

---

# HANDLINGSPLAN FOR DET METROLOGISKE HOVEDOMRÅDE: TEMPERATUR

Udarbejdet af

Jan Nielsen, Mikkel Bo Nielsen  
Teknologisk Institut, Termometrilaboratoriet, Århus

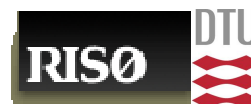
Anders Bonde Kentved  
Delta, Hørsholm

Sønnik Clausen  
Forskningscenter Risø Danmarks Tekniske Universitet

December 2007



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**



**Indholdsfortegnelse**

1.	Sammenfatning og konklusion .....	1
2.	Indledning .....	1
3.	Beskrivelse af hovedområdet Temperatur .....	3
3.1	Beskrivelse af det metrologiske felt: Temperaturmåling ved berøring.....	4
3.2	Beskrivelse af det metrologiske felt: Berøringsløs temperaturmåling.....	4
3.3	Beskrivelse af det metrologiske felt: Fugtighed .....	5
4.	Behovs- og ressourceopgørelser .....	7
4.1	Legal og anden forskriftsmæssig anvendelse.....	7
4.2	Industriel anvendelse.....	7
4.3	Kalibrering og prøvning .....	8
4.4	Forskning .....	9
4.5	Andre anvendelsesmæssige behov.....	10
4.6	Ressourceopgørelser.....	10
5.	Forslag til indsatsområder.....	11
6.	Forslag til etablering af nationale primær- og referencelaboratorier.....	12
7.	Omkostninger.....	13
8.	Appendikser .....	14
8.1	Akkrediterede kalibrerings- og prøvningslaboratorier med relation til hovedområdet..	14
8.2	Danske måleudstørsproducenter.....	14
8.3	Høringspartnere .....	15

## 1. Sammenfatning og konklusion

I denne handlingsplan beskrives hovedområdet *Temperatur* med udgangspunkt i opdeling af området i felterne *måling af temperatur ved berøring*, *berøringsløs temperaturmåling* og *fugtighed*.

Temperatur- og fugtmåling berører alles arbejds- og privatliv. Procesindustrien og energisektoren er to store industrier, hvor temperatur- og fugtmåling spiller direkte ind, men også i farmaceutisk, kemisk og keramiske industrier er temperatur og fugt vigtige influensparametre. Temperaturmåling er omfattet af de legale krav, der vedrører fjernvarmemåling og -afregning.

Der er derfor i Danmark behov for de spidskompetencer, der er afledt af de nationale referencelaboratoriernes aktiviteter med måleteknik på allerhøjeste niveau, og den videnopbygning, der kommer til Danmark via laboratoriernes deltagelse i internationale fora og projekter. Det vurderes, at op imod 30% af laboratoriernes kommercielle aktiviteter i form af rådgivning og anden videnformidling er afledt af dette forhold.

De nationale referencelaboratorier ved Teknologisk Institut, Delta og Forskningscenter Risø besidder tilsammen de nødvendige faglige kompetencer inden for hovedområdet, og har den status og det netværk, der skal til, for at få metrologi ud til dansk industri. Forudsætningen for, at en sådan måleteknisk service fortsat er tilgængelig for specielt de små og mellemstore virksomheder, er, at Danmark har fagligt stærke og veludstyrede nationale laboratorier.

Konkret er der brug for:

- Erstatning/supplement af udstyr, der er forældet
- Nyt udstyr til opgradering af laboratorierne for at møde de behov, der stilles af industri og samfund
- Medfinansiering af omkostninger til laboratorievedligehold samt videreudvikling af faglige kompetencer
- Generel videnformidling til dansk industri og institutioner

Planens gennemførelse kræver en tilførsel af offentlig finansiering på til dækning af omkostningerne ved at drive de tre nationale referencelaboratorier (person-timer). Endvidere er der behov for en engangsbevilling på 3,7 millioner kroner til nyt udstyr.

## 2. Indledning

Denne handlingsplan afløser den foregående handlingsplan for det metrologiske hovedområde: *Temperatur* fra januar 2000.

Til at revidere handlingsplanen har Center for Dansk Fundamental Metrologi (CDFM) nedsat en arbejdsgruppe bestående af de nationale referencelaboratorier på hovedområdet, dvs. Teknologisk Institut, Delta og Forskningscenter Risø. Arbejdsgruppens sammensætning fremgår af forsiden af denne rapport.

Endelig skal anføres, at nærværende handlingsplan er disponeret efter den form, som har været anvendt ved de seneste handlingsplaner.

Udkastet til nærværende handlingsplan blev sendt til høring hos 9 industrivirksomheder. Høringspartnerne og et resumé af høringssvarene fremgår af bilag 10.5. Svarene fra høringen er indarbejdet i teksten.

I 2000-handlingsplanen blev foreslået flere indsatsområder. Disse indsatsområder og deres status er:

### Måling af temperatur ved berøring

- Udvidelse af området for temperaturmåling ved berøring fra den nuværende øvre grænse ved 660 °C til 961 °C ved etablering af fikspunktet sølvs frysepunkt.

Status: Denne udvidelse er ikke etableret pga. manglende finansieringsmuligheder.

- Opgradering af det nationale referencelaboratorium for temperatur ved berøring til primærlaboratorium med et udvidet måleområde.

Status: Opgraderingen lykkedes ikke, dels da det blev vurderet, at laboratoriets forskningsak-

tivitet ikke var tilstrækkelig, dels at referencelaboratoriet ikke havde dubletter af fikspunkterne, hvilket i dag er et krav til et primærlaboratorium. Anskaffelse af dubletter har ikke været mulig pga. manglende finansiering, og der var på det tidspunkt ingen metrologirelevante forskningsprogrammer.

### **Berøringsløs temperaturmåling**

- Udpegning af et nationalt primær/referencelaboratorium inden for feltet berøringsløs temperaturmåling.

Status: Nationalt referencelaboratorium etableret i 2002. Der kræves en bevilling til udstyr (fikspunkt) og indkøring mht. opdatering fra reference til primærlaboratorium.

- Etablering af fikspunkt blackbody ved 961 °C (sølvs frysepunkt) og et strålingstermometer for at kunne etablere temperaturskalaen ITS-90 berøringsløst.

