

## Skema: Ansøgning om resultatkontraktmidler 2019-2020

<b>Institut(ter):</b> DFM	<b>Aktivitetsplan (titel):</b> Overflademetrologi til fremtidens produktion <b>Idéforslags titel på bedreinnovation.dk:</b> Måleteknologi til deep tech og fremtidens produktion	<b>Aktivitetsplan nr.:</b> 4	FoU
------------------------------	---	------------------------------	-----

### 1) Manchettekst (kort resumé)

Overfladers egenskaber har en central betydning i mange nye produkter og produktionsprocesser. Aktiviteten adresserer behovet for nye målemetoder til overflader, således at produktkvalitet og -specifikationer kan forbedres og dokumenteres.

### 2) Aktiviteten kort (resumé)

Overflader har en central betydning for en række danske industrielle styrkepositioner, fx produktion inden for plast, medicin og fødevarer. Virksomhederne har behov for konstant at udvikle nye og bedre overflade egenskaber i deres produkter og for at kunne dokumentere kvaliteten af disse overflader.

Aktivitetsforslaget har fokus på udvikling af nye måletekniske kompetencer og ydelser inden for områder af stigende betydning for danske højteknologiske SMV'er. Forslaget adresserer måling og dokumentation på områderne overflademodifikation, produktionsprocesser til nanostrukturerede og andre avancerede overflader, overflader af 3D printede emner samt overfladehygiejne. Digitalisering inddrages i delaktiviteterne.

Vidensspredningsaktiviteterne omfatter møder med virksomheder, virksomhedscases, seminarer og temadage, publikationer og konferencedeltagelse. Aktiviteten er koordineret med en komplementær ansøgning fra FORCE Technology, som fokuserer på forbedring af materialeegenskaber og fejlfinding i produktionen.

### 3) Markedsbehov, erhvervs- og samfundsmæssige potentialer

En stor del af alle teknologiske innovationer kan relateres direkte eller indirekte til udvikling af nye materialer, herunder materialernes overflader. Overfladernes centrale betydning inden for en række forskellige teknologiområder fremgår af FORSK2025, hvor emnet adresseres i de overordnede forskningstemaer: "Fremtidens produktion", "Materialer til innovation og vækst", "Fremtidens bygninger, fysiske infrastruktur og byer" samt "Globale og lokale sundhedstrusler". FORSK2025 beskriver konkrete behov for forskning i overflader inden for emnerne "Nye produktionsteknologier og -processer og produkter" (s. 40), "Nye, avancerede bløde materialer og polymerer" (s. 56), "Biomaterialer" (s. 57), "hårde materialer" (s. 58), "Materialer og konstruktioner" (s. 104) samt "Reduktion af risici i fødevarerproduktionen" (s. 165).

Der foregår en hastig teknologisk udvikling inden for nye avancerede overflader med anvendelser inden for mange forskellige brancher. Det fulde kommercielle potentiale af denne udvikling bliver dog først realiseret i takt med, at måleteknologi til at karakterisere overflader og deres nye egenskaber udvikles. Som den eneste aktør i det danske innovationssystem har DFM den faglige indsigt, de metrologiske kompetencer og de fysiske faciliteter til at løfte opgaven med at udvikle overflademetrologi på et højt fagligt niveau til fremtidens behov.

Aktivitetens primære målgruppe udgøres af højteknologiske SMV'er, hvis fremtidige produkter og produktionsmetoder tager udgangspunkt i enten overfladestruktur, overfladeform, overfladens materialeegen-

skaber (fx hårdhed), overfladetemperatur eller renhed af overflader. Styrke- og vækstområder som plastproduktion, medicin og fødevarer er stærkt repræsenteret i målgruppen. Tyve danske højteknologiske SMV'er har kommenteret på nærværende forslag på BedreInnovation.dk<sup>1</sup>.

Pålidelighed og dokumenterede overfladeegenskaber er særligt relevant for SMV'er, da de ofte er underleverandører og skal overbevise markedet om værdien og kvaliteten af deres produkter. Dette kræver adgang til avancerede metrologiydelser, de ikke selv har ressourcer og kompetencer til at udvikle. DFM vil udvikle kompetencer og ydelser til at dokumentere overfladers avancerede egenskaber via nye målemetoder på højt nøjagtighedsniveau med sporbarhed til SI enhedssystemet.

DFM's ydelser vil adressere målinger og dokumentation til følgende prioriterede områder støttet af BedreInnovation.dk kommentarer:

- **Overflademodifikation**<sup>2</sup> ved *kemisk modifikation* af overfladen<sup>3</sup> eller påføring af bløde eller hårde funktionelle *belægnings*, hvor materialeegenskaber skal dokumenteres<sup>4</sup>.
- **Overflader i nye produktionsprocesser**, hvor det enten er egenskaber ved produkternes overflader eller ved overflader i produktionsudstyret, som er kritiske. Det kan eksempelvis være avanceret *sprøjttestøbning* af plastmaterialer og produktion af *mikro- og nanoteknologi*, hvor dokumentation for produkternes kvalitet under produktionsprocessen er kritisk<sup>5</sup>. Det kan også være avanceret støbning i nye materialer<sup>6</sup> som fx glas, der stiller krav til dokumentation af *overfladetemperaturen* under produktionsprocessen.
- **Overflader af 3D printede emner** med høje krav til overfladens kvalitet fx inden for medicinske implantater<sup>7</sup> og drug delivery<sup>8</sup>
- **Overfladehygiejne** i medicinal- og fødevarerbranchen, hvor der er stigende krav til dokumentation af overfladekvalitet. Området inkluderer renrumsproduktion med krav til **renhed af overflader**<sup>9</sup>, produktion af **procesudstyr** i stål til medicinal- og fødevarerindustrien<sup>10</sup> samt fremstilling af **medical devices**, hvor overflader er kritiske for opbevaring og levering af medicin<sup>11</sup>.

