

Indsatsområde: Air Analytics – fremtidens intelligente luft- og lugtmålinger Titel på Bedreinnovation.dk: Som ovenfor	Indsatsområde: FT10
Indsatsen kort (resumé)	
Udvikling og udbredelse af nye intelligente målemetoder til måling af gasser, luft og lugt skal bane vejen for monitorering og optimering af processer og luftmiljøer i industri og samfund til gavn for produktivitet, klima og miljø. Den eksplosive udvikling indenfor måleteknologi og kunstig intelligens åbner for uanede anvendelsesmuligheder for optimering og kvalitetssikring indenfor produktionsprocesser, hygiejne, arbejdsmiljø m.m. Indsatsområdet kombinerer tre udviklingsspor: Højpræcisionsmålinger, AI-baseret træning af mikrosensorer samt intelligent monitorering. I alle tre spor udvikles ydelser, der understøtter en digital og grøn omstilling i virksomheder og samfund. Udviklingen gennemføres i tæt samarbejde med danske virksomheder og videninstitutioner.	
1. Målsætninger, nøgleaktiviteter og indikatorer	
Luftkvalitet og lugt har markant betydning for menneskers helbred og velvære. Det anslås, at forringet kvalitet af udeluft i Danmark årligt medfører ca. 3.900 for tidlige dødsfald og relaterede samfundsudgifter på ca. 63 mia. kr.¹. Danskere eksponeres yderligere for forringet luftkvalitet i indeklima og i arbejdsmiljø². Lugtgener kan desuden medføre markante helbredseffekter for betydelige dele af befolkningen og medføre yderligere samfundsudgifter³. I tillæg har luftforurening også klima- og miljøskadelige effekter⁴, så overordnet udgør forringet luftkvalitet en markant samfundsmæssig udfordring, der samlet set koster samfundet langt mere end ovenstående skøn. Luftmålemetoder har gennemgået en revolutionerende udvikling i de seneste årtier både hvad angår udvikling af low-cost sensorer samt avancerede højpræcisionsmåleinstrumenter. Samtidigt åbner den hastige udvikling af kunstig intelligens for nye analysemetoder, fx til avanceret dataanalyse eller træning af sensorer. Den teknologiske udvikling åbner op for en meget bredere anvendelse af luftmålemetoder indenfor en lang række forskellige områder - herunder en bred vifte af forskellige produktionsmiljøer. Vision og målsætninger Visionen med indsatsområdet er at understøtte anvendelse og udbredelse af nye højpræcisions målemetoder og intelligente måleteknologier indenfor luft- og lugtområdet. Potentialerne for intelligente luft- og lugtmålinger er store, og udviklingen foregår i dag primært i nationale og internationale forsknings- og videnmiljøer. Målsætningen er at udvikle teknologisk service, specialiserede kompetencer og adgang til avancerede testfaciliteter, der kan hjælpe danske virksomheder med at udvikle og anvende de nyeste løsninger til gavn for konkurrenceevne, klima, miljø og samfund.	

¹ DCE, Luftkvalitet 2021 - status for den nationale luftkvalitetsovervågning i Danmark, Rapport 533, 2023

² Kelly og Fussell, Atmos. Environ., 200, 90-109, 2019

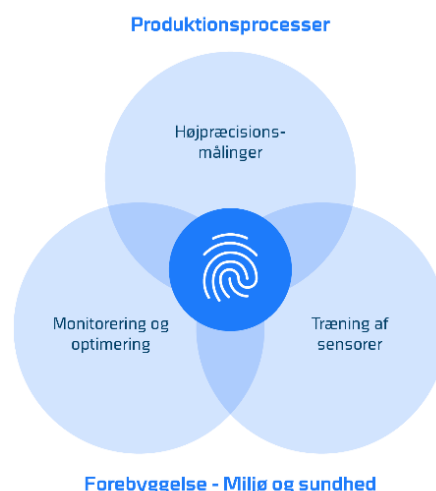
³ Nicell, Atmos. Environ., 43, 196-206, 2009; Guadalupe-Fernandez et al., Environ. Health, 20 (108), 2019

⁴ Manisalidis et al., Front. Public Health, 8:14, 2020

Med indsatsområdet udvider FORCE Technology Luftvisionen⁵ til ikke alene at handle om at forebygge udsættelse for miljø- og sundhedsskadelige stoffer, men også at anvende luft- og lugtmålinger til monitorering og optimering i forbindelse med produktionsprocesser med henblik på at udnytte ressourcerne bedst muligt og undgå spild (se figur). Det kan fx være via højpræcisionsmålinger eller AI-trænede sensornetværk anvendt til detektion af ønskede eller uønskede komponenter i forbindelse med procesoptimering eller kvalitetssikring i produktionsmiljøer i forbindelse med fx udslip/lækager, lugtgener, produktionsoptimering, kvalitetssikring, luftkvalitet, arbejdsmiljø mm.

