

## **Referat fra møde i ERFA-gruppe for temperaturmåling (13.11.2017)**

### **Indledning**

Det seneste møde i ERFA-gruppe for temperaturmåling blev afholdt hos AMETEK Denmark med 17 deltagere. Mødet bød på faglige oplæg fra DTU og Teknologisk Institut, samt rundvisning rundvisning hos AMETEK Denmark og nyt fra Teknologisk Institut om temperaturmetrologi i Danmark og udland.

Slideshows fra mødet lægges på Teknologisk Instituts hjemmeside.

Næste møde er planlagt til **d. 3. september 2018 hos Teknologisk Institut i Aarhus**, så reserver allerede nu datoen. Jeg vender tilbage med invitation og program et par måneder inden det næste møde.

### **Dagsorden**

10:00 – 10:15	Velkomst
10:15 – 11:00	Nyt fra deltagerne, inkl. problemstillinger til diskussion
11:00 – 11:20	Nyt fra Teknologisk Institut (1) ( <b>flyttet til 14:30</b> ) <ul style="list-style-type: none"><li>• Den næste resultatkontrakt – input?</li><li>• Måletekniske kurser</li></ul>
11:20 – 12:00	Tema: Infrarød temperaturmåling og usikkerhed (v. Sønnik Clausen, DTU) <ul style="list-style-type: none"><li>• Emissivitet af overflader og betydning</li><li>• IR teknologi: forsknings- og udviklingsaktiviteter</li></ul>
12:00 – 12:45	Frokost
12:45 – 13:45	Faglig præsentation og rundvisning – AMETEK Denmark
13:50 – 14:30	Tema: Kalibrering og udmåling af tørblokkalibratorer (v. Søren Lindholt Andersen, TI) <ul style="list-style-type: none"><li>• Kort om kalibrering af tørblokkalibratorer</li><li>• Diskussion af den nye EURAMET guideline</li><li>• Projektmuligheder nationalt og internationalt</li><li>• Nye måletekniske guidelines</li></ul>
14:30 – 14:50	Nyt fra Teknologisk Institut (2)
14:50 – 15:00	Næste møde og afrunding

### **Deltagere**

Tom Hansen (AMETEK Denmark A/S), Sønnik Clausen (DTU Kemiteknik), Jan Laursen (Novo Nordisk A/S), Jakob Konradsen (EUPRY ApS), John Domino (Kamstrup A/S), Renny Stæhr Carlsen (FORCE Technology), Lene Maribo Schou (Buhl & Bønsøe A/S), John Bruun Madsen (Novo Nordisk A/S), Mads Sønder (H. Lundbeck A/S), Ole B. Christiansen (H. Lundbeck A/S), René Wilche (EXOVA METECH A/S), Peder Madsen (Senmatic A/S), Kurt Jørgensen (Chr. Hansen Holding A/S), Pernille Nissen (EXOVA METECH A/S), Christian Raavig (EXOVA METECH A/S), Jan Haakon Harslund (AMETEK Denmark A/S), Søren Lindholt Andersen (Teknologisk Institut)

### **Velkomst**

Vores værter fra AMETEK Denmark bød velkommen med en kop kaffe og en bid brød, og der blev netværket på tværs i gruppen inden vi gik videre til dagens øvrige program. Godt at se så mange fremmødte til mødet.

## **Nyt fra deltagerne og diskussion**

Vi havde en del nye folk med på mødet, så vi startede med en kort introduktion af alle deltagere. Herefter diskuterede vi drift og ældning af sensorer der blev spurgt ind til, hvordan de forskellige medlemmer af gruppen håndterer drift af temperatursensorer.

Ift. drift af termokoblere er en række legeringer af platin og rhodium blevet undersøgt for at minimere driften af termoføleren ved høj temperatur. Den kan I læse mere om her:

[https://www.strath.ac.uk/media/1newwebsite/centres/advancedformingresearchcentre/documents/EMPRESS\\_summary\\_sept2017.pdf](https://www.strath.ac.uk/media/1newwebsite/centres/advancedformingresearchcentre/documents/EMPRESS_summary_sept2017.pdf)

Diameteren af føleren kan også betyde noget for driften af termofølerne. Det kan man læse mere om her:

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/588/1/012016/pdf>

Desuden blev det diskuteret, hvor mange gange man typisk udgløder temperaturfølerne (Pt100) for at opnå stabilitet. Alt mellem 10 og 20 gange blev nævnt, men det er svært at komme med et facit da følere er forskellige, og det er noget man må undersøge nærmere for netop den applikation man har.

## **Infrarød temperaturmåling og usikkerhed**

Sønnik Clausen, DTU, gav et oplæg om infrarød temperaturmåling med specielt fokus på emissiviteten af overflader og relaterede bidrag til usikkerhedsbudgettet. Desuden blev DTU's forskningsaktiviteter også berørt. Se i øvrigt vedlagte slides fra DTU.

## **Kalibrering og udmåling af tørblokkalibratorer**

Oplæg fra Teknologisk Institut, hvor vi diskuterede for og imod udmåling ved kalibrering af tørblokke. Den nye EURAMET guideline blev diskuteret. Se vedlagte slides.

## **Nyt fra Teknologisk Institut**

I 2018 bliver der vedtaget en ny definition af temperaturenheden, Kelvin, så definitionen ikke tager udgangspunkt i vands trippelpunkt, men derimod i en definition af værdien af Boltzmanns konstant (se mere på [EURAMETs hjemmeside](#)). Se vedlagte slides for mere info fra Teknologisk Institut.

## **Afrunding**

Næste møde planlægges til 3/9 2018 hos Teknologisk Institut i Aarhus.

LinkedIN-gruppe: Find os på <https://www.linkedin.com/groups/8565651> – I skal blot bede om medlemskab, så accepter jeg efterfølgende anmodningen.

Forslag til emner på næste møde: Den nye Kelvin.

Venlig hilsen og på gensyn i september 2018,

Søren Lindholt Andersen

Konsulent hos Teknologisk Institut



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

it's all about innovation



# Erfa-gruppe for temperaturmåling

## 13.11.2017 – AMETEK Denmark

Tema: Infrarød temperaturmåling og tørblokkkalibratorer

# Velkommen

Dagens program:

10:00 – 10:15	Velkomst
10:15 – 11:00	Nyt fra deltagerne, inkl. problemstillinger til diskussion
11:00 – 11:20	Nyt fra Teknologisk Institut (1)
11:20 – 12:00	Tema: Infrarød temperaturmåling og usikkerhed (v. Sønnik Clausen, DTU)
12:00 – 12:45	Frokost
12:45 – 13:45	Faglig præsentation og rundvisning – AMETEK Denmark
13:50 – 14:30	Tema: Kalibrering og udmåling af tørblokkalibratorer (v. Søren L. Andersen, TI)
14:30 – 14:50	Nyt fra Teknologisk Institut (2)
14:50 – 15:00	Næste møde og afrunding

# Nyt fra deltagerne

- Fortæl kort om dig selv og din virksomhed i relation til emnet temperaturmåling
- Hvad er der sket siden sidst?
- Hvorfor måler du temperaturen? Procesparameter, kvalitetskontrol, etc.?
- Aktuel problemstilling i relation til temperaturmåling

# Nyt fra Teknologisk Institut (1)

Temperatur erfagruppemøde – november 2017

Søren Lindholt Andersen, Teknologisk Institut

# Resultatkontrakt 2019 – 2020

Styrelsen for Forskning og Uddannelse

- Tak for støtten til nuværende resultatkontrakt ☺
  - Artikel i Teknisk Nyt
  - Nye og forbedrede CMC'er (kryostat, bade)
- Inden længe går forhandlingerne om den nye resultatkontrakt mellem GTS-institutterne og SFU igang
- Hvad er der behov for i relation til metrologi/temperaturmåling
- Input?

## Ang. CMC'er:

- Nye CMC'er fra -180 °C til -80 °C (kryostat)
- Nye og forbedrede CMC'er fra -90 °C til 550 °C
- Forbedring på tørblokkalibratorer fra -45 °C til 660 °C



The screenshot shows a news article from the website BedreInnovation.dk. The article is titled "Metrologi – til industri og samfund" (Metrology – for industry and society) and is attributed to Jan Nielsen, Seksionsleder, with the email jnn@teknologisk.dk. The text mentions the article was sent by Teknologisk Institut in categories such as Byggeri og anlæg, Energi, Informations- og Kommunikationsteknologi, Klima og miljø, Materialeteknologi, Produktions teknologi, Service og offentlig innovation, Sundhed & fødevarer, and Transport. Below the article, there is a photograph of a complex industrial setup involving a large white flexible hose connected to a device emitting a significant amount of white vapor or steam.

# Kurser og Temadage

- Infrarød temperatur – måling og kalibrering (7. februar i Aarhus)
- Temperatur – måling og kalibrering (10.–11. april i Taastrup, 30.–31. oktober i Aarhus)
- Kender du din temperaturkalibrator? (1. november i Aarhus, i løbet af foråret?)
- Contact Thermometry – training course (15.-16. maj i Aarhus)
  
- Virksomhedstilpassede kurser indenfor metrologi
  
- Metrologidag maj 2018: Nyt SI enhedssystem i 2018 med ny definition af K
  - Teknologisk Institut er vært i 2018
  - Temperaturmåling er oplagt som gennemgående emne
  
- Temperaturdag til efteråret 2018?

# Tiltag på luft temperatur

- Ny ringkalibrering på lufttemperatur (se invitation). Den understøtter laboratorier der er omfattet af DANAks AML K05 [http://www2.danak.dk/akkreditering/AML/AML\\_K05.pdf](http://www2.danak.dk/akkreditering/AML/AML_K05.pdf) og laboratorier der måler relativ luftfugtighed.
- Lufttemperatur er også emnet for et nyt EURAMET projekt, som skal munde ud i en guideline for kalibrering af lufttemperatursensorer.
- Find relevante præsentationer om lufttemperatur fra Meteomet2-projektet på: <https://www.meteomet.org/> til dem der måtte være interesserede i emnet.

Til den laboratorieansvarlige

16. oktober 2017  
JNN/MRI

## Invitation til ringkalibreringer inden for fugt og lufttemperatur

Teknologisk Instituts kalibreringslaboratorier inviterer herved Deres laboratorium til at deltage i en ringkalibrering vedrørende parametrene relativ luftfugtighed og lufttemperatur.

En pakke, der indeholder følgende emner, bliver cirkuleret:

Digitalt hygrometer af typen Rotronic Hygropalm HP22 med Hygroclip HC 2-S sensor.

Digitalt termometer af typen Rotronic Hygropalm TP22 med AC 1909 lufttemperatur sensor.

Omfangen er:

Luftfugtighed: 23 °C/10 %rh, 23 °C/50 %rh, 23 °C/95 %rh, 45 °C/10 %rh,  
45 °C/50 %rh, 45 °C/90 %rh,

Temperatur: 0 °C, 10 °C, 30 °C, 50 °C, 70 °C

Det er muligt at deltage i blot én af parametrene eller et delområde.

Deltagerne skal anvende deres standardprocedure ved kalibreringen, men kalibringen skal udføres i luft eller kvælstof.