Der er en væsentlig synergi i udviklingen af metrologi til ovenstående områder, idet de anvendte måleteknologier har et stort overlap, og digitalisering indgår i alle delaktiviteterne. Ved implementering af forslaget skabes "kritisk masse" inden for overflademetrologi.

De udviklede kompetencer og serviceydelser dækker mere end 200 danske SMV'ers behov, og det forventes at mindst 50 SMV'er vil efterspørge ydelserne inden for 5 år efter aktivitetens påbegyndelse.

DFM har i 2018 overtaget feltet "berøringsfri temperaturmåling" fra DTU, og feltet indgår nu i Sikkerhedsstyrelsens udpegning af DFM som Danmarks Nationale Metrologiinstitut. Nye kompetencer og ydelser inden for overfladetemperatur vil tiltrække et kundesegment, DFM ikke tidligere har haft kontakt med.

Målgruppens behov er analyseret gennem individuelle møder med danske SMV'er. I alt 31 virksomheder (heraf 20 SMV'er) samt brancheforeningen Plastindustrien og innovationsnetværket Dansk Materiale Netværk har sammen med 13 universitetsforskere kommenteret på forslaget på BedreInnovation.dk. Flere end ti af de virksomheder, der har kommenteret på BedreInnovation.dk, er efterfølgende blevet kontaktet med

<sup>1</sup> Stensborg A/S, Con-Science AB, NIL Technology ApS, Image Metrology A/S, RadiSurf ApS, DeltaPix ApS, TRD Surfaces ApS, Poly-Optics GmbH, Rel8 ApS, Inmold A/S, Heliac ApS, Particle3D ApS, Winther Mould Technology A/S, Stansomatic A/S, CemeCon Scandinavia A/S, Metronic ApS, LMteknik ApS, Innoventa Medica ApS, Coboti ApS, Ara Scientific ApS.

<sup>2</sup> I FORSK2025 afsnit om Fremtidens produktion i FORSK2025 beskrives Overflademodifikation på side 58 og nye produktionsprocesser og nanoteknologi på side 45 og 3D print mange steder.

<sup>3</sup> Fra bedreinnovation.dk RadiSurf ApS, TRD Surfaces ApS, Inmold A/S, Rel8 ApS.

<sup>4</sup> Fra bedreinnovation.dk CemeCon Scandinavia A/S, Hempel A/S.

<sup>5</sup> Fra bedreinnovation.dk Stensborg A/S, NIL Technology ApS, Heliac ApS, Ibsen Photonics A/S.

<sup>6</sup> Fra bedreinnovation.dk Metronic ApS, MOCON Europe A/S.

<sup>7</sup> Fra bedreinnovation.dk Particle3D ApS.

<sup>8</sup> Fra bedreinnovation.dk DTU NANOTECH (En Te Hwu, Niels B Larsen, Sanjukta B. Goswami) og AU Dept of Clinical Medicine (Dang Le).

<sup>9</sup> Fra bedreinnovation.dk fx Palas GmbH, LMteknik ApS, Innoventa Medica ApS, Bavarian Nordic A/S.

<sup>10</sup> Fra bedreinnovation.dk fx Cobiti ApS, Ara Scientific ApS.

<sup>11</sup> Fra bedreinnovation.dk fx Novo Nordisk A/S, Coloplast A/S samt Trelleborg Sealing Solutions A/S.

henblik på at uddybe kommentarerne. Herudover har der været dialog med Dansk Industri og det virksomhedsdrevne netværk Staalcentrum<sup>12</sup>, som begge har udarbejdet en støtteerklæring til aktiviteten (se appendiks). De fire virksomheder, institutioner og virksomhedsdrevne netværk, der allerede har givet tilsagn om deltagelse i den planlagte følgegruppe for aktiviteten<sup>13</sup>, har bidraget med input til nærværende aktivitetsforslag. Forslaget er på baggrund af den modtagne feedback blevet justeret i titel og indhold i forhold til oplægget på [bedreinnovation.dk](http://bedreinnovation.dk). Fokus på behovene inden for overfladeteknologier er skærpet, og virksomhedsinddragelsen er styrket ved implementering af måleteknologi og kompetencer direkte i virksomhedernes produktionsprocesser. Fokus på virksomhedernes kommende digitaliseringsudfordringer er ligeledes øget. DTU Mekanik og DTU Diplom har beskrevet behovet på BedreInnovation og DFM's efterfølgende dialog med virksomheder under udarbejdelsen af ansøgningen har yderligere styrket dette. Aktiviteten er koordineret med FORCE Technology for at sikre komplementaritet i forhold til deres forslag "Overflader og grænseflader i industrielle produkter"<sup>14</sup>.

#### 4) Videnspredning og inddragelse

I løbet af aktivitetens første 3 måneder oprettes en **følgegruppe** med mindst 6 deltagere. Følgegruppen inddrages i arbejdet med at sikre, at aktivitetens fokus og specifikationer for udviklede ydelser giver maksimal nytteværdi i forhold til målgruppens behov. Følgegruppen mødes fire gange i projektførløbet og vil løbende få tilsendt nyhedsbreve, præsentationer, rapporter og beskrivelse af virksomhedscases. På møderne præsenteres bl.a. fremdrift i udvikling af nye ydelser, og feedback fra gruppen inddrages i prioritering af det videre arbejde. Følgegruppen sammensættes, så deltagernes kompetencer dækker de planlagte aktiviteter. På forhånd har følgende 5 deltagere givet tilsagn om at indgå i følgegruppen: Dansk Industri<sup>15</sup>, der vil bidrage generelt med kendskab til industribehov. DTU Mekanik<sup>16</sup>, som vil bidrage med kompetencer inden for *digitalisering*. Novo Nordisk A/S<sup>17</sup>, som vil bidrage med viden om *fremtidens produktion* med høje krav til pålidelighed. Netværket Staalcentrum<sup>18</sup>, der har viden om SMV-behov og behov i fødevarer-, biotek- og lægemiddelindustri. FORCE Technology<sup>19</sup>, som kan medvirke til at maksimere aktivitetens effekt i forhold til øvrige aktiviteter i GTS systemet.