Der udvikles teknologisk service indenfor nedenstående planlagte aktivitetsspor:

A. Højpræcisionsmålinger: Der udvikles nye kalibrerings- og analysemetoder, der kan bidrage til at identificere specifikt ønskede eller uønskede stoffer - eller anvendes til øget procesforståelse. Anvendelsesområder omfatter fx kemisk karakterisering af lugt i forskellige typer af miljøer, identifikation af kilder til forringet luftkvalitet i udeluft/arbejdsmiljø/indeklima, detektion af metabolitter i forskellige miljøer m.v. samt i forbindelse med kvalitetssikring af fx procesvand. Højpræcisionsmålinger vil også blive anvendt til at understøtte aktiviteterne i aktivitetssporene B og C nedenfor.



- B. Træning af sensorer** skal bane vejen for intelligent monitorering. Formål inkluderer identifikation af ønskede eller uønskede stoffer i forskellige miljøer ved anvendelse af mikrosensorer. Udviklingsaktiviteterne er målrettet AI-baseret træning af sensorer i kontrollerede miljøer, der opbygges med anvendelse af tidligere udviklede faciliteter, der vil blive anvendt til træning og kalibrering af mikrosensorer. Supplerende målinger (højpræcision, referencemetoder m.m.) vil blive anvendt, og alle former for supplerende målinger og viden/information om anvendelsesmiljø vil blive inddraget, da det har stor betydning for målretning af sensortræningen.
- C. Intelligent monitorering og procesoptimering** baseret på netværk af trænede sensorer. Dette udviklingsspor, der ligger som en naturlig følge af spor B, har fokus på tilpasning, optimering og vedligeholdelse af sensornetværk i et givent miljø. Det inkluderer test af fysisk placering af sensorer, kortlægning af potentiel krydsinterferens grundet fysiske forhold og/eller kemisk komposition, validering og tolkning af målinger on location m.m. Der vil også være fokus på test af brugerflade samt kortlægning af målemæssige muligheder og begrænsninger for et givent sensornetværk. Formålet er identifikation af ønskede eller uønskede stoffer i forskellige miljøer, fx i modningsprocesser indenfor fødevarerindustrien eller processer, hvor kontaminering skal identificeres så tidligt som muligt. Sensornetværk kan også målrettes detektion af lugtkomponenter i givne miljøer, uønskede kemiske forbindelser i arbejdsmiljø eller detektion af udslip/lækager. Udvikling og inddragelse af supplerende målinger og fagkundskab skal bidrage til vurdering af et givent sensornetværks ydeevne og begrænsninger i det specifikke miljø, og sensornetværks ydeevne over tid testes med hensyn til drift, usikkerheder, slitage og lignende.

⁵ Luftvisionen 2021, DI, Danske Maritime, Danske Rederier, DAPO, Miljø- og Fødevarerministeriet og Dansk Miljøteknologi.

Udviklingssporene A og B afhænger af luftprøvetagning for efterfølgende karakterisering i laboratoriet. Der vil derfor blive testet forskellige luftprøvetagningsmetoder målrettet forskellige anvendelser og laboratoriefaciliteter for volumenbegrænsede luftprøver.

Udviklingssporene B og C vil tage afsæt i en indledende cost/benefit-analyse for adskillige produktionsmiljøer i forhold til læringspotentiale/anvendelse/begrænsninger/udbytte af AI-trænede sensornetværk.

Delydelser indenfor de tre aktivitetsspor forventes at blive udbudt indenfor en tre- til femårig tidshorisont. Effekterne af de forventede ydelser knytter sig til udbredelsen af muligheder i dansk erhvervsliv for at anvende nye teknologier og metoder til identifikation og intelligent monitorering af specifikke stoffer både med henblik på beslutningsstøtte i forbindelse med overvågning af fx produktionsprocesser og med henblik på forebyggende tiltag i forbindelse med forureningskomponenter i forskellige miljøer.

Målgruppen er små og mellemstore virksomheder, der udvikler, sælger eller anvender sensorer i/til fremtidens produktionslinje samt virksomheder, der kan opnå en betydelig indsigt og gevinst ved højpræcisions luftmålinger i forskellige sammenhænge. Det forventes, at virksomheder indenfor fødevarerproduktion, farma- og biotekindustrien samt energisektoren vil kunne få stor gavn af de nye ydelser. Ydermere vil flere ydelser blive målrettet monitorering af og forbedring af indeklima og arbejdsmiljø indenfor en bred vifte af brancher.

