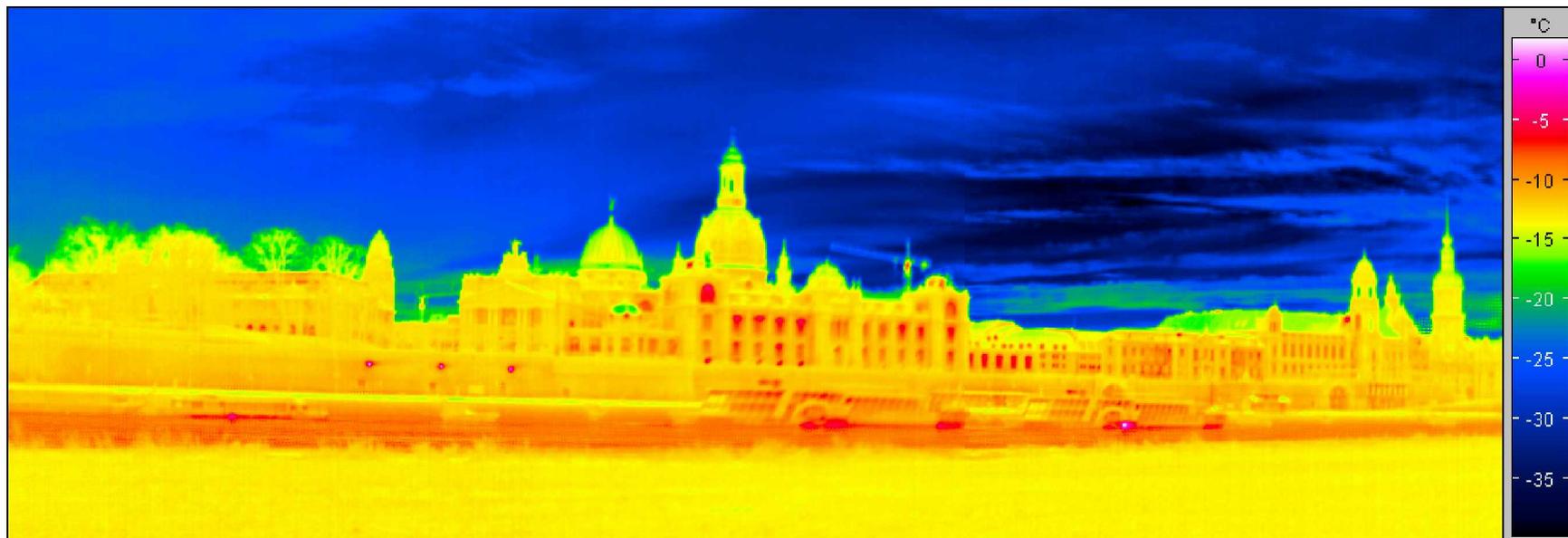


## Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen,

Matthias Krauß

InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik

01217 Dresden, Gostritzer Str. 61 – 63, GERMANY

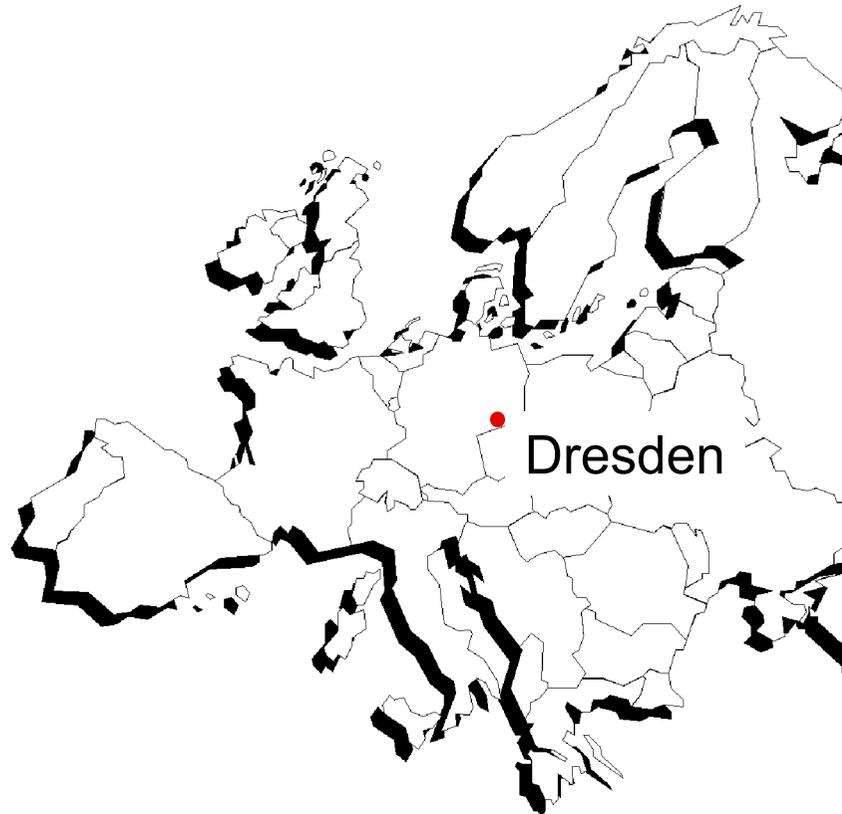


## Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

- Vorstellung InfraTec GmbH**
- Thermografie als Temperaturmessverfahren
- Thermografiesysteme
- Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung
- Allgemeine Anwendungen der Thermografie
- Thermografie-Automation

## InfraTec GmbH

### Übersicht



### Profil

Spezialist für Produkte und Leistungen der Infrarot-Technologie

### Fakten

Wurzeln: TU Dresden / Prof. Walther  
gegründet 1991 in Dresden

in Privatbesitz

110 Mitarbeiter

### Geschäftsbereiche

Sensorik

Infrarot-Messtechnik

## InfraTec GmbH

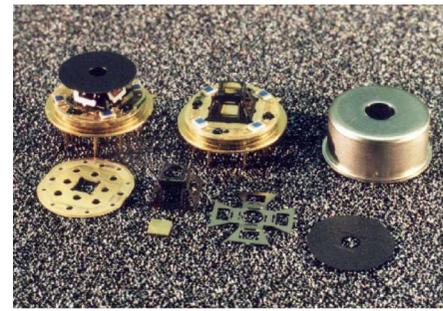
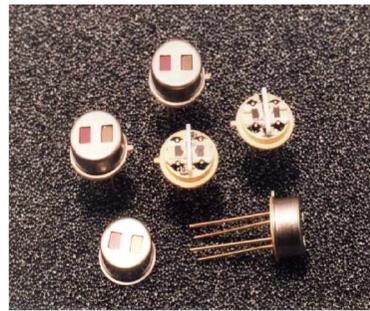
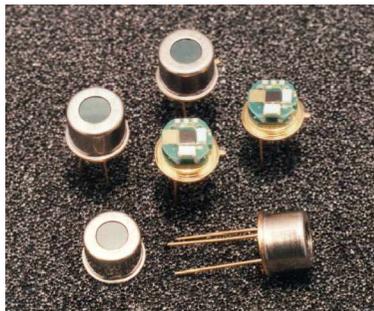
Geschäftsbereich Sensorik