Målgruppen inddrages i gennemførelsen af aktiviteterne via følgegruppen og dens netværk (mere end 200 virksomheder). Herudover gennemføres følgende videnspredningsaktiviteter rettet mod målgruppen:

- Mindst 17 opsøgende møder med relevante virksomheder, fx SMV'er som har kommenteret på BedreInnovation.dk, for at få direkte feedback omkring planlagte ydelser og kompetencer.
- Gennemførelse af 6 virksomhedscases, hvor virksomheder inddrages i et tættere samspil omkring udvikling af kompetencer og ydelser for at styrke ydelsernes relevans for målgruppen.
- Inddragelse af 3 danske virksomheder i eksternt finansierede F&U projekter, muliggjort af de udviklede kompetencer.
- Afholdelse af 2 seminarer/temadage, hvoraf 1 afholdes i samarbejde med FORCE Technology.
- Fagligt indlæg på 1 industrielt netværksmøde
- Mindst 8 konferenceindlæg, heraf 3 i samarbejde med SMV'er.
- Mindst 8 publikationer i *open acces* videnskabelige tidsskrifter, heraf 3 med medforfattere fra SMV'er.
- Mindst 2 indlæg i fagmedier, fx Plast Panorama og Medicoteknik.

**Fælles temadag med FORCE Technology:** DFM og FORCE Technology vil samarbejde omkring afholdelse af en temadag hos enten DFM eller FORCE Technology, hvor begge GTS institutter bidrager med faglige præsentationer. Målet er mindst 35 deltagere til temadagen.

<sup>12</sup> Staalcentrum er et netværk af ca. 70 virksomheder, der med afsæt i markedet skaber innovation og vækst inden for fremstilling af maskiner og udstyr til fødevarer-, biotek- og lægemiddelindustri.

<sup>13</sup> Se afsnit 4.

<sup>14</sup> Se afsnit 7.

<sup>15</sup> Chefkonsulent, Rune Jacobsen, Dansk Industri

<sup>16</sup> Sektionsleder, Professor Jesper Hattel med speciale i Process modellering.

<sup>17</sup> Senior Research Engineer, Jan Andreasen, Novo Nordisk A/S.

<sup>18</sup> Alan Friis, Projektchef, Staalcentrum.

<sup>19</sup> Afdelingschef, Plast, Kompositter og Overfladekarakterisering, Marianne Strange, FORCE Technology.

Mange af DFM's eksisterende kompetencer har været præsenteret i faglige netværk og brancheorganisationer bl.a. ATV-SEMAPP, Plastindustrien, Foreningen for Værkstedsmetrologi og DANIAMet. De foreslåede nye aktiviteter vil blive præsenteret i disse og lignende faglige fora, også efter aktivitetsplanens udløb.

Kompetencer opbygget via nærværende aktivitetsforslag vil også blive formidlet gennem de foreslåede aktiviteter "Metrologisk Infrastruktur" og "Undervisning i Metrologi 4.0". Dette omfatter fx gæsteforelæsninger på universiteter. Som led i aktivitetsplanen forventes mindst 200 danske virksomheder inden for målgruppen at få del i den nye viden.

FORCE og DFM har et mangeårigt samarbejde indenfor NAKIM (2010-12), NanoPlast (2010-14), FORCE's RK aktiviteter *Dokumentation af mikro- og nanostrukturerede produkter* (2013-15) og NanoPræp (2017-18) blandt andet gennem afholdelse af fælles formidlingsmøder. Både DFM og FORCE har ydelser og kompetencer vedrørende overflader, der meget overordnet sigter på forbedret produktudvikling og produktion rettet mod danske SMV'er. Kompetencer og ydelser er imidlertid komplementære. DFM har generelt fokus på de områder, hvor der er behov for at dokumentere målingernes sporbarhed og måleusikkerhed på et højt nøjagtighedsniveau til avanceret produktion. FORCE har inden for overflader fokus på forbedring af materialeegenskaber og fejlfinding i produktionen, bl.a. hvor der er et behov for kompetencer inden for materialeteknologi, design og fremstilling. DFM og FORCE Technology har koordineret denne ansøgning ("Overflademetrologi til fremtidens produktion") med FORCE's ansøgning ("Overflader og grænseflader i industrielle produkter"). FORCE og DFM vil mødes halvårligt for at sikre en løbende maksimal koordinering af de kompetencer og ydelser, der udvikles. FORCE deltager desuden i DFM's følgegruppe. Hvor det er relevant, vil FORCE og DFM kombinere og optimere nye ydelser ved at bruge de samlede kompetencer og udstyr, som parterne råder over. Desuden afholdes en fælles temadag. For at styrke et fælles udbud af relevante ydelser vil DFM bidrage til løsningen af mindst en virksomhedscase på FORCE, og FORCE vil bidrage til løsningen af mindst en virksomhedscase på DFM.

Belægninger, medicinsk udstyr og 3D-print er vigtige områder for dansk industri. GTS systemet har mange aktiviteter, der primært fokuserer på design og fremstilling af fx innovative belægninger og små serier af 3D-print i metaller. Nærværende forslag er komplementært til øvrige GTS aktiviteter, idet der her er fokus på måling og dokumentation af produktkvalitet.

## 5) Konkrete aktiviteter

De konkrete aktiviteter er overordnet inddelt i fire hovedområder som beskrevet nedenfor. Efter hver titel angives i parentes den samlede resultatkontraktaktivitet (mio. kr) allokeret til aktiviteten over 2 år.