Status: Ikke gennemført pga. manglende finansieringsmuligheder. Laboratoriet har dog af egne midler etableret Natrium Heat-pipe blackbody, der vil kunne anvendes til forbedring af den danske måleevne i området 660 °C til 1070 °C ved investering i højtemperaturtermometre og en fikspunktcelle (sølv) og etablering af link til de nationale referencer på kontakt termometri via samarbejde mellem Forskningscenter Risø og Teknologisk Institut..

- Etablering af et fikspunkt blackbody ved 29 °C eller 156 °C som basis for sporbare målinger i området -50 °C til 300 °C

Status: Ikke gennemført pga. manglende finansieringsmuligheder.

- Anskaffelse af højkvalitets infrarødt interpolationstermometer i området fra -50 °C til 300 °C.

Status: Ikke gennemført pga. manglende finansieringsmuligheder.

- Etablering af måleteknisk rådgivning og kursusvirksomhed inden for berøringsløs temperaturmåling.

Status: Forskningscenter Risø og Teknologisk Institut afholder i fællesskab typisk 1 gang årligt et kursus for berøringsløs temperaturmåling for betalende deltagere. Foredrag til faggrupper og foreninger afholdes 1-2 gange årligt på forespørgsel. Desuden afholdes kortere, kundetilrettede kurser målrettet den enkelte virksomheds behov og applikation.

### **Fugtighed**

- Udbygning af måleteknisk rådgivning og kursusvirksomhed inden for fugtighed.

Status:

- DELTA har i perioden fra januar 2000 bistået dansk industri med måleteknisk rådgivning inden for området fugtighed. Dette har hovedsageligt været i forbindelse med konkrete kalibreringsopgaver.
- I november 2006 blev der på DELTA afholdt et tredageskursus for EUROMET (nu EURAMET) referencelaboratorier med titlen "EUROMET PROJECT 782 – The Advancement of Technical Competence of Staff in Upcoming Laboratories in Humidity".
- Der har af DELTA ikke været afholdt egentlige kurser for dansk industri pga. manglende finansieringsmuligheder til udvikling af kurset.

### 3. Beskrivelse af hovedområdet Temperatur

Hovedområdet er i Danmark op i tre metrologiske felter:

- Måling ved berøring (Eng: "Contact Thermometry")
- Berøringsløs måling inkl. emissivitet (Eng: "Radiation Thermometry")
- Fugtighed (Eng: "Humidity")

I området "termofysiske egenskaber", der relaterer sig til temperaturområder, er der i Danmark ikke defineret et separat felt.

Internationalt foregår der en del aktiviteter i arbejdsgrupper. Tabel 1 giver et overblik over de vigtigste, der er etableret under EURAMET's TC-THERM og CIPM's CCT. Af de nævnte grupper er Danmark p.t. kun repræsenteret i EURAMET TC-THERM og TC-THERM's Humidity sub-field.

**Tabel 1: Felter og arbejdsgrupper for hovedområdet Temperatur**

DANIAmet Temperaturfelter	EURAMET sub-fields (under TC THERM)	CIPM working groups (under CCT)
Temperaturmåling ved berøring	(ingen)	Defining fixed points and interpolating instruments  Secondary fixed points and techniques of approximation to the ITS-90  Thermodynamic temperature determinations and extension of the ITS-90 to lower temperatures
Berøringsløs temperaturmåling	(ingen)	Radiation thermometry
Fugtighed	Humidity	Humidity measurements  Thermophysical properties

Enheden for temperatur, K, er defineret som  $1/273,16$  af den termodynamiske temperatur af vands tripelpunkt. Temperaturen i °C er temperaturen i K minus 273,15. Termodynamisk temperatur måles ved hjælp af termometre der arbejder efter fundamentale termodynamiske principper, fx gastermometri (idealgaslovene), støjtermometri (Johnson-støj) eller strålingstermometri (Plancks strålingslov). Instrumenter, der baserer sig på disse love, er dog oftest hverken praktiske set ud fra et brugersynspunkt eller tilstrækkeligt nøjagtige. Derfor har man internationalt defineret en empirisk temperaturskala (ITS-90), der er tilstrækkelig reproducerbar til videnskabeligt og industrielt brug. ITS-90 dækker området fra 0,65 K og opad<sup>2</sup>. I 2000 blev ITS 90 udvidet nedad i og med, at CIPM vedtog skalaen PLTS-2000 (Provisional low temperature scale), der dækker området fra 0,9 mK til 1 K.

Skalaen realiseres i tre trin:

- Etablering af fikspunkter (typisk faseovergange i en række rene stoffer, hvis temperaturer er vedtaget internationalt).
- Bestemmelse af udlæsningen af en bestemt (godkendt) type termometre i fikspunkterne.
- Beregning af temperaturen mellem fikspunkterne ved hjælp af interpolerende ligninger.

Interpolationsinstrumenterne er:

- 0,65 K til 5,0 K,  $^3\text{He}$  og  $^4\text{He}$  damptrykstermometre
- 3,0 K til 24,5561 K,  $^3\text{He}$  og  $^4\text{He}$  gastermometre
- 13,8033 K (-259,3437 °C) til 961,78 °C, platin resistanstermometre
- 961,78 °C og opad, strålingstermometre

### **3.1 Beskrivelse af det metrologiske felt: Temperaturmåling ved berøring**

Måling af temperatur ved berøring er stadig den mest fremherskende metode ved måling af temperatur. Metoden er kendetegnet ved, at en sensor bringes i tæt kontakt med det materiale, den væske eller atmosfære, hvis temperatur ønskes bestemt.

Sensoren er karakteriseret ved, at der sker en fysisk ændring i materialet som funktion af temperaturen. Som eksempel kan nævnes:

- Elektriske egenskaber, fx resistanstermometre og termoelementer
- Termisk udvidelse, fx væske-i-glas-termometre

Kalibrering af sensorerne på højeste niveau (interpolationsinstrumenter) foregår som beskrevet vha. fikspunkter, ellers foregår kalibrering af instrumenter, der måler ved berøring, ved at sammenligne deres visning med et antal kendte temperaturer, som bestemmes af en referencenormal. Sammenligningen foregår i:

- Væskebade
- Ovne evt. med heat-pipes
- Kryostater
- Tørblok-temperaturkalibratorer
- Klimakamre

De vigtigste normaler er angivet i tabel 2.