# Tema: Kalibrering og udmåling af tørblokkkalibratorer

Temperatur erfaggruppemøde – november 2017

Søren Lindholt Andersen, Teknologisk Institut

## Metrologisk sporbarhed

Definition

# Reproducerbarhed gennem sporbarhed

Målingen

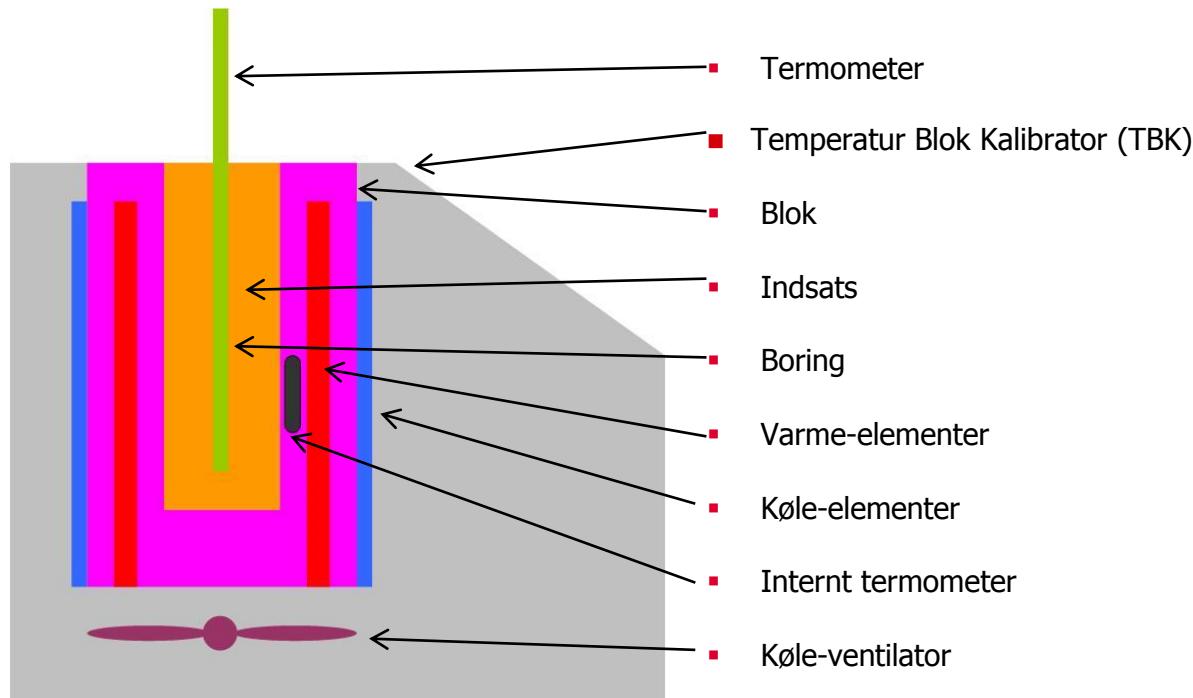
Underestimerede usikkerheder bryder sporbarhedskæden og  
reproducerbarheden ryger

## Tørblok-kalibratorer

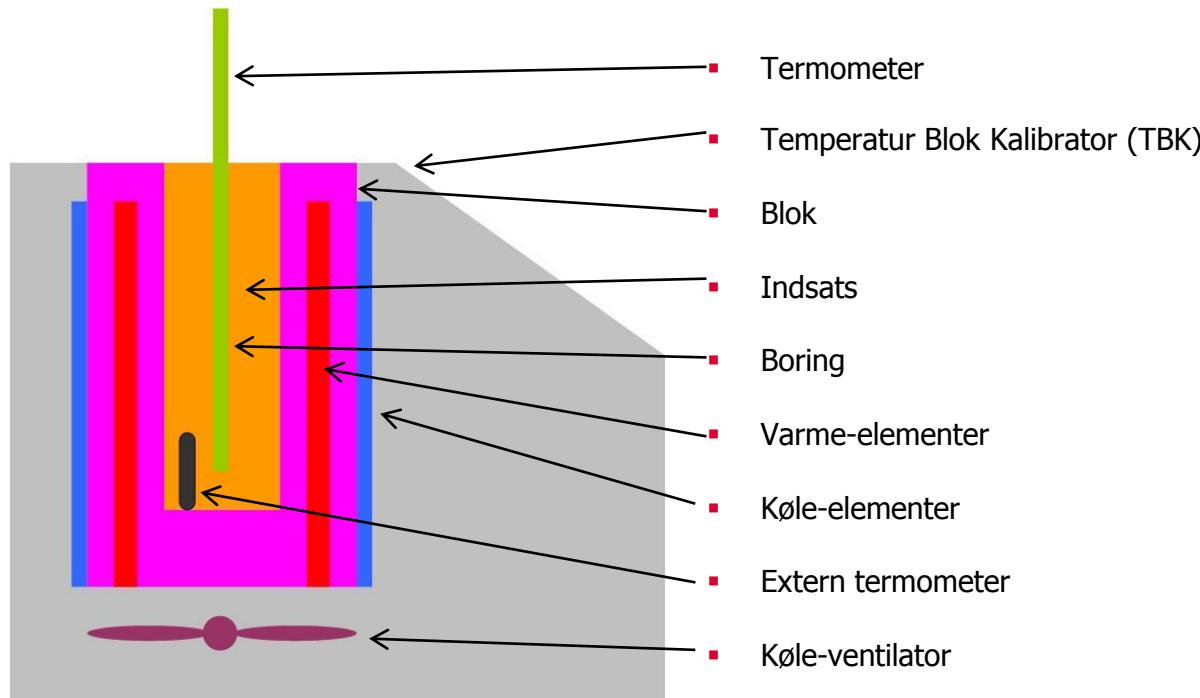


- Måleområde: -100 °C til 1200 °C
- Fordeler
  - Lille
  - Let (nok)
  - Stort temperaturområde
  - Hurtig opvarmning og nedkøling
- Ulemper
  - Kort indstiksdybde
  - Load følsom
  - Mange fælder (uddannelse)

## Hvad er en tørblokkalibrator - Terminologi



## Hvad er en tørblokkalibrator - Terminologi



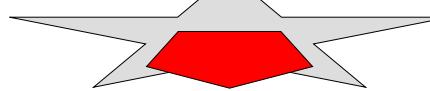
## Usikkerheder ved brug af tørblokkalibrator

- Loading ☺
- Aksial gradient ☹
- Radial gradient ☺
- Referencetermometer
  - Hysterese ☺
  - Opløsning ☺
  - Drift ☺
  - Kalibreringsusikkerhed ☺
- Stabilitet ☺
- Immersion ☹
- Termisk kontakt ☹

Metode

Miljø

System

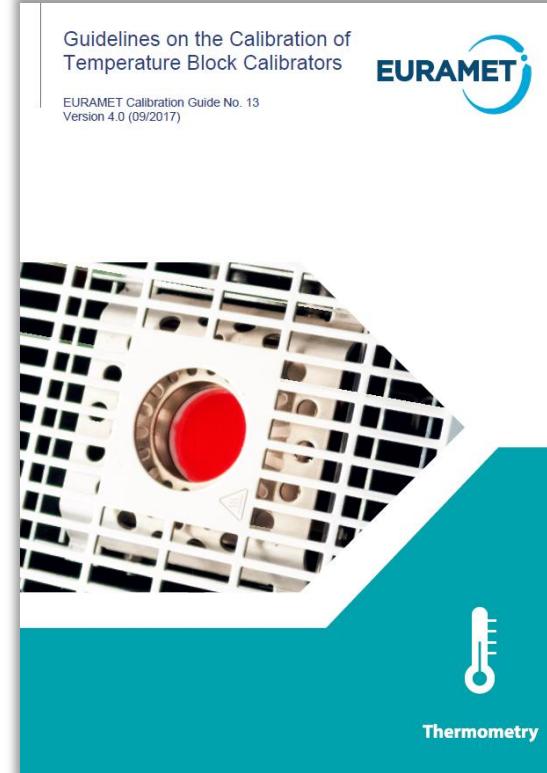


Observatør

Vekselvirkning

## EURAMET Guideline

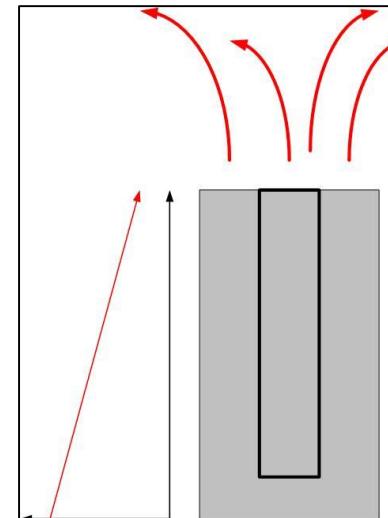
- Usikkerhedskomponenter
  - Referencen
    - kalibreringsusikkerhed
    - evt. terminalusikkerhed
    - drift
  - Opløsning dut
  - Radial gradient
  - Hysterese
  - Aksial gradient
  - Loading
  - Stabilitet
  - Korttidsstabilitet



- <https://www.euramet.org/publications-media-centre/cgs-and-tgs/>

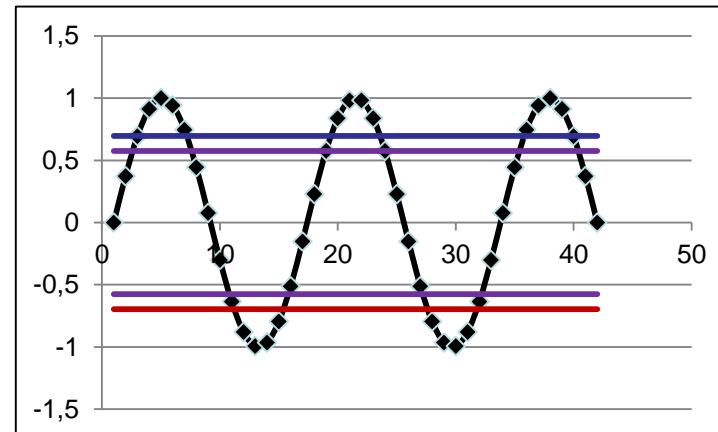
# TBK – Aksial homogenitet

- Aksial temperatur homogenitet i indsatsens målezone
  - Undersøges ved den temperatur der afviger mest fra rumtemperatur
  - Hvis TBK kan køles undersøges den aksiale homogenitet også ved den laveste temperatur.
  - Ved andre temperaturer benyttes interpolation mellem de fundne resultater
- Tre metoder
  - Kort sensor længde
    - bund
    - 20 mm
    - 40mm
    - bund
  - Lang sensor længde
    - bund
    - 20 mm
    - bund
  - Differentiel termokabler
    - Måler direkte temperaturforskellen
    - 0 °C skal sikres regelmæssigt



## Stabilitet

- 30 minutters stabilitet (efter ligevægt)
- MAK5-MIN noteres
- Udføres ved højeste, laveste og rumtemperatur
- Hvis den højeste/laveste er lig rumtemperatur skal den tredje temperatur vælges som  $(højeste-laveste)/2$
- Hvornår tror din TBK den er stabil?
- Hvornår er den så stabil?



## Samlet usikkerhedsbudget

A.1.15 Uncertainty budget:

quantity $x_i$	Description	Estimate $x_i$	Standard uncertainty $u(x_i)$	Distribution	Sensitivity coefficient $c_i$	Uncertainty contribution $u_i(y)$
$t_s$	Temp. of reference thermometer	180,10 °C	15 mK	normal	1,0	15 mK
$\delta t_s$	Corr. for resistance measurement	0,00 K	10 mK	normal	1,0	-10 mK
$\delta t_D$	Drift of resistance thermometer	0,00 K	23 mK	rectangular	1,0	23 mK
$\delta t_{ix}$	Resolution of indicator	0,00 K	29 mK	rectangular	1,0	-29 mK
$\delta t_R$	Temp. diff. between borings	0,00 K	40 mK	rectangular	1,0	40 mK
$\delta t_H$	Hysteresis effects	0,00 K	29 mK	rectangular	1,0	29 mK
$\delta t_B$	Axial inhomogeneity	0,00 K	144 mK	rectangular	1,0	144 mK
$\delta t_L$	Loading effects	0,00 K	29 mK	rectangular	1,0	29 mK
$\delta t_V$	Stability in time	0,00 K	17 mK	rectangular	1,0	17 mK
$t_x$		180,10 °C				161 mK

## TBK – loading effekter

- Relevant hvis man arbejder med små usikkerheder på sin tørblok
- Resultater fra tørblok uden load og med load sammenlignes
- Forskellen er MAKS-MIN estimat for load-effekten
- Den "simulerede load" kan være metalstænger – rigtige termometre eller keramiske stave
- Undersøges ved "ekstremal temperaturerne"



# Tørblokkalibratorer

- Diskutér i grupper på 2-3 personer hvor du bruger tørblokkalibratorer til temperaturkalibrering i din organisation.
- Er der steder, hvor temperaturmålingen er særlig kritisk og hvor der anvendes tørblokkalibratorer til kalibrering?
- Er der taget de rette forholdsregler for at minimere fejl ved kalibrering, så den ægte sprobarhed helt ud i processen/kvalitetskontrollen/etc. bevares?
- Vi fører diskussionen videre til hele gruppen.

