelsen, 2023.

- For at udvikle og drive den nødvendige accelerator-infrastruktur på CERN, samt selve eksperimenterne, har CERN et omfangsrigt program for teknologisk forskning og udvikling. Den teknologiske forskning sker gennem vekselvirkning med medlemslandene, herunder overførsel af viden og teknologier tilbage til medlemslandene.
- CERN køber hvert år for store summer i medlemslandene. Indkøbene sker så vidt muligt i åbne udbud og også med ordrer til danske virksomheder. Den løbende opfølgning på indkøbspolitikken og ordre-statistikkerne sker gennem et formaliseret samarbejde med medlemslandene.
- CERN har et stort fokus på uddannelse gennem flere uddannelsesprogrammer, og et åbent system til at tage imod besøgende fra gymnasier m.m. Uddannelse og forskningsformidling er centreret om fysik og teknologi, men også studerende inden for HR, international lov m.m. ift. de administrative funktioner på CERN kan søge om studieophold på CERN.

Om CERN-arbejdsgruppen

CERN-arbejdsgruppen blev nedsat i marts 2023. Arbejdsgruppen har afholdt møder med oplæg fra repræsentanter fra andre lande, CERN, internationale eksperter og embedsmænd.

Arbejdsgruppen har bestået af følgende medlemmer:

Johnny K. Mogensen (formand), kontorchef Uddannelses- og Forskningsstyrelsen.

Ulrik Uggerhøj, institutleder, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Jane Hvolbæk Nielsen, institutleder, DTU Fysik, Danmarks Tekniske Universitet.

Jan W. Thomsen, institutleder, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.
/ afløst af /

Joachim Mathiesen, institutleder, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

Lars Porskjær Christensen, Institutleder, Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet.

Jens Jørgen Gaardhøje, formand for NICE (Nationalt Instrumentcenter for CERN-eksperimenter), Niels Bohr Institutet.

Mogens Dam, dansk delegeret til CERN rECFA-komiteen.

Ulrik Uggerhøj, Jens Jørgen Gaardhøje og Mogens Dam har alle en forskningsmæssig baggrund med anvendelse af CERN.

Arbejdsgruppen er blevet sekretariatsbetjent af medarbejdere fra Uddannelses- og Forskningsstyrelsen. Sekretariatet har betjent arbejdsgruppen med tilvejebringelse af fakta og udarbejdelse af afrapporteringen.

3. Kortlægning af Danmarks anvendelse af CERN: Udfordringer og muligheder

Som det fremgår af kommissoriet for CERN-arbejdsgruppen, skal tre temaer for den danske anvendelse og udnyttelse af CERN belyses: 1) forskning, 2) uddannelse og 3) rammer for det danske CERN-engagement.

Den danske forskning i relation til CERN afhænger af et velfungerende økosystem for uddannelse og forskning. Det er en lang værdikæde, der strækker sig fra de studerende, ph.d.-studerende og unge forskere, til de faste ansættelser på universiteterne. Det danske udbytte af medlemskabet af CERN afhænger af at denne værdikæde formår at vekselvirke med CERN, og af at der er en vekselvirkning mellem hvert led i værdikæden og til CERN.

Den eksperimentelle forskning og teknologi-aspektet, samt den meget lange tidshorisont for forskningen, er tre særlige kendetegn for medlemskabet af CERN. Disse særlige aspekter gør vekselvirkningen med CERN kompleks, men rummer også nøglen til hvorfor medlemskabet af CERN som platform for grundforskning, er værdifuld for Danmark.

I det følgende gennemgås det danske landskab for forskning, uddannelse og de organisatoriske rammer i relation til CERN, samt vekselvirkningen for hvert tema mellem Danmark og CERN. De væsentligste udfordringer og muligheder for at øge den danske anvendelse af CERN beskrives under hvert tema.

3.1 Dansk forskning ved CERN

At dansk fysikforskning har en bred anvendelse af CERN er allerede konkluderet tidligere. Den brede anvendelse fremgår både af udbytteanalysen af de danske internationale medlemskaber fra 2019, samt i en brugeranalyse fra 2021, der detaljeret redegør for de danske forskeres anvendelse af CERN³. En yderligere nuancering opnås, når der sondres mellem *eksperimentel* og *teoretisk* forskning i tilknytning til CERN.

³ Udbyttet af Danmarks medlemskaber af store internationale forskningsinfrastrukturer, UFS, 2019
<https://ufm.dk/publikationer/2019/udbyttet-af-danmarks-medlemskaber-af-store-internationale-forskningsinfrastrukturer>

samt

Kortlægning af de danske brugermiljøer af internationale forskningsfaciliteter, UFS, 2021
<https://ufm.dk/publikationer/2021/kortlaegning-af-danske-brugermiljoer-af-internationale-forskningsfaciliteter>

Den eksperimentelle del vedrører forskning, der foregår på CERN med deltagelse af danske forskere, hvori der indgår delkomponenter, instrumenter, apparatur og lignende, og hvor danske forskere analyserer og anvender data, der produceres af CERN's eksperimenter. CERN indgår i dansk forskning som et nationalt laboratorium, som er aktivtetsbærende i et andet land.

Den teoretiske forskning lægger grundlaget for forskningen på CERN, og anvender resultaterne fra CERN, men kan eksistere uafhængigt af selve gennemførelsen af eksperimenterne. Det er en styrke for Danmark, at der både er forskning i teori og eksperimenter. Den teoretiske forskning står stærkt på SDU og KU, blandt andet hjulpet af en bevilling fra Grundforskningsfonden fra 2009 "CP3 Origins", med base på SDU. Til det fulde billede af anvendelsen af CERN, hører derfor også den teoretiske forskning. Brugundersøgelse fra 2019, med tal fra følgeforskningscenteret NICE, viste, at der inden for teoretisk forskning i relation til CERN var 65 forskere og studerende i alt, fordelt med 33 på KU, 31 på Syddansk Universitet (SDU) og 1 på AU.

Langt størstedelen af medlemslandenes bidrag til CERN går imidlertid til at drive infrastrukturen, hvor eksperimenterne kan gennemføres. Kun en forsvindende lille del af CERN's udgifter går til at fremme den teoretiske forskning forbundet med faciliteten, da den teoretiske forskning ikke er strukturelt forbundet til de langsigtede strategiske eksperimenter, og de dertilhørende store investeringer. Selvom den teoretiske forskning udgør en central del af den samlede danske CERN-forskning, så er arbejdsgruppens analyse af den danske anvendelse af CERN, og forståelse af dynamikkerne og finansieringslandskabet, med hovedfokus på den eksperimentelle anvendelse af CERN – det vil sige den anvendelse der fordrer en aktiv tilstedeværelse og deltagelse i eksperimenterne på CERN.

I en dansk kontekst er der, som det fremgår i det følgende, en historisk betinget organisering af teori og eksperimenter mellem de danske universiteter. Sådan behøver det ikke nødvendigvis at være – i denne rapportes sammenligningslande, Finland, Holland og Norge, sondres der ikke fagligt eller prioriteringsmæssigt mellem teoretisk forskning og eksperimentel forskning forbundet med CERN.

I forhold til den danske eksperimentelle anvendelse af CERN, så er de danske forskningsmiljøer først og fremmest forankret på Københavns Universitet (KU) og Aarhus Universitet (AU). Danske forskere deltager i både højenergi- og lavenergi-eksperimenter, se tabel 2.1. Højenergifysik referer til eksperimenter på den 27 km lange LHC accelerator, og det igangværende program for en opgradering af LHC, High-Luminosity LHC. Lavenergifysik referer til eksperimenter, der gør brug af anden infrastruktur på CERN end LHC.

KU's forskere deltager i de store internationale eksperimenter, bl.a. gennem bidrag med komponenter, der bygges ind i de store instrumenter. Eksperimenterne er verdensførende inden for forskning i højenergifysik, og f.eks. det eneste sted i verden, hvor det er muligt at karakterisere (dvs. måle på) Higgs-partiklen og samlinger af kvarker (kvark-gluon plasma).

AU's forskere deltager i udforskningen af isotoper og antistof, hvor de har en hovedrolle i flere eksperimenter. Antistof-eksperimenterne er unikke i verden og er fundamentale for at forstå tilblivelse af stof ved universets dannelse. Derudover var forskere ved AU

med til at etablere ISOLDE-eksperimentet i 1967, som kan fremstille sjældne isotoper og anvendes til at forstå tilblivelsen af grundstoffer.

Endelig deltager forskere på hhv. AU og DTU i et par mindre eksperimenter.

Tabel 3.1

Overblik over eksperimenter ved CERN med dansk deltagelse.

Eksperimenter ved CERN med dansk deltagelse	Forskningsfelt	Universitet
ALICE på LHC	Stof under ekstreme tilstande: Quark Gluon Plasma og Color Glass Condensate	KU
ATLAS på LHC	Standardmodellen og Higgs-partiklen. Søgen efter partikler udover standard Modellen	KU
ISOLDE på PS	Fysik af atomkerner/isotoper, og kernereaktioner langt fra stabilitet.	AU
ALPHA på ELENA	Syntese af antibrint og spektroskopi heraf.	AU
NA63 på SPS	Ultrastærke elektromagnetiske felter i krystaller	AU
CAST, IAXO	Søgen efter nye partikler (Axioner).	DTU

Fælles for alle disse eksperimenter er, at de er unikke og førende på verdensplan og sker i regi af internationale samarbejder med en aktiv dansk deltagelse.

I forbindelse med kortlægningen af det danske CERN-brugermiljø iværksat af UFS i 2019⁴, var hovedresultatet af opgørelsen over det samlede danske CERN-brugermiljø, at omkring 200 forskere, studerende og teknikere, inden for både eksperimenter og teori, var engageret i CERN-relaterede projekter. I den detaljerede opgørelse fra NICE fremgik, at der i Danmark var 18 fastansatte professorer og lektorer i direkte tilknytning til eksperimenter på CERN. Hertil skal tillægges 18 midlertidigt ansatte lektorer, adjunkter, og postdocs, samt 22 ph.d.-studerende. Udover disse opgørelser er teknisk personale og computing, samt hele den teoretiske forskning.

En opdateret kortlægning af det danske eksperimentelle CERN-brugermiljø er foretaget af NICE for arbejdsgruppen, og fremgår af tabel 2.2. Af tabellen ses, at der i 2023 var ti fastansatte forskere i Danmark, der arbejder med eksperimentel forskning på CERN. Der kan således konstateres næsten en halvering af forskningsmiljøet inden for dette område på ganske få år. Dertil kommer, at yderligere tre af de tilbageværende forskere forventes at gå på pension inden for en femårig periode.

Tabel 3.2.

Antallet af forskere og ph.d.-studerende i Danmark der anvender CERN til eksperimentel forskning.

Danske eksperimentelle CERN-forskere og studerende	2019	2023
Forskere, fastansatte	18	10
Forskere, ikke-fastansatte (f.eks. postdocs)	18	6
Ph.d.-studerende	22	5

Kilde: NICE, opgørelse fra 2019, samt rundspørge i maj 2023.

⁴ Kortlægning af de danske brugermiljøer af internationale forskningsfaciliteter, UFS, 2021
<https://ufm.dk/publikationer/2021/kortlaegning-af-danske-brugermiljoer-af-internationale-forskningsfaciliteter>

CERN opgør også antallet af brugere fra hvert land. Der er dog en metodisk forskel ift. tallene fra NICE ovenfor, da CERN opgør antallet af brugere registreret på CERN, dvs. personer (både forskere og studerende), som har behov for en regelmæssig adgang til CERN. CERN's opgørelse er derfor ikke et direkte udtryk for den samlede størrelse af det nationale CERN-miljø. Med det metodiske forbehold in mente, er CERN's opgørelse imidlertid konsistent på tværs af alle lande, og giver et datagrundlag til international sammenligning.

Af tabel 2.3 fremgår det, at 49 brugere med dansk nationalitet var registreret ved CERN i 2022. Af tabellen fremgår ligeledes antallet af brugere fra referencelandene Finland, Holland og Norge. I tabellen er landenes andel af det totale medlemsbidrag til CERN også angivet. Den danske andel af brugere på 0,4% kan herved holdes op imod det danske medlemsbidrag til CERN, som udgør 1,8%. Det fremgår, at antallet af danske brugere ligger på et lavt niveau sammenholdt med medlemsbidraget, men at en tilsvarende problematik gør sig gældende for sammenligningslandene.

Tabel 3.3.

Antallet af brugere af CERN opgjort efter nationalitet for Danmark og referencelande. Heri indregnes eksempelvis danskere tilknyttet udenlandske universiteter. Medlemsbidraget er til sammenligning anført for hvert land.

Nationalitet	Brugere		Medlemsbidrag
	Antal	Andel	
Danmark	49	0,41 %	1,84 %
Finland	90	0,75 %	1,35 %
Holland	169	1,42 %	4,80 %
Norge	79	0,67 %	2,15 %
Alle lande	11860	100,00 %	

Kilde: CERNs personalestatistik 2022 og CERNs budget for 2023.

For yderligere at belyse det danske forskningsmæssige engagement ved CERN, så har UFS gennemført en detaljeret bibliometrisk analyse af Danmarks CERN-publikationer i perioden 2013-2022 (jvf. bilag 2). Analysen viser, at Danmark har det laveste antal CERN-publikationer blandt sammenligningslandene (Finland, Norge og Nederlandene) og det næstlaveste pr. mio. indbyggere. Den lave placering skal ses i sammenhæng med, at antallet af publikationer afhænger af antallet af eksperimenter, som danske forskere kan deltage i. Alle deltagere i de store kollaborationer er med på alle publikationer og har derfor det samme antal publikationer.

Tabel 3.4

Danske universiteter fordelt på antal publikationer i datasættet med de danske CERN-publikationer, 2013-2022

Universitet	Antal publikationer	Andel
Københavns Universitet	1.302	88%
Aarhus Universitet	87	6%
Syddansk Universitet	48	3%
DTU - Danmarks Tekniske Universitet	34	2%
Aalborg Universitet	1	0%
CBS - Copenhagen Business School	1	0%

Anm.: Opgørelsen er ikke fraktioneret. Data dækker publikationstyperne artikler, reviews og konferencbidrag. Opgørelsen viser de danske universiteters antal CERN-publikationer 2013-2022.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

Danske CERN-publikationer har til gengæld den højeste andel publikationer blandt de top 10 procent mest citerede på verdensplan (52,6 procent) og den højeste feltvægtede gennemslagskraft (4,25) blandt sammenligningslandene. Den danske forskning i relation til CERN står dermed rigtig stærkt i en international sammenligning.

Ser på man fordelingen af publikationer mellem universiteterne, så har hovedparten af de danske CERN-publikationer (88 pct.) en medforfatter fra KU. Næsten alle danske CERN-publikationer er inden for naturvidenskab, mens omkring en femtedel er inden for teknisk videnskab, idet en publikation kan være tilknyttet flere hovedområder. Analysen viser, at til trods for DTU's begrænsede deltagelse i forskning på CERN, så har DTU alligevel adskillige publikationer relateret til CERN. Det bemærkes derfor, at den danske tekniske forskning allerede er i berøring med CERN. Antallet af Danmarks CERN-publikationer i perioden 2013-2022 samt fordelingen på danske universiteter fremgår af tabel 2.4.

3.2 Muligheder og udfordringer for dansk forskning ved CERN

3.2.1 Et faldende antal danske CERN-forskere og behovet for et generationsskifte

Af tabel 2.2 fremgår, at antallet af fastansatte danske eksperimentelle CERN-forskere blot udgør 10 personer. Uden nye tiltag vurderes dette tal at blive yderligere reduceret i de kommende år, som følge af pensioneringer. Opretholdelsen af den danske anvendelse af CERN er dermed akut udfordret.

Antallet af danske CERN-forskere vurderes at være meget lavt set i relation til den årlige danske medlemsbetaling til CERN. Det vurderes at være en udfordring for de individuelle institutter at arbejde strategisk og langsigtet med generationsskiftet, da nyan sættelser i høj grad er bundet op på forpligtigelser i forbindelse med eksterne bevillinger.

3.2.2 For få danske universiteter anvender CERN

De danske forskere der anvender CERN til eksperimentel forskning er koncentreret på AU og KU. I periferien af de primære brugere er der forskere på DTU og SDU, som anvender CERN. Hertil er der forskning i teori på KU, SDU og AU, som bygger på eksperimentelle resultater fra CERN.