### **3.2 Beskrivelse af det metrologiske felt: Berøringsløs temperaturmåling**

Berøringsløs temperaturmåling anvendes i stigende omfang til temperaturmåling af emner, overflader, partikler, væsker og gasser, hvor der stilles krav til målingens kvalitet og sporbarhed. Fx måler et almindeligt infrarødt øretermometer med  $\pm 0,1$  til  $\pm 0,2$  °C nøjagtighed. Metoden er i dag mest udbredt for temperaturmålinger i området fra  $-20$  °C til  $200$  °C og fra  $800$  °C til  $1100$  °C, hvor det lave temperaturområde udgør langt det største marked.

Temperaturen bestemmes principielt ud fra en måling af energiudvekslingen mellem en sensor og emnet ved elektromagnetisk stråling (infrarød varmestråling) ved et eller flere spektralbånd (bølgelængder). Varmeudstrålingen fra et emne afhænger af emnets temperatur (Plancks strålingslov) og udstrålingsegenskaber (emissivitet). Ved kalibrering anvendes en blackbody (sortlegeme) med kendt temperatur og et emissionstal tæt på 1, dvs. udstrålingen fra kilden kan da med god tilnærmelse beskrives ved Plancks strålingslov.

I henhold til ITS-90 repræsenteres skalaen på det højeste metrologiske niveau for temperaturer over  $961$  °C ved hjælp af et strålingstermometer, som er kalibreret med en eller flere fikspunkt-blackbodies (med sølvs frysepunkt som det definerende fikspunkt).

For temperaturer under  $961$  °C er der for nylig udviklet fikspunkt-blackbodies, som følger de definerede fikspunkter i ITS-90. Alternativt kan et standard platin resistans termometer (SPRT) anvendes som defineret i ITS-90.

På lavere niveau er der for nylig udviklet nøjagtige transferstrålingstermometre, som kalibreres med fikspunkt-blackbodies. Alternativt kan en variabel heatpipe-blackbody anvendes, hvor temperaturen måles med en SPRT.

I praksis er det vigtigt at kende den spektrale emissivitet af overflader og infrarødt kalibreringsudstyr, da dette kan påvirke måleusikkerheden betydeligt. Der er i de senere år internationalt kommet øget fokus på måling af overfladers emissivitet og andre optiske egenskaber.

### **3.3 Beskrivelse af det metrologiske felt: Fugtighed**

Målestørrelsen fugtighed er knyttet til mediet fugtig luft. Primære normaler for luftfugtighed skal enten kunne bestemme vandindholdet i fugtig luft eller kunne generere fugtig luft med et kendt vandindhold. I denne handlingsplan behandles udelukkende fugt i gasser og ikke vandindhold i materialer.

Det første princip benyttes i det gravimetrisk hygrometer. Den fugtige luft separeres i vand og tør luft, hvorefter massen af hver del bestemmes ved vejning. Luftfugtigheden bestemmes herved på formen "g vand pr. kg tør luft". Udførelsen af dette princip er i praksis forbundet med store vanskeligheder og er dermed meget kostbart. Det gennemføres derfor kun få steder i verden og disse steder ofte kun med års mellemrum.

Generatorer for fugtig luft er baseret på, at luft mættes med vanddamp ved kendt temperatur og tryk. Hermed fås et kendt vandindhold udtrykt som dugpunktstemperatur. Realisering af andre tilstande end mætning foregår ved at ændre den mættede gasblandingstemperatur og/eller tryk. Ved anvendelse af funktionen for vands mætningsdamptryk og en korrektionsfaktor (enhancement factor), kan molbrøken og dermed masserelationerne beregnes.

Det mest nøjagtige instrument til måling af luftfugtighed i praksis er spejlhygrometret. Det bestemmer luftens dugpunktstemperatur ved at afkøle en reflekterende overflade (spejlet), indtil vandet begynder at kondensere herpå. Fremkomsten af det tynde duglag detekteres optisk ved at se på reflekteret og/eller spredt lys fra spejlet. Spejlets temperatur styres ved hjælp af et reguleringsystem, således at der vedligeholdes et passende duglag. Dugpunktstemperaturen bestemmes med et platinresistanstermometer indbygget i spejlet. Når spejlet er rent, kan der dannes et veldefineret duglag, hvilket resulterer i en meget høj nøjagtighed og repeterbarhed. Hvis spejlhygrometret skal bruges til måling af dugpunkter under 0 °C, skal der træffes særlige foranstaltninger for at afgøre, om det er is eller underafkølet vand, der findes på spejlet. Det gøres normalt ved hjælp af et indbygget mikroskop til visuel betragtning af spejloverfladen. Mikroskopet er også værdifuldt til at konstatere en unormal dugbelægning på grund af eventuelle forureninger.

Spejlhygrometrets største fejlkilde er knyttet til bestemmelsen af spejlets overfladetemperatur. Selve overfladetemperaturen påvirkes af dråbestørrelse og forureninger. Den målte temperatur påvirkes yderligere af temperaturgradienter på grund af, at varmestrømmen gennem spejlet. Selvom måleprincippet kan siges at være fundamentalt, kan spejlhygrometret ikke anvendes som primær normal på grund af disse fejlkilder. Det kalibreres op mod en gravimetrisk normal eller en temperatur/trykbaseret generator.

Ofte ønskes luftfugtigheden angivet som relativ fugtighed. For at kunne bestemme denne størrelse, skal også lufttemperaturen bestemmes. Den relative fugtighed kan derefter beregnes ved hjælp af de ovennævnte funktioner for mætningsdamptryk og korrektionsfaktor (enhancement factor).

Andre måleinstrumenter, der kan anvendes som referencenormaler, er angivet i tabel 2.