# Nyt fra Teknologisk Institut (2)

Temperatur erfagruppemøde – november 2017

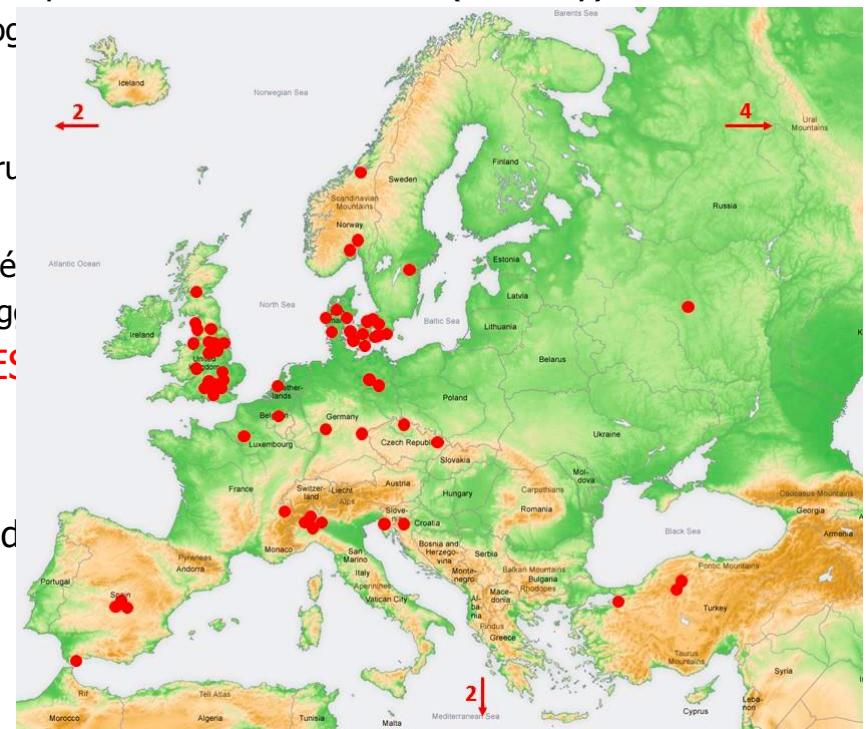
Søren Lindholt Andersen, Teknologisk Institut

# Projektmuligheder

- Innovationsfonden: Grand Solutions, Innobooster
- Andre muligheder: EUDP, ELFORSK, Dansk Fjernvarme + Horizon 2020 og EMPIR
- Vi har meget fokus på Forskning- og Udviklingsprojekter og leder ofte efter industrielle samarbejdspartnere. Har du en god ide, så kommer vi gerne og diskuterer mulighederne.
- **Eksempel 1:** "Energilagring i aluminiums faseovergang" En slags storskala Al-fikspunkt
- **Eksempel 2:** "Metrologi og Big Data – Kvalitetskontrol i fremtiden" Kombiner sporbare målinger til at forudsige driftparametre.
- **Eksempel 3:** "Clamp-on temperaturmåling i industrielle processer"

# EMPIR kaldene 2017 og 2018

- 2017-kaldet: Deltager i 2. runde som partner på 2 projekter indenfor temperaturmåling:
  1. Enhanced Process Efficiency Through Improved Temperature Measurement 2 (Industry)
    - a) Videreudvikling af fosfortermometri up til 1000 °C og
    - b) Ny driftoptimeret Pt-40%Rh/Pt-6%Rh termokobler
    - c) Temperaturmåling i forbrændingsprocesser (DTU)
    - d) Ny forfortermometribaseret, fiberoptisk sensor til bru
  2. Energy Performance of Buildings (Normative)
    - a) Sammenfat anbefalinger til standardiseringskomité
    - b) Mål: EPB kan fastsættes for bygninger i brug på baggrund af teknologi
- Tak for hjælpen med Letters of Support på EMPIRE!
- 2018-kaldet:
  - Health. Metrologiske problemstillingen indenfor sundhed
  - SI
  - Normative



# EURAMET – Technical Committee for Thermometry

- Dækker: temperatur, fugt og termofysiske egenskaber
- Medlemmer fra TI: Jan Nielsen (kontaktperson), Søren Lindholt Andersen (Best-practice group og termofysiske egenskaber)
- Årligt møde i TC-T blev afholdt 25. – 28. april i Madrid (næste år hos RISE i Sverige)
- Highlights
  - EURAMET K9 – Ar til Zn
  - TI's CMC'er på lufttemperatur godkendt i EURAMET
  - Sammenligning på kalibrering af overfladetermometre
  - Nye guidelines på kalibrering af temperaturkalibratorer og lufttemperatur er ude
  - Ny guideline til kalibrering og måling af overfladetemperatur under udarbejdelse
  - Ny guideline til kalibrering og måling med termokoblere under udarbejdelse

# Nyt SI-system i 2018 + arrangementer



- Ingen indflydelse på den praktiske temperaturmåling
- Workshop om den nye Kelvin i Paris d. 8. december 2017 med henblik på EMPIR til næste år

## Øvrige arrangementer:

- Workshop hos NPL i London d. 6. december 2017 angående brugen af termofølere i industrien
- EMPRESS Workshop hos NPL d. 18. april 2018.
- IMEKO World Congress i Belfast i September 2018

# Afrunding

- Næste møde: dato og sted?
- Kommentarer til dagen?
- Forslag til tema ved næste møde?
- Eksterne oplægsholder?

# Infrarød temperaturmåling og usikkerhed

- Emissivitet af overflader og betydning
- IR-teknologi: forsknings- og udviklingsaktiviteter

Sønnik Clausen  
Senior Scientist

# Temperurlaboratoriet på Risø



Mogens Kirkegaard

Laboratorieleder, kvalitetsansvarlig, Kalibrering, Foredrag  
Kunderådgivning

Civilingeniør

moki@kt.dtu.dk



Finn Eliasen

Kalibrering, Måleopgaver, Kunderådgivning

Maskinmester

fiel@kt.dtu.dk



Sønnik Clausen

IR-kalibrering, Måleopgaver, Foredrag,  
Kunderådgivning og Forskning

Ph.D., Senior Forsker

sqcl@kt.dtu.dk



Alexander Fateev

Senior Researcher

Mail: alfa@kt.dtu.dk

Phone: +45 23652906

# Temperature Calibration

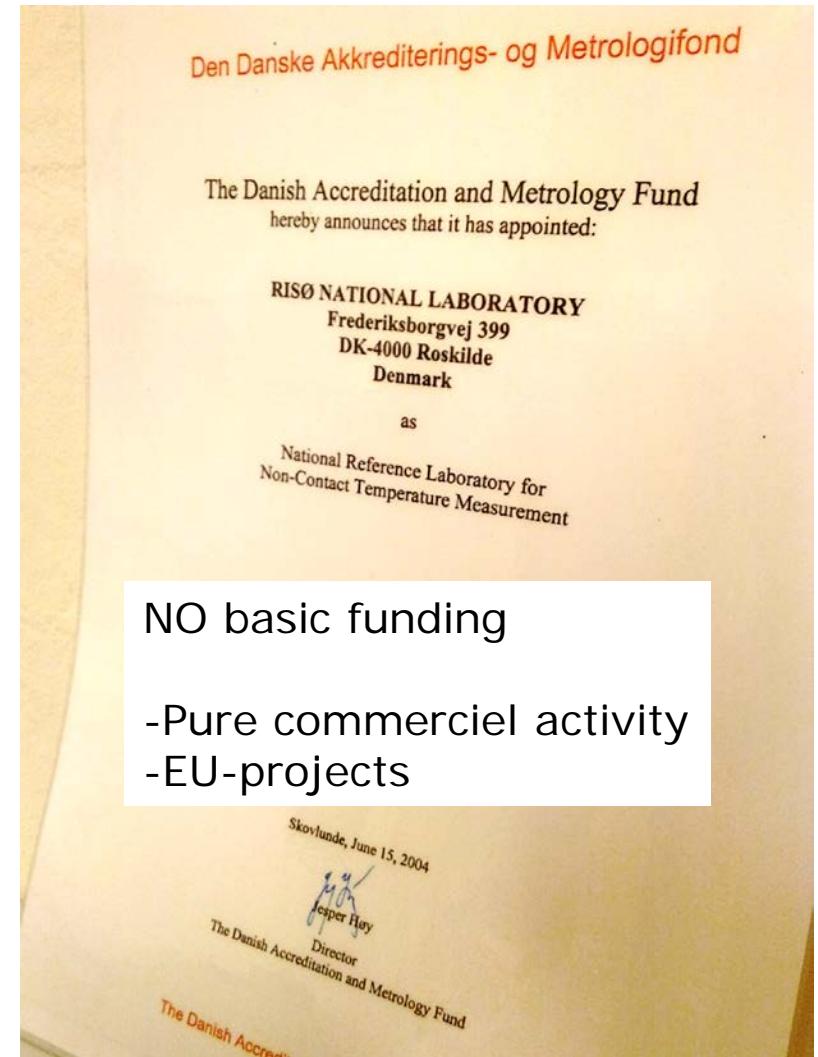
Service since 1960's (nuclear)  
Contact temperature calibration  
*Mogens Kirkegaard, Finn Eliasen*

Ca.20 years non-contact temperature  
calibration and emissivity measurements  
*Sønnik Clausen*


 $T_o$ 

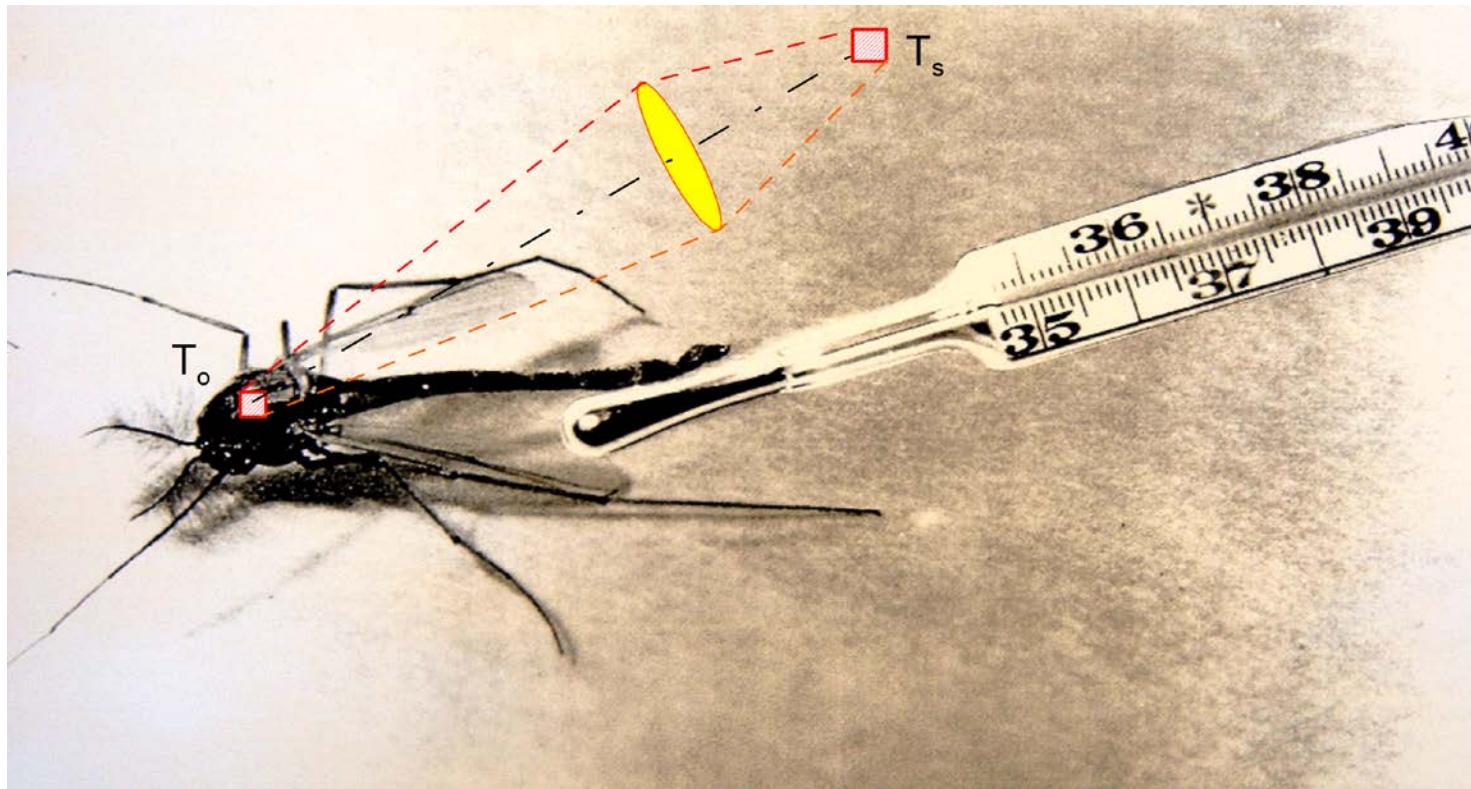
QS, accredited, NMI/DI

Fast service, high quality, flexible,...