### **Overflademodifikation**

Overflademodificering vil få en stigende betydning i fremtiden, idet materialer kan kombineres, og ydre overflader kan designes til en specifik funktionalitet<sup>20</sup>. Flere danske universiteter har stærke kompetencer inden for materiale- og overfladeteknologisk forskning, udvikling og innovation<sup>21</sup>. Mange SMV'er udbyder overfladebehandling som fx påføring af maling og avanceret kemisk modificering, hvilket giver materialer nye eller forbedrede funktioner. Bløde overflader, ultra-tynde belægninger, overflader til brug for medicin og fødevarer samt specialiserede kemisk modificerede overflader giver særlige udfordringer mht. måling af kvalitet, kvantitativ beskrivelse og automatiseret kontrol.

Det tyske nationale metrologiinstitut (PTB) har udviklet en unik MEMS<sup>22</sup> kraftsensor, der er optimeret til at måle små kræfter nøjagtigt og sporbart til SI enhederne. Disse sensor-chips er fremstillet i ganske få prototyper, og DFM råder over en af sensorerne. DFM vil samarbejde med PTB vedrørende implementering af chippen i en måleopstilling og udvikling af software til styring og dataanalyse (digitalisering).

<sup>20</sup> FORSK2025, side 58, 1. spalte nederst.

<sup>21</sup> FORSK2025, side 60, 3. spalte i midten.

<sup>22</sup> Ordet "MEMS" (Mikro Elektro-Mekaniske Systemer) indikerer, at kraftsensoren er en samlet enhed med både en mekanisk og elektrisk funktion, og at systemets dimensioner er meget mindre end 1 mm.

Opstillingen optimeres til måling af overfladehårdhed med høj nøjagtighed og med nanoskala lateral opløsning, hvilket vil være en unik dansk facilitet til kvantificering af overflademodificerede materials hårdhed. DFM vil udvikle faciliteten i tæt samarbejde med to virksomheder, der anvender overflademodifikation i deres produktion. Der udvikles en ydelse til måling af **hårdhed på nanoskala**, og ydelsen testes på emner fra de to virksomheders produktionslinjer. Behovet for måling af kræfter på nanoskala og bedre dokumentation af overfladers materialeegenskaber fremhæves både i EURAMET's SRA<sup>23</sup> og i 5 eksplicite kommentarer på BedreInnovation.dk<sup>24</sup>, hvor Cemecom Scandinavia skriver:

*God og nemt tilgængelig karakterisering af materialeegenskaberne af både belægninger samt de underliggende materialer er afgørende i CemeCon udvikling, kvalitetssikring, samt vores dialog med kunder.*

### **Overflader i nye produktionsprocesser**

For at understøtte udvikling og anvendelse af nye avancerede produktionsteknologier, er der behov for udvikling af ny sensorteknologi<sup>25</sup>. Eksempelvis er der ved **fremstilling af nanostrukturerede funktionelle overflader** behov for at udvikle teknologi til produktionsprocesserne; sprøjtstøbning og roll-to-roll fremstilling. De funktionelle overflader kan fx gøre produkter selvrensende, tilføje farveglans eller kopi-beskyttes med nanoskala mønstre. Der findes i dag ikke kommerciel teknologi eller sensorer til at karakterisere denne type produkter direkte i fremstillingsprocessen. DFM vil videreudvikle kompetencer til kvantificering af nanostrukturerede overflader ved målinger på lys spredt fra overfladen. Teknikken kombineres i dette forslag med kameraafbildning og digital billedbehandling, således at effekten fra vibrationer i et industrielt støjende miljø kan elimineres. Herved kan teknologien bringes fra laboratoriet til produktionslinjen. Yderligere digitalisering indgår ved at data fra realtids-analyse af nanostrukturerne bruges til styring af procesparametre i produktionen.

En ”**digital tvilling**” er en digital model eller simulering af et fysisk udstyr eller en proces. Tvillingen kan anvendes til at analysere og optimere udstyret eller processen. DFM vil udvikle en digital tvilling baseret på udstyret til karakterisering af nanostrukturerede overflader. Den digitale tvilling vil inkludere relevante procesparametre som fx temperatur og tryk samt en matematisk model over fremstillingsprocessen. Den digitale tvilling vil blive anvendt til optimering af procesparametre med henblik på øget produktkvalitet.

Denne aktivitet støttes af 8 kommentarer på BedreInnovation.dk<sup>26</sup>, hvor Winter Mould technology skriver:

*Den nye ydelse og kompetencer omkring automatiseret, online billeddannende målesystemer ... vil give os muligheden for online at kontrollere kvaliteten af de kritiske områder på et sprøjtstøbt emne, således at vi løbende kan optimere proces parametrene for sprøjtstøbning.*

Automatisk opmåling af emner på en skala > 10 µm integreres normalt i produktionsprocesser ved brug af 3D mikroskoper. Det er dog en udfordring at opnå høj nøjagtighed på målinger i specielt z-aksens retning. DFM vil imødekomme behovet ved at udvikle kalibreringsmetoder og -referencer til 3D mikroskoper. Kalibrering og kompetencer til **3D mikroskoper** fremhæves eksplicit i 5 kommentarer på bedreinnovation.dk<sup>27</sup>, hvor DeltaPix skriver:

*Nye ydelser og kompetencer inden for Kalibrering af mikroskoper til automatiseret produktionskontrol er meget interessant og relevant for DeltaPix. Særligt til eksportmarkedet efterspørger kunder en kalibrering eller anden dokumentation for verifikation af udstyr.*