**Tabel 2: Hovedområdet Temperatur. Tallene for afgrænsning af måleområder skal ikke for alle områder opfattes som absolutte, men kun omtrentlige.**

Felt	Vigtigste målestørrelser	Typisk måleområde	Vigtigste normaler og måleudstyr <sup>1</sup>
Måling ved berøring	Temperatur	0,9 mK til 1 K	<sup>3</sup> He smeltetryktermometer Superledende fikspunkter
		-273 °C til -268 °C	<sup>3</sup> He og <sup>4</sup> He damptryktermometre Carbon-resistorer Rhodium-jernresistorer
		-270 °C til -249 °C	<sup>3</sup> He og <sup>4</sup> He gastermometre Resistanstermometre Termistorer Termoelementer Rhodium-jernresistorer Dioder
Berøringsløs måling	Temperatur	-259 °C til 961 °C	Fikspunkter Resistanstermometre Termoelementer Væske-i-glas-termometre Termistorer Kvartskrystaltermometre
		961 °C til 2500 °C	Termoelementer
		-50 °C til 961 °C	Fikspunkter (blackbodies) Variable blackbodies Resistanstermometre Strålingstermometre IR-transfer-standarder
		961 °C til ∞ <sup>2</sup>	Fikspunkter (blackbodies) Variable blackbodies Strålingstermometre Transfer standarder Blackbodies IR-spektrometre
	Termofysiske egenskaber:		
	Emissivitet	0 til 1 (0,5 μm til 30 μm)	

<sup>1</sup> Retningsgivende, min./maks.-grænser varierer for måleudstyret

<sup>2</sup> Principielt ingen øvre grænse

Felt	Vigtigste målestørrelser	Typisk måleområde	Vigtigste normaler og måleudstyr <sup>1</sup>
Fugtighed	Absolut vandindhold	1 mg/kg tør luft til $\infty$	Gravimetrisk hygrometer
	Dugpunkt	-80 °C til 100 °C	To-trykgenerator To-temperaturgenerator Spejlhygrometer Kapacitive sensorer
	Relativ fugtighed	10% rh til 100% rh	Psykrometre
		0% rh til 95% rh	Resistive sensorer Kapacitive sensorer

#### 4. Behovs- og ressourceopgørelser

Mange fysiske fænomener udviser i større eller mindre grad afhængighed af temperaturen. Af denne grund er måling af temperatur en yderst vigtig parameter inden for enhver gren af samfundet.

De måletekniske behov inden for de tre metrologiske felter under hovedområdet temperatur er opgjort i afsnit 4.1 til 4.5 i henhold til, hvilken anvendelse der er tale om.

##### 4.1 Legal og anden forskriftsmæssig anvendelse

Inden for temperaturmåling ved berøring er der legale aspekter ved måling af energimængder ved afregning af varmeenergi fra fjernvarme samt i forbindelse med kliniske termometre. De generelle krav er fastsat i direktiv 2004/22/EC (MID) med henvisning til EN 1434:2007 (Varmeenergimålere). Vedrørende kliniske termometre er de omfattet af direktiv 93/42/EØF med henvisning til EN 12470-serien. EN 12470-5 omhandler krav til øretermometre (berøringsløs temperaturmåling).

Ud over dette er der krav om akkrediteret kalibrering af temperaturmåleudstyr i forbindelse med fx:

- OR-ordningen omkring indregulering og kontrolmåling af fyringsanlæg i henhold til Byggestyrelsens bekendtgørelser.
- Transport af dybfrosne levnedsmidler i henhold til regulativ fra Sundhedsministeriet/vejledning fra Levnedsmiddelstyrelsen
- VENT-ordningen, som er en service- og entreprenørordning for drift og vedligehold af ventilationsanlæg

##### 4.2 Industriel anvendelse

Der er behov for temperaturmåling på højt niveau i mange industrielle sammenhænge, fx den farmaceutiske industri, medico- og fødevarerindustrien, den kemiske og den keramiske industri, procesindustrien samt inden for energisektoren. Eftersom kravene til mere effektiv produktion er stadigt stigende, og temperaturmålingerne i stigende omfang bliver en del af kvalitetskontrollen af produkterne, fx i fødevarerindustrien og den farmaceutiske industri, bliver der større krav til mere nøjagtige kalibreringer i et bredt måleområde. Det samme gør sig gældende inden for fugtmåling, og her ses, at forespørgslerne breder sig til nye områder (fx elektronik, maling osv.). Et overblik over de største brugere af de måletekniske ydelser er givet i tabel 3.

Der er inden for de omtalte industrier generelt brug for kalibrering samt måleteknisk rådgivning, udviklingsprojekter og uddannelse. Industrien peger på problemer mht. at få personale med kompetencerne i orden samt få adgang til måleteknisk efteruddannelse på højt niveau. Specielt er der behov for målinger kombineret med kortlægning af sensorer til måling af lav fugtighed i forbindelse med rådgivning af industrielle brugere. Der er endvidere behov for en speciel indsats omkring måling og kalibrering af overfladetemperaturer ved berøring og problematikken i at rela-

tere disse målinger til en medietemperatur. Endelig efterlyses måletekniske fora på området fx i form af ERFA grupper.

**Tabel 3: Typiske anvendelsesområder inden for dansk industri**

Felt	Industrielle sektorer med stort behov for kalibrering, rådgivning og uddannelse
Temperaturmåling ved berøring	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medicinalindustrien</li> <li>• Fødevareproduktion</li> <li>• Kemisk industri</li> <li>• Keramisk industri</li> <li>• Stålintustri (fx varmebehandling)</li> <li>• Fremstilling af isoleringsmaterialer</li> <li>• Energisektoren (kraftvarmeværker, energiforsyning)</li> <li>• Måleinstrument producenter og forhandlere</li> <li>• Industrielle kalibreringslaboratorier</li> </ul>
Berøringsløs temperaturmåling	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metalindustri (varmebehandling, overvågning)</li> <li>• Kraftværker (røggastemperatur, miljødokumentation)</li> <li>• Elektronik (komponenttemperatur, fejlsøgning)</li> <li>• Elværker, el-service (lednings- og kontaktfejl)</li> <li>• Industri (procesmåling, fejlfinding, service)</li> <li>• Fødevarer (opbevaring, transport, kontrol)</li> <li>• Varmesyn, energibesparelse (IR-kamera)</li> <li>• Medicinsk (legeme, hud)</li> <li>• Måleudstyr (medico-firmaer, personkomfort)</li> <li>• Transport (måling af temperatur i motorer)</li> <li>• Sikkerhed (eksplosioner, termisk bestråling)</li> <li>• Lasersvejsning og bearbejdning (herunder plast mv.)</li> <li>• Kvalitetskontrol (integreret i proces)</li> <li>• Industrielle kalibreringslaboratorier</li> </ul>
Fugtighed	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medicinalindustri</li> <li>• Elektronik, fremstilling af printkort og komponenter</li> <li>• Lakering og overfladebehandling</li> <li>• Plastindustri</li> <li>• Trykluft</li> <li>• Træ- og møbelindustri</li> <li>• Papirindustri</li> <li>• Industrielle kalibreringslaboratorier</li> </ul>