# Infrarød (IR) temperaturmåling

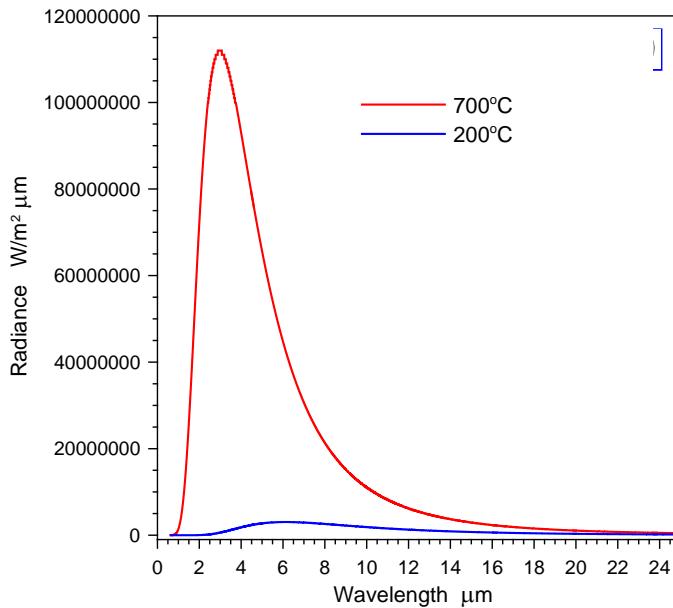
- Berøringsløs
- Hurtig
- Overflader, gas, partikler
- Emissivitet?
- Nøjagtighed
- Pris, snavs, ...



# Plancks lov

- ITS-90
- Alle formler kan udledes herfra.

$$L(T, \lambda) = \frac{2\pi C_1}{C_2} \frac{T^3}{\lambda^5 (e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1)} [W / m^2(d\lambda)]$$



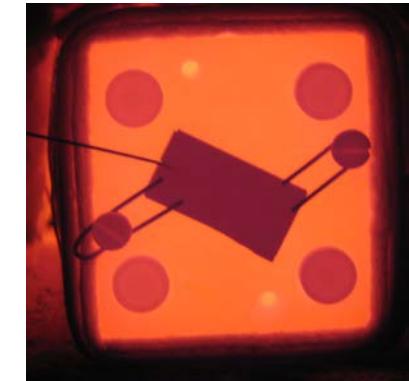
$$E_{BB}(T) = \sigma T^4 [W / m^2]$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2896 \mu\text{m}}{T}$$

# Definition of Emissivity

**EMISSION COEFFICIENT (EMISSIVITY,  $\epsilon$ ) :**

FRACTION OF RADIATED THERMAL RADIATION  
FROM SURFACE COMPARED TO RADIATED ENERGY  
FROM A BLACKBODY AT SAME TEMPERATURE



$$\epsilon = \frac{\text{RADIATED ENERGY FROM SURFACE at } T}{\text{RADIATED ENERGY FROM BLACKBODY at } T}$$

OR

*Radiation SURFACE* =  $\epsilon(T, \lambda) \cdot$  *Radiation BLACKBODY*

*Emissivity dependents on temperature and wavelength*

# IR temperaturmåling

- Usikkerhed måling instrument
- Emissivitet af overflade
- Omgivelser \*

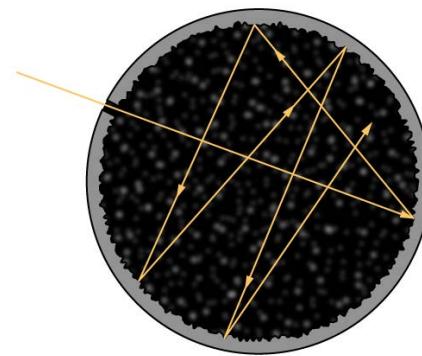
\*

- a) Reflekteret lys
- b) Temperaturforhold instrument
- c) Smuds
- d) Absorption gas i luften



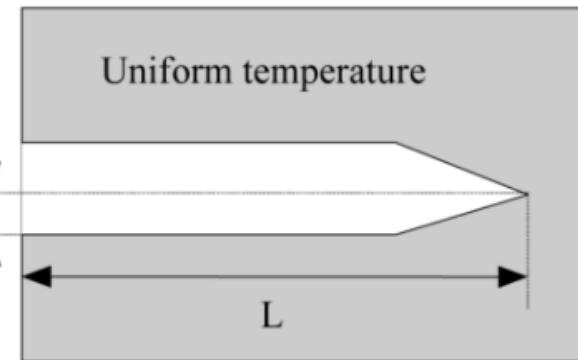
# Kalibrering med Blackbody

- Blackbody kavitet ( $\epsilon \approx 1$ )
- IR-kalibrator ( $\epsilon \approx 0.95$ )
- Reference IR termometer



DTU anvender blackbody ved kendt temperatur og emissivitet som reference. Åbning typisk ø50 mm.

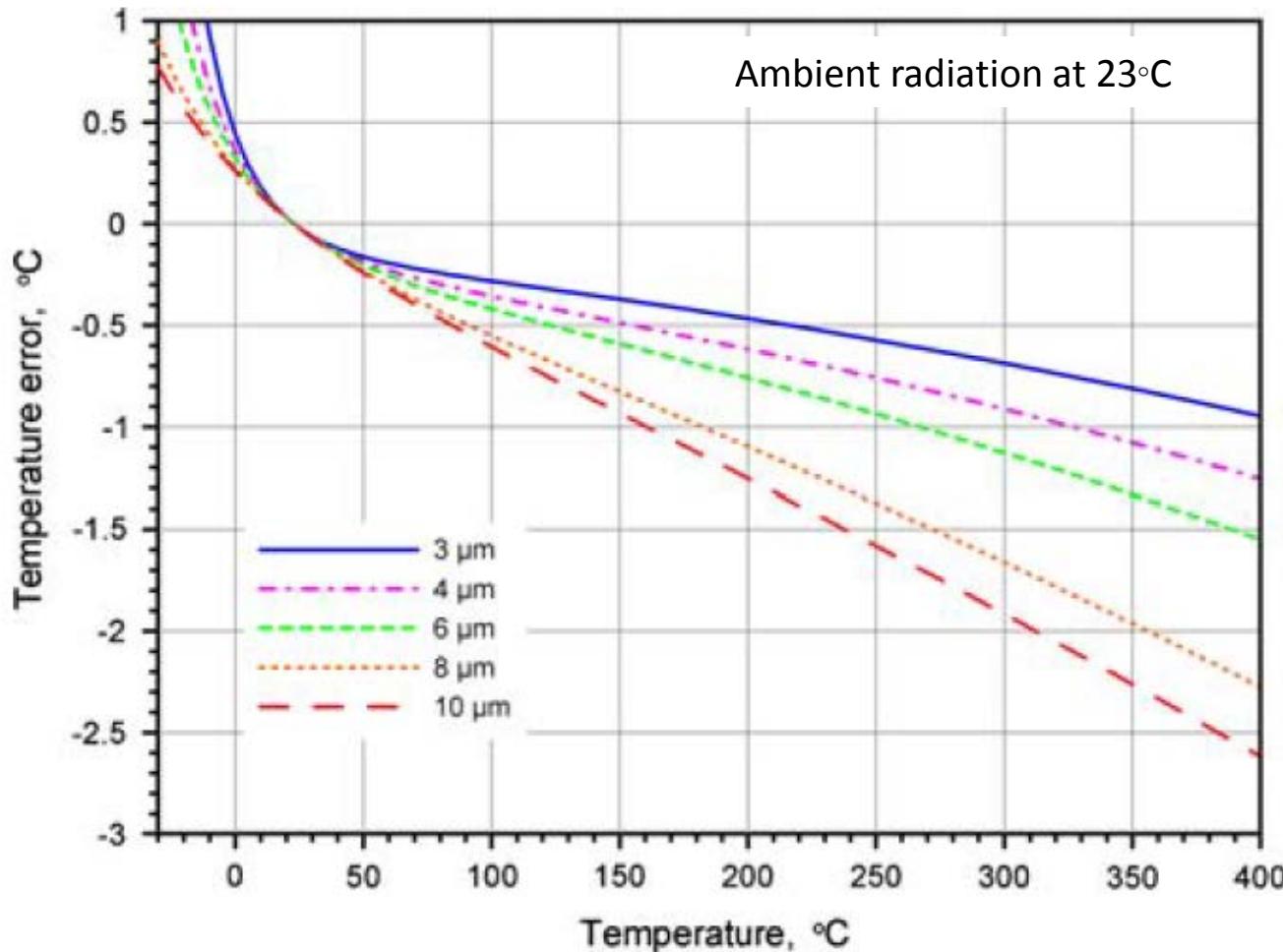
$\epsilon$  typisk  $> 0.9995$



Gråt legeme er et teoretisk begreb, anvendes typisk i beregninger.