Entwicklung und Produktion kundenspezifischer IR-Detektoren



### Anwendungsgebiete

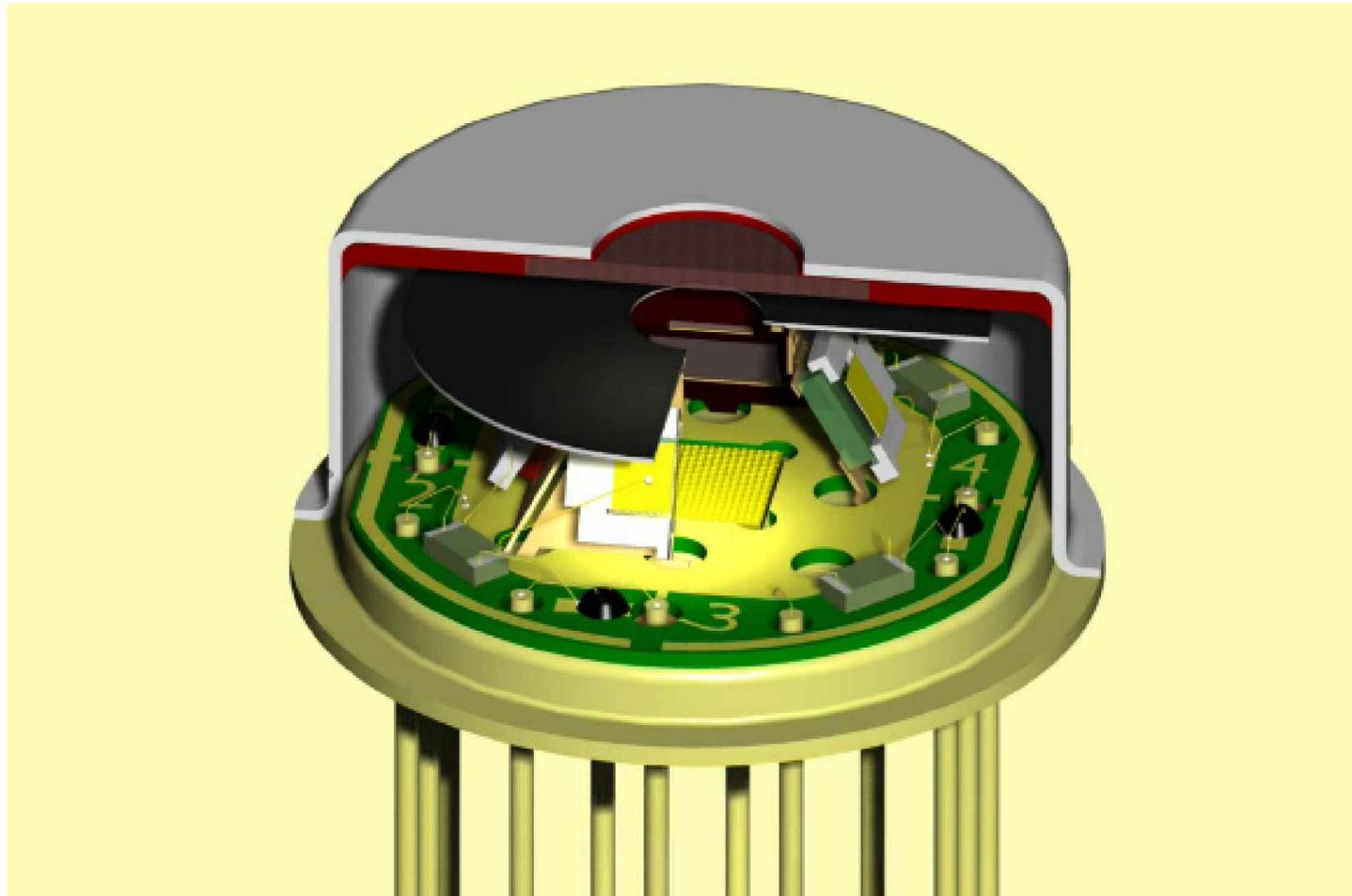
- Pyrometrie
- Gasanalytik
- Spektroskopie
- Flammensensorik
- optische Messungen



## InfraTec GmbH

Geschäftsbereich Sensorik

Entwicklung und Produktion kundenspezifischer IR-Detektoren



## InfraTec GmbH

Geschäftsbereich Infrarotmesstechnik



Thermografiesysteme für:

- Forschung & Entwicklung
- Gebäudeinspektion
- Prozess- & Qualitätskontrolle
- Vorbeugende Instandhaltung

Thermografie-Automation für:

- Prozessmonitoring
- Brandfrüherkennung
- Objektüberwachung

Thermografie-Schulungen

Thermografie-Dienstleistungen

Thermografie-Software

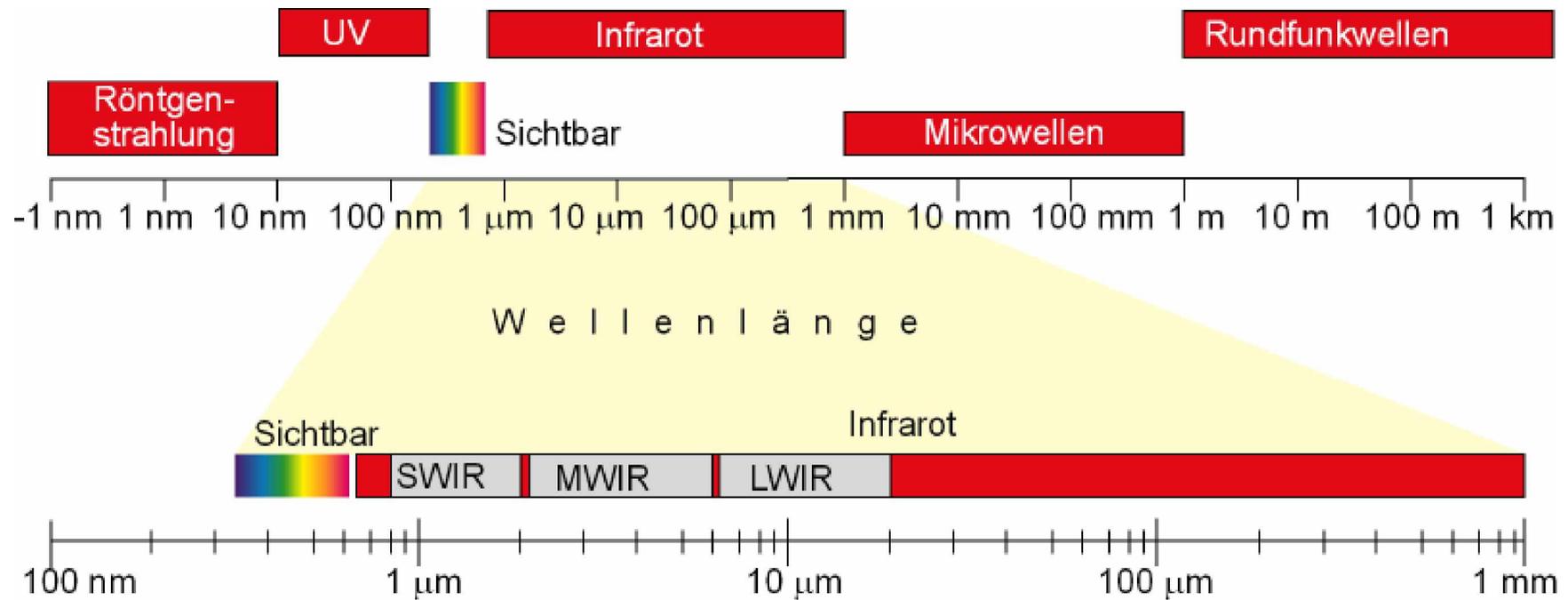


## Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

- Vorstellung InfraTec GmbH
- Thermografie als Temperaturmessverfahren**
- Thermografiesysteme
- Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung
- Allgemeine Anwendungen der Thermografie
- Thermografie-Automation