Årlige delmål for indsatsområdet

- 2025: · De væsentligste planlagte aktiviteter omhandler metodeudvikling omkring målinger med højpræcisionsinstrumenter og sensorer, videnhjemtagning og videndeling gennem hele projektforsløbet. Flere detaljer fremgår af nedenstående delmålsætninger på årsbasis. De planlagte aktiviteter og delmål for 2025 er beskrevet i pkt. 8.
- 2026: · Gennemførelse af mindst 3 case studier på virksomheder udvalgt i 2025 med trænede sensornetværk tilpasset forskellige typer af målinger i forskellige typer af miljøer
- Gennemførelse af mindst 3 case studier målrettet nye anvendelsesområder for højpræcisionsmålinger fx til detektion af uønskede komponenter, kvalitetssikring m.m.
- Løbende opdatering af cost/benefit-analyser for anvendelse af sensornetværk til forskellige formål i forskellige typer af miljøer baseret på egen læring og andres erfaringer.
- 2027: · Analyse af sensornetværks ydeevne efter længere tids anvendelse i forskellige miljøer baseret på udførte case studier.
- Midtvejsevaluering af opnåede erfaringer for optimeret projektfokus fremadrettet.
- Igangsættelse af mindst 2 yderligere case studier for optimeret læringsudbytte.
- Lancering af mindst 2 nye ydelser udviklet under indsatsområdet.
- Bred afrapportering af læringsudbytte til følgegrupper, interessegrupper og klynger.
- 2028: · Afsluttende felttest på virksomheder med henblik på færdigudvikling af de planlagte serviceydelser.
- Udarbejdelse af 2 notater til kortlægning af muligheder og begrænsninger for henholdsvis trænede sensornetværk og højpræcisionsmålinger med fokus på danske virksomhedssegmenter.

- Lancering af de resterende planlagte ydelser (forventet 7-11 i alt) - og eventuelt lancering af yderligere ydelser, der muliggøres af den teknologiske udvikling under projektforsløbet.
- Afrapportering af læringsudbytte gennem intensiveret videndeling i samarbejde med forskellige klynger og netværk på et bredt udsnit af platforme.
- Afholdelse af den sidste af mindst 4 temadage med FORCE Technology som vært.

Vidensspredning vil være en gennemgående aktivitet i hele perioden (jf. pkt. 4).

Samlet for perioden vil indsatsområdet have følgende indikatorer for værdi og succes

- 20 samarbejdspartnere. Indsatsområdet vil etablere og løbende udvide økosystemet med samarbejdsrelationer til danske og internationale videnmiljøer og organisationer.
- 8 mio. kr. FoU-omsætning ansøgt. Indsatsområdet vil, for at styrke økosystemet og samarbejdsrelationerne, sikre en øget FoU-indsats igennem ansøgning af minimum otte FoU-projekter i partnerskaber omkring indsatsområdet. Budgettet angiver FORCE Technologys andel heraf.
- 650 aktive virksomhedsrelationer. Indsatsen vil have et højt ambitionsniveau for aktiv deltagelse fra erhvervslivet (fx følgegruppe, interessegrupper, demonstrationsprojekter, deltagelse i arrangementer, klubber og netværk, webinarer m.m.). Dertil en omfattende øvrig vidensspredning (artikler i trykte medier og på hjemmeside, film, webtrafik, SoMe m.m.)

2. Relevans og potentiale

Menneskers helbred og velbefindende er stærkt koblet til kvaliteten af den luft, som vi indånder. Måltrettede investeringer i en forbedret luftkvalitet giver derfor flerfoldige afkast for samfundet⁶. Teknologier til luftmålinger er i en rivende udvikling, og der er indenfor de seneste år sket betydelige fremskridt for såvel avancerede højpræcisionsmåleinstrumenter som for 'low-cost' mikrosensorer. En udvikling, der er i tråd med EU-Kommissionens strategisk prioriterede målsætninger om en markant større og bredere anvendelse af mikrosensorer til bl.a. at understøtte en digital og grøn omstilling⁷. Brugen af mikrosensorer forventes at stige dramatisk over de kommende år bl.a. for virksomhedssegmenter indenfor procesovervågning, arbejdsmiljø og luftkvalitet⁸ - og der er store potentialer og behov for at understøtte udvikling i anvendelsen af data og kunstig intelligens⁹.

I den danske luftteknologiklynge vurderes centrale innovations- og erhvervspotentialer ligeledes at ligge indenfor anvendelse af sensorteknologier. Klyngen af virksomheder indenfor luftteknologi udgør, med 22 % af omsætningen og 24 % af eksporten i 2021, en central andel af den danske styrkeposition indenfor hele miljøteknologiområdet¹⁰.

Indsatsen adresserer en bred vifte af markeds- og samfundsbehov, hvor intelligente luft- og lugtmålinger både vil introducere intelligent monitorering og overvågning af produktions- og

⁶ Se fx Garcia-Vaz et al.: The Economic Fallacy of Improving Air Quality in Europe, www.isglobal.org, 2024

⁷ Muench et al.: Towards a Green and Digital Future, under den Europæiske Kommission, DOI:10.2760/977331, 2022

⁸ www.stratviewresearch.com/2611/Air-Quality-Sensors-Market.html

⁹ Regeringen 'Danmarks Digitaliseringsstrategi', nov. 2023

Digitaliserings og ligestillingsministeriet, Aftale om ambitiøs og ansvarlig strategi for Danmarks digitale udvikling, 8/2-2024

Dansk Erhverv 'AI koalitionsanbefalinger til at gøre innovativ og ansvarlig AI til en dansk konkurrencefordel', maj 2024