Det vil typisk indebære en målrettet og langvarig indsats at engagere sig med CERN, f.eks. i et teknologiudviklingsprojekt eller på et af eksperimenterne. Den koncentrerede danske organisering lægger således et pres på især KU og AU ift. at oppebære den danske anvendelse af CERN. Samtidig udgør behovet for et langsigtet engagement en tørris, som er svær at overkomme for andre relevante institutter og universiteter. Dette udgør en barriere for at kunne tilgå CERN på lige fod med de eksisterende CERN-forskningsmiljøer på KU og AU og for nationalt at kunne udbrede den forskningsmæssige anvendelse af CERN til andre relevante forskningsmiljøer.

Når CERN-forskningen bliver for koncentreret i omfang, både geografisk og fagligt, vanskeliggør det mulighederne for at arbejde nationalt og strategisk med det danske medlemskab af CERN.

Der er behov for at gentænke universiteternes engagement med CERN. Til sammenligning, så opererer det nationale roadmap for forskningsinfrastruktur (se nedenfor) med en definition af et nationalt projekt, som et projekt der involverer mindst tre danske universiteter. Det vil i CERN-regi være vanskeligt at mønstre, og CERN-miljøet risikerer ikke at veje tilstrækkeligt tungt i den offentlige finansiering af forskningsinfrastruktur, på trods af den internationale gennemslagskraft, som dansk forskning på CERN har.

3.2.3 Begrænset teknisk forskning

Udviklingen af infrastruktur og eksperimenter på CERN bygger på et engagement og fællesskab med de øvrige medlemslande og samarbejdspartnere, også uden for fysikforskningen. Acceleratorteknologi, materialeforskning, kemi, detektorer, datalogi, data-management m.m. udvikles ofte i tæt samarbejde med forskningsinstitutioner i de deltagende lande. CERN er derfor både et laboratorium, som understøtter national teknologisk forskning, i lige så høj grad som CERN er et laboratorium og en katalysator for forskning i eksperimentel og teoretisk fysik.

Som illustration af de mange teknologiske forskningsområder, som CERN er i berøring med, så er der inspiration at finde i Storbritanniens nationale strategi for anvendelsen af CERN. Strategien er offentliggjort i oktober 2023, og skal øge Storbritanniens udbytte af CERN-medlemskabet. I den forbindelse er der bl.a. lavet en detaljeret kortlægning af potentialet for teknologisk innovation inden for en række forskellige områder (se figur 2.1). Denne figur illustrerer variationen af den teknologiske forskning, der kan udføres ved CERN, afhængig af bredden af kontaktfladen mellem forskere og CERN. Det vurderes, at der ligeledes er et behov for at tydeliggøre potentialet og mulighederne for teknologisk innovation og teknisk forskning i en dansk CERN-sammenhæng. Dette inkluderer en øget synlighed af de mulige forskningssamarbejder, der kan inkludere dan-



Figur 3.1

Storbritanniens kortlægning af eksempler på teknologiske udviklingsområder på CERN.
Kilde: UK Strategy for Engagement with CERN, Department for Science, Innovation and Technology UK, 2023

ske tekniske fakulteter. Figuren viser også den samfundsmæssige relevans af de aktiviteter der foregår i relationen til CERN. Det er derfor en vigtig pointe, at udbyttet af medlemskabet af CERN er langt bredere end grundforskningen i fysik. Lignende budskaber kan udledes af præsentationerne i arbejdsgruppen fra Finland, Holland og Norge, hvor engagementet med CERN er langt bredere end forskningen i fysik.

I en dansk sammenhæng bidrager den eksperimentelle forskning i fysik allerede til den tekniske forskning gennem udviklingen af instrumenter og detektorer, metoder til data-behandling m.m. Men der er et uopdyrket potentiale i forhold til at inddrage andre

danske universiteter, som besidder stærke kompetencer inden for det tekniske område, men hvor fysik-forskningen på CERN er mindre relevant.

I Danmark løftes på den ene side den tekniske forskning af fysikeksperimenternes behov. På den anden side er teknisk forskning en forskningsdisciplin i sin egen kraft. Uden et bredere nationalt engagement, går danske forskere glip af at kunne anvende CERN til den varierede forskning, som CERN tilbyder en platform for, og som foregår på tværs af danske universiteter. Det er derfor en grundlæggende konklusion, at den danske anvendelse af CERN med fordel kan udbredes.

Det vurderes dog, at et øget engagement af teknisk CERN-forskning, forudsætter en bredere national indsats, som favner både den eksisterende forskning i fysik, men som også søger inddragelse af nye teknologiske forskningsområder. Det vurderes også, at et løft af den teknologiske forskning i relation til CERN vil kræve en målrettet og strategisk indsats.

CERN er afhængig af tætte samarbejder med de tekniske videnskaber i medlemslandene, for at kunne rykke de teknologiske milepæle. Uden teknisk forskning, udvikles der ikke systematisk tekniske kompetencer, som kan interagere mellem CERN og den hjemlige tekniske forskning, eller eksempelvis fremme de individuelle kompetencer i konkurrencen om faste stillinger på CERN.

Når medlemskabet af CERN ses som et nationalt gode, så kan der være et potentiale i at styrke DTU's engagement, men også at AU's tekniske fakultet, Aalborg Universitet, RUC, og evt. ITU ift. forskning i datalogi, får et direkte engagement i CERN. Der skal være tale om en balancegang, hvor de nationale forskere kan anvende CERN til at understøtte deres forskning og interesser, mens CERN for sin del skal have en interesse i at understøtte den konkrete tekniske forskning med ressourcer.

I sammenligningslandene indgår forskningen i fysik og i de tekniske videnskaber i et samlet hele. Det synes at være en særsomt dansk udfordring, at forskere i Danmark har en meget begrænset anvendelse af CERN til teknisk forskning. Det er derfor særligt relevant, at den politiske aftale om Forskningsreserven for 2024⁵, under initiativet om Digitalisering, teknologi og innovation, indeholder et formål om at understøtte danske universiteters og virksomheders samarbejde med bl.a. CERN inden for teknisk forskning og udvikling.

At der er tale om en dansk udfordring, der stikker dybt, fremgår af antallet af danskere, som er fastansat på CERN (jf. tabel 2.5 og 2.6). Det fremgår, at antallet er faldende over de seneste 5 år. Forholdsmæssigt er danskere svagt repræsenteret i stillingerne på CERN, hvor langt størstedelen af CERNs ansatte er i tekniske stillinger. Da der ikke sker en væsentlig faglig udveksling på det tekniske område mellem Danmark og CERN, så vil det være vanskeligt systematisk at vende den nedadgående retning af danskere i stillinger på CERN.

⁵ Aftaler om fordeling af forskningsreserve mv. i 2024 2. november 2023

Afsnit 2.1. Digitalisering, teknologi og innovation indeholder bl.a. følgende formål:

Indsatsen kan også fremme danske universiteters og virksomheders teknologiske forskning gennem samarbejder i de internationale miljøer, som Danmark er medlem af (CERN, ESO, EMBL, ESRF, EU-XFEL, ESS m.fl.), så dansk viden kommer i spil internationalt og fremmes gennem aktiv deltagelse i udvikling af morgendagens teknologier.

Det er problematisk for Danmark, hvis antallet af danskere (dvs. af dansk nationalitet, eller med rod i danske uddannelses- og forskningsinstitutioner) bliver for lavt. Danskere på CERN er brobyggere til det hjemlige CERN-miljø. Desuden er danskere på CERN efterspurgt som guider for besøgende gymnasieklasser, samt for de regulære besøg på CERN af danske gymnasielærere, som arrangeres af Danmarks Naturfagslærerforening⁶.

Antages en ideel betragtning om geografisk diversitet blandt de ansattes nationaliteter, så bør andelen af danskere ansat på CERN være af ca. samme størrelsesorden som medlemsbidraget på 1,8%. Dette er ikke tilfældet med de faktiske 0,6 % i 2022. Ingen af sammenligningslandene har dog en national medarbejderandel der ligger på niveau med medlemsbidraget, og det er heller ikke af nogen af landene anført som et strategisk mål.

Tabel 3.5

Danskere fastansat på CERN, angivet som antal og andelen i procent af det samlede antal ansatte.

Danskere ansat på CERN 2017-2022

2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Antal	Andel	Antal	Andel	Antal	Andel	Antal	Andel	Antal	Andel	Antal	Andel
19	0,72 %	19	0,71 %	18	0,68 %	18	0,64 %	17	0,64%	16	0,60 %

Kilde: Udtræk fra CERN's HR system for Danmark per 3. oktober 2022, samt CERN's personalestatistik 2022.

Tabel 3.6

Antal fastansatte på CERN sammenlignet med andre lande efter nationalitet. Per 31/10 2022.

	Antal fastansatte	Andel	Medlemsbidrag
Danmark	16	0,60 %	1,84 %
Finland	29	1,09 %	1,35 %
Holland	62	2,33 %	4,80 %
Norge	13	0,49 %	2,15 %
Alle lande	2658	100,00 %	

Kilde: CERN's personalestatistik 2022

3.3 Uddannelse og unge forskere på CERN

3.3.1 CERN og uddannelse

Et særlig karaktertræk ved medlemskabet af CERN er, at CERN har målrettede ressourcer til at understøtte de hjemlige uddannelser og fremme unge forskeres

⁶ <https://fysik-kemi.dk/>

karrieremuligheder. Mulighederne tilbydes primært inden for teknologi og fysik⁷, selvom CERN også har uddannelsesmuligheder inden for humaniora og samfundsvidenskab. Et ophold eller stipendie på CERN udgør generelt en mulighed for interaktion mellem de hjemlige uddannelsesinstitutioner og CERN og har potentiale til at være kompetenceudviklende for den enkelte studerende.

At der eksisterer en dansk udfordring med anvendelse af uddannelsesmulighederne, fremgår af CERNs personalestatistik⁸. Personalestatistikken giver et omfattende indblik i Danmarks uddannelsesmæssige interaktion med CERN.

Arbejdsgruppen har valgt at fokusere på tallene for de tre uddannelsesmæssige områder 1) tekniske studerende, 2) ph.d.-studerende og 3) unge forskere. De tre områder præsenteres i de tre følgende afsnit. Dog præsenteres indledningsvist det særlige danske uddannelsesprogram.

3.3.2 Det danske uddannelsesprogram på CERN

Siden 2018 har der eksisteret et særligt program målrettet studerende fra danske uddannelsesinstitutioner, se tabel 2.7. Uddannelsesprogrammet formår at tiltrække studerende fra bredden af danske universiteter og andre uddannelsesinstitutioner. Det danske uddannelsesprogram er et initiativ målrettet mod at få danske studerende til CERN. Programmet drives af CERNs danske liaison officer, Jørgen Christiansen fra CERN, gennem et ad hoc netværk af CERN-ambassadører på danske uddannelsesinstitutioner.

Uddannelsesprogrammet har gennemslagskraft i forhold til at vække interesse hos studerende på tværs af studieretninger og faglige profiler på universiteterne og andre uddannelsesinstitutioner, eksempelvis maskinmesterskolerne. Med i alt 93 deltagende studerende over 5 år er der generelt stor interesse blandt danske studerende for at få et ophold på CERN, og interessen rækker udover de etablerede fysikmiljøer.

Det bærende element for programmets succes er, at Jørgen Christiansen løfter en betragtelig opgave med at indsamle CV'er fra institutionerne, gennemgå CV'erne, og søge dialog med værksteder og enheder på CERN, som kunne tænkes at have opgaver af relevans for den enkelte studerende. Der anvendes således ressourcer i at fremme det individuelle match mellem CERN og den studerende.

Tabel 3.7.

Antallet af studerende i det danske uddannelsesprogram på CERN. Kilde: Jørgen Christiansen, CERN.

Forskningsinstitution	Antal studerende i alt (2018-2022)
Aalborg Universitet	7
Aarhus Universitet	56
Danmarks Tekniske Universitet	5
Københavns Universitet	3
Syddansk Universitet	13

⁷ CERN udbyder kompetencemidler inden for STEM-området (dvs. Science, Technology, Engineering and Mathematics).

⁸ CERNs personalestatistik opdateres årligt og findes tilgængelig på <https://cds.cern.ch/>

Forskningsinstitution	Antal studerende i alt (2018-2022)
Maskinmesterskoler	5
Københavns Erhvervsakademi	4
I alt	93

Det er et opmærksomhedspunkt, at en stor del af de studerende i det danske uddannelsesprogram primært kommer fra de teknisk rettede uddannelser, og at de studerende primært indgår i tekniske projekter på CERN. Dermed kommer de studerende uden for det etablerede CERN-miljø i fysik fra KU og AU. Tilmed fremgår det, at antallet af KU-studerende er det laveste blandt de deltagende institutioner, på trods af at KU har det største CERN-forskningsmiljø i Danmark. Det skal dog understreges, at der her er tale om vidt forskellige akademiske retninger og niveauer, f.eks. har KU ikke tekniske studerende og giver i denne sammenhæng alene akademiske grader inden for fysik.

Det kan også overvejes, om uddannelsesprogrammet formår at tiltrække en anden type studerende, end de der kommer til CERN gennem de etablerede fysikmiljøer på KU og AU, dvs. at det netop er centralt at tænke anvendelsen af CERN bredt i uddannelsesmæssige sammenhænge. Det er derfor også bekymrende, at DTU rangerer relativt lavt, med få studerende som vekselvirker med CERN.

Det er også en væsentlig betragtning, at det særlige danske uddannelsesprogram viser, at der er en stor interesse blandt studerende for at komme på CERN. Det betyder på den ene side, at CERN er attraktivt og relevant for studerende at engagere sig i. Men omvendt, så vil den faldende størrelse af fysik-miljøet, og universiteternes begrænsede deltagelse i teknologisk forskning i relation til CERN, bevirke at de studerende kan have vanskeligt ved at finde afsæt for at fortsætte deres uddannelse og karriere i relation til aktiviteter på CERN – talentmassen er til stede, men bliver ikke opdyrket.

3.3.3 Tekniske studerende

Udover interessen blandt de studerende, for at søge gennem det danske uddannelsesprogram, så synes programmet at have en effekt på de konkurrenceudsatte programmer på CERN.

Idet CERN selv har ressourcer til at fremme uddannelse samt tilbyde ansættelse til ph.d.-studerende og unge forskere, påhviler der ikke umiddelbart de danske uddannelsesinstitutioner et institutionelt ansvar ift. at søge dialog og samarbejde med CERN på uddannelsesområdet. Det kan omvendt betyde, at det er vigtigt at uddannelsesophold på CERN bliver strategisk prioriteret blandt universiteterne. Dette kan eksempelvis ske gennem lokal opmærksomhed (ved det enkelte institut eller afdeling) på at fremme uddannelsesmulighederne, fremfor at det overlades til den enkelte studerende at søge ophold på CERN. Uden en målrettet tilgang, risikerer Danmark at gå glip af de stipendiemuligheder, som CERN tilbyder i konkurrence blandt medlemslandene.

I tabel 2.8 fremgår antallet af tekniske studerende optaget gennem CERN's åbne program, i konkurrence blandt alle medlemslande. Tabellen omfatter perioden 2014-2018. Det fremgår, at der i meget begrænset omfang var danske tekniske studerende på

CERN. I perioden er Danmark et af de medlemslande, der sendte færrest studerende til CERN, både efter relative og absolutte opgørelser.

Tabel 3.8

Det samlede antal af tekniske studerende i CERN's åbne program, i de 5 år 2014-2018.

Nationalitet	Antal tekniske studerende 2014 - 2018
Danmark	5
Finland	28
Holland	27
Norge	57
Alle lande	1457

Kilde: CERNs personalestatistik 2018

At en målrettet indsats kan gøre en forskel, fremgår af tabel 2.9. Tabellen viser antallet af tekniske studerende optaget gennem CERN's åbne program, i konkurrence blandt alle medlemslande. Som det fremgår af tabellen, så havde Danmark i 2018 ingen tekniske studerende på CERN, mens der i 2019 og frem sker en stigning til 2-5 optagne studerende årligt.