### 4.3 Kalibrering og prøvning

Temperatur er en vigtig faktor i forbindelse med næsten alle aktiviteter inden for prøvning og kalibrering. Der er p.t. 13 akkrediterede kalibreringslaboratorier, der blandt deres primære aktiviteter udfører kalibreringer inden for felterne temperatur og luftfugtighed. Mht. de klassiske vel-etablerede målemetoder inden for kontaktermometri, berøringsløs termometri og luftfugtighed, er der hos dansk industri et stigende behov for bedre nøjagtighed samt mulighed for etablering af sporbarhed på et stadigt højere niveau.

Baseret på forespørgsler rettet til de nationale referencelaboratorier samt udbuddet af akkrediteret kalibrering kan ressourcer og behov opsummeres som angivet i nedenstående tabel, hvor måleområder med stort eller meget stort behov er nævnt.

Teknologisk Institut har specielt fra kunder inden for farmaceutisk industri haft mange forespørgsler på kalibrering af udstyr til måling af lufttemperatur i et større område samt med bedre usikkerhed, end hvad der p.t. udbydes på det danske marked. Der er ligeledes behov for bedre nøjagtighed for målinger ved lave temperaturer ned til  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , samt mulighed for kalibrering på højeste primære niveau under  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Argons tripelpunkt).

Kalibrering af sensorer til måling af overfladetemperaturer ved kontakt er et stigende problem. I EUROMET-projekt 635 og i et netop afsluttet nordisk projekt er der påvist store signifikante forskelle mellem de forskellige kalibreringsmetoder og måleteknikker. Der er behov for, at man etablerer en metode/kalibreringsfacilitet, så disse termometre kan kalibreres repræsentativt og med en bedre usikkerhed, end hvad der p.t. er muligt. Der er behov for information til danske brugere af teknikkerne om problemerne og løsningsmetoderne.

**Tabel 4: Hovedområdet Temperatur<sup>3</sup>**

Måleinstrument/-parameter	Stort behov (p.t. dækket i Danmark)	Udækket behov
Industrielle kontakttermometre	-196 °C til 1600 °C	
Referencetermometre (SPRT) i fikspunkter	-40 °C til 660 °C	-190 °C til -40 °C 660 °C til 1100 °C
Lufttemperatur	10 °C til 85 °C	-90 °C til 10 °C
Gastemperatur	25 °C til 1600 °C	Op til 2200 °C
Ovne, klimakamre	-90 °C til 1600 °C	Lufttemperaturer fra -90 °C til +10 °C
Berøringsløse termometre	-80 °C til 1600 °C	1600 °C til 2300 °C
Blackbodies	-80 °C til 1600 °C	1600 °C til 2300 °C
Fugtighed, dugpunkt	-75 °C til 85 °C	Andre gasser end luft
Fugtighed, relativ	5 % rh til 96 % rh	Ved lufttemperaturer under 15 °C

Forskningscenter Risø oplever, trods den markante forbedring af den danske måleevne (BMC) med en faktor 2 i 2006, at der er efterspørgsel på en bedre usikkerhed ved specielle bølgelængder uden for det typiske 8-14 µm bånd. Det gælder specielt ved temperaturer over 420 °C, og desuden for 8-14 µm bånd ved lave temperaturer under 0 °C. Den danske måleevne i højtemperaturområdet bør i fremtiden forbedres af hensyn til konkurrenceforhold og kvalitet af serviceydelser til danske og udenlandske virksomheder, idet den danske måleevne ved specielt høje temperaturer er dårligere, end hvad de øvrige lande i EU kan tilbyde.

Der er i dag øget fokus på bæredygtig energi og øget energieffektivitet. Dette stiller nye krav til måling af berøringsløs temperatur i fx i forsøgspstillinger ved høje temperaturer og konkret i motorer ved temperaturer op til 2300 °C.

DELTA modtager løbende forespørgsler vedrørende kalibrering af fugtmåleinstrumenter ved lufttemperaturer under 0 °C. Dette udbydes p.t. ikke på det danske marked.

DELTA oplever en stigende efterspørgsel på kurser i luftfugtighedsmåling og kalibrering – især inden for måling i meget tørre miljøer.

Der efterspørges kalibrering af fugtsensorer i andre gasser end luft, herunder kalibrering af kapacitive fugtsensorer til måling af dugpunktstemperaturer ned til -80 °C.

#### **4.4 Forskning**

Forskning og udvikling laves i Danmark specielt i forbindelse med udvikling af nye sensorer. Tendensen går i retning af multisensorer og applikationsrettede sensorer, hvilket stiller store krav til metrologisk karakterisering. Desuden er der adskillige danske virksomheder, der udvikler og sælger måleudstyr inden for området, som har behov for adgang til viden og måletekniske faciliteter. Den vigtigste drivkraft for forskning inden for hovedområdet er de samfundsmæssige udfordringer relateret til miljø- og energiområdet samt inden for transport.

På Forskningscenter Risø drives der forskning inden for udvikling af nye sensorer og metoder til berøringsløs temperaturmåling samt måling af overflader og gassers udstrålingssegenskaber (emissivitet) med henblik på bl.a. at udføre mere nøjagtige temperaturmålinger. Eksempler på nyere afledte applikationer er temperaturmåling i NIR ved CCD-kamera af værktøjsstål, laser-svejsning i plast (kvalitetskontrol), måling af gas- og overfladetemperatur i motorer under højt tryk, specielle hurtige temperaturmålinger i eksplosioner (sikkerhed), udmåling af spektral fordeling af termiske lyskilder i plasthærdningsproces, anvendelse af nye berøringsløse målemetoder i

3: Tabellen angiver måleområder, hvor der er stort eller meget stort behov, og hvor der er forespørgsler men ikke kan fås sporbarhed i Danmark. Tallene for afgrænsning af måleområder skal ikke opfattes som absolutte, men kun omtrentlige.

energiforskningsprojekter osv.