# 1% error emissivity



8-14 μm IR-termometer: brug 10 μm

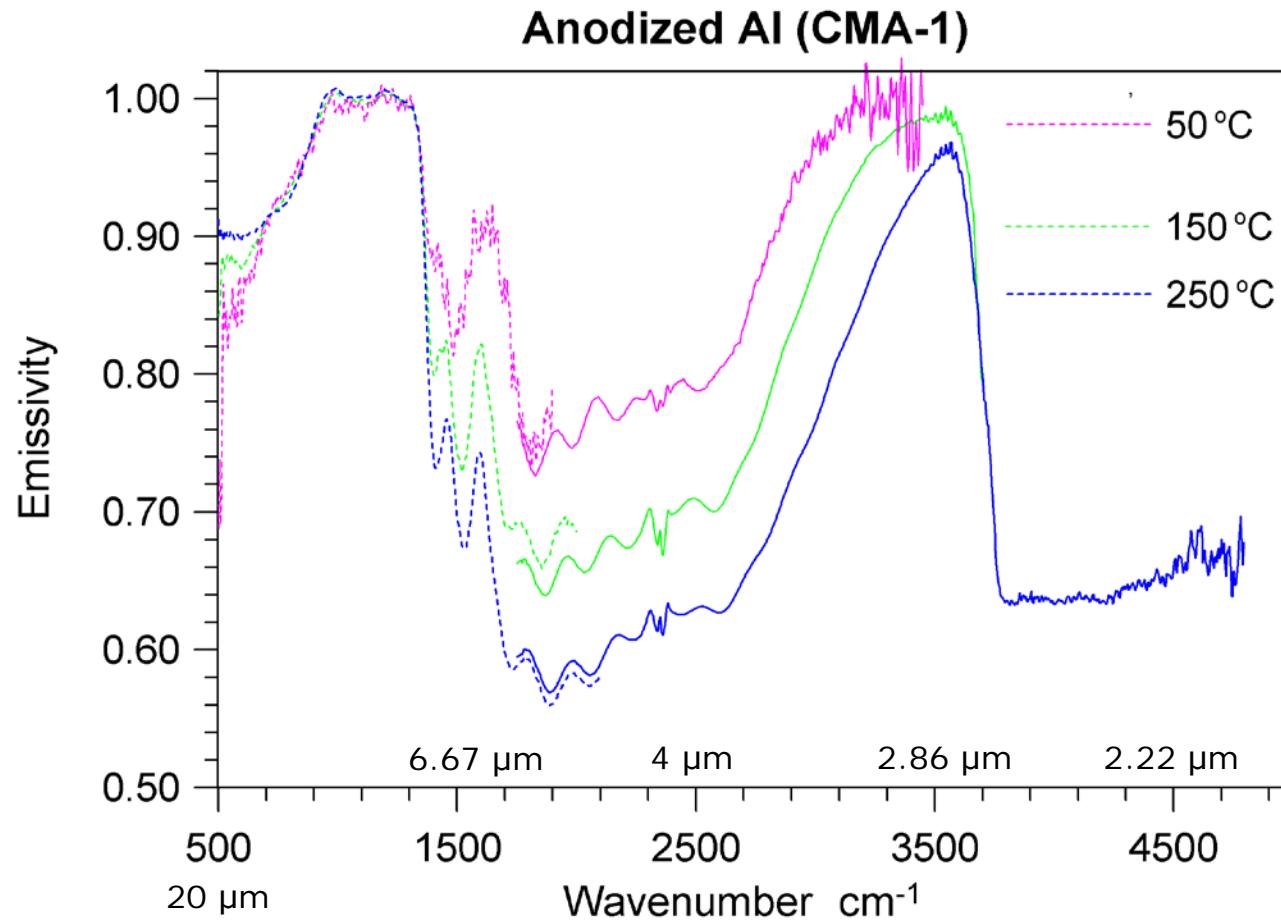
# USIKKERHED

$$\Delta T = \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \frac{T^2 \lambda}{C_2}$$

- Jo lavere temperatur jo mindre fejl
- Kortere bølgelængde – lavere fejl
- Overflader med høj emissivitet – lavere fejl

*Gælder for en-farve pyrometer, og når der ses bort fra refleksioner*

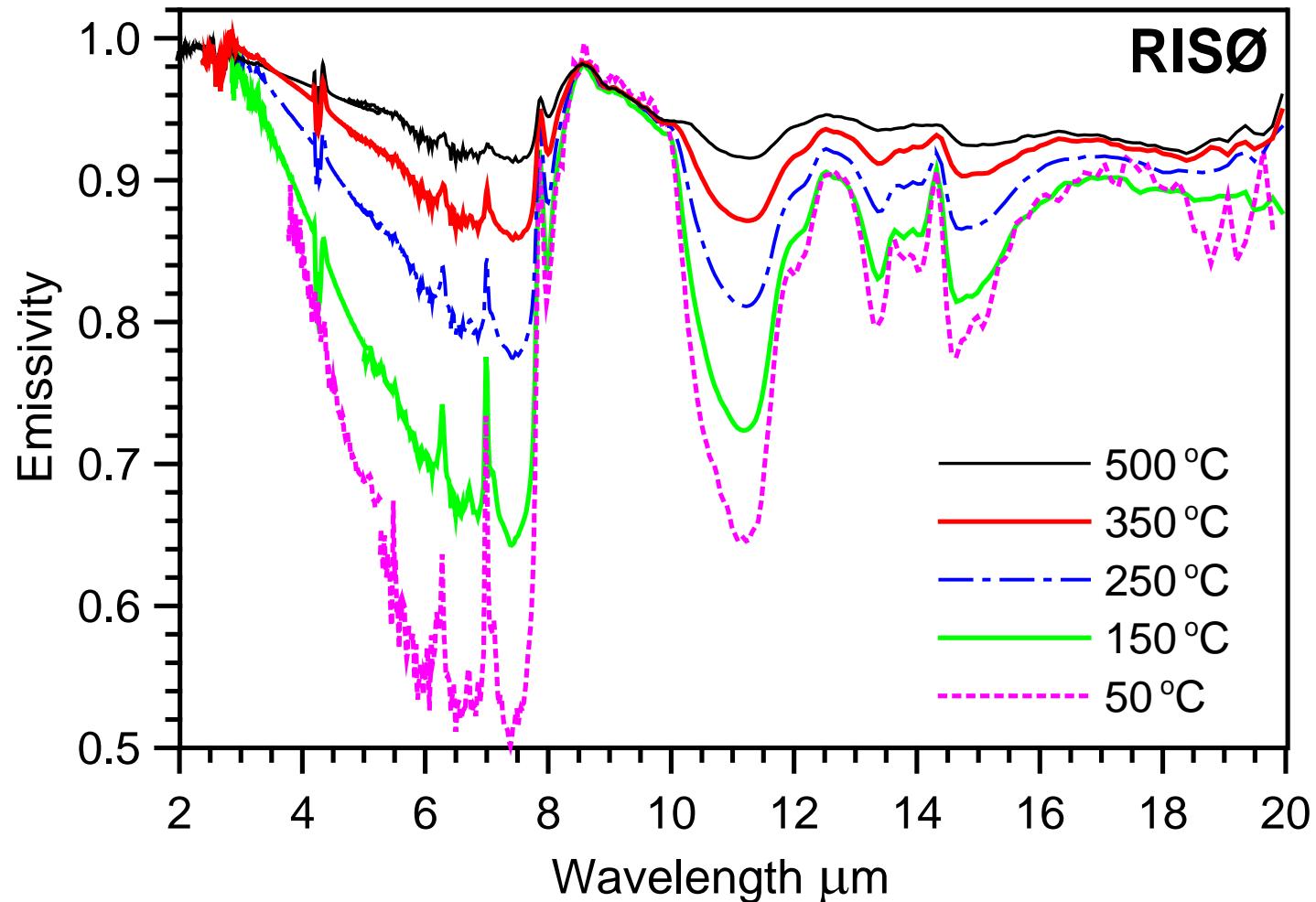
# Emissivitet af aluminiumsoverflade



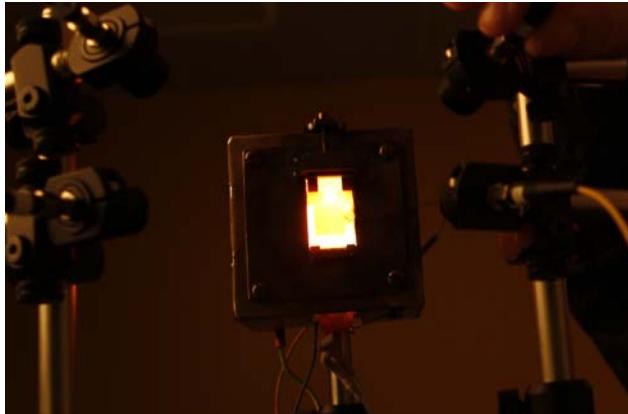
X-akse i bølgetal  $1/\lambda$  (antal bølger per cm.).

# Emissivity Coating Thickness

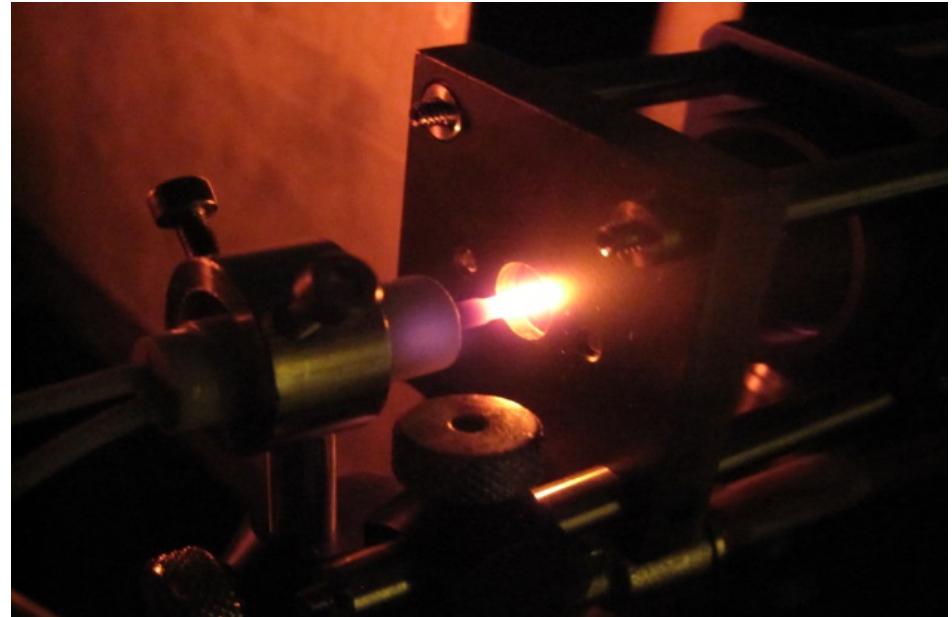
Al / Pyromark (VSL-4)