Der er tale om en indikation af en positiv effekt. Som vist ovenfor er der en klar udvikling i antallet af tekniske studerende fra 2019 og frem, efter mange år med en markant lavere dansk deltagelse. Det danske uddannelsesprogram har gennem CERN-ambassadørerne øget opmærksomheden på uddannelsesmulighederne på CERN. De studerende har gennem uddannelsesprogrammet øget deres kompetencer, herunder kendskab til CERN, så de studerende er bedre rustet til at konkurrere om optag igennem de åbne opslag på CERN.

Det danske uddannelsesprogram er dermed et vigtigt første led i en fødekæde inden for uddannelse og forskning relateret til CERN, som i dag ikke har et ophæng på de danske universiteter. Sammenholder man antallet af studerende i det danske uddannelsesprogram med det åbne optag gennem CERN, så er det tydeligt, at der fortsat er et potentiale for at øge antallet af danske studerende gennem det åbne optag på CERN.

Tabel 3.9

Tekniske studerende i CERN's åbne program, fordelt på nationalitet over de seneste fem år (2018-2022).

Nationalitet	År					I alt
	2018	2019	2020	2021	2022	
Danmark	0	5	3	2	2	12
Finland	0	2	3	3	5	13
Holland	1	2	3	6	7	19
Norge	4	12	9	8	16	49
Alle lande	90	143	156	187	212	788

Kilde: CERNs personalestatistik 2022

En af de identificerede barrierer er længden af et eventuelt ophold. CERN's personale har ofte en interesse i at have studerende tilknyttet et projekt i mere end 3-4 måneder, typisk foretrækkes 8-12 måneder. De danske studerende har i udgangspunktet ikke mulighed for lange forløb (eksempelvis op mod et år) uden at blive studieforlænget. I givet fald skal det være en del af et specialeforløb (eksempelvis et eksperimentelt speciale på 60 ECTS) eller kombineres med at følge fag enten online eller ved en videregående uddannelsesinstitution tæt på CERN.

En anden barriere, der blev identificeret var selve tilrettelæggelsen af et ophold. Dette omhandlede både det kontraktuelle samt responstiden fra CERN. Hertil kommer, at der kan være en økonomisk barriere, da bl.a. leveomkostninger i forbindelse med et ophold er høje. Dog viser erfaringen fra det danske uddannelsesprogram, at den danske SU anses som dansk medfinansiering af de studerende, og at de studerende har mulighed for at modtage et tilskud fra CERN til at dække de ekstra leveomkostninger.

BigScience.dk har ad flere omgange, og senest med et pilotprojekt i 2020-22, arbejdet på at øge antallet af danske ikke-videnskabelige studie- og praktikophold på forskningsfaciliteter. Gennem pilotprojektet, der havde hovedfokus på praktikophold af 3-6 måneders varighed for teknisk studerende på CERN, lykkedes det at samle flere interessenter på området og skabe et netværk mellem danske uddannelsesinstitutioner og lokale tovholdere på CERN.

Det lykkedes at sende 15-20 danske studerende til CERN per år, især takket være en individuel indsats fra danskere ansat på CERN. Som resultat af projektet var der for første gang 4 forskellige uddannelsesinstitutioner repræsenteret.

Indsatsen dannede ikke grobund for en mere vedvarende finansiering og kunne derfor ikke opretholdes. På baggrund af pilotprojektet er det klarlagt, at opbyggede netværk mellem uddannelsesinstitutioner og forskningsfaciliteter, inden for udveksling af tekniske studerende, ikke umiddelbart kan være selv-supporterende, samt at indsatsen fra faciliteternes side er båret af individuelle indsatser og derfor sårbar. Konklusionen fra pilotprojektet er, at en sådan indsats er meget relevant og ønsket af interessenterne, men at den kræver en dedikeret indsats at drive den.

Som led i projektet arrangerede BigScience.dk en stand på Karrieredagene i Aalborg marts 2022 for at promovere muligheden for praktikophold på CERN, ESS osv. Der var stor interesse fra de studerende, hvor ca. 150 forhørte sig om mulighederne.

3.3.4 Danske ph.d.-studerende

Ph.d.-studerende er vigtige for det danske engagement på CERN. Det gælder både i forhold til at overføre viden mellem CERN og Danmark, og for de enkelte personers karrierer som forskere, i erhvervslivet mv. Desuden indgår ph.d.'erne i rekrutteringsgrundlaget for postdocs og forskere, og er derved en del af karrierevejen på universiteterne.

I tabel 2.2 ovenfor indgår en opdateret opgørelse foretaget af NICE for arbejdsgruppen. Opgørelsen viser, at der på de danske universiteter p.t. er indskrevet i alt 5 ph.d.-studerende inden for eksperimentel CERN-forskning. Til sammenligning var der i 2019 22 ph.d.-studerende i eksperimentel CERN forskning. Der er derfor sket et stort fald fra 2019 til 2023.

Det nuværende antal på 5 ph.d. studerende bliver af de eksperimentelle fysikmiljøer på KU og AU beskrevet som utilstrækkeligt lavt ift. at oppebære den eksperimentelle forskning. Det anføres endvidere, at antallet er afhængig af universiteternes prioritering af frie midler til ph.d. stipendier samt af antallet af ph.d. stipendier fra ekstern finansiering, der varierer betydeligt over årene (jf. afsnit 2.4).

Det lave danske antal indskrevne ph.d.-studerende kan ses i relation til den årlige tilgang af ph.d.-studerende i Danmark på fagområdet fysik inkl. biofysik, som fremgår af tabel 2.10. Da et dansk ph.d.-forløb nominelt tager 3 år, skal der naturligvis tages højde for, at antallet af indskrevne ph.d.-studerende er ca. 3 gange så højt som antallet af den årlige tilgang.

Det kan derfor anslås, at ca. 1% af de danske ph.d.-studerende inden for fysik p.t. anvender CERN til eksperimentel forskning (eller 5 ud af ca. 3 x 140 ph.d. studerende).

Tabel 3.10

Tilgang af ph.d.-studerende på fagområdet fysik inkl. biofysik opgjort efter tilknytning til fakultet

År	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
Fysik inkl. biofysik	108	106	116	105	92	123	119	115	130	135	140	1.289
Naturvidenskab	65	65	71	59	61	64	56	60	57	70	66	694
Teknisk videnskab	43	41	45	46	31	59	63	55	73	65	74	595

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriets datavarehus ("PhdBasis-kuben") baseret på data fra Danmarks Statistik

Anm.: Anvendte variable er tilgang for "i10vigtigstefagTx" og "i02_ia02_FakultetTx".

Det er ikke umiddelbart muligt at sammenligne antallet af CERN-tilknyttede ph.d.-studerende i Danmark med situationen i sammenligningslandene. Dels opgøres det forskelligt efter antallet af indskrevne og antallet af årligt nyindskrevne, og ph.d.-forløb er normalt forskelligt i sammenligningslandene. Dels skelnes der ikke i de andre lande

særskilt mellem eksperimentelle og teoretiske ph.d.-studerende, da CERN-miljøet i sammenligningslandene anskues som et hele. Finland angiver, at der gives 6-10 ph.d.-grader årligt (på tværs af teori og eksperimenter), Holland at der er 125 indskrevne ph.d.-studerende, og Norge 33 indskrevne ph.d.-studerende (begge lande på tværs af teori og eksperimenter og årgange). Med i sammenligningen hører også, at danske ph.d.-studerende er dyrere, da de har en højere aflønning end i flere andre lande⁹.

En alternativ sammenligning af de nationale tal kan foretages ved at se på antallet af ph.d.-studerende, der modtager medfinansiering fra CERN. CERN finansierer op til 36 måneder af et ph.d.-stipendie under visse betingelser: CERN's stipendiemidler udbydes i åben konkurrence, men er alene en medfinansiering, dvs. omfanget af national medfinansiering kan have betydning for CERN's del af økonomien i projektet. De ph.d.-studerende skal være indskrevet ved et nationalt universitet. Og ph.d.-projekterne skal have høj kvalitet og et indhold af teknisk karakter.

Dette betyder, at rene fysik-projekter har begrænsede muligheder for at opnå medfinansiering fra CERN. Det betyder ligeledes, at et mål om en øget dansk anvendelse af ph.d.-midlerne på CERN vil forudsætte et fokus på tekniske projekter i fysikmiljøerne (eksempelvis udvikling af detektorer, software m.m.), samt at CERN's ph.d.-midler har et potentiale for at medfinansiere danske ph.d.-studerende indenfor de tekniske videnskaber

Hvis det danske medlemsbidrag på 1,8% holdes op imod et totalt antal optagede ph.d.-studerende på CERN på ca. 100 årligt, så er et normtal for Danmark, at der bør være potentiale til ca. 1-2 ph.d.-studerende medfinansieret af CERN hvert år.

I tabel 2.11 fremgår antallet af optagede ph.d.-studerende på CERN per år i perioden 2018-2022. Det fremgår, at det også for sammenligningslandene er vanskeligt at opnå medfinansiering af ph.d.-stipendier fra CERN.

For yderligere at perspektivere det lave antal ph.d. studerende, kan der sammenlignes med andre små og mellemstore lande, da tallene er tilgængelige i CERN's personalestatistik¹⁰. I samme periode (2018-2022) er der eksempelvis optaget 29 ph.d.-studerende fra Østrig, 10 fra Portugal, 7 fra Tjekkiet, 6 fra Belgien og 4 fra Sverige. Ser man på de store lande, har eksempelvis Frankrig haft 19 ph.d. studerende, Tyskland 56, Italien 113, og 9 er fra Storbritannien.

Der er således et stort spænd i antallet af ph.d.-studerende, udvalgt blandt ansøgere i et hårdt konkurrencefelt. Det er ikke umiddelbart muligt at udlede årsag og baggrund bag udvælgelsen af de ph.d.-studerende, og dermed redegøre for variationen i tallene. Et opmærksomhedspunkt er dog, at det er uklart, i hvor høj grad den nationale medfinansiering er af betydning for valg af en given kandidat. Dvs. CERNs udvælgelse af ph.d.-projekter bør efterses i forhold til faglig relevans og objektive kriterier, som fremmer fair og lige konkurrence.

⁹ Kilde: Oversigt fra European University Institute (EUI) over medlemslandes ph.d.-stipendier – fra Budgetkomitemøde fra 27. april 2023.

¹⁰ Kilde: CERNs personalestatistik 2022, tabel 53. <https://cds.cern.ch/>

Tabel 3.11.

Optagede ph.d.-studerende på CERN fordelt på nationalitet over de seneste fem år (2018-2022).

Nationalitet	År					I alt
	2018	2019	2020	2021	2022	
Danmark	0	0	0	0	1	1
Finland	0	0	0	1	0	1
Holland	2	0	4	0	1	7
Norge	0	0	2	1	2	5
Alle lande	49	51	63	104	109	376

Kilde: CERNs personalestatistik 2022

På tværs af disse sammenligninger, og uanset årsagssammenhængen, så står det fast, at antallet af danske ph.d.-studerende, der anvender CERN eksperimentelt, er for lavt til at løfte bredden af de danske interesser på CERN. Dette har især betydning for den nationale kompetenceudvikling, og for de langsigtede forskningsinteresser. Antallet af ph.d.-studerende er også for lavt til at bygge bro til det langsigtede generationsskifte, da et volumen af ph.d.-studerende er en forudsætning for rekrutteringen til postdoc stillinger. I supplement konstateres det, at de danske universiteter ikke udnytter de muligheder for at understøtte ph.d.-studerende, som medlemskabet af CERN giver.

3.3.5 Danske postdocs på CERN

Antallet af danske postdocs er steget markant fra ingen i 2018 og 2019 til efterfølgende 1-4 personer årligt tabel 2.12. Det kan muligvis være en yderligere indikation af, at det danske uddannelsesprogram har en kortsigtet, konkret og positiv effekt.

Tabel 3.12.

Rekrutterede postdocs fordelt på nationalitet over de seneste fem år (2018-2022).

Nationalitet	År					I alt
	2018	2019	2020	2021	2022	
Danmark	0	0	1	4	2	7
Finland	2	2	4	5	2	15
Holland	3	4	5	2	5	19
Norge	6	6	6	8	4	30
Alle lande	222	247	329	380	372	1550

Kilde: CERNs personalestatistik 2022

Postdocs er en væsentlig del af rekrutteringsgrundlaget på universiteterne inden for både fysik og de tekniske videnskaber. Det er derfor fundamentalt for de langsigtede kompetencer, og for den langsigtede forskning i Danmark, at der er et passende antal postdocs, der er i berøring med den eksperimentelle forskning på CERN. Det kan derfor

synes nærliggende at drage en sammenhæng mellem det lave antal af fastansatte danske forskere og det lave antal danske postdocs på CERN.

Sammenlignes med de øvrige lande, ligger Danmark, selv med den positive udvikling, klart dårligst placeret. Nationale prioriteringer er med til at rykke ved balancen i tallene. F.eks. har Norge en strategisk indsats, som tilbyder medfinansiering af postdocs, hvilket har en klar effekt på antallet af norske postdocs ved CERN. Det betyder umiddelbart, at Norge i perioden har fire gange så mange postdocs ved CERN som Danmark. Det er dog vigtigt at bemærke, at Finland, som ikke tilbyder samme medfinansiering, har dobbelt så mange postdocs ved CERN som Danmark. Der er derfor fortsat behov for at styrke antallet af danske postdocs ved CERN. Dette kan for eksempel ske via indsatser gennem det danske uddannelsesprogram og forøgelse af antallet af ph.d.-studerende ved CERN.

3.4 Rammerne for det danske engagement på CERN

3.4.1 Den danske finansiering til CERN

Den danske finansiering af aktiviteter på CERN sker via en række forskellige institutioner og programmer, som det fremgår af figur 2.2 og tabel 2.13.

Medlemsbidraget til CERN betales gennem den årlige finanslov (§ 19.52.01.10), med ca. 155 mio. kr. i 2023. Det svarer til ca. 1,8 % af de samlede medlemsbidrag. Medlemsbidragene anvendes på infrastrukturen på CERN, dvs. accelerator-komplekset samt lokal beregningskapacitet, administration m.m., med lønudgifter til ca. 2600 ansatte, hvoraf ca. 2000 er ansat i tekniske stillinger.

Eksperimenterne på CERN bygges af internationale konsortier, hvor de danske universiteter har mulighed for at deltage. Eksperimenterne finansieres dermed uden for medlemsbidraget. I Danmark finansieres større nationalt eksperimentelt udstyr gennem finanslovens pulje til forskningsinfrastruktur (§ 19.45.01.10), ud fra et nationalt roadmap, som etableres ca. hvert 4. - 5. år. Desuden har de private fonde løbende givet bevillinger til udstyr.

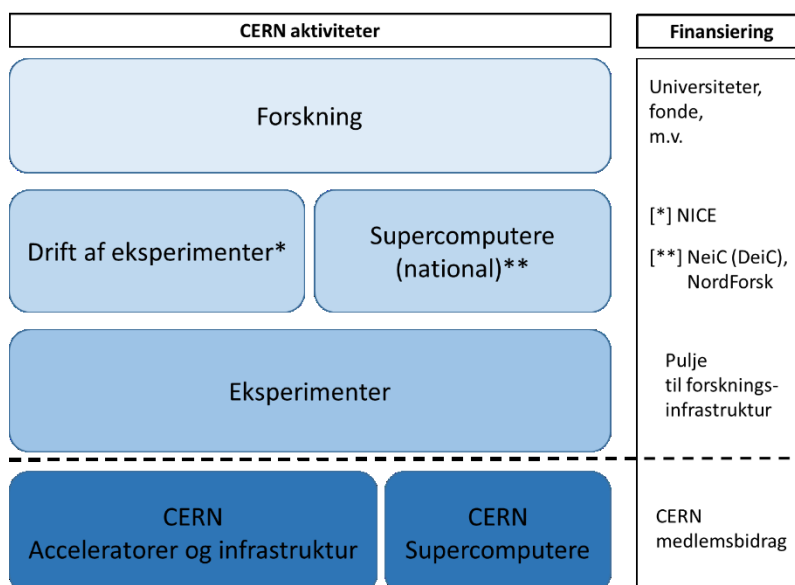
På CERN findes et stort computercenter. Den lokale beregningskapacitet anvendes alene til en første behandling af de store datamængder som eksperimenterne producerer. Den egentlige forskningsmæssige databehandling sker på de regionale Tier-1 computercentre. Danmark deltager i et nordisk samarbejde om en Tier-1, som hører under NeiC (Nordic e-infrastructure Consortium) og er finansieret af NordForsk samt bidrag fra DeiC (Dansk e-infrastruktur Konsortium). DeiC modtager finansiering hertil fra finanslovens §19.45.02.10.