På Teknologisk Institut drives der forskning inden for udvikling af mikro og nanosensorer. Teknologisk Institut er her bl. a. involveret i et trans nordisk udviklingsprojekt omkring overflade indlejrede temperatur sensorer i samarbejde med ledende aktører på området VTT (Fi), Acreo (SE) og SINTEF (NO). Første del af projektet er netop afsluttet og forlænget i projektet COSMOS 2 under EU-ERASME programmet. Der er pt. udviklet demonstrationssensorer.

Inden for fugtmåling er der et stigende behov for målinger af mættet vanddamptryk ved temperaturer under 0 °C. Metoder, som udvikles til dette formål, kan endvidere muliggøre måling af enhancement-faktorer. Enhancement-faktorer for andre gasser end atmosfærisk luft er af stor interesse, fx i forbindelse med udviklingen af forbedrede brintbrændselsceller, hvor kendskabet til vanddamptrykket er vigtigt.

De fremtidige behov for forskning inden for termometri set i et europæisk perspektiv er beskrevet detaljeret i EURAMET's roadmaps, som blev udfærdiget i forbindelse med iMERA-projektet (<http://www.technology-roadmaps.eu/doku.php?do=login&id=start>). Der er her specielt dansk interesse inden for fokusområderne klimaændringer og klimamodeller, energieffektivitet og transport.

#### **4.5 Andre anvendelsesmæssige behov**

Af væsentlige sektorer (ud over den industrielle sektor, som behandles særskilt i afsnit 4.2), hvor måling af temperatur er et vigtigt element ud fra et samfundsmæssigt synspunkt, kan nævnes:

- Sundhedsvæsen - Diagnosticering og behandling
- Fødevarer - Opbevaring og tilberedning
- Energifremstilling - Virkningsgrad og levetid for anlæg
- Affaldsforbrænding - Styling mht. energiforbrug samt overholdelse af miljømæssige krav

#### **4.6 Ressourceopgørelser**

Personalet på de tre nationale referencelaboratorier under hovedområdet temperatur udgør ca. 10 personer, og kompetenceområdet er højt. Det udstyr, der rades over, er for en stor del meget gammelt, og der er behov for udskiftning og opdatering (fx er meget af det udstyr, der er basis for det nationale referencelaboratorium for kontakttermometri, 30 år eller ældre).

De nationale referencelaboratorier dækker p.t. følgende parametre og måleområder:

##### Det nationale referencelaboratorium for kontakttermometri

- Kalibrering af referencetermometre (Standard Platin Reference Termometre) på højeste niveau (primært niveau) i temperaturfikspunkter i området: -39 °C til 660 °C. Uden for dette område hentes sporbarhed ved udenlandske nationale referencelaboratorier via referencetermometre
- Kalibrering af kontakttermometre ved sammenligning (sekundært niveau) med referencetermometre i termostater (fx væskebade og ovne) i området: -80 °C til 1100 °C
- Kalibrering af kontakttermometre i luft i området: +10 °C til +90 °C samt ved laboratoriets omgivelseskonditioner, men ved varierende lufthastighed op til 28 m/s i en vindtunnel.

##### Det nationale referencelaboratorium for berøringsløs temperaturmåling

- Kalibrering af blackbody-kilder ved sammenligning i område: -80 °C til 1600 °C
- Kalibrering af IR-termometre og strålingstermometre ved sammenligning i område: - 80 °C til 1600 °C.
- Måling af spektral emissivitet af IR-kalibratorer og overflader: 0,5 til 25 µm
- Udmåling af lyskilder, ældning og andre særlige opgaver for virksomheder

Kalibreringerne udføres ved sammenligning med et referenceinstrument. Sporbarheden hentes ved NPL, Storbritannien.

### Det nationale referencelaboratorium for fugtighed

- Kalibrering af dugpunktshygrometre ved sammenligning med et referencedugpunktshygrometer i området  $-75\text{ °C}$  til  $+82\text{ °C}$ .
- Kalibrering af hygrometre til måling af relativ luftfugtighed i området: 5% rh til 97% rh ( $15\text{ °C}$  til  $85\text{ °C}$ )

Kalibreringerne udføres ved sammenligning med et referenceinstrument. Sporbarheden hentes ved NPL (Storbritannien) og MIKES (Finland).

Der findes 13 laboratorier under akkreditering af DANAK, som blandt deres primære aktiviteter udfører kalibrering af temperaturmåleudstyr. Disse laboratorier tilbyder akkrediteret kalibrering i området  $-196\text{ °C}$  til  $1600\text{ °C}$  (ved berøring) og  $-80\text{ °C}$  til  $1600\text{ °C}$  (berøringsløst). Ud over disse laboratorier er der 3 laboratorier, hvor temperaturmåling indgår som en del af deres akkreditering.

Kun 3 laboratorier er akkrediteret af DANAK til måling af lufttemperatur i området  $10\text{ °C}$  til  $95\text{ °C}$  i klimakammer ved en fast (lav) lufthastighed. Et af laboratorierne er akkrediteret til at kalibrere instrumenter til måling af lufttemperatur i ét punkt, bestemt af laboratoriets omgivelseskonditioner, men ved varierende lufthastighed. Disse kalibreringer udføres i en vindtunnel.

Der findes 6 laboratorier under akkreditering af DANAK, som udfører kalibrering af relativ fugtighed. Dette er en fordobling i forhold til situationen i 2000.

### **5. Forslag til indsatsområder**

Her gives en oversigt over anbefalinger til indsatsområder i uprioriteret rækkefølge. Oversigten indeholder anbefalinger fra 2000-planen, som stadigvæk er valide, men som ikke er gennemført af økonomiske årsager. Trenden inden for dansk industri på hovedområdet temperatur er et stigende behov med hensyn til høj nøjagtighed og mulighed for etablering af sporbarhed på stadigt højere niveau.