# Spectral emissivity measurement



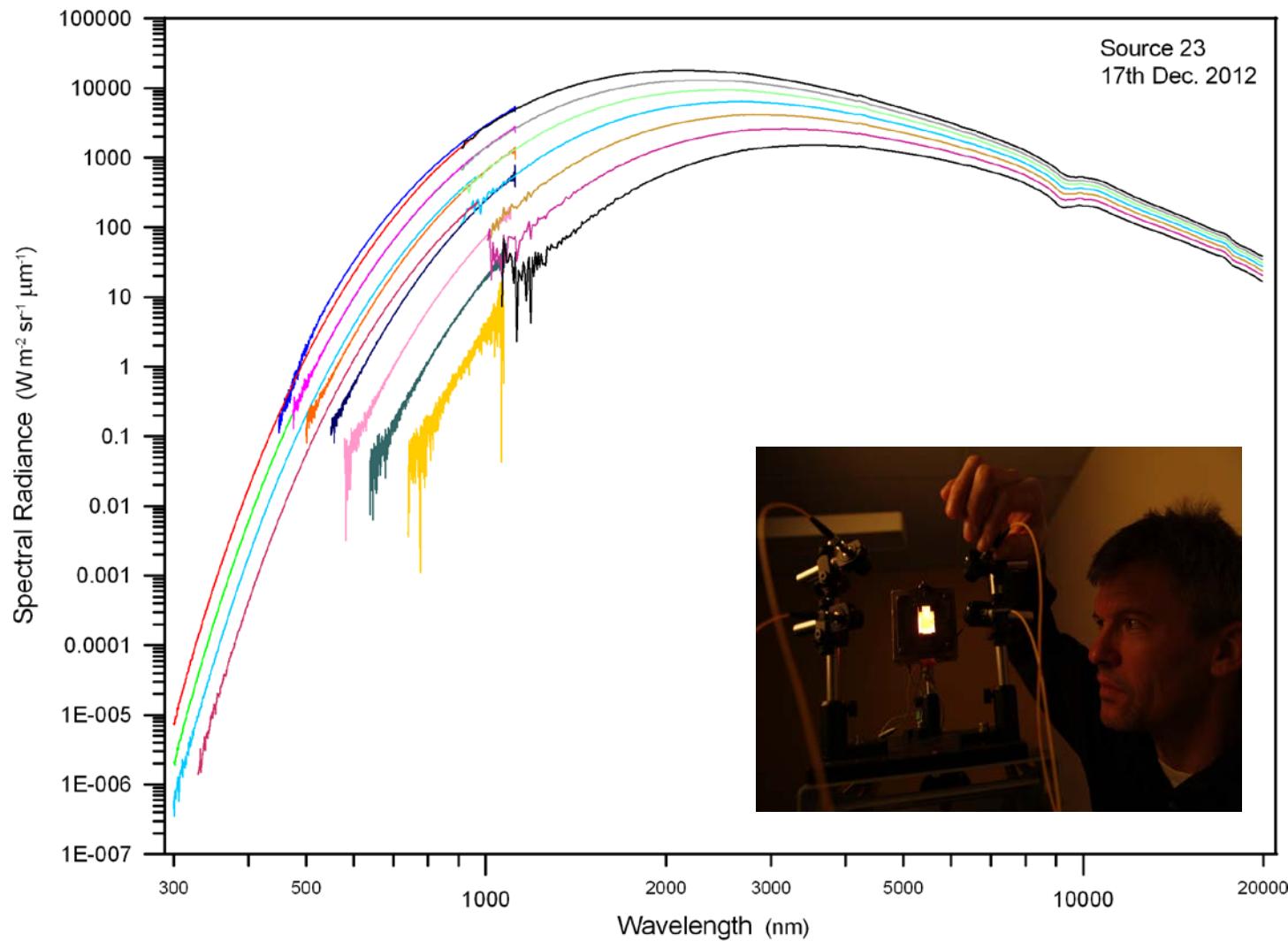
Laser heated sample



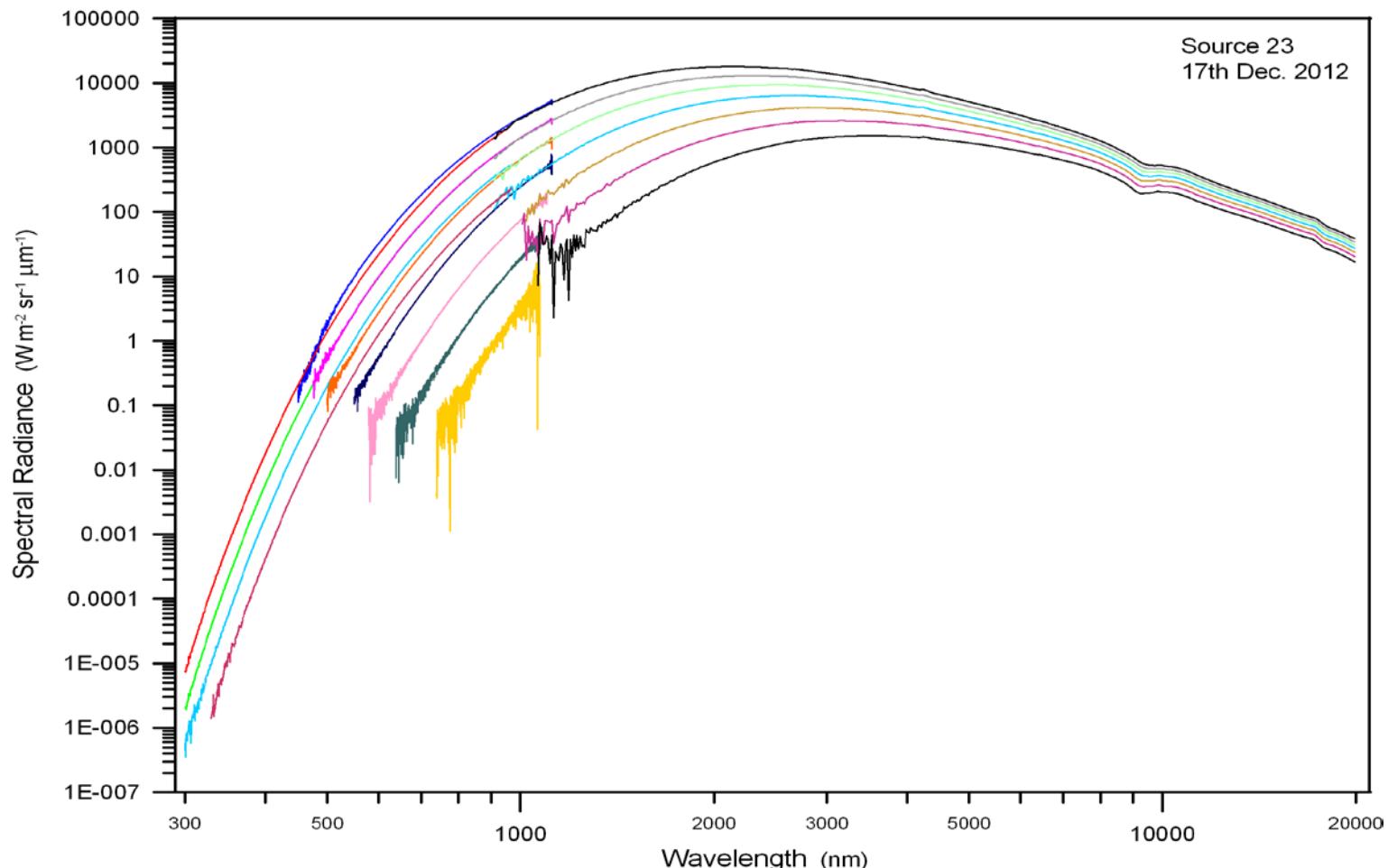
Small IR sources

Spectral range: 200nm – 20 µm  
Temperature: -80 - 1600° C

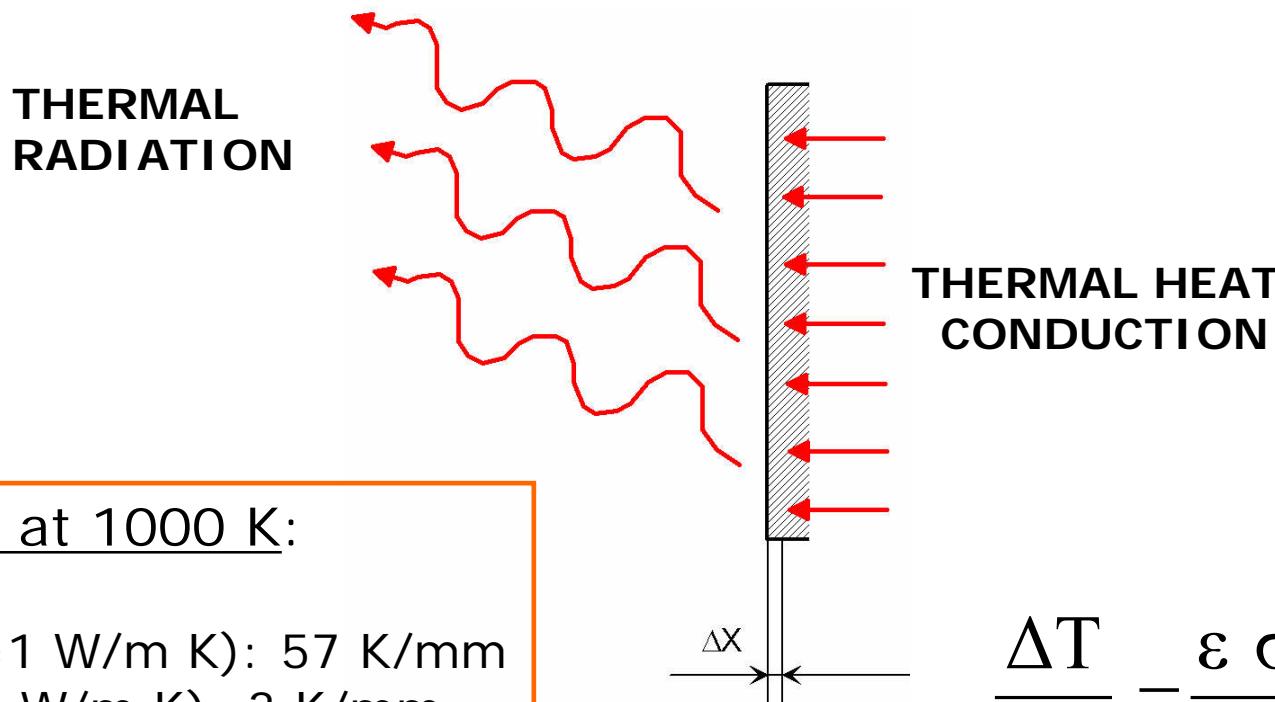
# Spectral radiance



# Emissivity IR source 0.3 – 20 $\mu\text{m}$



# Temperature Gradient



Example at 1000 K:

Glass ( $k=1$  W/m K): 57 K/mm

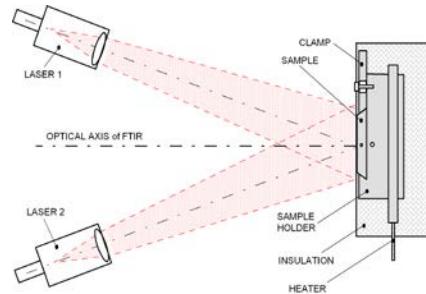
SS ( $k=17$  W/m K): 3 K/mm

Al ( $k=160$  W/m K): 0.4 K/mm

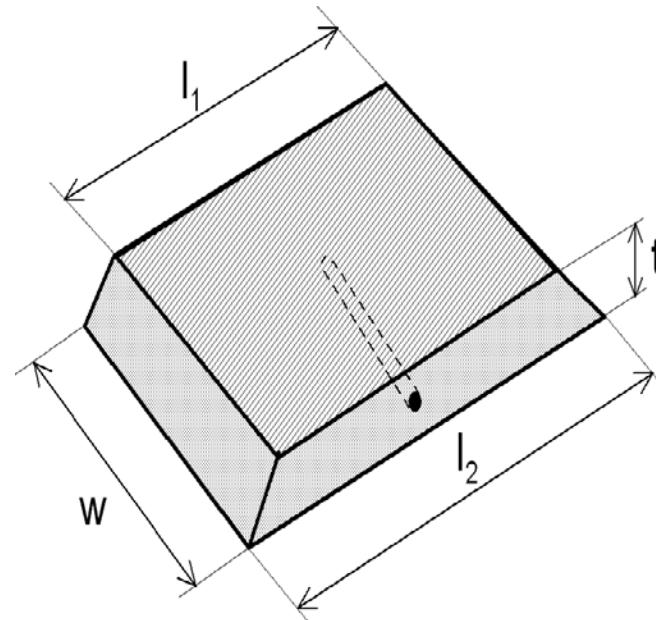
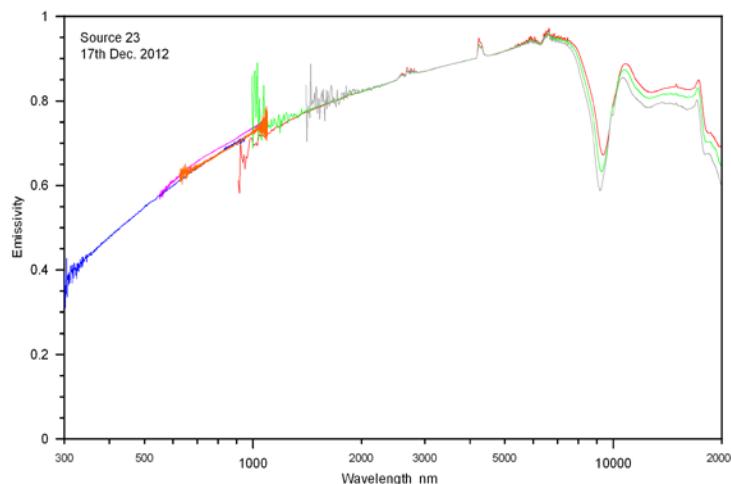
$$\frac{\Delta T}{\Delta X} = \frac{\epsilon \sigma T^4}{k}$$