Det danske bidrag til driften af eksperimenterne varetages af følgeforskningscenteret NICE (fra finanslovens § 19.45.01.11). Ordet drift skal her forstås konkret ift. de udgifter, der er forbundet med, at eksperimenterne på CERN sker i et internationalt samarbejde, hvor alle medlemslande forventes at deltage aktivt. Det sker gennem en forpligtigelse, hvor driftsopgaverne deles mellem landene. De danske driftsudgifter til eksperimenterne på CERN er udlagt som en national opgave, som varetages centralt af NICE (jf. afsnit 2.4.2).

BigScience.dk arbejder aktivt med danske virksomheders adgang til ordrer på CERN, som samtidig løfter industripolitiske spørgsmål gennem en dansk ILO (Industrial Liaison Officer). Dette arbejde beskrives i afsnit 2.4.5.

Figur 3.2

Oversigt over finansieringslandskabet for dansk forskning på CERN.



Tabel 3.13

Finansiering af danske forskningsaktiviteter på CERN. Beløbene er per 2023.

Aktivitet	Finansiering	Kommentar
Forskning	Variabel	Se afsnit 2.5
NICE	7,8 mio. kr.	NICE koordinerer den danske deltagelse i CERN og varetager drifts-relaterede udgifter til deltagelse i eksperimenterne.
NeiC	2,8 mio. NOK fra Danmark (ca. 1,8 mio. kr.)	Den nordiske Tier-1 super-computerinfrastruktur som anvendes til CERN-forskning. NeiC's samlede udgift er på 11,2 mio. NOK (ca. 7 mio. kr.).
Eksperimenter, nye investeringer	Variabel	CERN-up har modtaget 11,2 mio. kr. fra puljen til forskningsinfrastruktur, med tilsvarende beløb i medfinansiering fra universiteterne.
CERN medlemsbidrag	155 mio. kr.	Afholdes årligt fra finansloven.

Kilde: UFS samt DeiC vedr. NeiC

3.4.2 Forskning på CERN

Den danske deltagelse i forskningen på CERN sker gennem prioriteringer på universiteterne og finansiering via konkurrenceudsatte midler efter fagfællebedømmelse. Der er således ikke statslige midler øremærket til forskning på CERN. Arbejdsgruppen har foretaget en kortlægning af bevillinger til CERN-forskning i Danmark i perioden 2006-2023, som fremgår af afsnit 2.5.

3.4.3 Følgeforskningscenteret NICE

Sammenhængen blandt de danske CERN-forskere, både inden for teori og eksperimenter, skabes gennem NICE. Som følgeforskningscenter samler og koordinerer NICE CERN-forskningen i Danmark og rådgiver UFS i forhold til anvendelsen af CERN. UFS har i 2021 foretaget et eftersyn af følgeforskningsmodellen¹¹, som viser, at følgeforskningscentre skaber høj værdi for få midler, og er en unik fordel for det danske engagement på de store internationale forskningsinfrastrukturer.

¹¹ Review of the Danish model for research supporting activities, UFS, 2021
<https://ufm.dk/publikationer/2021/review-of-the-danish-model-for-researchsupporting-activities>

NICE anvender sin årlige bevilling på ca. 7,8 mio. kr. til flere forskellige formål:

Betaling af M&O bidrag (Maintenance og Operations) til eksperimenterne (ca. 2,0 mio. kr. årligt).

M&O dækker de fællesudgifter, der er forbundet med driften af eksperimenterne med dansk deltagelse (såkaldt kategori A), f.eks. bidraget til LHC-eksperimenterne ATLAS og ALICE beregnet på basis af antallet af aktive forskere opgjort som forfattere til videnskabelige artikler. Der afregnes ikke for ph.d.-studerende. Det pligtige beløb reguleres én gang årligt. M&O- kategori B- bidraget omfatter direkte fællesudgifter forbundet med en specifik subdetektor eller lignende, som danske grupper har en speciel andel i.

Rejser forbundet med driften af eksperimenterne (ca. 0,7-1,0 mio. kr. årligt).

Der er en meget betydelig rejseaktivitet, bl.a. til såkaldt datatagning. Alle aktive forskere er forpligtet til at bidrage til datatagningen ved at tage vagter, på CERN. Eksperimenterne kører døgnet og året rundt med undtagelse af veldefinerede driftsstop til udvikling, reparation m.m. Ligeledes er der rejseaktivitet af eksperter og teknikere til at vedligeholde og udvikle eksperimenterne, ikke mindst i de situationer hvor danske forskere er direkte ansvarlige for en specifik del af infrastrukturen. Hovedparten af rejseaktiviteten går til CERN, men der er også rejser til samarbejds møder udenfor CERN.

Infrastruktur-postdocs og eksperter (ca. 2,6 mio. kr. årligt).

Aflønning af personer der bidrager til at udvikle og vedligeholde infrastrukturen til eksperimenterne. For eksempel sker der en konstant ændring af forsøgsbetingelserne, bl.a. som følge af øget kollisionsrate. Dette kræver konstant ekspertudvikling af software, front-end elektronik, data-opsamling, detektor kontrolsystemer, sikkerhed og fejlresistens, foruden indsats når apparatur skal udskiftes, udvikles eller repareres. Det er nødvendigt med ekspertpersonale på ph.d.-niveau. Fordi postdocs også skal kunne kvalificere sig forskningsmæssigt, dækkes typisk kun en del af deres løn af NICE, hvorimod forskningsdelen dækkes af andre bevillinger.

Drift af eksperimenterne og apparatur (ca. 0,9 mio. kr. årligt).

NICE dækker de nationale udgifter til diverse driftsomkostninger, som mobil telefoni og netværk ved CERN, lejeafgifter og reparationsomkostninger til CERN's centrale reparationsværksteder eller underleverandører. Større apparaturanskaffelser og opgraderinger finansieres ikke af NICE, men søges dækket ved ansøgninger, eksempelvis til puljen for forskningsinfrastruktur.

National koordinering ("Common") (ca. 0,3 mio. kr. årligt). Dette omfatter fællesaktiviteter som bl.a. udgifter til NICE-årsmøde, administration og web-sider, afholdelse af bestyrelses- og følgegruppemøder, støtte til det danske sommerstudent-program for CERN (udover den kvote der dækkes af CERN), andre tiltag der skal fremme kendskab og udnyttelsen af CERN, deltagelse i møder i diverse relevante rådgivende, evaluerende og kvalitetsfremmende udvalg nedsat af CERN eller andre, drift af de danske tjenestebiler ved CERN, m.m.

NICE vurderer i øvrigt, at de danske universiteter medfinansierer NICE og CERN følge-forskningen med mindst 17 mio. kr. per år.

3.4.4 Finansiering af eksperimentelt udstyr

Det er en karakteristik ved CERN, at det eksperimentelle arbejde ofte finder sted med lange tidshorisonter på 10-30 år. Udvælgelsen og opbygning af den eksperimentelle infrastruktur på CERN finder sted gennem fagfællebedømmelse, samt tekniske og økonomiske reviews, som tilsammen etablerer et grundigt fundament for de samtidig store investeringer.

Den danske finansiering til eksperimentelt udstyr kan tilvejebringes fra finanslovens pulje til forskningsinfrastruktur, gennem optag af projekterne på det nationale strategiske roadmap for forskningsinfrastruktur. Puljen udmøntes årligt af uddannelses- og forskningsministeren, efter rådgivning fra NUFI (det Nationale Udvalg for Forskningsinfrastruktur), mens roadmappet fastlægges ca. hvert 4. - 5. år.

Det danske CERN-forskningsmiljø er med på det danske roadmap fra 2015, med forslaget CERN-UP. Projektet skal opgradere eksperimenter og computing i relation til CERNs 10-årige opgradering af accelerator-infrastrukturen, High-Luminosity Upgrade, HiLumi. HiLumi kræver at eksperimenterne også foretager en opgradering. CERN-UP blev finansieret i 2018 med 22,4 mio. kr., heraf 11,2 mio. kr. fra puljen. Imidlertid dækker projektet alene de første 5 år af opgraderingen af eksperimenterne på CERN. Et projektforslag som dækker de følgende 5 år fandt ikke vej til roadmap fra 2020 og kan derfor ikke komme i spil til finansiering fra puljen.

Efter dialog med KU har Uddannelses- og Forskningsstyrelsen i 2023 ekstraordinært valgt at bidrage med 850.000 til det danske pligtige bidrag til den igangværende opgradering af ATLAS-eksperimentet, lige som KU har fundet en stor del af finansieringen til ATLAS inden for egne rammer. Dette løser et akut problem om den danske finansiering til ATLAS-eksperimentet. Det er dog ikke ideelt, at Danmarks deltagelse i den langsigtede eksperimentelle forskning skal være afhængig af ekstraordinære løsninger.

Det danske finansieringslandskab er begrænsende i forhold til den planlægningsdynamik, der er forbundet med deltagelse i langsigtet eksperimentelt arbejde på CERN. De tidligere roadmap-processer har haft som krav, at projekterne skal påbegyndes og fuldendes inden for 5 år, hvilket kan give en konflikt med CERN's lange tidshorizont. Private fonde har i et vist omfang finansieret eksperimentelt udstyr, men ikke på den skala og med den varighed, som det eksperimentelle engagement forudsætter. Arbejdsgruppen peger på, at der ikke er andre danske finansieringsmuligheder.

Roadmappet stiller også krav om, at projekterne skal være nationale, dvs. inkludere så mange aktører som muligt, her særligt universiteter, hvor et formelt krav for optagelse på roadmappet hidtil har været deltagelse af minimum 3 universiteter. Det kan derfor udgøre en yderligere begrænsning for det danske CERN-miljø, at de eksperimentelle forskere er afgrænsede til blot to universiteter, KU og AU, og i øvrigt uden at de to universiteter har overlappende eksperimentel forskning.

Samlet set er de afgrænsede finansieringsmuligheder en barriere for, at danske forskere kan deltage fuldt ud i det eksperimentelle arbejde på CERN, lige som det udgør en

begrænsning for at udbrede den danske anvendelse af CERN til eksperimentelt arbejde. Denne konklusion blev ligeledes draget af RECFA.

En løsning på denne udfordring skal respektere de almindelige rammer for forskningsfinansiering, herunder åben konkurrence og fagfællebedømmelse.

3.4.5 BigScience.dk

Gennem medlemskabet af CERN har dansk erhvervsliv mulighed for at byde ind på ordrer på CERN. Dialogen mellem de danske virksomheder og CERN varetages af BigScience.dk. BigScience.dk organiserer et netværk af danske virksomheder, som har interesse i at byde på opgaver på big science organisationer som CERN. BigScience.dk er finansieret gennem en resultatkontrakt med Uddannelses- og Forskningsstyrelsen.

BigScience.dk har flere aktiviteter, som er rettet mod virksomhederne. Eksempelvis overvåges udbud fra CERN, som formidles til relevante virksomheder, lige som der arrangeres besøg for danske virksomheder på CERN. BigScience.dk har også tidligere taget initiativ til projekter, som bygger bro mellem CERN og studerende fra primært de tekniske erhvervsuddannelser, ud fra den værdiskabelse det skaber i relationen mellem CERN og danske virksomheder, og den kompetenceopbygning det giver for virksomhederne.

BigScience.dk varetager den nationale opgave med en dansk ILO (Industrial Liaison Officer) på CERN. ILOerne på CERN er et formaliseret samarbejde, som mødes 1-2 gange årligt på CERN, og drøfter forholdene i CERN's indkøbsproces. Desuden drøftes industrireturen, og ønske om en balance mellem medlemsbidraget og CERN's indkøb.

Den danske industriretur fra CERN har i en årrække ligget godt placeret, dog med et fald i 2021 og 2022. UFS og BigScience.dk arbejder med konkrete målsætninger for industrireturen på CERN, med et gennemsnitligt mål for industrireturen på 1,30, svarende til et hjemtag på ca. 54 mio. kr. årligt.

3.5 Kortlægning af bevillinger til CERN-forskning i Danmark 2006-2023

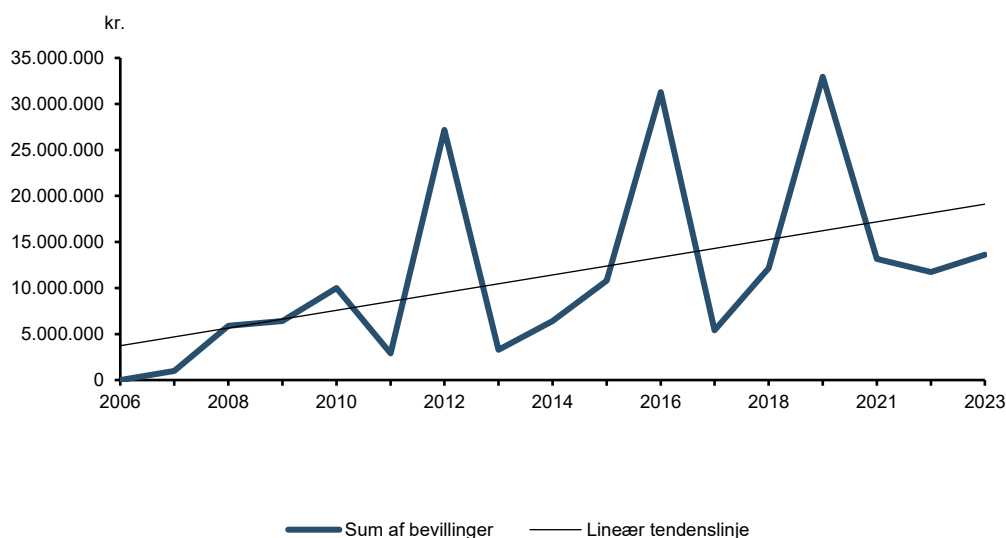
Arbejdsgruppen har med bistand fra NICE, Danmarks Frie Forskningsfond og Danmarks Grundforskningsfond kortlagt en stor del af de bevillinger, der er givet til CERN-forskning i Danmark i perioden 2006-2023. DFF har gennemgået 39 udvalgte CERN-forskeres ansøgninger og bevillinger fra 2016-2023 og endvidere foretaget en manuel ordsøgning baseret på ansøgningernes populærvidenskabelige beskrivelser.¹² Danmarks Grundforskningsfond har også udført en lignende søgning med samme søgekriterier som DFF. Derudover har arbejdsgruppemedlem og formand for NICE, Jens Jørgen

¹² Ordsøgning indeholdt følgende søgekriterie: CERN, ATLAS, ALICE, ISOLDE, ALPHA, LHC, Højenergi fysik, Partikel accelerator, Eksperimentel subatomar fysik, Antihydrogen fysik, Sjældne isotoper, Radioaktive beams, Hoyle states, Neutron rich nuclei, Crystal bending, Anti-hydrogen trap, Anti-protons, Quark Gluon Plasma (QGP), Color Glass Condensate (CGC), Higgs partikel og Higgs Felt, Relativistisk tungion fysik, FOCAL detektor, FIT detektor, FMD detektor, TPC laser og ITK i ansøgningernes populærvidenskabelige beskrivelser på dansk og engelske abstracts.

Gaardhøje, indhentet oplysninger om danske CERN-forskeres bevillinger fra 2006-2023.

Af kortlægningen fremgår 39 bevillinger til CERN-forskere ved danske universiteter i perioden 2006-2023. Derudover er der givet to store bevillinger fra Danmarks Grundforskningsfond til henholdsvis Center for Particle Physics (DISCOVERY) ved Københavns Universitet og til Center for Cosmology and Particle Physics Phenomenology (CP3-Origins – et center målrettet teoretisk forskning) ved Syddansk Universitet, samt én forskningsinfrastrukturbevilling fra Uddannelses- og Forskningsstyrelsen til følge-forskningscenteret NICE (CERN-UP). Bevillingerne er givet på tværs af den eksperimentelle og teoretiske forskning i relation til CERN.