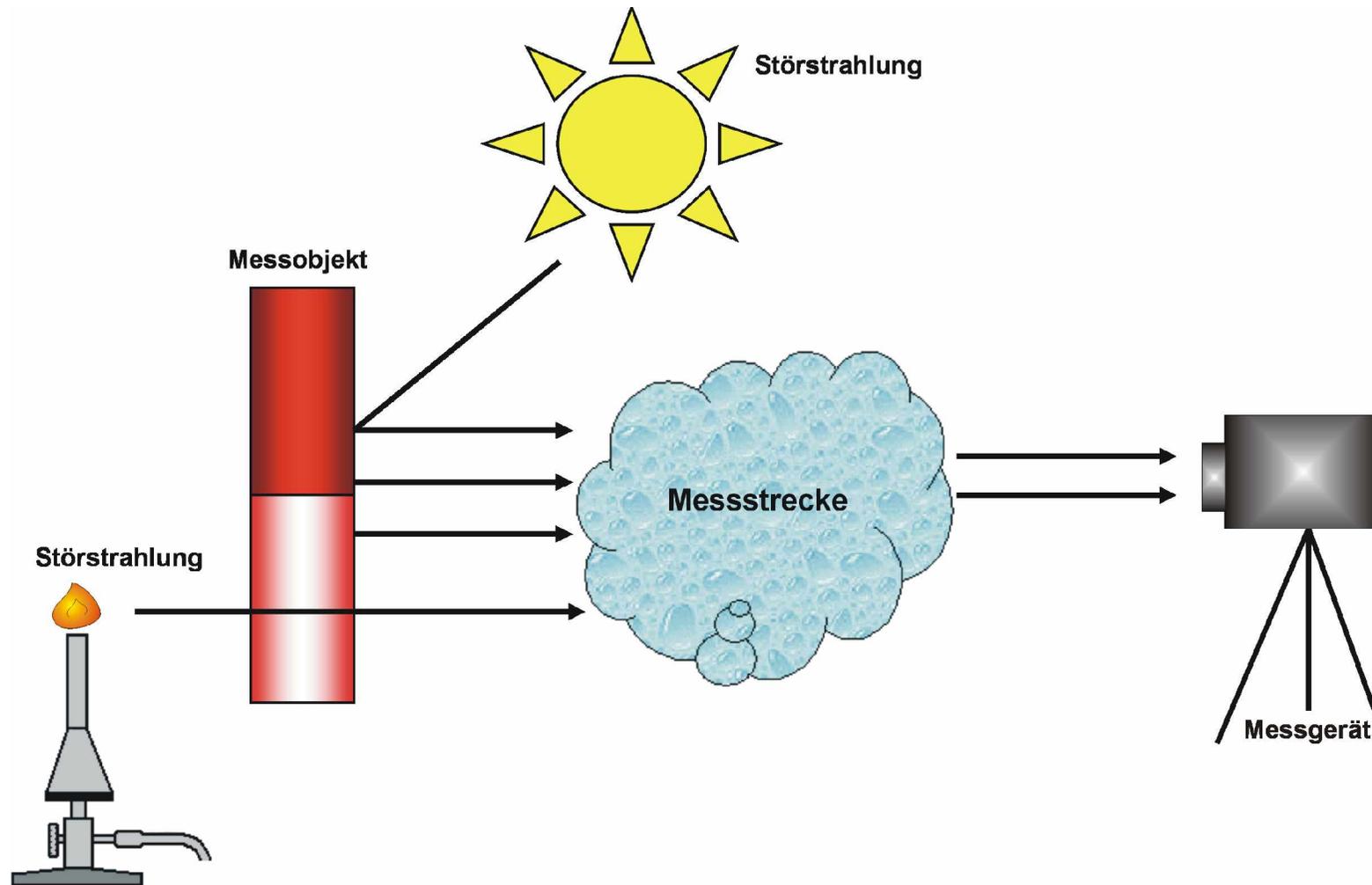
# Thermografie als Temperaturmessverfahren

## Spektralbereich