Materialers **overfladetemperatur** er en svært tilgængelig, men kritisk parameter ved produktion af fx polymerer og i 3D-print processer. Det er vigtigt for fremtidens produktion, at overfladetemperatur kan bestemmes med bedre nøjagtighed omkring smeltepunktet for vigtige materialer som fx plast, glas og metaller. DFM vil reducere usikkerheden ved infrarød temperaturmåling i højtemperaturområdet ved at udvikle en ny målemetode baseret på DFM's radiometrikompetencer. Desuden vil DFM samarbejde med en virksomhed omkring anvendelse af forbedret måling af overfladetemperatur til løsning af en konkret

<sup>23</sup> EURAMET's Strategic Research Agenda (SRA) s. 51 nederst, [https://www.euramet.org/Media/news/G-GNP-STR-003\\_SRA\\_web.pdf](https://www.euramet.org/Media/news/G-GNP-STR-003_SRA_web.pdf)

<sup>24</sup> Bang & Olufsen A/S, Stensborg A/S, Image Metrology A/S, CemeCon Scandinavia A/S, Coboti ApS.

<sup>25</sup> FORSK2025 side 39, 1. spalte.

<sup>26</sup> NIL Technology ApS, Image Metrology A/S, PolyOptics GmbH, Inmold A/S, Rel8 ApS, Stensborg A/S, Winther Mould Technology A/S. DTU (Jesper Hattel) adresserer specifikt 'digitale tvillinger'.

<sup>27</sup> DeltaPix ApS, Winther Mould Technology A/S, Stensborg A/S, NIL Technology ApS, Image Metrology A/S.

udfordring, fx i støbeprocesser ved høj temperatur. Behovet for dokumentation for overfladetemperatur fremhæves i 6 kommentarer på BedreInnovation.dk<sup>28</sup>, hvor Trelleborg Sealing Solutions skriver:

*Udvikling af en ny teknologi til berøringsfri temperatur på plast emner vil muliggøre automatiseret korrektion i forbindelse med produktion af tætning emners dimensioner og dermed være med til at sikre den ønsket tætningsfunktionalitet.*

### **Overflader af 3D-printede emner**

Den teknologiske og digitale udvikling indebærer en hastig udvikling af 3D-print<sup>29</sup>, og danske virksomheder var blandt de første der indså potentialet<sup>30</sup>. En realisering af potentialerne ved additiv fremstilling forudsætter imidlertid udvikling af nye metoder til kvalitetssikring og -måling af proces og produkter<sup>31</sup>. 3D print teknologien ikke ligeså veludviklet som traditionel bearbejdning hvad angår overfladekvalitet af færdige komponenter. Den lagdelte og ofte porøse overfladestruktur giver særlige udfordringer mht. kvantitativ beskrivelse og dokumentation. En stor fordel ved 3D printning er, at der kan printes gitter-strukturerede materialer, der er stærkere og lettere end traditionelle massive materialer. Der findes ikke i dag internationale standarder for hvorledes overfladekvaliteten af disse gitter-strukturerede materialer kvantificeres. DFM vil etablere tæt samarbejde med virksomheder, der arbejder med 3D print, og hvor overfladens kvalitet giver udfordringer mht. funktionalitet, kvalitetskrav eller dokumentationskrav. En af de mest lovende anvendelser af 3D print teknologi er til implantater og proteser inden for sundhedssektoren. Det er et område hvor der stilles meget skrappe krav til dokumentation af kvalitet for at kunne opnå myndighedsgodkendelser. Der udvikles nye målemetoder og metodik til at beskrive og kvantificere kritiske overfladeparametre, specifikt at **kvantificere lagdelte porøse eller gitter-strukturerede overflader**. Den DFM udviklede såkaldte replikkeringsmetode<sup>32</sup> videreudvikles til anvendelser på 3D printerede emners indre overflader. Endelig vil relevante måleteknikker som fx taktil udmåling, konfokal mikroskopi og 3D stereografi blive undersøgt mht. optimal bestemmelse af de nye overfladeparametre for 3D print. Metrologibehov til 3D print fremhæves på BedreInnovation.dk af 3 universitetsforskere<sup>33</sup>, DI<sup>34</sup> og virksomheden Particle3D, som skriver:

*De ydelser og kompetence der foreslås omkring udmåling af overfladekvalitet af 3D-printede komponenter fx til spirende medicinske anvendelser er spændende og meget relevante. Størrelse, form og overfladekvalitet af 3D-printede knogleimplantater kan variere uhensigtsmæssigt og der vil blive stillet store krav mht. dokumentation for 3D-printede knogleimplantater af myndigheder.*

### **Overfladehygiejne**

Procesudstyr, der er i kontakt med medicin og fødevarer, skal kunne rengøres effektivt for at undgå bakterievækst. Kravene til dokumentation af udstyrskvalitet er de senere år vokset voldsomt, for produkter til bl.a. fødevarerbranchen, den farmaceutiske og kemiske industri<sup>35</sup>. Der findes imidlertid ingen konkrete retningslinjer om hygiejnisk design af overflader. I praksis fokuseres på en meget simpel konsensus baseret grænseværdi for ståloverfladers ruhed<sup>36</sup>, og der er ingen dokumentation for, at denne grænseværdi sikrer renhed. Alligevel bruges ofte mange ressourcer på at forarbejde overfladen og dokumentere, at grænseværdien er overholdt. DFM vil indgå samarbejde med virksomhedsnetværket Staalcentrum (se vedlagt støtteerklæring) samt to virksomheder, der arbejder med procesudstyr, hvor overfladen er i kontakt med medicin eller fødevarer. I samarbejdet undersøges, hvordan **bakterier vokser på stålemner** med forskellige overfladestruktur, og hvor lette overfladerne er at gøre rene. På baggrund af undersøgelsen udvikles nye **målemetoder og -parametre for overfladestrukturen**, som kvantificerer hvor let det er at holde en overflade ren. Det undersøges endvidere, om hurtige optiske metoder kan være et alternativ til

<sup>28</sup> Coboti ApS, Danfoss IXA A/S, Metronic ApS, Trelleborg Sealing Solutions A/S, DTU (Jesper Hattel, Sønnik Clausen)

<sup>29</sup> FORSK2025 side 35, 3. spalte i midten.