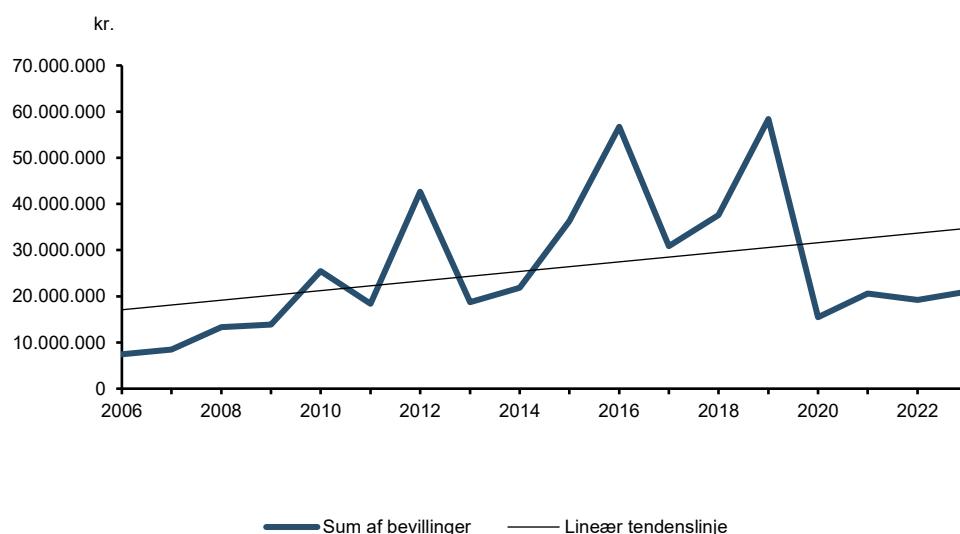
Som det ses af figur 2.3, er der betydelige udsving i de samlede årlige bevillinger til danske CERN-forskere. Inkluderer bevillingerne fra Danmarks Grundforskningsfond og Uddannelses- og Forskningsstyrelsen fordelt over projektperioderne udjævnes udsvingene. Ydermere viser gennemsnittet i figur 2.3 og 2.4 en opadgående tendens i summen af bevillinger.



Figur 3.3

Bevillinger (kr.) til forskere i det danske CERN-miljø i perioden 2006-2023, eksklusiv store enkeltbevillinger fra Grundforskningsfonden og Uddannelses- og Forskningsstyrelsen. Bevillingerne er dateret efter året hvor bevillingen blev tildelt.

Kilde: Danmarks Frie Forskningsfond og NICE.


Figur 3.4

Bevillinger (kr.) til forskere i det danske CERN-miljø i perioden 2006-2023, inklusiv store enkeltbevillinger fra Danmarks Grundforskningsfond (GF) og Uddannelses- og Forskningsstyrelsen. Alle bevillinger, undtagen store enkeltbevillinger fra GF og UFS er dateret efter året hvor bevillingen blev tildelt. Bevillinger fra GF og UFS er fordelt udover bevillingsperioden.

Kilde: Danmarks Frie Forskningsfond, Danmarks Grundforskningsfond og NICE.

I perioden 2016-2023 modtog DFF 21 ansøgninger fra CERN-forskere, hvoraf 4 blev tildelt en bevilling. Dette giver en succesrate på 19% i forhold til antallet af ansøgninger, hvilket er højere end den gennemsnitlige succesrate på 13% for Natur og Univers-fagområdet i samme periode.¹³ De 21 ansøgninger repræsenterede et samlet beløb på 69,2 mio. kr., mens de 4 tildelte ansøgninger modtog i alt 8,5 mio. kr. Dette resulterer i en succesrate på 12% målt på beløb, hvilket er tæt på det gennemsnitlige niveau på 11% for Natur og Univers-fagområdet i samme periode, jf. tabel 2.14.

Tabel 3.14

Opgørelse over DFF-ansøgninger og bevillinger for CERN-forskere

Antal an- søgninger	Antal be- villinger	Succesrate (ansøgninger)	Succesrate Na- tur og Univers	Ansøgt be- løb, mio. kr.	Bevilget be- løb, mio. kr.	Succes- rate (be- løb)	Succesrate Na- tur og Univers
21	4	19%	13%	69,2	8,5	12%	11%

Anm.: *Oversigt inkluderer ansøgninger/bevillinger fremsøgt på baggrund af en liste med 29 CERN-forskere.

Kilde: Danmarks Frie Forskningsfond

Samlet set kan der ikke konstateres væsentlige udfordringer med bevillinger fra DFF til den danske CERN-forskning siden 2006. De danske CERN-forskere har en succesrate ved de offentlige forskningsfinansierende fonde, som ligger over gennemsnittet. Når alle

¹³ Den relative andel af bevillingerne til CERN-forskning er små ift. de samlede uddelinger fra DFF. Procent-opgørelserne taget for pålydende er ligeledes små, og derfor er sammenligningen behæftet med en vis usikkerhed.

bevillinger inkluderes (inkl. store enkeltbevillinger, jf. fig. 2.4), har de danske CERN-forskere i gennemsnit modtaget ca. 26 mio. kr. årligt i perioden 2006-2023.

Da dansk CERN-forskning viser sig både at være relevant, og har succes med at tiltrække konkurrence-udsatte midler, så peger det på, at større volumen af forskningsmiljøet vil kunne tiltrække midler, som øger antallet af phd'er og post docs. Det vil netop være centralt for anvendelsen af CERN, at der er en veletableret værdikæde, som fremmer de videnskabelige kompetencer og karriereveje, og forbinder studerende og unge forskere med faste stillinger på universiteterne. Der skal dels være et tilstrækkeligt antal studerende og unge forskere, som finder at CERN er et attraktivt sted, og dels skal de unge forskere have stærke kompetencer, så de kan komme i betragtning til de faste stillinger på universiteterne.

En mekanisme til at etablere sammenhæng i karrierevejene, kendes fra ESS (European Spallation Source), med de såkaldte ESS-fyrtårne¹⁴. ESS-fyrtårnene er kick-start midler, som skal opbygge kapacitet samt forskningsmæssige og teknologiske kompetencer, inden for temaer, som er centrale for den fremtidige danske anvendelse af ESS.

Et fyrtårn for CERN-miljøet i Danmark vil på tilsvarende vis kunne afsøge eksisterende og nye anvendelsesmuligheder for CERN, og derigennem opbygge kapacitet og kompetencer i anvendelsen af CERN. Et CERN-fyrtårn vil ikke løse det langsigtede problem, men kan potentielt understøtte igangsættelsen af tiltag, der skal være del af løsningen på generationsskifteproblematikken.

¹⁴ Dansk fyrtårnskatolog for ESS
<https://ufm.dk/publikationer/2018/dansk-fyrtarnskatalog>

4. anbefalinger

Medlemskabet af CERN er blandt de dyreste medlemskaber af internationale forskningsinfrastrukturer. Det er derfor vigtigt, at universiteterne og Uddannelses- og Forskningsstyrelsen samarbejder om anvendelsen af CERN, og at medlemskabet anvendes optimalt og målrettet, dvs. strategisk. Det er et opmærksomhedspunkt, at medlemskabet af CERN for nuværende ikke i tilstrækkelig grad anvendes nationalt og kollektivt, og at dansk forskning og uddannelse derved går glip af udbyttet af et af verdens førende fysik- og teknologi-laboratorier.

Kortlægningen i afsnit 2 beskriver i detaljer den danske værdikæde for uddannelse og forskning i relation til CERN. Det fremgår af kortlægningen, at antallet af fastansatte forskere, som anvender CERN, ikke er stort nok eller bredt nok til at løfte den danske anvendelse af CERN. Det fremgår også, at denne problematik peger tilbage på ph.d.- og postdoc niveauet. Der er generelt et fraværende fokus hos universiteterne på at opretholde en sammenhæng mellem uddannelse og forskning i tilknytning til CERN.

Der er behov for at styrke bredden af den danske interaktion med CERN, både for at øge robustheden af det danske CERN-miljø, men også for i langt højere grad at høste fordelene ved det danske medlemskab.

Der er dog også lyspunkter. Det særlige danske studenterprogram viser med tydelighed en positiv effekt på at tiltrække studerende og unge forskere til CERN. Erfaringerne fra udlandet viser, at omfavelse af bredden af CERN giver et stærkt nationalt miljø, omend sammenligningslandene i deres personalestatistik er udfordret på de samme områder som Danmark. Det er samtidig et positivt holdepunkt, at den bibliometriske analyse viser en stor dansk forskningsmæssig impact i international sammenhæng. Samtidigt indikerer den bibliometriske analyse, at den danske tekniske forskning allerede er i berøring med forskningssamarbejder med CERN.

Arbejdsgruppen kommer med anbefalinger med fokus på succeskriterier, der handler om at styrke det danske CERN-miljø, at anvende de muligheder som CERN giver, og at have som ambition, at dansk forskning som bygger på CERN skal være relevant og af høj videnskabelig impact.

Anbefalinger

Styrkelse af dansk CERN-forskning

1) De danske universiteter opfordres til at prioritere anvendelsen af medlemskabet af CERN.

Medlemskabet af CERN indebærer en årlig stor medlemsbetaling fra finansloven. Universiteterne opfordres til, at medlemskabet anvendes, og at der sker en udnyttelse af de muligheder for forskere og studerende, som CERN tilbyder. Anvendelsen af CERN sker i et internationalt samarbejde og er en kanal til at bringe dansk forskning i spil i international konkurrence.

2) Det eksisterende danske CERN-forskningsmiljø skal styrkes. Universitetsledelserne og fagmiljøerne på KU og AU bør sikre, at der gennemføres et generationsskifte med et mål på kort sigt om at sikre eksistensen af en kritisk masse af danske CERN-forskere.

Der bør iværksættes en indsats, der understøtter et generationsskifte i de danske CERN-forskningsmiljøer inden for eksperimentel fysik. De eksisterende CERN-forskningsmiljøer bør arbejde strategisk med at skabe rammerne om en sund fødekæde, der sikrer en reproduktion af forskningsmiljøerne.

3) Flere universiteter bør anvende CERN, og CERN skal understøtte dansk teknisk forskning.

En væsentlig indsats i forhold til at styrke anvendelsen af medlemskabet af CERN er, at flere danske universiteter gør brug af CERN. CERN understøtter en stor diversitet i forskning i fysik og teknologi. Det vil styrke dansk forskning og uddannelse, at CERN anvendes mere og bredere end i dag, og at der derigennem opstår et fællesskab mellem universiteterne, som samlet kan øge anvendelsen af CERN.

Det vil være hensigtsmæssigt at inddrage forskningsmæssige interesser, som samlet kan styrke dansk forskning i eksperimentel fysik, også uden for de eksisterende fysikmiljøer på KU og AU.

Dansk teknisk forskning bør engageres i at anvende ressourcer på CERN, så anvendelsen udbredes til tekniske universiteter og institutter, og de mulige forsknings-samarbejder mellem CERN og den tekniske forskning skal synliggøres i større omfang. Desuden kan et mål være at øge antallet af studerende inden for de tekniske videnskaber, som er i berøring med CERN. Der er i dag ikke en bestående kultur eller tradition for, at CERN indgår i dansk teknisk forskning. Der er derfor behov for en særlig og langsigtet indsats, der kan fremme relationen mellem de tekniske forskningsmiljøer og CERN og øge vekselvirkningen mellem den enkelte forsker i Danmark og på CERN.

Der vurderes at være et særligt potentiale i at udbrede anvendelsen af CERN til DTU, AU's fakultet for tekniske videnskaber, Aalborg Universitet, SDU samt evt. RUC og ITU.

Uddannelse og unge forskere

4) Det danske uddannelsesprogram på CERN skal fastholdes og styrkes.

Det danske uddannelsesprogram på CERN har i høj grad bidraget til, at flere studerende anvender CERN i deres uddannelse også uden for universiteterne. Tallene kan endvidere indikere, at der er en afsmittende effekt på danske studerendes og unge forskeres ansøgninger og optag gennem CERN's åbne opslag. Imidlertid er programmet båret af enkeltpersoner. For at sikre den fremtidige levedygtighed er der behov for at etablere en fremtidssikret udgave af uddannelsesprogrammet.

Arbejdsgruppen foreslår, at NICE udpeger en dansk uddannelses-liaison, der fra dansk side kan løfte det danske uddannelsesprogram i samarbejde med CERN. Den danske uddannelses-liaison skal samarbejde med den CERN-udpegede liaison, og dermed skabe et uddannelsesmæssigt brohoved mellem Danmark og CERN, med kontaktpersoner begge steder.

5) Fordelingen af ph.d.-midler på CERN skal efterses.

Arbejdsgruppen finder, at der bør ske et eftersyn af rammerne og vilkårene for CERN's medfinansiering af ph.d.-studerende, så den strukturelle balance analyseres, eksempelvis at programmet finder bred anvendelse og interesse blandt medlemslandene på CERN. Uddannelses- og Forskningsstyrelsen kan indlede dialog med CERN herom.

6) Flere ph.d.-studerende i de danske CERN-miljøer.

Der skal være flere ph.d.-studerende i de danske CERN-miljøer. Det er centralt for opbygningen af en robust og langsigtet anvendelse af CERN, at der er tilstrækkeligt med ph.d.-studerende og unge forskere. Initiativet forudsætter eventuelt, at ledelserne på de relevante universiteter inden for deres basismidler, prioriterer finansiering til danske ph.d.-studerende målrettet CERN.

I 2019 anvendte 22 ph.d.-studerende CERN, mens der i 2023 var 5 ph.d.-studerende der anvendte CERN.

Det er muligt, at udsvingene i antallet af ph.d.-studerende afhænger af ekstern forskningsfinansiering, men eftersom antallet af forskere har været kraftigt faldende, er det nødvendigt med en ekstraordinær indsats for at rette op på antallet af ph.d.-studerende og derigennem lægge grunden til den langsigtede danske anvendelse af CERN.

Eftersom det er muligt at opnå medfinansiering fra CERN, er det en oplagt mulighed for universiteterne for at opnå ekstern finansiering udover finansiering fra de offentlige fonde og fra universiteternes egne basismidler. Endvidere bør den tekniske forskning tilskyndes til at afprøve mulighederne for erhvervs-ph.d.'er og erhvervs-postdocs i et samarbejde mellem danske universiteter, virksomheder og CERN.

Samtidig skal danske forskere have fokus på at søge midler til at øge antallet af ph.d.-studerende, postdocs, adjunkter mv. gennem eksterne bevillinger med afsæt i forskningsprojekter relateret til CERN.

Rammer og finansiering

7) Langsigtet finansiering af forskningsinfrastruktur muliggøres på den danske roadmap.

Den nationale Roadmap for forskningsinfrastruktur bør justeres, så roadmappen tillader finansiering af langsigtede projekter på internationale forskningsinfrastrukturer, hvor Danmark er medlem. Dette giver mulighed for potentielt at understøtte det danske CERN-forskningsmiljø fra finanslovens Pulje til Forskningsinfrastruktur. Arbejdsgruppen konstaterer, at dette arbejde påhviler Uddannelses- og Forskningsstyrelsen i dialog med Nationalt Udvalg for Forskningsinfrastruktur (NUFI).

8) Etablering af et dansk fyrtårnsmiljø for CERN

Det er arbejdsgruppens vurdering, at såfremt der ønskes en hurtig og virkningsfuld styrkelse af den danske anvendelse af CERN på kort sigt, så vil et fyrtårnsmiljø, som det kendes fra European Spallation Source (ESS), være forskningsmiljøernes foretrukne model. Det bemærkes, at der ikke gennem arbejdet med rapporten er taget stilling til evt. finansiering af et fyrtårnsmiljø.

Et nationalt CERN fyrtårnsmiljø vil dels understøtte, at flere danske universiteter kan anvende CERN til teknisk forskning og eksperimentel fysik, dels kan det være en drivkraft i forhold til styrkelsen af den pipeline af nye forskere, som er essentiel for Danmarks udnyttelse af CERN-medlemskabet.

Et fyrtårn kan koordinere og udbrede de danske forskningsmiljøers anvendelse af CERN. Fyrtårnet vil ligeledes kunne understøtte konkrete projekter for derigennem at sikre nye forskningsmæssige anvendelser af CERN. Denne opgavevaretagelse samlet i et fyrtårn kan være katalysator for initiativer, der leverer bidrag til opfyldelsen af flere af arbejdsgruppens anbefalinger. Etableringen af et fyrtårn mindsker dog ikke betydningen af rapportens øvrige anbefalinger, der er afgørende for at fremtidssikre anvendelsen af CERN på lang sigt.