¹⁰ IRISGroup udarbejdet for CLEAN 'Miljøteknologi: En styrkeposition for fremtiden. Kortlægning og analyse af danske miljøteknologiske virksomheder og klyngen omkring dem', jun. 2023

modningsprocesser samt blive anvendt til detektion af uønskede stoffer i forskellige miljøer. I den nyeste videnskabelige litteratur beskrives eksempler på succesfulde teknologiske løsninger med anvendelse af AI-trænede gasfase sensornetværk. Det omhandler bl.a. sygdomsdiagnosticering ved måling på fx udåndingsluft, bestemmelse af optimal lagringstid/procestid for fødevarer og tidlig detektion af uønsket vækst af svampe eller bakterier i fødevarer¹¹. Mange af de anvendte hardware-komponenter i sådanne intelligente sensornetværk kan indkøbes til få hundrede eller tusinde kroner, mens specialiseret faglig indsigt og domænekendskab er helt afgørende for optimeret træning, kalibrering og anvendelse/vedligeholdelse af målenetværket. AI-træning af gasfase sensornetværk er både nationalt og internationalt et nyt og umodent område med et stort udviklings- og anvendelsespotentiale, og indsatsområdet vil bidrage til at udforske potentialer og udbrede muligheder for anvendelse i Danmark i samarbejde med målgruppen.

FORCE Technology har en løbende faglig dialog med aktører i en lang række netværk og fora, hvilket sikrer tidssvarende udvikling af nye ydelser. I forhold til indsatsområdet har vi haft flere indledende dialoger målrettet udvalgte aktører på det danske marked for at sikre fremtidig relevans af de planlagte aktiviteter og ydelser samt for at minimere risici for konkurrenceforvridning.

En lang række virksomheder, forskningsmiljøer og andre interessenter har udvist stor interesse for det planlagte indsatsområde på Bedreinnovation.dk med i alt 62 indgående kommentarer. Nedenfor præsenteres udvalgte citater fra Bedreinnovation.dk for at illustrere, hvorledes de planlagte aktiviteter vil blive tilpasset efterspørgslen. En række kommentarer understreger behovet for udvikling af målemetoder til procesoptimering, procesovervågning og/eller detektion af uønskede komponenter i produktionsmiljø, herunder fx:

- *"Mange processer har naturlig produktion af luftige molekyler, som kan måles i den omkringliggende luft. Potentialet er langt fra udnyttet, og det er Caelis mål at omsætte processer [med] VOC aftryk til optimering af processer. Med de store muligheder, som ligger i luftmålinger, støtter Caeli projektet, som har store perspektiver i mange applikationer."* (Caeli Technology)
- *".... Desuden vil smartsensorer kombineret med AI forhåbentligt kunne anvendes til at optimere fødevarerprocesser, hvor der afgives lugt eller partikler, som vil fortælle om processens kvalitet"* (Arla Foods amba).
- *"...med mere fintfølende sensorer, ville [vi] kunne detektere problemer langt tidligere end vores næser kan. Og kan det gøres målbart, er det muligt at følge udviklingen og på sigt korrigere langt tidligere"* (Bactoforce International A/S).

Vi forventer, at der kan være betydelige gevinster med at tilpasse sensornetværk til flere typer produktionsmiljøer. Der forventes at være et særligt potentiale omkring måling af metabolitter fra fermenteringsprocesser - dels i forhold til procesoptimering og dels i forhold til kvalitetssikring:

- *"On-line måling af metabolitter i headspace under fermentering kan give værdifuld viden om fermenteringsprocessen. Online måling af luftkvalitet (f.eks. indhold af gær og skimmelsporer, alternativt deres metabolitter) vil give mulighed for at reagere hurtigt og dermed højne den hygiejniske standard."* (Novonesis)

¹¹ Se fx referencer i Zong et al.: Smart Gas Sensors: Recent Developments and Future Prospective, Nano Micro-lett. 17:54, 2025.

De planlagte udviklingsaktiviteter indenfor arbejdsmiljøområdet bakkes op af flere aktører på Bedreinnovation.dk herunder fx:

- *"På arbejdsmiljøområdet har DI en interesse i, at der bliver udviklet effektive og billige målemetoder, som medlemmerne kan bruge til at overvåge virksomhedens eget arbejdsmiljø mhp. at sikre et godt arbejdsmiljø for de ansatte"* (DI).
- *"Det forudsætter en målrettet udvikling og bl.a. et udviklingsspor, hvor der anvendes state of the art højpræcisionsmålinger, ideelt set både for gas- og partikelfase i forskellige arbejdsmiljøer."* (NFA)

På lugtområdet ønsker vi at afsøge muligheder for kemisk karakterisering af lugt i forskellige miljøer samt muligheder for online-detektion af lugt i specifikke miljøer. Det er et udfordrende udviklingsområde, og aktiviteterne vil skabe øget forståelse for komponenter i lugten samt muligheder for at mindske lugtgener. Interessen for området er opsummeret i kommentarerne nedenfor.