<sup>30</sup> FORSK2025 side 42, 3. spalte i midten.

<sup>31</sup> FORSK2025 side 40, 2. spalte i midten.

<sup>32</sup> En metode som blev udviklet til mere simple strukturer i RK aktiviteten Nano-Præp (2017-18) & EUDP projektet LER (2015-19).

<sup>33</sup> DTU (En Te Hwu, Niels B. Larsen), AU (Dang Le), Particle3D ApS.

<sup>34</sup> Se støtteerklæring i appendiks fra DI underskrevet af Mette Fjord Sørensen, Chef for forskning og videregående uddannelser.

<sup>35</sup> Staalcentrum, *Rustfrit stål i levnedsmiddelindustrien – en introduktion*, (udviklet med støtte fra Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling.) s. 8. <https://staalcentrum.dk/videntank/>

<sup>36</sup> DOC8 Hygienic Design Principles, Third edition, March 2018, European Hygienic Engineering and Design Group (EHEDG)

traditionelle taktile overflademålinger. I mindre omfang inddrages karakterisering af nye typer af funktionelle overflader designet til at hæmme bakterievækst samt teknikker til at dræbe bakterievækst (fx UV bestråling). Resultaterne vil bruges som input til standardiseringsarbejde på området. Renhed af overflader er nævnt på BedreInnovation.dk men delaktiviteten indgår ikke eksplicit i idébeskrivelsen. Området er styrket væsentligt i denne ansøgning på baggrund af efterfølgende feedback fra Staalcentrum og Dansk Industri (se støtteerklæringer i appendiks).

Produktion af lægemidler foregår normalt i **rene rum**, således at **kontaminering af overflader fra luftbårne partikler** undgås. Overfladehygiejne sikres bl.a. ved overholdelse af myndighedskrav med hensyn til mængden af uønskede luftbårne partikler. I resultatkontrakten "Metrologisk Forskning og Udvikling" udvikles en såkaldt polykromatisk partikel-tæller til monitoring og kalibrering ved høje partikelkoncentrationer som fx i bymiljø. Denne viden vil her indgå i design af en "hvidlys" partikel-tæller til meget lave partikelkoncentrationer. Der anvendes avanceret matematisk modellering og simulering af lysspredning på partikler for at kvantificere partikelstørrelse og antalskoncentration. Dette vil i sidste ende reducere måleusikkerheden på DFM's partikel-tæller-kalibreringer for medicinalvirksomheder, hvilket vil minimere produktionsstop og filterskifte under automatiseret produktion. Delaktiviteten støttes eksplicit af to SMV'er på BedreInnovation.dk. Innoventa Medica skriver:

*DFM's planer om at udvikle kalibreringsydelser for en ny partikel-tæller til rene rum, baseret på hvidt lys, vil bidrage til at gøre renrumsovervågning mere nøjagtigt og pålideligt, hvilket kan øge produktkvalitet og konkurrencedygtighed.*

#### **Barrierer, uvisheder og risici**

De planlagte aktiviteter baseres på de kompetencer og faciliteter, DFM tidligere har opbygget. Aktivitetsplanen har fokus på virksomhedsinddragelse og industriel anvendelse, og alle nye ydelser er udvalgt i tæt dialog med danske virksomheder for at sikre maksimal "impact". DFM har tilstrækkeligt kompetenceoverlap blandt nøglemedarbejdere til at sikre faglig kontinuitet. Viden fra andre NMI'er om nye teknologier inddrages løbende, og aktivitetens samspil med eksternt finansierede projekter er beskrevet i afsnit 7. På baggrund heraf vurderes risici i forbindelse med aktivitetens gennemførelse at være lav.

### **6) Nyhedsværdi og ambitionsniveau**

Nye kompetencer og serviceydelser udvikles på baggrund af aktiviteterne beskrevet i afsnit 5. De specifikke kompetencer og ydelser er angivet som milepæle i afsnit 9. Aktiviteterne i afsnit 5 og de tilhørende ydelser har meget stor opbakning fra danske virksomheder, hvilket understreges af kommentarer på BedreInnovation.dk samt vedlagte støtteerklæringer fra Dansk Industri og Staalcentrum.

De nye ydelser vil være unikke på det danske marked, og globalt vil de kun udbydes få steder. MEMS kraftsensoren til karakterisering af overfladeforbedrede emner findes globalt set kun ved 2 NMI'er. Teknikken til billeddannende skatterometri til måling på nanostrukturerede overflader er udviklet og demonstreret i DFM's forskningslaboratorier, men den har aldrig været implementeret i et industrielt miljø. Der findes endnu ingen standarder for overfladekarakterisering af 3D printede emner. Der findes kun sporadisk og utilstrækkelig forskning om sammenhæng mellem overfladekvalitet, bakterievækst og overfladerengøring. DFM's baggrund som udpeget NMI inden for bl.a. taktil udmåling af overflader samt kompetencer omkring biofilm (bl.a. via Innovationskonsortiet BIOFORS) stiller DFM i en unik position til at etablere den nødvendige sammenhæng.

De nye serviceydelser udvikles i tæt samarbejde med industrien, og ydelserne efterspørges allerede af de første højteknologiske SMV'er. Salget af ydelserne forventes påbegyndt umiddelbart efter de tilhørende milepæle er opnået.