Det er vurderingen, at et fyrtårn vil kunne styrke kapaciteten af både den eksisterende danske deltagelse i fysikeksperimenterne på CERN og kapacitetsopbygningen inden for den tekniske forskning. Dette gælder eksempelvis inden for fysik, materialeforskning, grøn teknologi, digitale løsninger og chips/elektronik. Kapacitetsopbygningen skal være med fokus på den videnskabelige kvalitet og dansk forsknings konkurrenceevne på globalt plan.

Bilag 1 Kommissorium

Kommissorium for arbejdsgruppe om det danske CERN-medlemskab

CERN er verdens største forskningscenter for partikelfysik, kernefysik og kernekemi. Organisationen blev grundlagt i 1954 med Danmark som ét af de 12 stiftende lande. CERN har siden udvidet antallet af medlemslande, og det er i dag en organisation med ca. 2.500 ansatte og mere end 12.000 forskere tilknyttet.

CERN fungerer som laboratorium for fysikkens etablerede discipliner men også forskning inden for antistof, teknologiudvikling inden for medicoteknologi, mv. Derudover er der en stor koncentration af teknologisk forskning og udvikling. Af CERN's ca. 2.500 ansatte er de 2.000 ingeniører eller medarbejdere med anden teknisk baggrund. Derfor er CERN også kendetegnet ved at være en førende forskningsfacilitet inden for tekniske discipliner som elektronik, superledning, overfladebehandling, computerstyring og automation og IT (datalogi, HPC m.m.).

Danmarks bidrag til CERN er på ca. 155 millioner kroner årligt, og det er således en af de internationale forskningsinfrastrukturer, som Danmark investerer mest i. Bidraget dækker udvikling og drift af den fælles infrastruktur på CERN, herunder den 27 km lange Large Hadron Collider (LHC) ring. Selve eksperimenterne på CERN er derimod overvejende finansieret via følgeforskningsbevillinger, nationale forskningsråd og fonde mv.

Danmark har historisk haft et stærkt fysik-forskningsmiljø på CERN, der har været kendetegnet ved et højt forskningsfagligt niveau. Undersøgelser har bl.a. vist, at det videnskabelige impact af CERN-publikationer fra danske forskere er højere end CERN-publikationer, som forskere fra de øvrige medlemslande udgiver¹⁵. Undersøgelserne konkluderer imidlertid samtidig, at det danske CERN-engagement er begrænset og faldende målt på antallet af tilknyttede forskere, og at det eksperimentelle miljø er koncentreret på kun to-tre danske universiteter. Dertil kommer, at den danske teknologiske forskning stort set ingen berøring har med CERN i dag.

Det danske brugermiljø er væsentligt mindre, end det kunne forventes på baggrund af størrelsen af det danske bidrag til CERN, hvilket bl.a. fremgår af undersøgelsen af de danske brugere af de internationale forskningsinfrastrukturer¹⁶. I 2020 udgjorde danske brugere således 0,7 pct. af alle medlemslandenes CERN-brugere, mens Danmark bidrog med 1,8 pct. af medlemslandenes betalinger til CERN. Det er en generel ambition for de danske medlemskaber af store internationale forskningsinfrastrukturer, at anvendelsen af en facilitet i udgangspunktet bør svare til det relative bidrag til faciliteten.

Med afsæt i eksisterende analysegrundlag og anbefalinger fra bl.a. målplanerne for de danske medlemskaber af internationale forskningsfaciliteter¹⁷ samt fra CERN-Komiteen rECFA's besøg i Danmark i juni 2022, er der behov for at udarbejde modeller for at styrke det danske engagement på CERN. Det kan bl.a. omfatte muligheder og barrierer

¹⁵ Udbyttet af Danmarks medlemskaber af store internationale forskningsinfrastrukturer, UFS 2019.

¹⁶ Kortlægning af danske brugermiljøer af internationale forskningsfaciliteter, UFS 2021.

¹⁷ Mål og ambitioner for de danske medlemskaber af internationale forskningsfaciliteter, UFS (under forberedelse 2023).

for at fastholde og videreudvikle det eksisterende stærke danske CERN-brugermiljø men også udvidelse af brugermiljøet til relevante danske forskningsmiljøer, som i dag ikke er involveret i forsknings- og udviklingsaktiviteter på CERN.

Der nedsættes derfor en arbejdsgruppe, som skal opstille konkrete modeller for at styrke anvendelsen og udbyttet af det danske CERN-medlemskab.

Arbejdsgruppen skal bl.a. forholde sig til de tre temaer, der fremgår af boks 1.

Boks 1. Temaer der skal belyses af arbejdsgruppen

Tema 1. Forskning

De danske forskningsaktiviteter på LHC er eksperimenterne ALICE og ATLAS med deltagelse af forskergrupper på KU. Derudover er Danmark involveret i eksperimenter, som ikke er baseret på LHC, f.eks. ISOLDE til forskning i sjældne isotoper og AD-infrastrukturen til forskning i anti-brint med deltagelse af forskere fra AU. Herudover arbejder forskere på SDU og KU med teoretisk fysik relateret til forskning på CERN. En undersøgelse foretaget af UFS i 2019 viser en høj videnskabelige "impact" af de publikationer, som danske forskere udgiver på baggrund af eksperimenterne på CERN.

Ud over at være en platform for forskning i fysik er CERN som laboratorium en væsentlig institution for teknologisk forskning. Forskningen foregår i CERN's mange værksteder og omfatter mange tekniske discipliner i tværfaglig sammenhæng. Det er f.eks. forskning i superledere, mikrochips, materialeforskning og overflader/coating, computerteknologi m.v. Dette afspejler sig i CERN's strategi, og teknologisk forskning er på CERN's årlige budget. Forskningen sker ofte i samarbejde med forskningsinstitutioner i medlemslandene og gennem CERN's programmer til at understøtte uddannelsesophold.

Da forskning på CERN sker i et tæt samspil med og mellem medlemslandene, er det relevant at afspejle den danske forskning ift. andre landes forståelse af CERN som en samarbejdsplatform for forskning.

Tema 2. Uddannelse

En af de vigtigste og direkte samfundsmæssige gevinster af det danske medlemskab af CERN, er de kompetencer som videregives til de studerende gennem deres uddannelse. Det er f.eks. relevant, at såvel fysik-studerende som ingeniørstuderende får adgang og kendskab til den forskning, som sker i relation til CERN.

CERN har samtidig flere uddannelses- og karrieretilbud (f.eks. studentships, Ph.d.-stipendier, fellows, seniorforsker) på forskellige uddannelsesstrin, overvejende rettet mod studerende med en teknisk retning, men også inden for fysik og f.eks. administration. De studerende skal være indskrevet på en uddannelsesinstitution i hjemlandet, men har mulighed for at anvende CERN som platform for et uddannelsesophold med medfinansiering fra CERN.

Visse lande har en naturlig stor søgning til uddannelses tilbuddene, mens andre lande har målrettede programmer for de studerende med medfinansiering. CERN fører detaljeret statistik over ansøgere, optag, kønsfordeling m.m.

Gennem en årrække har der været et særligt dansk studentship-program uden for CERN's almindelige program, som har formået at tiltrække i størrelsesordenen 20 danske studerende om året – også uden for universiteterne.

Tema 3. Rammer for det danske engagement i CERN

CERN er uden sammenligning det dyreste danske medlemskab af en international forskningsinfrastruktur, med en årlig udgift på ca. 155 mio. kr. årligt. Der findes ikke en sammenhængende dansk plan for en maksimal udnyttelse af medlemskabet. Dog arbejdes der gennem BigScience.dk på, at danske virksomheder kan indgå aftaler med CERN om leverancer og ydelser med klare målsætninger for den danske retur. Det er vigtigt, at UFM, universiteter, følgeforskningscenteret NICE, BigScience.dk og andre, arbejder tæt sammen om at maksimere den danske anvendelse. Andre landes anvendelse af CERN kan være relevant at inddrage i den sammenhæng.

Arbejdsgruppens opgaver

Med udgangspunkt i de tre temaer skal arbejdsgruppen:

- Perspektivere den danske anvendelse af CERN, herunder indsamle viden som afsæt for arbejdsgruppens afrapportering. Arbejdsgruppen skal belyse potentialer for det danske medlemskab af CERN.
- Belyse hvordan det danske CERN-brugermiljø fastholdes og videreudvikles.
- Opstille modeller for hvordan det danske CERN-engagement kan udvikle sig evt. gennem tilpasninger af de nuværende rammer.
- Opbygge et overblik over finansieringslandskabet for de danske aktiviteter på CERN, og beskrive hvordan engagementet på CERN kan indgå i sammenhæng til politiske temaer (f.eks. ligestilling, grøn omstilling og digitalisering).
- Arbejdsgruppen skal inddrage internationale erfaringer, ligesom eksperter og andre med relevant indsigt kan inddrages. Herunder kan DFF og andre forskningsfonde inddrages.

Arbejdsgruppen skal blandt andet adressere følgende problemstillinger for de tre temaer:

Tema 1. Forskning

Der er i dag et begrænset overblik over potentialet for danske forskningsmiljøers anvendelse af CERN. Fysik-miljøet som anvender CERN i sin forskning er faldende i størrelse og står over for et generationsskifte. Samtidig er den eksperimentelle CERN-forskning koncentreret på få universiteter, dvs. KU og AU, mens SDU deltager med teoretisk forskning. Den tekniske forskning er fraværende i det danske engagement på CERN på trods af, at dansk teknisk forskning formodentlig med fordel vil kunne engagere sig i teknologiprojekter med CERN.

Tema 2. Uddannelse

Den samfundsmæssige gevinst ved at uddanne studerende med erfaring i teknologi fra CERN står i kontrast til det dalende antal forskere, som arbejder med CERN, og som kan undervise og vejlede de studerende. Der er behov for at belyse den uddannelsesmæssige impact ift. det danske CERN-engagement – f.eks. peger AU og KU på, at antallet af Ph.d.-studerende i de danske CERN-miljøer er lavt.

Samtidig udbyder CERN et antal stipendie-muligheder til studerende, Ph.d.-studerende og post-docs, dog primært inden for de tekniske discipliner. Den danske anvendelse af disse er blandt de laveste hos CERN's medlemslande.

Tema 3. Rammer for det danske engagement i CERN

CERN-medlemskabet giver mulighed for en langt større engagementsmodel, end alene den forskningsbaserede, f.eks. inden for uddannelse, kompetencer, industriengagement og toneangivende teknologiudvikling. Der er behov for at gennemtænke den nationale tilgang til medlemskabet af CERN på tværs af temaer med betoning af, at Danmark som vidensnation må kunne opnå et langt større udbytte af CERN-medlemskabet end i dag. I den sammenhæng kan det også være relevant at få belyst, om der i dag er systemiske barrierer, der begrænser den danske anvendelse af CERN.

Proces og leverancer for arbejdsgruppen

Arbejdsgruppen udarbejder en rapport med overvejelser, anbefalinger og løsningsmodeller, rettet mod alle danske aktører med interesse i CERN.

Rapporten kan med fordel indeholde konkrete målsætninger for medlemskabet. Arbejdsgruppen skal levere sin rapport omkring august 2023.

Arbejdsgruppens anbefalinger skal holdes inden for Uddannelses- og Forskningsministeriets nuværende økonomiske ramme.

Bilag 2 Bibliometrisk analyse

I dette bilag præsenteres den bibliometriske analyse af Danmarks CERN-publikationer i perioden 2013-2022. Analysen medtager alle danske publicerede forskningsaktiviteter, og således indgår publikationer indenfor både teoretisk og eksperimentel fysik, teknisk forskning og andet. I kapitlet anvendes bibliometriske indikatorer og data til at belyse forskningens størrelse, gennemslagskraft og fordeling på fagområder i såvel en national som en international kontekst med udvalgte sammenligningslande – Finland, Nederlandene og Norge.

Analysen viser, at Danmark har det laveste antal CERN-publikationer blandt sammenligningslandene og det næstlaveste pr. mio. indbyggere. For alle landene gælder, at antallet af publikationer er faldet de sidste to år af perioden. Danske CERN-publikationer har den højeste andel publikationer blandt de top 10 procent mest citerede på verdensplan (52,6 procent) og den højeste feltvægtede gennemslagskraft (4,25) blandt sammenligningslandene.

Hovedparten af de danske CERN-publikationer (88 pct.) har en medforfatter fra Københavns Universitet. Næsten alle danske CERN-publikationer er inden for naturvidenskab, mens omkring en femtedel er inden for teknisk videnskab, idet en publikation kan være tilknyttet flere hovedområder.

1. Metode

1.1 Definition af "Danmarks CERN-publikationer"

Uddannelses- og Forskningsministeriet har modtaget en liste fra CERN over CERN-publikationer i perioden 2013-2022 med forfattere fra henholdsvis Danmark, Finland, Nederlandene og Norge. Dette datasæt udgør grundlaget for nærværende analyse og definerer "CERN-publikationer".

1.2 Den bibliometriske metode og datagrundlag

Kvaliteten af forskningspublikationer vurderes bedst ved fagfællebedømmelse med brug af kriterier og standarder inden for det enkelte forskningsfelt under forudsætning af, at fagfællen har tilstrækkeligt tid til opgaven og ikke er forudindtaget eller ensidig i sine vurderinger. Bibliometriske indikatorer er kvantitative og kan ikke anvendes som en proxy for forskningens kvalitet, men de kan tegne et billede af f.eks. forskningens omfang, gennemslagskraft og internationale sampublicering.

Denne bibliometriske analyse er baseret på en publikationsliste fra CERN dækkende CERN-publikationer i perioden 2013-2022 med forfattere fra henholdsvis Danmark, Finland, Nederlandene og Norge. Den samlede publikationsliste fra CERN er uploadet til analyseværktøjet SciVal¹⁸ til match på DOI-nr. Der blev i alt uploadet 16.762 publikationer med DOI-nr. til SciVal, hvoraf 13.176 var indekseret i SciVal (79 pct.). I SciVal blev datasættet begrænset til 2013-2022 og til publikationstyperne artikler, reviews og konferencebidrag (*articles, reviews, conference papers*), således at datasættet anvendt til analyserne indeholder i alt 13.066 publikationer.

For publikationstyperne artikler, reviews o.l. havde hovedparten af publikationerne fra CERN et DOI-nr., mens der var færre konferencebidrag med et DOI-nr., jf. tabel 1.1 og tabel 1.2.

Tabel 1.1

Publikationslister fra CERN, antal

	Liste fra CERN	Med DOI	I SciVal	Anvendt til analysen
Artikler, reviews mv.	9.691	9.601	9.513	9.410
Konferencebidrag	8.490	7.161	3.663	3.656
I alt	18.181	16.762	13.176	13.066

¹⁸ Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data.

Tabel 1.2

Publikationslister fra CERN, procent

	Liste fra CERN	Med DOI	I SciVal	Anvendt til analysen
Artikler, reviews mv.	100%	99%	98%	97%
Konferencebidrag	100%	84%	43%	43%
I alt	100%	92%	72%	72%

Som det ses, anvendes samlet set 72 pct. af publikationerne fra CERN's liste, herunder 97 pct. af publikationerne for listen over artikler, reviews mv.

Til slut blev data opdelt på de fire analyselande Danmark, Finland, Nederlandene og Norge. Landene er valgt, fordi de forsknings- og størrelsesmæssigt er sammenlignelige med Danmark.

1.3 Indikatorer

Følgende indikatorer anvendes i analysen:

Optælling af publikationer (fuldtælling): En publikation tæller én gang for hver institution/land, der har en forfatter, som indgår på publikationens forfatterliste. Der anvendes ikke fraktionering i denne analyse, og en publikation kan således optræde mere end én gang, dvs. i forskellige enheder. En publikation optræder dog kun én gang pr. enhed - f.eks. institution, land mv. Analyserne er baseret på publikationstyperne artikler, reviews og konferencebidrag.

Citationer: Der inkluderes selvcitationer i analysen, da der er tale om analyser på lande- og institutionsniveau, hvor alle citationer fra henholdsvis samme land eller institution betragtes som selvcitationer i SciVal.

Citationsindikatorer: Bemærk, at alle citationsindikatorerne herunder er følsomme over for et lille antal publikationer i datasættet. Dette gælder især den feltvægtede gennemslagskraft, som derfor ikke opgøres ved mindre end 100-200 publikationer. Indikatoren for antal publikationer blandt de 10 pct. mest citerede er mindre følsom.