- *"Jeg håber at en af fokusområderne er at få udviklet en database eller en protokol, som ville kunne bruges til at omdanne disse højpræcision målinger til lugtmålinger. Ud fra mine observationer er der en stor interesse fra industrielle produktioner i at kunne binde lugtmålinger op på noget mere konkret i forbindelse med lugtrensning."* (BBK)
- *"Vi er meget interesserede i området, især muligheden for at anvende sensorer til måling af kemiske parametre til at fastsætte luftens indhold af lugtstoffer/lugtenheder."* (Daka Denmark)

Indsatsområdet vil også understøtte fundamentale udviklingsaktiviteter omkring luftkvalitetsmålinger i udeluft i form af forbedrede måle- eller analysemetoder, hvilket særligt efterspørges af offentlige men også private aktører i ind- og udland fx:

- *"Valide og præcise metoder til monitorering af luftkvalitet, og følgende dataanalyse og kildebestemmelse er værdifulde for byers arbejde for at forbedre luftkvaliteten. Med fokus på udvikling indenfor kosteffektive og præcise mikrosensorer er der potentiale for at kunne sætte ind med endnu mere målrettede indsatser, og der kan handles baseret på konkret og lokal viden om luftkvaliteten."* (Københavns Kommune)

Indsatsområdet understøtter udvikling af nye eller forbedrede metoder til målinger og øget forståelse omkring luftkvalitet, hvilket er strategiske mål for EU såvel som Danmark¹². Reguleringen af emissioner fra industrielle processer vil naturligt følge de skærpelser, der foretages overfor luftkvaliteten i udeluften. Med udvikling af nye metoder til måling understøtter indsatsområdet således også de danske politiske målsætninger om forbedret arbejdsmiljø^{13,14}. Identifikation af uønskede komponenter på et tidligt stadie i fødevarereproduktionsmiljøer kan bidrage til optimering af produktionsprocesser og reduktion af madspild og dermed også understøtte regeringens nye strategiske mål på det område¹⁵.

¹² [https://www.eu.dk/samling/20231/kommissionsforslag/KOM\(2022\)0542/bilag/5/2760578.pdf](https://www.eu.dk/samling/20231/kommissionsforslag/KOM(2022)0542/bilag/5/2760578.pdf).

¹³ Aftale om en fremtidssikret arbejdsmiljøindsats og indsats mod social dumping (<https://bm.dk/media/22487/aftaletekst-arbejdsmiljoe.pdf>)

¹⁴ <https://at.dk/arbejdsmiljoe/kemi/krav-til-kemisk-risikovurdering/>

¹⁵ Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, National madspildsstrategi 2024-2027, ISBN: 978-87-88363-37-1.

3. Markedssvigt og konkurrencesituation

Mikrosensorer har gennem nogle få år været anvendt i Danmark til detektion af specifikke gasser i visse miljøer, til monitoring af indeklima samt i mindre grad til luftkvalitetsmålinger i udeluft, men området er stadig så nyt, at anvendelsen af mikrosensorer kun er i sin vorden, og potentialerne er store. Når det kommer til AI-træning og anvendelse af trænedede mikrosensorer, er markedet umodent, og udviklingen sker i dag primært i forsknings- og nichemiljøer i udlandet.

Indenfor højpræcisionsluftmålinger med avancerede instrumenter er der kun få danske indehavere af den type teknologi grundet de høje instrumentomkostninger til indkøb samt brug. Ejere af sådanne instrumenter i Danmark udgøres primært af universiteter med aktiviteter orienteret mod grundforskning fremfor kommercielle industrielle opgaver. Blandt industrielle aktører er FORCE Technology kun bekendt med, at større globalt opererende virksomheder indenfor fx fødevarerbranchen anvender avancerede højpræcisionsluftmålinger indenfor egen koncern.

Med indsatsområdet vil FORCE Technology imødegå nogle af de strukturelle udfordringer, der knytter sig til en bredere anvendelse og implementering af såvel metoder til højpræcisionsmålinger som trænedede sensorer og sensornetværk i Danmark. I begge sammenhænge er der behov for særligt tilpassede kalibrerings- og træningsfaciliteter samt højt specialiseret knowhow og ekspertise. Med afsæt i årtiers opbygget erfaring¹⁶ samt uvildighed kan FORCE Technology agere drivkraft og servicere de mange og derigennem understøtte udbredelsen og anvendelsen af avanceret intelligent luftmåleteknologi. Dette kan skabe positive eksternaliteter og stor værdi for særligt små og mellemstore virksomheder.

Det forventes at flere af de planlagte ydelser udbydes i samarbejde med rådgivere eller SMV'er som fx forhandlere af mikrosensorer og udviklere af målesystemer.

Der vurderes ikke at være risiko for konkurrenceforvridning, da vi arbejder på forkant af udviklingen og i tæt samarbejde med både forskningsmiljøer og industrien. På nuværende tidspunkt er højt specialiseret ekspertise nødvendig for at arbejde med højpræcisionsluftmålinger og træningsbare sensorer - men det vil være en prioritet under indsatsområdet at understøtte udvikling mod mere brugervenlige løsninger, der vil facilitere nemmere anvendelse for et bredere udsnit af aktører på det danske marked. Målgruppen er bred, og ydelserne vil primært blive udviklet og leveret i samarbejde med fx producenter og udviklere af sensorer og brugt af fx systemleverandører. Der vil igennem perioden være løbende fokus på monitoring af risici knyttet til eventuel konkurrenceforvridning og omfattende videndeling, og dertil vil en bred og repræsentativt sammensat følgegruppe ligeledes være med til at sikre løbende markedsovervågning.