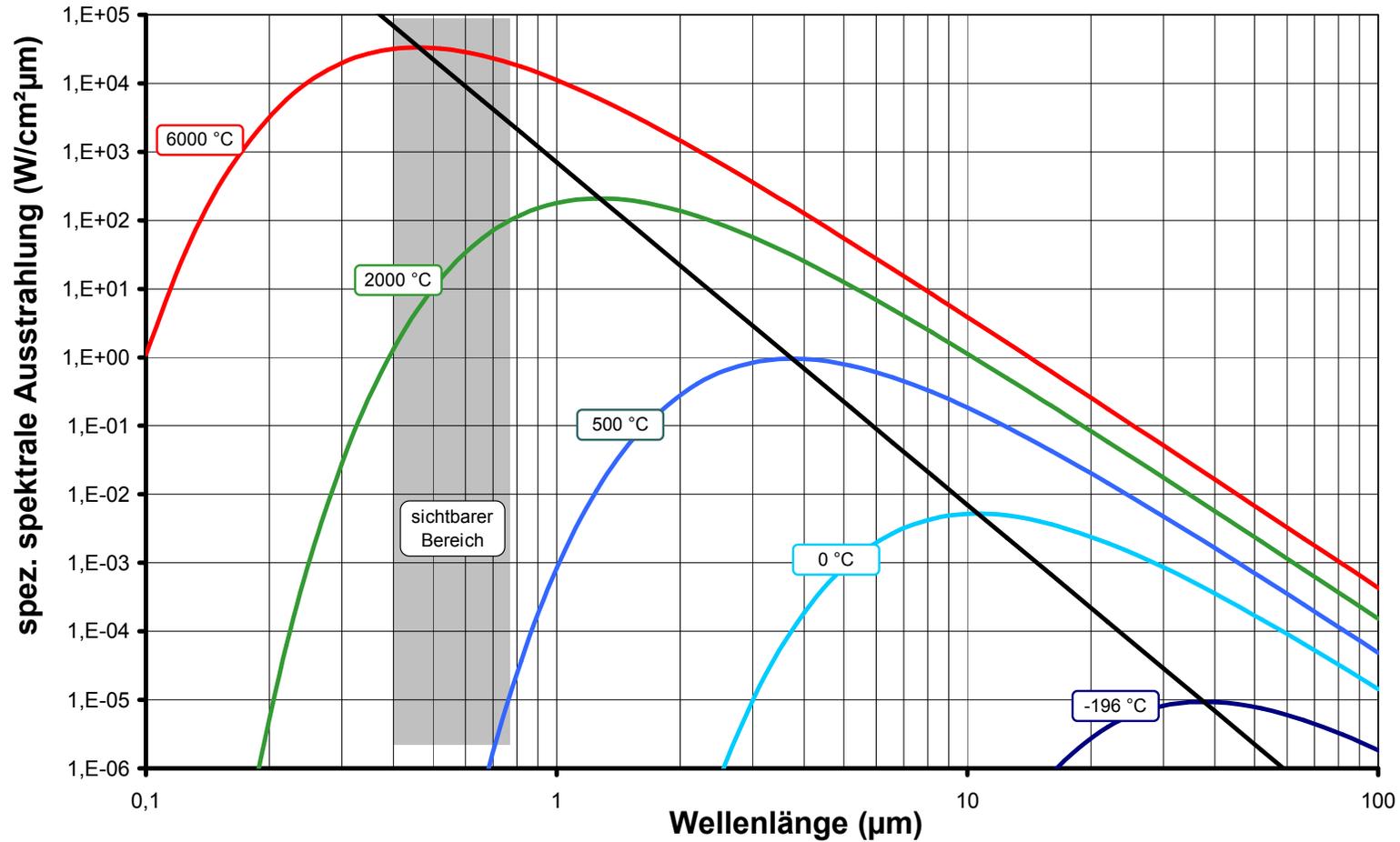
## Thermografie als Temperaturmessverfahren