Feltvægtet gennemslagskraft opgør antallet af citationer, som en publikation har fået sammenholdt med det gennemsnitlige antal citationer, som lignende publikationer inden for det givne fagområde har modtaget. Verdensgennemsnittet er 1,00. Det betyder, at værdier over 1,00 har en feltvægtet gennemslagskraft, der ligger højere end det samlede verdensgennemsnit. Tilsvarende betyder en feltvægtet gennemslagskraft under 1,00, at den ligger under det samlede verdensgennemsnit. Indikatoren kan fortælle om en publikations relevans for andre forskere. Den feltvægtede gennemslagskraft er følsom over for et lille antal publikationer i datasættet, hvor enkelte særligt højt citerede publikationer kan have en uforholdsmæssig stor betydning for indikatoren. Generelt bør der ikke lægges vægt på små forskelle i indikatoren. Den bør i stedet fortolkes forholds-mæssigt - f.eks. lavere end, på niveau med, højere end.

Publikationer blandt de 10 pct. mest citerede: Andelen af et publikationssæt, som findes blandt de 10 pct. mest citerede publikationer i verden (alle publikationer i verden

inden for alle fagområder - i dette tilfælde lig med indholdet i Scopus-databasen). Hvis procentsatsen overstiger 10 pct. findes flere publikationer blandt de 10 pct. mest citerede end gennemsnittet. Denne indikator er feltvægtet.

International sampublicering måler antallet af forskningspublikationer med mindst én international medforfatter - det vil sige en medforfatter fra en udenlandsk institution.

1.4 Opmærksomhedspunkter

Der er en række forbehold og opmærksomhedspunkter ved anvendelsen af bibliometriske indikatorer:

- 1) Bibliometriske indikatorer er kvantitative og kan ikke anvendes som en proxy for forskningens kvalitet, men de kan tegne et billede af f.eks. forskningens omfang, gennemslagskraft og internationale sampublicering. Forskning består af mange andre elementer, der ikke kan måles i samme grad. Bibliometriske analyser af forskningsaktivitet og -gennemslagskraft kan derfor ikke stå alene i vurderingen af forskningen.
- 2) Alle citationsindikatorerne er følsomme over for et lille antal publikationer i datasættet. Dette gælder især den feltvægtede gennemslagskraft, som ikke opgøres ved færre end 100 publikationer i datasættet. Indikatoren publikationer blandt de 10 pct. mest citerede er mindre følsom.
- 3) Ved fortolkning af data skal der ikke lægges vægt på små forskelle i tallene, men derimod fortolkes forholdsvist. Det er vigtigt at være opmærksom på antallet af publikationer i de enkelte datasæt, for det påvirker andelen i f.eks. Top 10 %, så små ændringer kan føre til høje andele ved et lille antal publikationer.
- 4) I denne analyse er kun medtaget publikationstyperne tidsskriftsartikler, reviews og conferencebidrag, idet disse alle er forskningspublikationer, og da UFM normalt begrænser til disse tre publikationstyper i bibliometriske analyser. Publikationstyperne monografier og antologibidrag er ikke dækket af Scopus i lige så høj grad som f.eks. tidsskriftsartikler, selvom de også er fagfællebedømte forskningspublikationer. Monografier og antologibidrag er de væsentligste publikationer inden for mange humanistiske og samfundsvidenskabelige fagområder. Derfor har de bibliometriske indikatorer en bias over for især humaniora og nogle områder inden for samfundsvidenskab.
- 5) De internationale databaser, som bibliometriske analyser bygger på, favoriserer til en vis grad publikationer skrevet på engelsk. Det betyder, at sproglige forhold kan have en betydning for, hvor stor en del af et lands samlede publikationer, der indfanges i databaserne. Samtidig er dækningsgraden af de videnskabelige fagområder forskellig, hvor de våde fagområder (sundheds-, natur-, jordbrugs- og teknisk videnskab) overordnet set har en højere dækningsgrad end humaniora og samfundsvidenskab. Det skyldes i høj grad forskellige publikationsformer inden for fagområderne.

2. Bibliometrisk analyse

I dette afsnit præsenteres dansk CERN-forskning med fokus på volumen, gennemslagskraft, international sampublicering, institutioner og fordeling på fagområder. Data for danske CERN-publikationer sammenholdes med data for CERN-publikationer fra Finland, Nederlandene og Norge.

2.1 CERN-forskningens volumen, gennemslagskraft og internationale sampublicering

Tabel 1.3 nedenfor sammenholder for en række parametre de danske CERN-publikationer med CERN-publikationer fra Finland, Nederlandene og Norge i perioden 2013-2022.

Tabel 1.3

CERN-publikationer fra Danmark, Finland, Nederlandene og Norge, 2013-2022

Land	Antal publikationer	Feltvægtet gennemslagskraft	Andel blandt de Top 10 % mest citerede (feltvægtet, %)	International sampublicering (%)
Danmark	1.473	4,25	52,6	99,6
Finland	1.783	3,54	42,2	99,7
Nederlandene	2.279	4,03	46,9	99,7
Norge	1.518	3,69	49,9	99,5

Anm.: Opgørelsen er feltvægtet, men ikke fraktioneret. Selvcitationer er inkluderet. Data dækker publikationstyperne artikler, reviews og conferencebidrag.

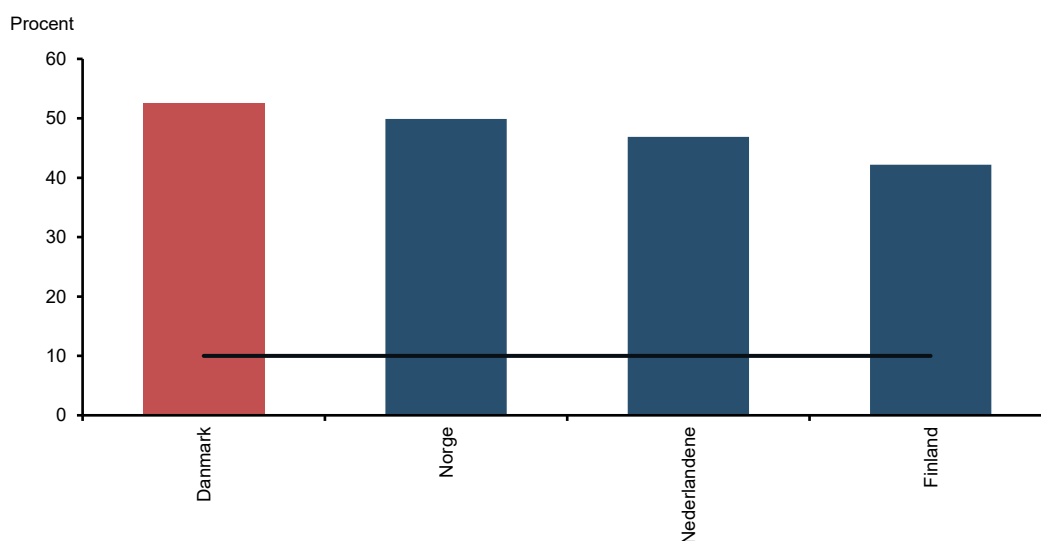
Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

Danmark har det laveste antal CERN-publikationer blandt sammenligningslandene, men den højeste feltvægtede gennemslagskraft (4,25) og den højeste andel publikationer blandt de top 10 procent mest citerede på verdensplan (52,6 procent). For alle landene gælder, at CERN-publikationerne stort set alle er internationalt sampublicerede (mellem 99,5 og 99,7 procent).

Figur 1.1 herunder viser andel CERN-publikationer blandt de top 10 procent mest citerede på verdensplan for Danmark, Finland, Nederlandene og Norge.

Figur 1.1

Andel CERN-publikationer blandt de top 10 procent mest citerede på verdensplan for udvalgte lande, procent, 2013-2022



Anm.: Opgørelsen er feltvægtet, men ikke fraktioneret. Selvcitationer er inkluderet. Data dækker publikationstyperne artikler, reviews og conferencebidrag.

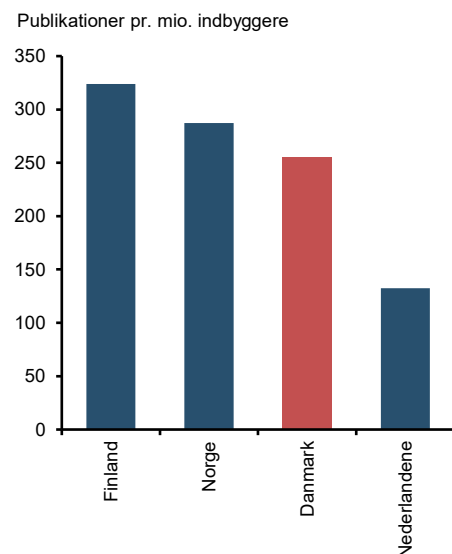
Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

For alle fire lande er andelen af CERN-publikationer blandt de top 10 procent mest citerede over 40 procent. Danske CERN-publikationer har med 52,6 pct. den højeste andel efterfulgt af Norge med 49,9 pct.

Figur 1.2 og tabel 1.4 nedenfor viser Danmarks og sammenligningslandenes publiceringsvolumen for CERN-publikationer pr. mio. indbyggere for perioden 2013-2022.

Figur 1.2

Volumen for CERN-publikationer for Danmark, Finland, Nederlandene og Norge, antal publikationer pr. mio. indbyggere, 2013-2022



Anm.: Opgørelsen er ikke fraktioneret. Data dækker publikationstyperne artikler, reviews og konferencebidrag.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival (publikationer) og OECD-stat. (befolkningstal). Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023 for SciVal og 25. september for OECD-befolkningstal.

Tabel 1.4

Antal CERN-publikationer for Danmark, Finland, Nederlandene og Norge pr. mio. indbyggere, 2013-2022

Land	Antal CERN-publikationer pr. mio. indbyggere 2013-2022
Finland	324
Norge	287
Danmark	256
Nederlandene	132

Anm.: Opgørelsen er ikke fraktioneret. Data dækker publikationstyperne artikler, reviews og konferencebidrag.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival (publikationer) og OECD-stat. (befolkningstal). Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023 for SciVal og 25. september for OECD-befolkningstal.

Finland har det højeste antal CERN-publikationer pr. mio. indbyggere (324) i perioden efterfulgt af Norge med 287 publikationer og Danmark med 256 publikationer pr. mio. indbyggere i perioden. Nederlandene har knap det halve antal CERN-publikationer pr. mio. indbyggere (132) af Danmark i perioden.

Tabel 1.5 herunder viser udviklingen i antal CERN-publikationer pr. år for de fire lande fra 2013 til og med 2022.

Tabel 1.5

Antal CERN-publikationer, 2013-2022

Land	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Danmark	116	134	158	190	151	168	160	154	141	101
Finland	138	136	147	193	195	230	212	229	166	137
Nederlandene	215	216	241	264	246	237	244	234	207	175
Norge	118	148	152	191	152	173	176	170	134	104

Anm.: Opgørelsen er ikke fraktioneret. Data dækker publikationstyperne artikler, reviews og konferencebidrag.

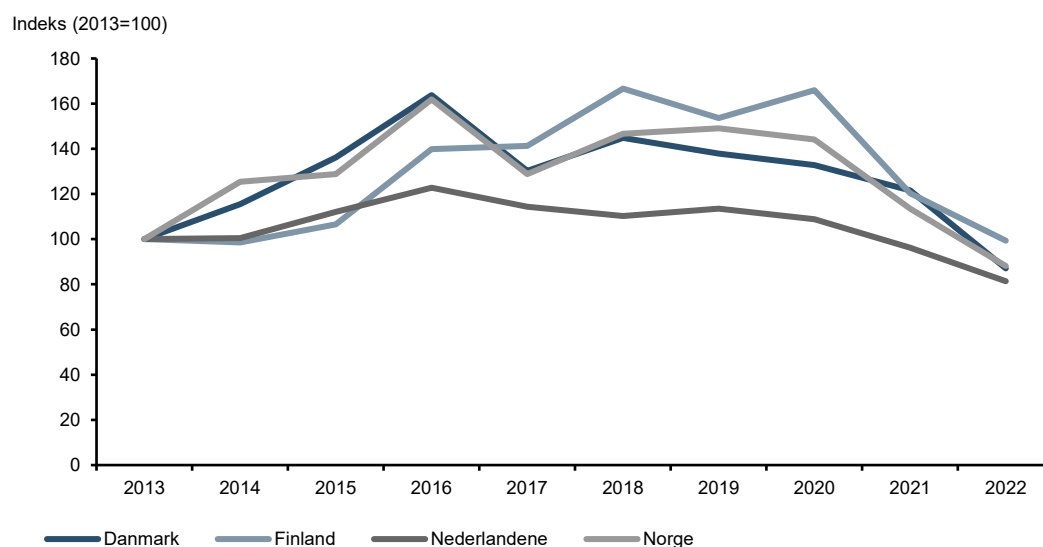
Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

For alle landene gælder, at antallet af publikationer er faldet de sidste to år af perioden.

Figur 1.3 viser udviklingen i den indekserede publikationsvolumen for CERN-publikationer fra Danmark, Finland, Nederlandene og Norge i perioden 2013-2022.

Figur 1.3

Udvikling i publikationsvolumen for CERN-publikationer fra Danmark, Finland, Nederlandene og Norge, indeks (2013=100), 2013-2022



Anm.: Udviklingen i publikationsvolumen over perioden 2013-2022 er opgjort som indekstal med basisår 2013. Opgørelsen er ikke fraktioneret. Data dækker publikationstyperne artikler, reviews og conferencebidrag.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

I hele perioden følger udviklingen i publikationsvolumen for de danske og de norske CERN-publikationer hinanden tæt. Fra 2013-2016 ligger udviklingen i disse to lande over Finland og Nederlandene, mens udviklingen i Finlands publikationsvolumen er størst i den sidste del af perioden. I 2021 og 2022 falder den indekserede publikationsvolumen for alle lande, og i 2022 er den under niveauet for 2013 for alle fire lande.

2.2 Danske universiteter og samarbejdsinstitutioner

I det følgende belyses de danske CERN-publikationers fordeling på danske universiteter og de top ti hyppigste samarbejdsinstitutioner.

Tabel 1.6 viser, hvor mange publikationer de enkelte danske universiteter har blandt de danske CERN-publikationer i perioden 2013-2022 (i alt 1.473 danske CERN-publikationer).

Tabel 1.6

Danske universiteter fordelt på antal publikationer i datasættet med de danske CERN-publikationer, 2013-2022

Universitet	Antal publikationer	Andel
Københavns Universitet	1.302	88%
Aarhus Universitet	87	6%
Syddansk Universitet	48	3%
DTU - Danmarks Tekniske Universitet	34	2%
Aalborg Universitet	1	0%
CBS - Copenhagen Business School	1	0%

Anm.: Opgørelsen er ikke fraktioneret. Data dækker publikationstyperne artikler, reviews og konferencebidrag. Opgørelsen viser de danske universiteters antal CERN-publikationer 2013-2022.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

88 procent af de danske CERN-publikationer i perioden 2013-2022 har en medforfatter fra Københavns Universitet, som dermed er den største bidragsyder blandt de danske universiteter. Aarhus Universitet er den næststørste bidragsyder og har en medforfatter på seks procent af de danske CERN-publikationer i perioden.

CERN-publikationer er oftest karakteriseret ved at have rigtigt mange medforfattere fra flere forskellige lande, hvilket blandt andet kan ses af indikatoren "internationalt sampublicering" i tabel 1.1, som er 99,6 procent for de danske CERN-publikationer i perioden 2013-2022. Tabel 1.7 nedenfor viser de ti største samarbejdsinstitutioner for danske CERN-publikationer i perioden.

Tabel 1.7

Top 10 samarbejdsinstitutioner (baseret på antal publikationer) for de danske CERN-publikationer, 2013-2022

Nr.	Institution	Land	Antal publikationer
1	CERN	Schweiz	1461
2	University of Copenhagen	Danmark	1302
3	National Institute for Nuclear Physics	Italien	1292
4	CNRS	Frankrig	1274
5	United States Department of Energy	USA	1261
6	Université Paris-Saclay	Frankrig	1249
7	Institut national de physique nucléaire et de physique des particules	Frankrig	1240
8	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives	Frankrig	1234
9	Université Paris Cité	Frankrig	1229
10	Science and Technology Facilities Council	Storbritannien	1225

Anm.: Opgørelsen er ikke fraktioneret. Data dækker publikationstyperne artikler, reviews og konferencebidrag. Opgørelsen viser top 10 samarbejdsinstitutioner for danske CERN-publikationer 2013-2022.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

Den største samarbejdsinstitution for danske CERN-publikationer er CERN efterfulgt af Københavns Universitet. Herefter kommer italienske National Institute for Nuclear Physics, det franske forskningsinstitut CNRS og United States Department of Energy.