Generelt er der for alle laboratorierne behov for særlig støtte i forbindelse med det arbejde, der udføres med vedligeholdelse af CMC'er, herunder deltagelse i og udvikling af EURAMET key-comparisons. Alle Forskningscenter Risøs aktiviteter er p.t. relateret til konkrete projekter og opgaver. Der er behov for tilskud til en fokuseret temperaturaktivitet i national referencelaboratoriet for berøringsløs temperaturmåling bl.a. i forbindelse med deltagelse i EUROMET, udvalg, mv.

- Etablering af en måleteknisk "hotline" på hovedområdet temperatur, fx i form af en internet-side med henvisning til de relevante eksperter på området, hvor industrien kan få kontakt og hurtig hjælp til specifikke spørgsmål i form af teknisk rådgivning.
- Etablering af ERFA gruppe på området luftfugtighed og temperatur
- Generel opdatering/udskiftning af udstyr, der er basis for det nationale referencelaboratorium for kontaktermometri, da meget af dette 30 år eller ældre. Herunder investering i dubletter af fikspunkterne. Udskiftningerne er nødvendige for at kunne opretholde det nødvendige niveau i fikspunktskalibreringerne og sikre, at der fortsat kan leveres sporbarhed til danske brugere på højeste niveau. Opdateringen er desuden nødvendig i forhold til den opgradering af det nationale referencelaboratorium for temperatur ved berøring til primærlaboratorium, som blev foreslået i 2000-handlingsplanen.
- Udvidelse af området for temperaturmåling ved berøring på primært niveau fra den nuværende laveste grænse på  $-40\text{ °C}$  til  $-190\text{ °C}$  ved etablering af fikspunktet Argons tripelpunkt. Udvidelsen begrundes af stigende forespørgsler fra producenter af temperaturmåleudstyr, akkrediterede kalibreringslaboratorier samt farmaceutisk industri, der har brug for bedre nøjagtighed.
- Etablering af faciliteter til kalibrering af kontaktermometre i området  $-190\text{ °C}$  to  $-40\text{ °C}$ . Dette efterspørges hovedsagligt af forskningsinstitutioner, producenter af temperaturmåleudstyr, kalibreringslaboratorier samt farmaceutisk og bioteknologisk industri.
- Udvidelse af temperaturområdet fra  $660\text{ °C}$  til  $961\text{ °C}$  ved etablering af fikspunktet sølvs frysepunkt. Denne udvidelse, som blev foreslået i 2000-handlingsplanen, er ikke etableret pga.

manglende finansieringsmuligheder.

- Etablering af fikspunkt ved 961 °C (sølvs frysepunkt) og et strålingstermometer for at kunne etablere temperaturskalaen ITS-90 berøringsløst for at kunne imødekomme krav fra kunder vedr. bedre nøjagtighed.
- Anskaffelse af højkvalitets infrarøde interpolationstermometre i området fra -30 °C til 300 °C samt at etablere facilitet(er) til kalibrering af industrielle berøringsløse termometre i tæt samarbejde med brugerne.
- Med baggrund i to EU-projekter har Forskningscenter Risø, DTU, arbejdet med infrarød måling af gastemperatur og gassammensætning fra motorer med et spektrometer, og dette har peget frem mod følgende mulige indsatsområder:
  - Udvikling og etablering af metoder til berøringsløs måling af gastemperatur under høj temperatur og tryk. Der er fra MEK/DTU og MAN Diesel ønske om etablering af kalibreringscelle.
  - Udvikling og etablering af metoder til samtidig måling af berøringsløs temperatur og gassammensætning i industrielle processer.
  - Hurtige temperaturmålinger i motorer mv. og optagelse termografiske film med høj hastighed og rumlig opløsning.
- Udskiftning af det ene af de to spejlhygrometre, der er basis for det nationale referencelaboratorium for luftfugtighed (instrumentet er over 20 år gammelt).
- Etablering af facilitet til kalibrering af fugtmåleinstrumenter ved lufttemperaturer under 0 °C.
- Udbygning af måleteknisk rådgivning og kursusvirksomhed inden for luftfugtighedsmåling og kalibrering.
- Kortlægning (udmåling) af den faktiske målenøjagtighed for typiske kommercielle sensorer til måling af lave dugpunkter (-75 °C til 0 °C). Ofte er målenøjagtigheden dårligere end  $\pm 10$  C imod en specifikation på  $\pm 3$  °C, hvilket giver brugerne store problemer.

## **6. Forslag til etablering af nationale primær- og referencelaboratorier**

Opgradering af det nationale referencelaboratorium for temperatur ved berøring til primærlaboratorium med et udvidet måleområde. Dette blev også forslået i 2000-handlingsplanen, men opgraderingen lykkedes ikke. Den vigtigste anke var, at referencelaboratoriet ikke havde dubletter af fikspunkterne, hvilket i dag er et krav til et primærlaboratorium. Såfremt der kan findes finansiering til opdateringen af udstyr forslået under afsnit 5, bør der igen søges om primærstatus.

Opgradering af det nationale referencelaboratorium for berøringsløs temperatur til primærlaboratorium. Dette kræver etablering af sølvfikspunkt som forslået under afsnit 5.

## 7. Omkostninger

Nedenfor er en tabel med estimerede omkostninger for etablering og vedligehold af de anbefalede opgaver. Omkostningerne er estimerede som omkostninger ud over de ressourcer, der i øjeblikket anvendes til metrologi inden for hovedområdet. Omkostningerne er delt i etablering (personer og udlæg) og vedligehold (personer).