### Prinzip der thermografischen Messanordnung



# Thermografie als Temperaturmessverfahren

Messobjekt, PLANCKsches Strahlungsgesetz



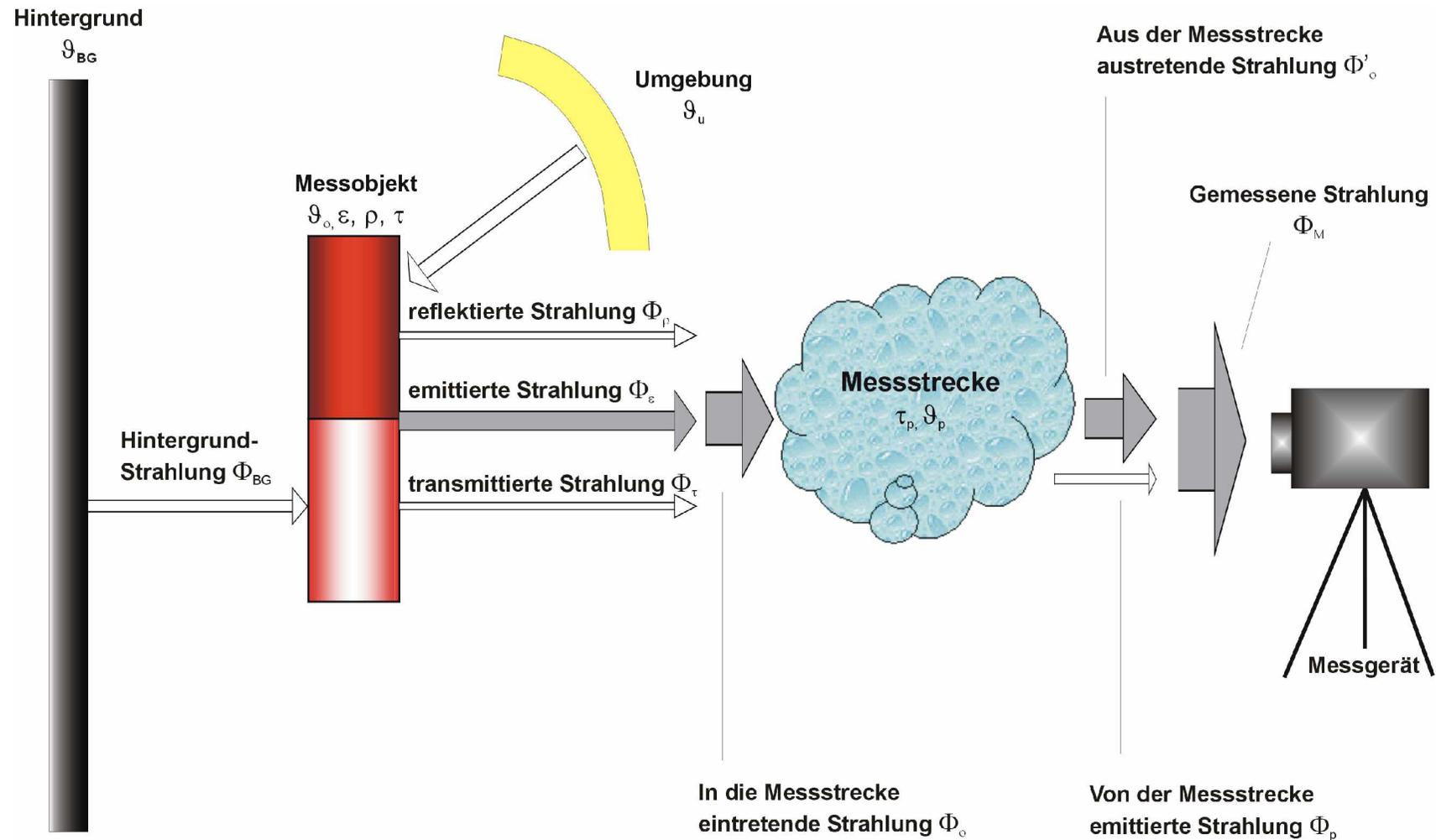
## Thermografie als Temperaturmessverfahren