### **7) Vidensamarbejde og -hjemtagning**

DFM har de sidste to år haft et tæt vidensamarbejde med udenlandske nationale metrologiinstitutter (NMI'er) og universiteter, og DFM har hjemtaget viden omkring overflademetrologi gennem deltagelse i nationale og europæiske forskningssamarbejder. For nuværende hjemtages viden gennem de igangværende Eurostars projekter HILAS (udvikling af en ny type partikeltæller til renrumsmonitoring i samarbejde med en dansk og en tysk SMV) og OptoRough (optisk måling af mikro- og nanoskala ruhed i samarbejde med en dansk og en tysk SMV) samt EMPIR projektet MetAMMI (metrologi til 3D print af implantater i den medicinske sektor). DFM vil yderligere styrke videnhjemtagning ved aktivt at søge deltagelse i nye eksternt finansierede forskningsprojekter (fx Eurostars, EMPIR eller H2020) i samarbejde med udenlandske videninstitutioner og SMV'er. Førende NMI'er har i den seneste periode etableret forskningsaktiviteter vedrørende metrologi til "digitale tvillinger" til deres respektive industrier, og DFM vil sikre videnhjemtagning via dette forslag.

DFM medarbejdere har i 2017 været på arbejdsbesøg af ca. 1 uges varighed ved den tyske virksomhed PolyOptics og ved det tyske NMI (PTB); i begge tilfælde med henblik på hjemtagning af viden om overflademetrologi. Lignende aktiviteter planlægges i den kommende periode.

De igangværende eksterne FoU projekter supplerer nærværende aktivitetsforslag vedr. produktionsprocesser (OptoRough), overfladehygiejne (HILAS) og 3D printning (MetAMMI), og de to førstnævnte planlægges medfinansieret med RK midler fra nærværende ansøgning.

DFM har i 2017 publiceret 3 artikler med forskningsresultater, der danner grundlag for nærværende aktivitetsforslag<sup>37</sup>. Alle 3 artikler er publiceret i samarbejde med danske universiteter, og en af artiklerne er endvidere i samarbejde med et udenlandsk universitet. DFM vil øge antallet af publikationer inden for overflademetrologi til mindst 5 per år, hvoraf 2 er i samarbejde med SMV'er.

Aktivitetsforslaget vil udvide vidensamarbejdet med Dansk Industri<sup>38</sup> (overfladehygiejne, 3D print), de virksomhedsdrevne netværk AluNet<sup>39</sup> (overflademodifikation), Plastindustrien<sup>40</sup> (produktionsprocessen), StaalCentrum<sup>41</sup> (overfladehygiejne) og DTU Fødevarerinstitutionen (overfladehygiejne), DTU Compute (digitalisering), DTU Diplom (digitalisering), DTU Kemiteknik (berøringsfri temperatur), DTU Mekanik (produktionsprocesser, 3D print) og DTU Nanotech<sup>42</sup> (produktionsprocesser, 3D print) samt Institut for Klinisk Medicin, Aarhus Universitet (3D print). I alt 14 professorer og lektorer har kommenteret specifikt på BedreInnovation.dk. Der vil være særligt fokus på at udvide vidensamarbejdet med Dansk Industri, DTU Compute, Dansk Materiale Netværk og Plastindustrien. DFM vil endvidere formalisere samarbejdet med PTB og hjemtage viden om MEMS kraftsensor til at nøjagtig måling af små kræfter (se afsnit 5).

Den permanente forankring af viden sikres gennem DFM's RK ansøgning "Metrologisk Infrastruktur".

## 8) Sammenhæng med instituttets strategi og afsæt i instituttets ressourcer

Forslaget er en direkte udmøntning af DFM's vision om at være blandt de 5 bedste NMI'er i Verden til at få ny avanceret metrologividen i anvendelse hos virksomhederne<sup>43</sup> og en ambition om, at DFM's kompetencer og infrastruktur leverer maksimal "impact" til industrien<sup>44</sup>. DFM vurderer, at aktiviteten vil afhjælpe en "markedsfejl", idet adgang til de udviklede kompetencer og ydelser i de kommende år vil blive kritiske for danske materialeteknologi-SMV'er. Kompetencer og ydelser vil, som beskrevet i afsnit 6, ikke kunne udvikles af andre danske aktører.

Forslaget baserer sig på DFM's aktiviteter inden for nanometrologi udviklet under tidligere resultatkontrakter "Metrologisk Forskning og Udvikling". Aktiviteter, der i dag betyder at DFM's nanometrologi-

<sup>37</sup> Publikationer med numrene DFM-2017-P08, P10 og P17 i DFM's årsrapport for 2017.

<sup>38</sup> Se støtteerklæring i appendiks fra DI underskrevet af Mette Fjord Sørensen, Chef for forskning og videregående uddannelser.

<sup>39</sup> Fra bedreinnovation.dk, AluNet er en sektion under innovationsnetværk Dansk Materiale Netværk.

<sup>40</sup> Fra bedreinnovation.dk, Brancheorganisation for plastvirksomheder i Danmark med ca. 230 medlemmer.

<sup>41</sup> Se støtteerklæring fra StaalCentrum i appendiks.

<sup>42</sup> Fra bedreinnovation.dk, DTU Compute (Mirza Karamehmedovic), DTU Fotonik (Peter Uhd Jepsen), DTU Diplom, DTU Kemiteknik (Sønnek Clausen), DTU Mekanik (Guido Tosello, Leonardo De Chiffre, Jesper Hattel), DTU Nanotech (Stephan Sylvest Keller, En Te Hwu, Rafael Taboryski, Niels B. Larsen, Sanjukta Bose Goswami).