*IR-Thermometer is the best method for poor conductors*

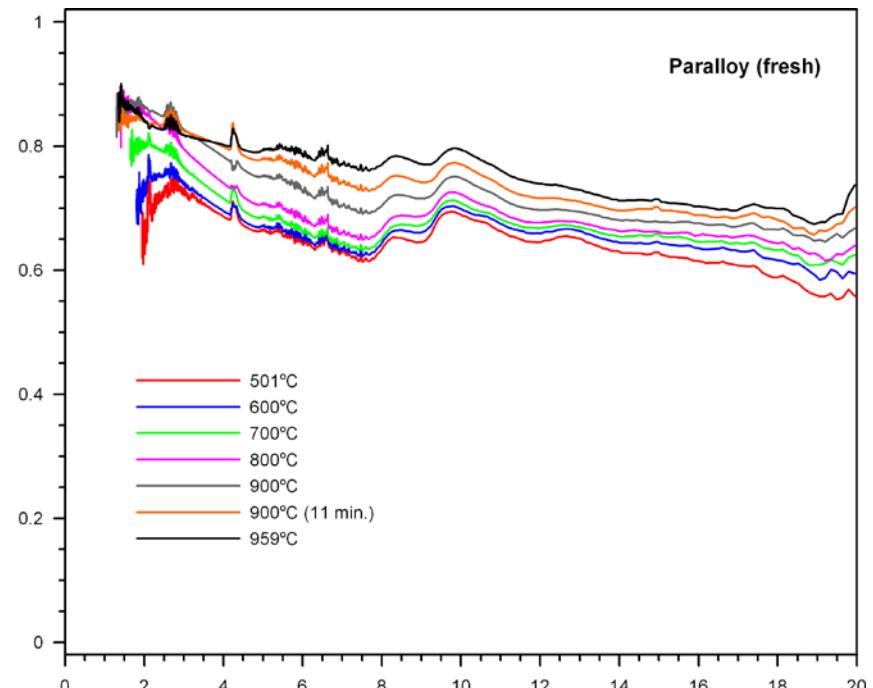
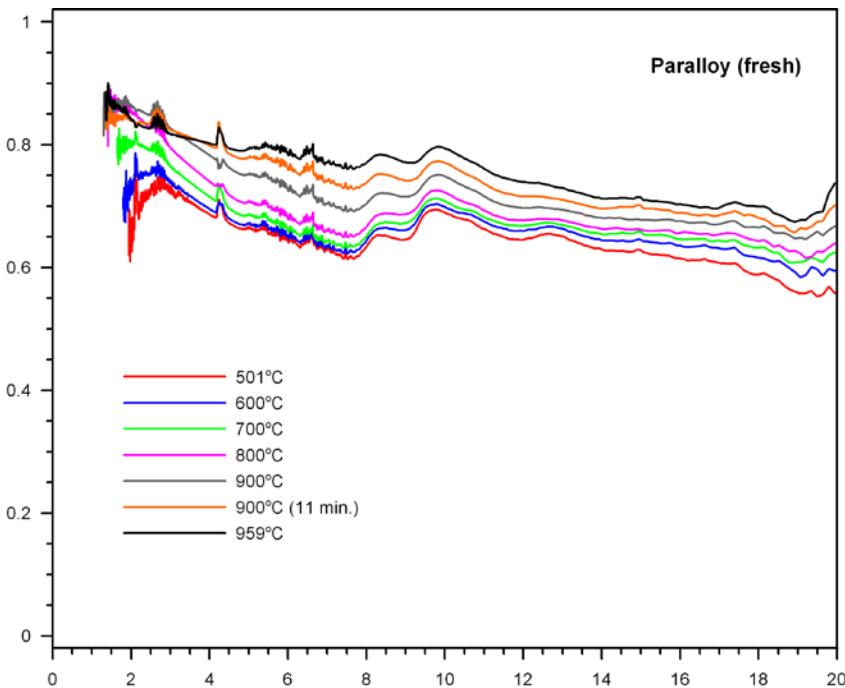
# Laser Heated Reformer Tube Samples



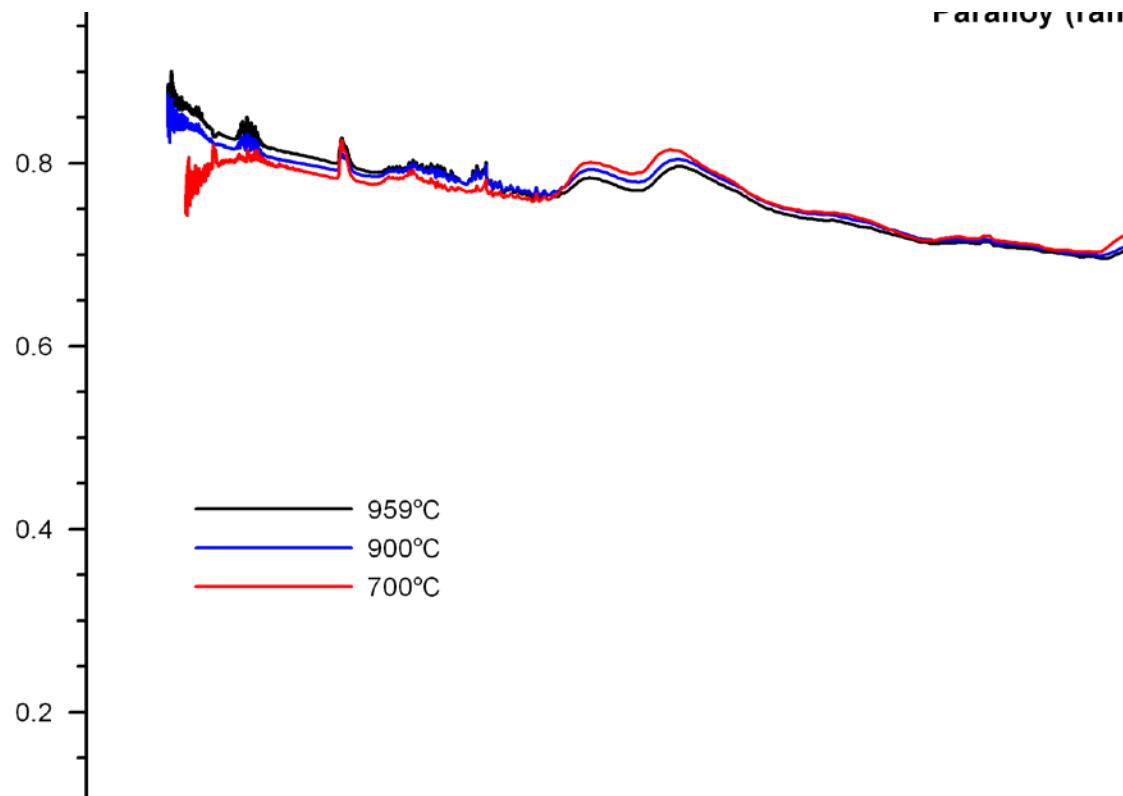
Example. Sample "TOPT-55 10FSB":  $w = 17.7$  mm,  $t = 2.8$  mm,  $l_1 = 13.1$  mm,  $l_2 = 15.2$  mm with a 0.6 mm diameter hole placed 1.5 mm below sample surface. Max. dimensions of sample is 20 x 20 mm and 6 mm thickness.