4. Videnspredning og inddragelse i indsatsområdet

Hovedparten af test- og udviklingsaktiviteterne under indsatsområdet vil blive udført i tæt samarbejde med aktører fra målgrupperne. I løbet af det første halve år af projektet gennemføres en række virksomhedsbesøg, hvor gevinster og begrænsninger, lærings- og udbredelsespotentialer kortlægges i forhold til anvendelse af intelligente luftmåleløsninger i specifikke produktions- og arbejdsmiljøer. Udviklingsaktiviteter, der involverer trænedede netværk af sensorer, vil i første omgang fokuseres på

¹⁶ FORCE Technology har siden 1997 har været Miljøstyrelsens referencelaboratorium for emissioner til luften

anvendelse i mere simple miljøer, hvor de fysiske-kemiske forhold er velkendte og afgrænsede, og hvor lignende måleløsninger er beskrevet i den videnskabelige litteratur. De mere krævende måleopgaver eller målemiljøer vil blive adresseret i takt med, at know-how er blevet opbygget, og den teknologiske udvikling muliggør mere avancerede løsninger. Beslutningsprocessen vil blive understøttet af viden indhentet fra videnskabelige publikationer og samarbejdspartnere for at kortlægge de mest relevante udviklingsopgaver til tidlig opstart. Følgegruppen vil løbende blive inddraget i beslutningsprocessen omkring prioriteringen af relevante udviklingsprojekter.

Der udarbejdes årlige planer for videnspredning og foreløbige resultater fra indsatsområdet præsenteres løbende i perioden. Aktiviteter og resultater vil blive formidlet i samarbejde med de kommende klynger (primært [CLEAN](#) og [FBCD](#)), brancheforeninger, netværksgrupper (fx [iGAS](#), Netværk for hygiejne, sundhed og produktsikkerhed) m.fl. Resultater og indsamlet viden vil ligeledes blive præsenteret på workshops (fx i regi af [ACTRIS-DK](#)), offentlige seminarer, konferencer samt via offentligt tilgængelige populærvidenskabelige artikler. Ydermere forventes forskningsrelevante resultater præsenteret på internationale konferencer samt i 'open-access' tidsskrifter med fagfællebedømmelse.

Følgegruppen er sammensat med henblik på repræsentation af flere forskellige aktører indenfor området. Den er sammensat for optimal faglig sparring indenfor en bred vifte af områder samt afdækning af flere vinkler i forhold til eventuelle problematikker i forbindelse med konkurrenceforvridning.

Følgegruppen har ved indsatsens start følgende sammensætning

· Johan Schmidt, CEO, Devlabs · Kasper V. Kristensen, Adjunkt, AU · Ana Sofia Fonseca, NFA	· Anne Jensen, Miljøstyrelsen · Lars Houborg, Novo Nordisk · Arne Poulsen, BBK bio airclean A/S	· Ebbe Lund Rasholt, Novonesis · Henrik Bækgaard, Afdelingschef, Nordic Green Engineering
--	---	---

Følgegruppen vil løbende blive tilpasset i perioden efter behov.

5. Nyhedsværdi og ambitionsniveau

I 1800-tallet blev kanariefugle anvendt i miner til påvisning af giftige gasser. Der er heldigvis sket en meget stor udvikling for luftmåleteknologi siden da - og indenfor de seneste to årtier er udviklingen gået særdeles hurtigt¹⁷. Højpræcisionsinstrumenter som fx PTR-ToF-MS¹⁸ kan online i høj tidsopløsning meget præcist måle massen af tusindvis af forskellige gasser ved koncentrationer ned til ppt-niveau, hvilket muliggør en detaljeret kemisk kortlægning af en luftprøve. PTR-ToF-MS har derfor internationalt fundet anvendelse, ikke bare indenfor luftkvalitetsmålinger, men også indenfor studier af fødevarer, mikrobiologi, sygdomsdiagnosticering, kemiske processer m.m. Instrumentet har fx vist sig egnet til at kortlægge metabolitter fra skimmelsvampe i en detaljegrad, så det i et laboratoriemiljø kan anvendes til at artsbestemme skimmel¹⁹.

Blandt billigere måleinstrumenter er der også sket en rivende udvikling i de senere år. Dette gælder særligt indenfor mikrosensorer, der i dag bliver anvendt bredt til luftmålinger i indeklima og udeluft.