<sup>43</sup> DFM strategi for perioden 2019 - 2020, afsnit 2.1

<sup>44</sup> DFM strategi for perioden 2019 - 2020, afsnit 2.4 og afsnit 2.4.3



team er kendt som et af de bedste i verden, med stærke faglige kompetencer og en veletableret udstyrsinfrastruktur. DFM var blandt de første til at opbygge nanometrologi-aktiviteter ved et NMI, og vi har fortsat en meget stærk position internationalt. Dette ses fx via DFM's deltagelse i mange nanometrologi-projekter i bl.a. EMPIR og Horizon2020. DFM's kompetenceniveau er ligeledes velkendt på danske universiteter. Rafael Taboryski, DTU Nanotech, skriver fx følgende på BedreInnovation.dk:

*Det faglige niveau og kompetencer inden for centrale overfladekarakteriseringsteknikker er i verdensklasse og gør DFM i stand til løfte innovative aktiviteter på et internationalt højt forskningsniveau.*

## 9) Tidsplan og milepæle

Milepæletyper: Vidensamarbejde, -hjemtagning og kompetenceopbygning (**K**), Udvikling af teknologisk serviceydelse (**Y**), Inddragelse og videnspredning (**V**) og Andet (**A**). Milepælstype indgår i "År & ID".

År & ID	Specifikation
2019-K-01	<b>Overflademodifikation:</b> MEMS kraftsensor fra PTB er integreret i en DFM opstilling med DFM udviklet software til styring og analyse af måleresultater. Sensoren er kalibreret sporbart til SI enheder.
2019-K-02	<b>Overflader i ny produktionsprocesser:</b> Design af billeddannende målesystem til mikroskopiske overfladestrukturer med udvælgelse af måleområdet. Digitalisering anvendes til at eliminere vibrationsfølsomhed.
2019-K-03	<b>Overflader af 3D printede emner:</b> Udvikling af overfladeparametre, der kan kvantificere kvaliteten af porøse eller gitter-strukturerede overflader.
2019-K-05	<b>Overfladehygiejne:</b> Identifikation af parametre for overfladestruktur, der kan kvantificere hvor rengøringsvenlig en overflade er.
2019-Y-01	<b>Overflader i nye produktionsprocesser:</b> Kalibrering af virksomheders 3D mikroskoper (enten probe eller optisk) til automatiseret produktionskontrol med en måleusikkerhed på 5 % lang z-aksen (højden).
2019-Y-02	<b>Overflader i nye produktionsprocesser:</b> Ny ydelse, bestemmelse af overfladetemperatur med 50 % reduceret måleusikkerhed ved et udvalgt smeltepunkter i området 600 °C til 1500 °C.
2019-V-01	<b>Følgegruppe:</b> Etablering af følgegruppe og afholdelse af møde.
2019-V-02	<b>Koordineringsmøder:</b> Afholdelse af halvårlige koordinerings-/følgegruppemøder imellem FORCE og DFM. (Fælles milepæl med FORCE).
2019-V-03	<b>Followup samarbejde:</b> Inddragelse af mindst 1 dansk virksomhed i nyt medfinansieret F&U projekt muliggjort af de udviklede nye kompetencer.
2019-V-04	<b>Publikationer:</b> Mindst 4 publikationer i open acces videnskabelige tidsskrifter.
År & ID	Specifikation
2020-K-01	<b>Digitale tvillinger:</b> Demonstrationsprojekt med en virksomhed, hvor de nye kompetencer benyttes til at udvikle en digitale tvilling af en fremstillingsproces med mindst to procesparametre og to målte kvalitetsparametre. Viden hjemtaget fra $\geq 2$ NMI'er inddrages.
2019-K-02	<b>Overfladehygiejne:</b> Rapport vedr. simulering af lysspredningssignal for partikler mellem 0,5 $\mu\text{m}$ og 2 $\mu\text{m}$ belyst med hvidt-lys LED samt beregning af målepræcision for partikelstørrelse efter digitalisering af signal.
2020-Y-01	<b>Overflademodifikation:</b> Kalibrering af overfladehårdhed med MEMS hårdhedsmåler, efter målemetoder ækvivalent med Brinells hårdhedsmålinger, for emner med Brinell hårdhedstal fra 5 HB til 100 HB med en måleusikkerhed på $\pm 10$ %. Ydelsen testet på overflademodificerede emner i samarbejde med 1 virksomheder.

2020-Y-02	<b>Overflader i ny produktionsprocesser:</b> Online billeddannende målesystem til mikroskopiske overfladestrukturer og brugervalgt måleområde. Måleusikkerhed $\leq 5\%$ for højder $\leq 3 \mu\text{m}$ . Ydelsen eftervist i et produktionsmiljø med akustisk støj og vibrationer.
2020-Y-03	<b>Overflader af 3D printede emner:</b> Ny ydelse til kvantificering af 3D printede overflader med hensyn til porøsitet eller gitter-struktur. Ydelsen testet ved måling på emner fra 1 virksomheder. Produktark med case udarbejdet.
2020-Y-04	<b>Overfladehygiejne:</b> Ny ydelse til kvantificering af en overflades struktur mht. rengøringsvenlighed. Ydelsen testet i samarbejde med en virksomhed og produktblad udarbejdet.
2020-V-01	<b>Bidrag til standardisering:</b> Udarbejdelse af en rapport om overfladehygiejne og overfladestruktur med henblik på bidrag til standardiseringsarbejde.
2020-V-02	<b>Fælles temadag med FORCE:</b> Afholdelse af Temadag eller seminar på FORCE eller DFM hvor begge parter bidrager med præsentationer. (Fælles milepæl med FORCE)
2020-V-03	<b>Virksomhedscase:</b> Inddragelse af FORCE i en virksomhedscase hvor FORCE's kompetencer om f.eks. materialeteknologi, design eller fremstilling har bidraget til en forbedret løsning. (Ækvivalent milepæl med FORCE).
2019-V-04	<b>Followup samarbejde:</b> Inddragelse af mindst 2 danske virksomheder i nyt medfinansieret F&U projekt muliggjort af de udviklede nye kompetencer.
2019-V-05	<b>Publikationer:</b> Mindst 4 publikationer i open acces videnskabelige tidsskrifter.