# Emissivity new tube



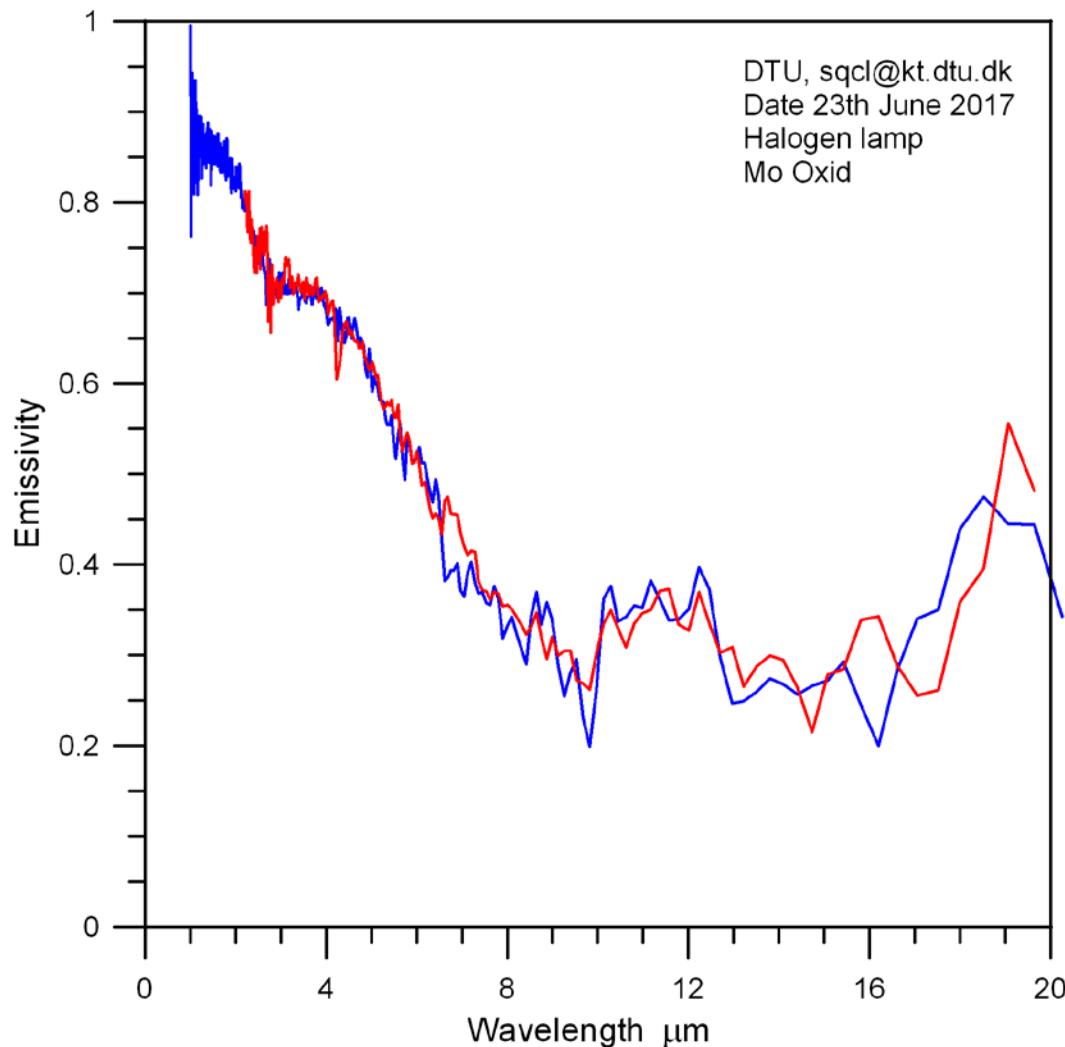
# Integrating sphere



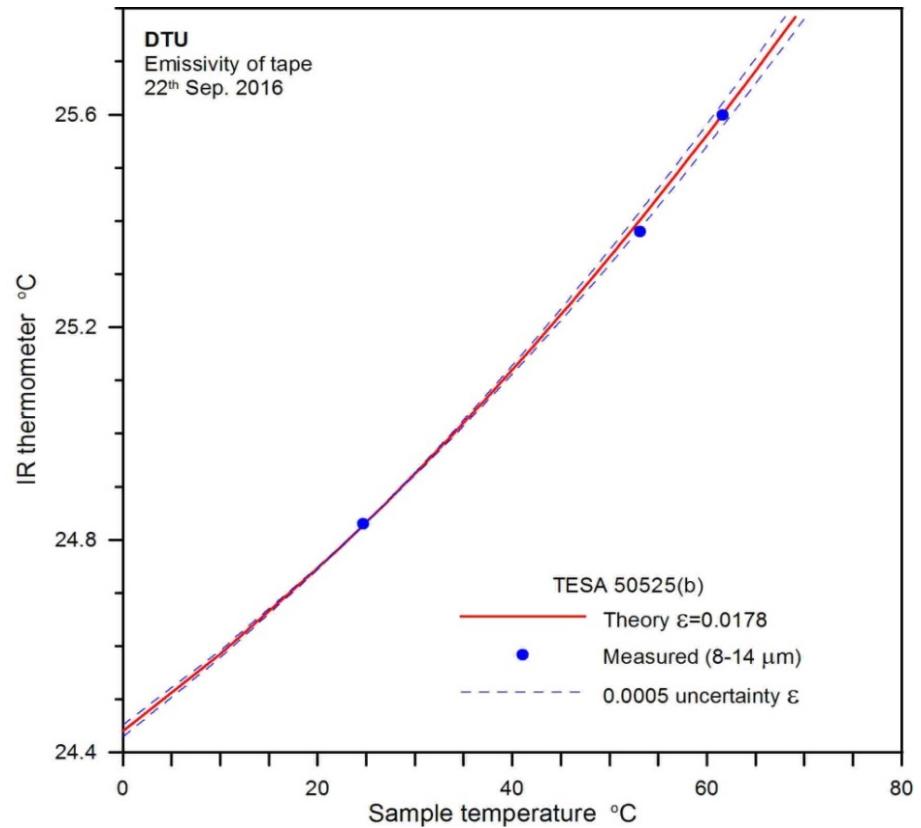
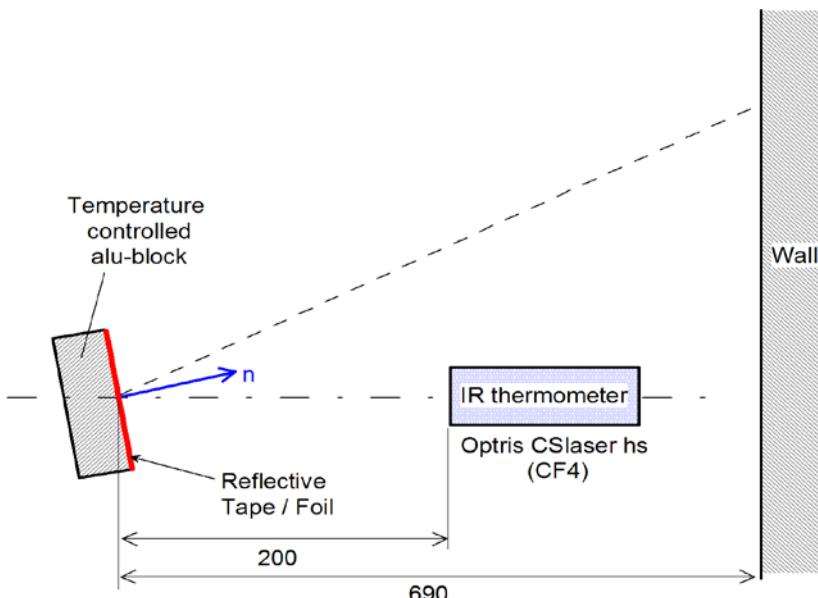
Custom made by Gigahertz-Optik, 6" sphere with 1" ports

Wish EMIRIM: learn about limitations and improvements → Accredited service

# Improved FTIR signal analysis



# Dynamic sample heating – low emissivity



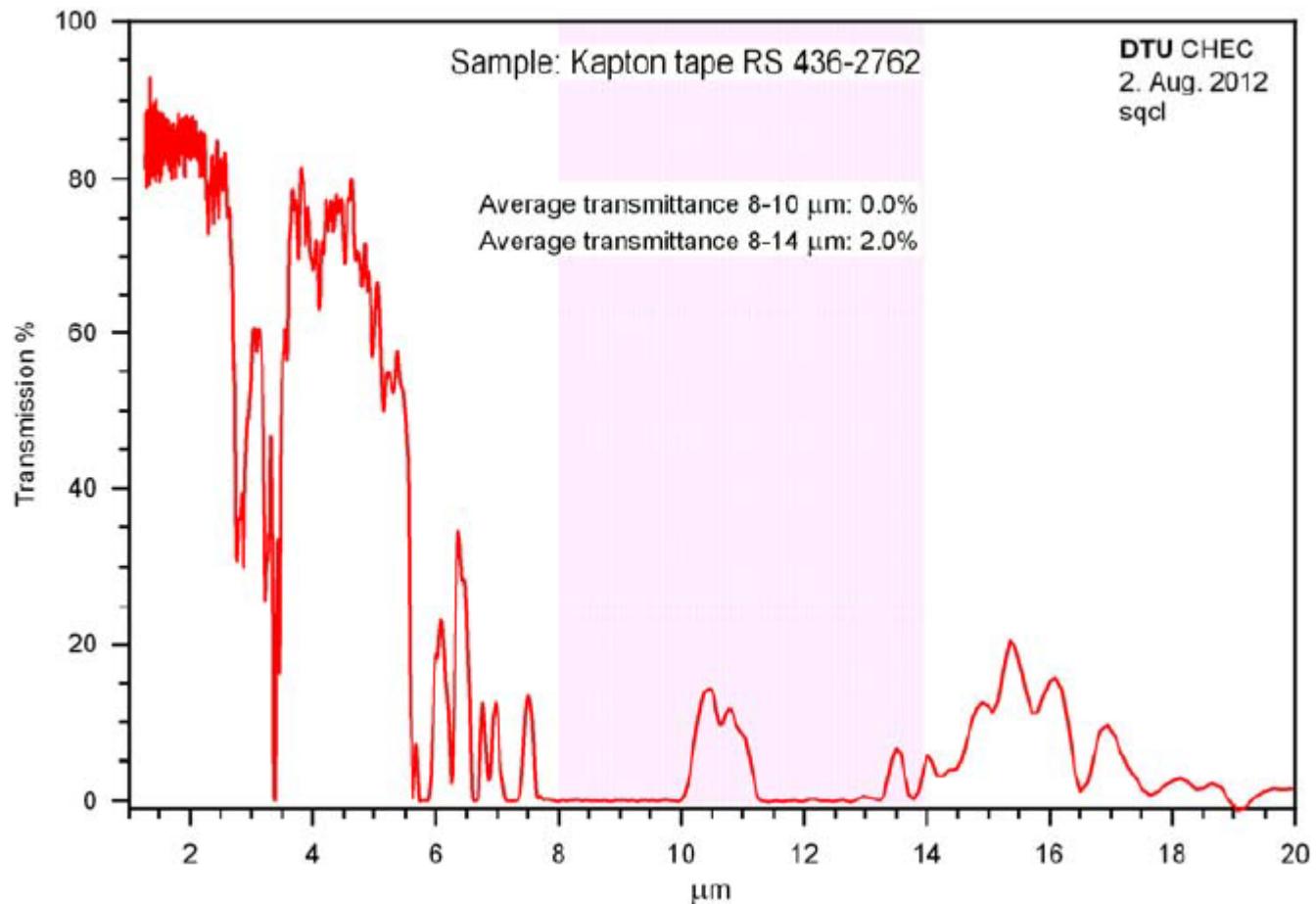
Actions EU-project EMIRIM: IR thermometer replaced by custom made IR sensor (TP with KRS-5 window), sample holder, "wall" for rotated sample

# Kapton tape blank overflade

8-14  $\mu\text{m}$  IR-thermometer

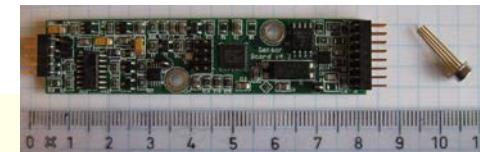
$\epsilon = 0.902$  at 130° C

2-3 times larger than the spot size



# IR Teknologi

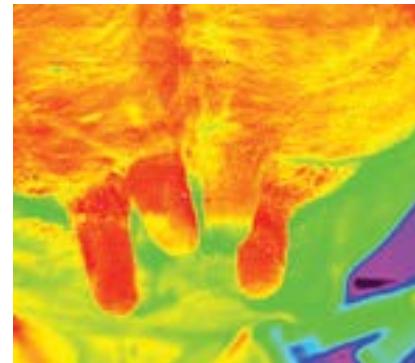
- Isolering, emissivitet af blanke overflader (EU)
- Detektion af vand og is på fly (IND)
- Korrosion kedelrør (energinet.dk)
- Partikeltemperatur (EU, PhD)
- Kedel og flamme optimering kraftværker
- Måling af brændværdi naturgas (EUDP)
- Styring brændeovne (EUDP)
- ...



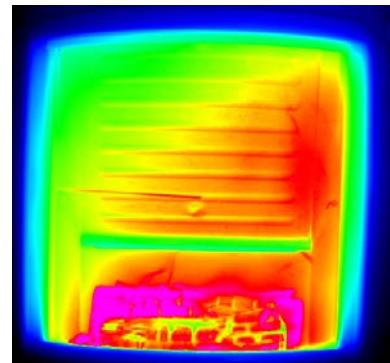
Trend:

Kombination af IR-teknologi med anden teknologi  
Nye sensorer (temperatur, flow, gas, forurening, ...)

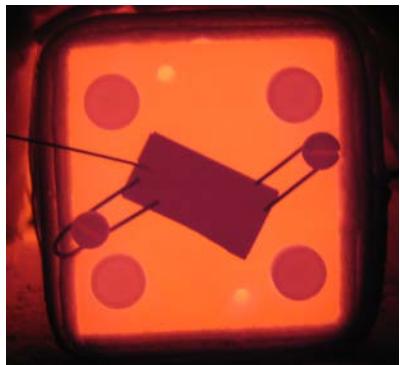
# Anvendelses på DTU



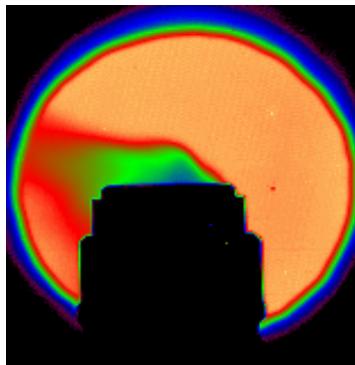
Milking procedure



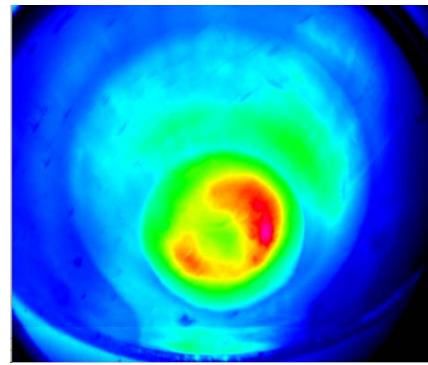
Wood stove



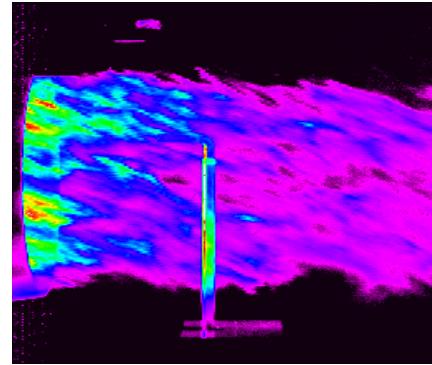
Emission from sample



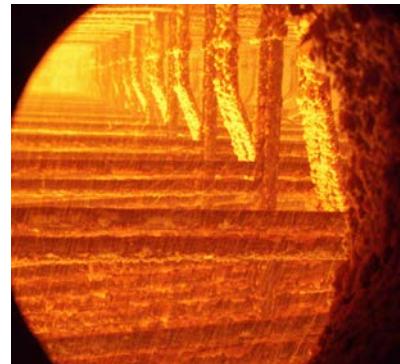
Leak valve bottle



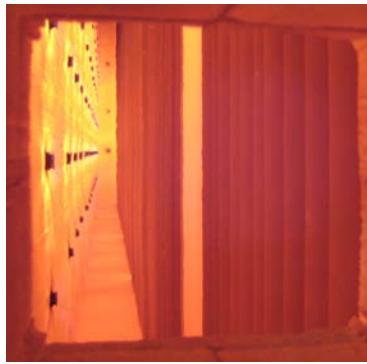
Piston ship engine



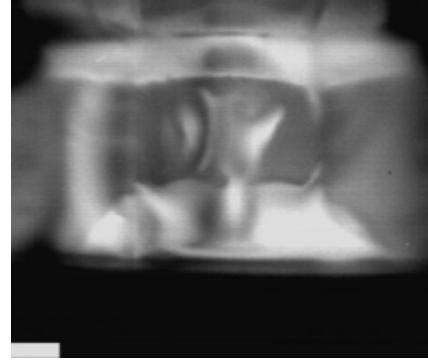
Exhaust air craft engine



Power plants



Process plants



Welding plastic



De-icing