**Tabel 5: Estimerede omkostninger**

<i>FELT</i>	<i>OPGAVE</i>	<i>Etablering</i>		<i>Vedligehold</i>
		<i>Person timer</i>	<i>Udlæg (Mkr)</i>	<i>Person timer</i>
Alle	Måleteknisk "hotline"			200 t
Alle	Etablering af erfagruppe			100 t
Kontakt	Generel opdatering/udskiftning af udstyr til primær kontakttermometri	750 t	1,13	1200 t
Kontakt	Etablering af fikspunktet Argons tripelpunkt samt etablering af faciliteter til kalibrering af kontakttermometre i området -190 °C til 40 °C	450 t	0,5	
Kontakt	Etablering af fikspunktet sølvs frysepunkt (kontakttermometri)	200 t	0,35	
Berøringsløs	Etablering af blackbody-fikspunktet sølvs frysepunkt (berøringsløs termometri)	120 t	1,2	350 t
Berøringsløs	Anskaffelse af højkvalitets infrarøde interpolations-termometre i området fra -30 °C til 300 °C			
Berøringsløs	Udvikling og etablering af metoder til berøringsløs måling af gastemperatur under høj temperatur og tryk			
Berøringsløs	Udvikling af metoder til hurtige temperaturmålinger i motorer mv. og optagelse af termografiske film med høj hastighed og rumlig opløsning			
Fugt	Udskiftning af spejlhygrometer	100 t	0,3	500 t
Fugt	Etablering af facilitet til kalibrering af fugtmåleinstrumenter ved lufttemperaturer under 0 °C	200 t	0,2	
Fugt	Udbygning af måleteknisk rådgivning og kursusvirksomhed inden for luftfugtighedsmåling og kalibrering	300 t		
Fugt	Kortlægning (udmåling) af den faktiske målenøjagtighed for typiske kommercielle sensorer til måling af lave	100 t		
<b>Totalt</b>		<b>2220 t</b>	<b>3,68</b>	<b>2350 t</b>

## 8. Appendikser

### 8.1 Akkrediterede kalibrerings- og prøvningslaboratorier med relation til hovedområdet

**Tabel 6: AKKREDITEREDE KALIBRERINGS- OG PRØVNINGSLABORATORIER VEDR. TEMPERATUR OG FUGT**

DANAK-akkrediteringsnr.	Laboratorium	Aktivitet
9	Force Technology	Temperatur (berøring)
19	Delta Dansk Elektronik, Lys og Akustik	Temperatur (berøringsløs: -30 til 300 °C) Fugt (Nationalt Referencelaboratorium)
22	Arepa Test & Kalibrering	Temperatur (berøring) + lufttemperatur
98	Forskningscenter Risø, DTU	Temperatur (berøring) Fugt
142	MTL Kalibrering	Temperatur (berøringsløs: -80 til 1600 °C) (Nationalt Referencelaboratorium)
200	Teknologisk Institut	Temperatur (berøring) + lufttemperatur (Nationalt Referencelaboratorium)
333	Bodycote Metech	Fugt
379	Novo Nordisk A/S	Temperatur (berøring)
433	Lundbeck A/S	Temperatur (berøring)
446	DONG Energy, måleteknisk laboratorium	Temperatur (berøring)
469	Buhl & Bønsøe A/S	Temperatur (berøring) + lufttemperatur Temperatur (berøringsløs: -20 til 80 °C)
484	Insatech A/S	Fugt
485	Electro-Oil Int. A/S	Temperatur (berøring)

Laboratorier med kalibrering af volumen- og energimålere, hvor temperatur også indgår som en del af akkrediteringen, er ikke medtaget, da de traditionelt hører under det metrologiske hovedområde flow.

### 8.2 Danske måleudstørsproducenter

**Tabel 7: DANSKE PRODUCENTER AF MÅLEUDSTYR MED RELATION TIL TEMPERATUR**

Producent	Måleudstyr
Ametek Denmark A/S	Kalibrаторer og følere
FLS Automation A/S	Temperaturskannere til procesanlæg
Senmatic	Industrifølere
Kjærulf Pedersen A/S	Temperaturfølere
Kamstrup	Varmeflowmålere
Danfoss	Gulvvarme, regulatorer mv.
Ellab	Følere
Brunata	Følere
Grundfos	Følere
Tempress	Følere
Innova	Følere

### 8.3 Høringspartnere

Første udgave af høringsplanen blev sendt i høring til arbejdsgruppens kontaktpersoner hos:

Præcisions Teknik A/S ved Henrik Quist (berøringsløs termometri inkl. termografiudstyr)

Fls Automation A/S ved Gert Slot (berøringsløs termometri IR-skannere)

Novo Nordisk Kalundborg ved Michael Brendy (berøringsløs termometri)

Ametek Denmark A/S ved Tom Hansen (kontakttermometri og berøringsløs termometri)

Novo Nordisk Metrology ved Jan Laursen (kontakttermometri inkl. fikspunkter)

Lundbeck A/S ved Hans Peter Hansen (kontakttermometri og luftfugtighed)

Novo Nordisk Kalundborg ved Peter Steen Jørgensen (Luftfugtighed)

Radiometer A/S ved Bettina Hjelmer (Luftfugtighed)

Ellab A/S ved Ken Vejebak (kontakttermometri og luftfugtighed)

Høringen gav anledning til en del kommentarer der er indarbejdet i handlingsplanen. Et uddrag af kommentarer og ønsker fra høringspartnerne udgives herunder:

- Ønske om mere kursusaktivitet på alle områder, omkring brug af udstyr kalibrering og måleusikkerhed.
- Specielt ønske om fugtkurser på højere niveau inkl. mere teori og hvor det forventes at deltagerne har en fornuftig basis viden.
- Ønske om at der etableres en måletekniker uddannelsen igen da virksomhederne har problemer med at få personale med kompetencerne i orden
- Ønske om etablering af ERFA grupper for kalibreringslaboratorier inden for fugtighed og temperatur.
- Ønske om at der fremadrettet fokuseres på udbredelse af kendskabet til måleusikkerhed indenfor temperaturmåling i industrien og i valideringssammenhæng
- Stor interesse for oprettelse af en måleteknisk "Hotline" + en "Opslags tavle" som kunne bruges som et ERFA gruppeagtigt forum. Der foreslås en hjemmeside med information omkring og henvisninger til området.
- Ønske om mulighed for kalibrering af kapacitive fugtsensorer ned  $-80$  °C.
- Ønske om fokus på måling af overfladetemperaturer, herunder hvordan bl.a. hvordan en overfladetemperatur relateres til temperaturen i mediet, og metoder til kalibrering.
- Ønske om mere fokus på temperaturmåling og kalibrering ved berøring, så Danmark kommer på niveau med eksempelvis Sverige. Herunder bl.a. mulighed for kalibrering af SPRT i området  $-196$  °C til  $660$  eller  $961$  °C
- Ønske om at kendskabet til anvendelse, vedligeholdelse og begrænsninger i brug af fikspunkter udbredes.