¹⁷ <https://www.tdenviro.com/news/a-brief-history-of-air-quality-sensing>

¹⁸ Proton-transfer-reaction time-of-flight mass spectrometry (PTR-TOF-MS) Jordan et al. *Int. J. Mass Spectrom.* 286, 122-128, 2009

¹⁹ Guo et al., *New Phytologist*, 227, 244-259, 2020

De fleste mikrosensorer på markedet har begrænsninger i forhold til at måle præcist i lave koncentrationer, og de kan være sensitive i forhold til krydsfølsomhed overfor andre gasser. Desuden er mikrosensorer ofte sensitive i forhold til ændringer i temperatur og fugtighed i omgivelserne. Derfor er det afgørende at kalibrere mikrosensorer i forhold til det givne målemiljø samt at få afdækket målebegrænsninger for en given sensor. Mange mikrosensorer kan erhverves særdeles billigt, hvilket muliggør store målenetværk, men det kan være udfordrende og vanskeligt at kvalitetssikre sådanne målinger.

En væsentlig ny udviklingsmulighed på området er adgangen til billige mikrosensorer, der kan trænes, hvor brugere selv kan 'oplære' en eller flere sensorer til at respondere overfor en specifik gas eller en gasblanding. Det åbner for uanede målemuligheder og anvendelsesområder, men det forudsætter, at træningen kan målrettes de relevante gasser og optimeres i forhold til et givent miljø for at korrigere for mulig krydsinterferens fra andre gasser eller for fx temperatursvingninger. Det vurderes at AI-trænede sensornetværk kan få stor udbredelse i Danmark, og indsatsområdets ambition er at understøtte udviklingen. Igennem indsatsen skabes både opmærksomhed omkring potentialerne men også den nødvendige kvalitet, pålidelighed og tryghed i fremtidens monitoreringsløsninger baseret på AI-trænede sensorer.

Udfordringer, risici og mulige barrierer

En væsentlig udfordring omkring fokusområdet med trænede mikrosensorer er den hurtige teknologiske udvikling på området. En opgave kan fx vælges løst med et netværk af en given type sensor og et givent træningsværktøj, hvorefter der over en kort tidshorisont bliver adgang til bedre måle- og/eller træningsteknologi. En sådan problematik vil givetvis opstå i løbet af en flerårig indsatsperiode. Vi vil derfor tilstræbe at udvikle nogle løsningsmetoder omkring sensornetværk, der så vidt muligt er fleksible i forhold til fremtidige teknologiske opgraderinger af soft- og hardware. Ydermere vil vi løbende holde os fuldt opdaterede omkring den teknologiske udvikling indenfor mikrosensorer og andre målemetoder på luftområdet for at kunne udvikle de nyeste men også mest robuste ydelser.

Ydelser indenfor de tre udviklingsspor (jf. pkt. 1) forventes at blive udbudt indenfor en tre- til femårig tidshorisont. Delydelser som fx (1) kalibrering/validering af ydeevne for trænede sensorer, og (2) cost/benefit-analyse for en given virksomhed i forhold til anvendelse/udbytte af AI-trænede luftmåle sensornetværk vil formentlig kunne udbydes indenfor de første år. Andre ydelser såsom (3) etablering af netværk af trænede sensorer tilpasset forskellige typer af produktionsmiljøer - til procesovervågning og/eller procesoptimering, og (4) online monitorering af lugt i relevante miljøer med trænede sensorer forventer vi først at kunne udbyde hen imod slutningen af projektperioden.

6. Kobling til forsknings- innovations- og erhvervsfremmesystemerne

Nationalt er vi i dialog omkring samarbejde med universiteter og videninstitutioner, herunder DTU, KU, AU, AAU, UCL, Zealand, EUC Lillebælt og NFA. Der forventes samarbejde omkring de fleste udviklingsaktiviteter inklusive videndeling/undervisning og med et særligt fokus på inddragelse af studenterprojekter under indsatsområdet.

Internationalt samarbejde med universiteter og videninstitutioner vil være en vigtig del af indsatsområdet. Der er på ansøgningstidspunktet planlagt samarbejde med Lunds Universitet (SWE)

omkring mere detaljerede analyser af sodpartikelmålinger, og vi har indledt dialog om samarbejde med bl.a. TROPOS (DE) omkring nye/forbedrede luftkvalitetsmålinger. Derudover planlægger vi et tæt samarbejde med instrumentudviklere som fx IONICON (AUT) omkring metodeudvikling, der involverer specifikke måleinstrumenter. Flere internationale videnmiljøer arbejder med sensorer til overvågning af gasser og luftkvalitet, men FORCE Technology er kun bekendt med få udvalgte forskergrupper i Europa, der har ekspertise indenfor AI-trænede sensornetværk. Det gælder fx Universität des Saarlandes i Tyskland og HighTechXL i Eindhoven i Holland, som vi har kontaktet i forbindelse med indsatsområdet. Udover ovenstående vil vi i perioden følge udviklingen i internationale viden- og forskningsmiljøer på området fx gennem aktiv deltagelse på Dresdner Sensor-Symposium²⁰, hvor den nyeste innovation omkring sensorteknologi præsenteres.

En betydelig andel af udviklingsaktiviteterne under det foreslåede indsatsområde er velegnede til samarbejde om studenterprojekter eller forskningsprojekter. Medarbejdere fra FORCE Technology er jævnligt involveret direkte i undervisning og vejledning af virksomhedsrepræsentanter og studerende. Samlet set vil indsatsområdet understøtte uddannelse, forskningsaktiviteter og videndeling på forskellige niveauer nationalt og internationalt.