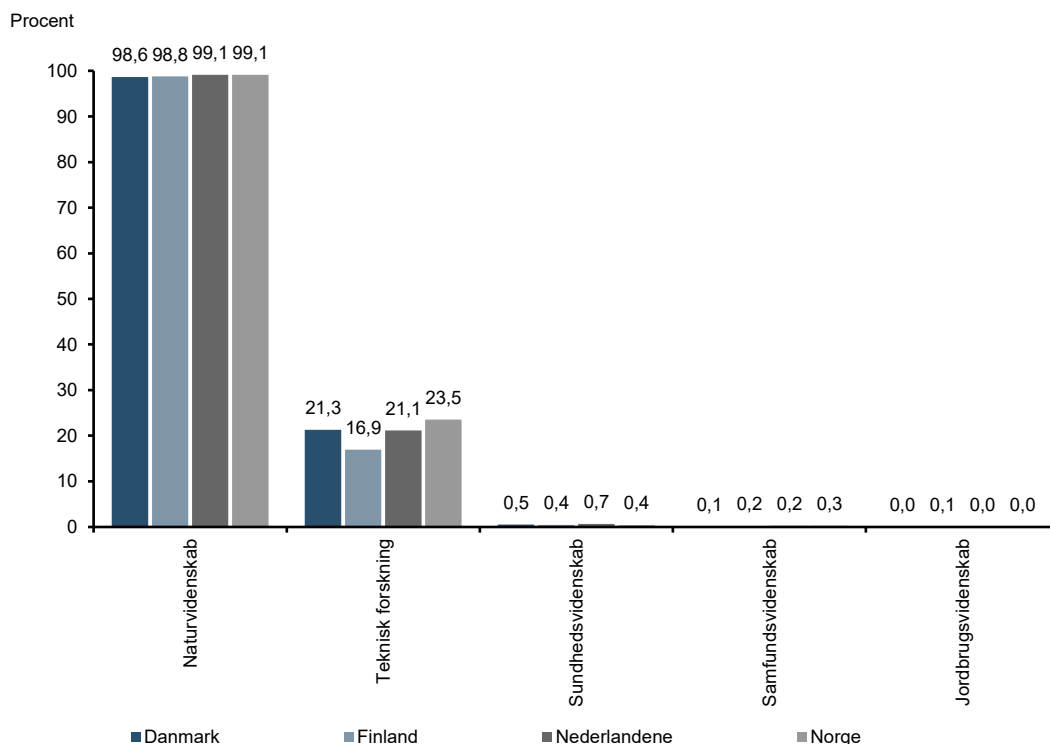
2.3 Hoved- og fagområdefordeling

Figur 1.4 herunder viser fordelingen af danske, finske, nederlandske og norske CERN-publikationer på hovedområder¹⁹. En publikation kan høre til flere hovedområder, og derfor summerer søjlerne i figuren til mere end 100 procent. Det skal bemærkes, at hoved- og fagområdefordelingen i SciVal ikke foregår på publikationsniveau, men på tidsskrifts-/kanalniveau. Det betyder, at små mængder af publikationer inden for et umiddelbart irrelevant hoved- eller fagområde eventuelt kan skyldes, at de er publiceret i et tidsskrift, der er kategoriseret som hørende til det pågældende hoved-/fagområde, selvom publikationen ikke hører derunder.

¹⁹ "Frascati Manual 2015 - Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development" <https://www.oecd.org/innovation/frascati-manual-2015-9789264239012-en.htm>

Figur 1.4

Hovedområdefordeling for danske, finske, nederlandske og norske CERN-publikationer, 2013-2022



Anm.: En publikation kan høre til flere hovedområder og kan derfor tælle inden for flere af ovenstående hovedområder, men de enkelte hovedområders andele er beregnet ud fra det samlede antal CERN-publikationer for det pågældende land i perioden 2013-2022 (DK: 1473 publikationer; FI: 1783 publikationer; NL: 2279 publikationer; NO: 1518 publikationer). Derfor summerer andel publikationer inden for de enkelte hovedområder til mere end 100 procent i perioden. Opgørelsen er ikke fraktioneret. Analysen dækker publikationstyperne artikler, reviews og conference-bidrag. Hovedområdeinddelingen er foretaget efter FORD-klassifikationen, jf. Frascati-manualen.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

Naturvidenskab er det største hovedområde for CERN-publikationerne fra både Danmark, Finland, Nederlandene og Norge, og mellem 98,6 og 99,1 af de enkelte landes CERN-publikationer hører under naturvidenskab. For Danmark gælder det 98,6 procent af publikationerne. Omkring en femtedel af landenes CERN-publikationer falder inden for teknisk videnskab (mellem 16,9 og 23,5 procent). Det gælder for 21,3 procent af de danske CERN-publikationer, og 99,3 procent af disse er både kategoriseret inden for naturvidenskab og teknisk videnskab og er dermed tværvidenskabelige.

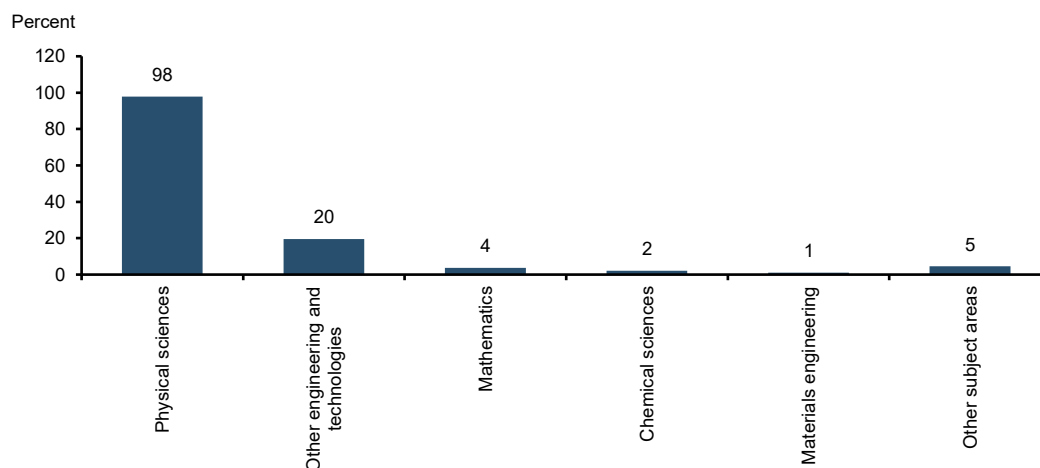
Få af landenes CERN-publikationer er kategoriseret under sundhedsvidenskab (under 1 pct.), mens færre er kategoriseret under samfundsvidenskab. De to finske publikationer kategoriseret under jordbrugsvidenskab ser ud til at skyldes, at fordelingen foregår på tidsskriftsniveau og ikke publikationsniveau. De vurderes umiddelbart kun at høre under naturvidenskab. Ingen af CERN-publikationerne er kategoriseret under humaniora.

Figur 1.5-Figur 1.8 herunder viser fordelingen for CERN-publikationerne fra henholdsvis Danmark, Finland, Nederlandene og Norge i perioden 2013-2022 på de fem største

fagområder fra OECD's Frascati-manual 2015²⁰. En publikation kan høre til flere fagområder, og derfor summerer søjlerne i figurerne til mere end 100 procent. Som nævnt ovenfor foregår hoved- og fagområdefordelingen i SciVal ikke på publikationsniveau, men på tidsskrifts-/kanalniveau.

Figur 1.5

Danske CERN-publikationer fordelt på de fem største fagområder samt øvrige fagområder samlet set, 2013-2022



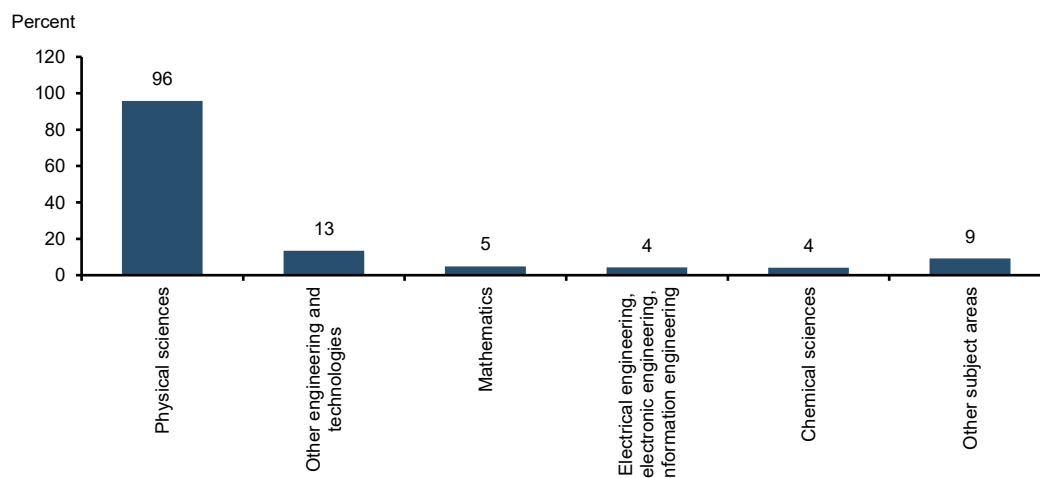
Anm.: En publikation kan høre til flere fagområder og kan derfor tælle inden for flere af ovenstående fagområder, men de enkelte fagområders andele er beregnet ud fra det samlede antal danske CERN-publikationer i perioden 2013-2022 (1.473 publikationer). Derfor summerer andel publikationer inden for de enkelte fagområder til mere end 100 procent i perioden. Opgørelsen er ikke fraktioneret. Analysen dækker publikationstyperne artikler, reviews og conferencebidrag. Fagområdeinddelingen er foretaget efter FORD-klassifikationen, jf. Frascati-manualen.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

²⁰ "Frascati Manual 2015 - Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development" <https://www.oecd.org/innovation/frascati-manual-2015-9789264239012-en.htm>

Figur 1.6

Finske CERN-publikationer fordelt på de fem største fagområder samt øvrige fagområder samlet set, 2013-2022

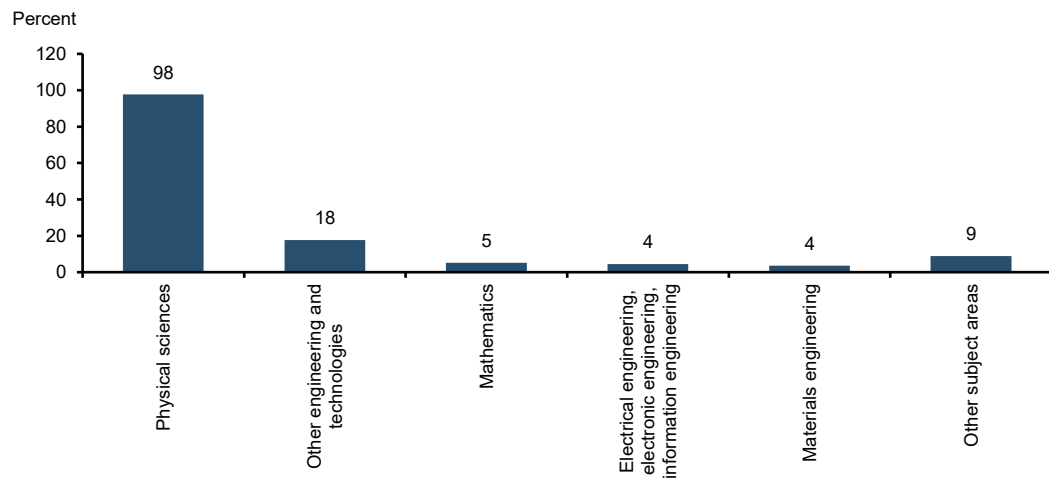


Anm.: En publikation kan høre til flere fagområder og kan derfor tælle inden for flere af ovenstående fagområder, men de enkelte fagområders andele er beregnet ud fra det samlede antal finske CERN-publikationer i perioden 2013-2022 (1.783 publikationer). Derfor summerer andel publikationer inden for de enkelte fagområder til mere end 100 procent i perioden. Opgørelsen er ikke fraktioneret. Analysen dækker publikationstyperne artikler, reviews og conferencebidrag. Fagområdeinddelingen er foretaget efter FORD-klassifikationen, jf. Frascati-manualen.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

Figur 1.7

Nederlandske CERN-publikationer fordelt på de fem største fagområder samt øvrige fagområder samlet set, 2013-2022

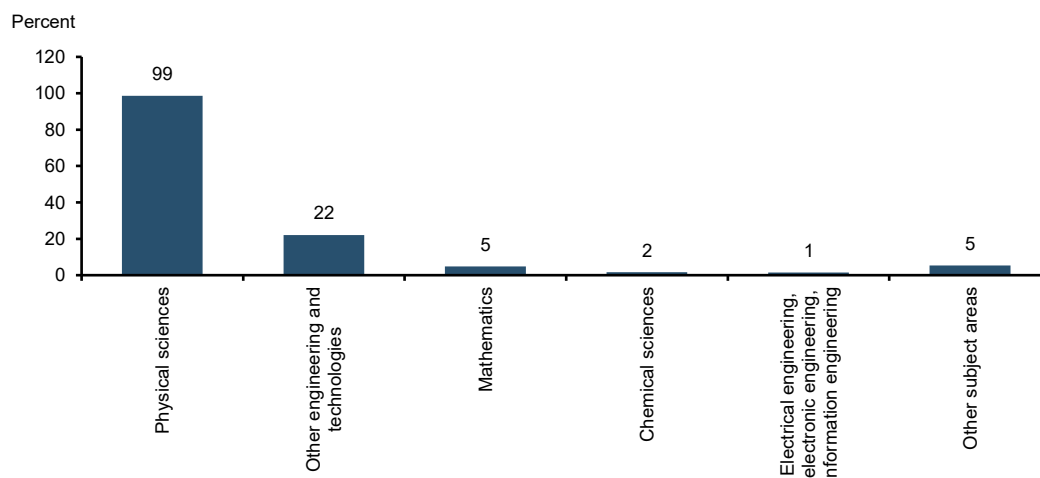


Anm.: En publikation kan høre til flere fagområder og kan derfor tælle inden for flere af ovenstående fagområder, men de enkelte fagområders andele er beregnet ud fra det samlede antal nederlandske CERN-publikationer i perioden 2013-2022 (2.279 publikationer). Derfor summerer andel publikationer inden for de enkelte fagområder til mere end 100 procent i perioden. Opgørelsen er ikke fraktioneret. Analysen dækker publikationstyperne artikler, reviews og conferencebidrag. Fagområdeinddelingen er foretaget efter FORD-klassifikationen, jf. Frascati-manualen.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

Figur 1.8

Norske CERN-publikationer fordelt på de fem største fagområder samt øvrige fagområder samlet set, 2013-2022



Anm.: En publikation kan høre til flere fagområder og kan derfor tælle inden for flere af ovenstående fagområder, men de enkelte fagområders andele er beregnet ud fra det samlede antal norske CERN-publikationer i perioden 2013-2022 (1.518 publikationer). Derfor summerer andel publikationer inden for de enkelte fagområder til mere end 100 procent i perioden. Opgørelsen er ikke fraktioneret. Analysen dækker publikationstyperne artikler, reviews og conferencebidrag. Fagområdeinddelingen er foretaget efter FORD-klassifikationen, jf. Frascati-manualen.

Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet på baggrund af data fra Scival, Elsevier B. V. (2023). Scival baserer sig på Scopus-data. Data er udtrukket den 22. september 2023.

For alle fire lande er fysik det største fagområde for CERN-publikationerne i perioden 2013-2022 (96-99 procent), og det næststørste fagområde er øvrig ingeniør- og teknisk videnskab (13-22 procent), mens matematik er det tredjestørste fagområde (4-5 procent). De øvrige fagområder, der optræder blandt de fem største i de enkelte lande er kemi, materialevidenskab samt elektronik, elektroteknik og kommunikationsteknik.