Eksempler på supplerende eksterne ansøgninger - afsendt eller planlagt:

- Øget viden om sodpartikler og deres kilder i udeluft og arbejdsmiljø. Forskningsansøgning afsendt af Lunds Universitet til FORMAS i samarbejde med FORCE Technology, april 2024.
- Forbedret lugtrensning/lugtmålinger ved anvendelse bl.a. af højpræcisionsmåleinstrument. Planlagt InnoBooster-ansøgning i samarbejde med BBK og IONICON i 2024.
- Forbedrede målinger af organiske forbindelser i arbejdsmiljø. Projektmidler forventes søgt hos Arbejdsmiljøforskningsfonden i 2024 i samarbejde med NFA.
- Optimerede målemetoder og nye anvendelsesområder med højpræcisionsmålinger (PTR-ToF-MS) i forskellige miljøer. Erhvervspostdoc planlægges søgt i 2025 i samarbejde med KU.

Pt. afsøges desuden flere muligheder for ansøgninger i forskellige internationale samarbejder.

Indsatsområdets aktiviteter indenfor klima, miljø og forebyggelse på luftområdet er i løbet af de seneste fire år koordineret med Teknologisk Institut på årlige møder, og denne koordinering fortsættes i den kommende periode i forbindelse med deres aktivitetsplan 'Fremtidens klima- og miljøteknologiske løsninger'.

Nogle af de planlagte aktiviteter bygger på viden, kompetencer og infrastruktur, der blev opbygget under Resultatkontrakt 2021-2024 under indsatsområderne 'Industriens Nationale Lyd og Luft LAB' og 'Emissioner i den grønne omstilling'. Under de ovennævnte projekter er der udviklet forskellige typer måle- og kalibreringsmetoder, der vil blive anvendt og videreudviklet i regi af indsatsen. Ydermere er der udviklet multikalibreringsfaciliteter til mikrosensorer, der vil blive anvendt til parallel træning af sensorer.

7. Sammenhæng med instituttets strategi og afsæt i instituttets ressourcer

FORCE Technologys strategi placerer digitale teknologier og data centralt i de måletekniske områder, og luftområdet er centralt for vores indsats for grøn og digital omstilling. Måling og dokumentation af luftkvalitet og luftemissioner indenfor industri- og energiområdet er en kernekompetence i FORCE

²⁰ <https://dechema.de/dss17.html>

Technology - forankret i afdelingen 'Clean Air Technology'. Som førende GTS-institut på luftområdet, har FORCE Technology siden 1997 været Miljøstyrelsens referencelaboratorium for emissioner til luften (luft og lugt) og har igennem årene opbygget stærke kompetencer og en række state-of-the-art måleinstrumenter og kalibreringsfaciliteter. Indsatsområdet forener dybe kompetencer på luftområdet med domænespecifikke styrker indenfor en række områder, herunder fødevarereproduktion og -emballage, hygiejne, mikrobiologi, energiproduktion, IoT og sensorer, model- og softwareudvikling m.m. Tværfagligt samarbejde er essentielt for udviklingsaktiviteterne, og ovennævnte fagområder i FORCE Technology vil blive involveret i indsatsområdets aktiviteter.

Indsatsområdet har snitflader til andre af FORCE Technologys indsatsområder bl.a. 'Standarder til et bæredygtigt, digitaliseret og resilient Europa' og 'Danmark som CO₂ Hub – skalering og markedsgørelse'. Engagement i standardiseringsarbejde indenfor luftkvalitet og arbejdsmiljø koordineres med førstnævnte, og udvikling af nye højpræcisionsmålemetoder og kalibreringsmetoder koordineres med sidstnævnte.

8. Konkrete aktiviteter i år 1

Aktiviteter i år 1

- Videnindhentning fra de seneste konferencer, artikler og produktlanceringer indenfor området. Der indhentes også viden fra samarbejdspartnere og følgegruppemedlemmer. Et dynamisk notat til løbende opdatering udarbejdes og deles med interessenter.
- Afsøgning af tilgængelig software til online læsning af data fra forskellige typer træningsmulige sensorer og om nødvendigt igangsættelse af software-udvikling.
- Analyse af potentielle cases via mindst 6 virksomhedsbesøg og dialog med en bred række af aktører. Formålet er en kortlægning af de mest oplagte cases i forhold til forventet cost/benefit og overordnet lærings- og markedspotentiale.
- På baggrund af ovenstående analyse udvælges de case studier, der igangsættes i 2025.
- Udvikling af metoder til luftprøvetagning og laboratoriefaciliteter til efterfølgende analyse med højpræcisionsmålinger og/eller sensorer.
- Udvikling af laboratoriefaciliteter bl.a. volumenvariabelt kammer til højpræcisionsmåling parallelt med eksponering af flere mikrosensorer.
- Test af forskellig hardware og software til trænedes sensornetværk.
- Videnspredning i henhold til den årlige formidlingsplan.