Messobjekt, WIENsches Verschiebungsgesetz

Körper	Temperatur	Strahlungsmaximum
Tiefkühlkost	-18 °C	11,4 µm
Haut	32 °C	9,5 µm
kochendes Wasser	100 °C	7,8 µm
Eisen, dunkelrotglühend	600 °C	3,3 µm
Eisen, hellglühend	1.200 °C	2,0 µm
Sonnenoberfläche	6.000 °C	0,6 µm

# Thermografie als Temperaturmessverfahren

## Strahlungsanteile in der thermografischen Messanordnung



## Thermografie als Temperaturmessverfahren

Messobjekt, Emission, Reflexion, Transmission

Allgemeiner Zusammenhang bei allen Messobjekten:

$$\varepsilon_{\lambda} + \tau_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

Spezialfälle:

Spezialfall	Merkmal	Auswirkung
Schwarzer Strahler	$\varepsilon = 1$	$\tau = 0, \rho = 0$
idealer Spiegel	$\rho = 1$	$\varepsilon = 0, \tau = 0$
ideales Fenster	$\tau = 1$	$\varepsilon = 0, \rho = 0$
nichttransparenter Körper	$\tau = 0$	$\varepsilon + \rho = 1$

## Thermografie als Temperaturmessverfahren

Messobjekt, spektraler Emissionsgrad

Materialzusammensetzung

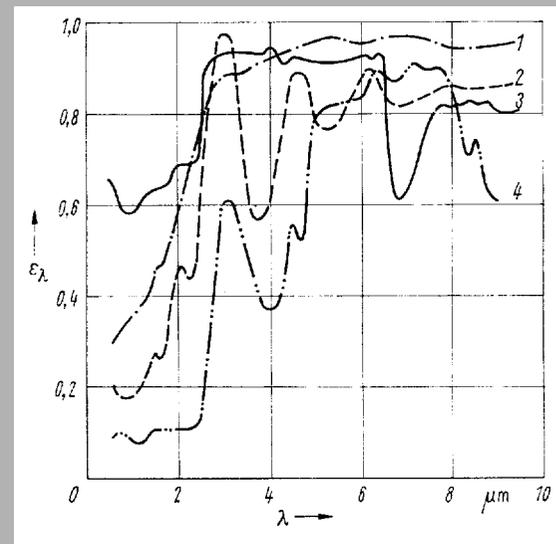
Oxidschichten der Oberfläche

Rautiefe der Oberfläche

Winkel zur Flächennormalen

Temperatur

Polarisation

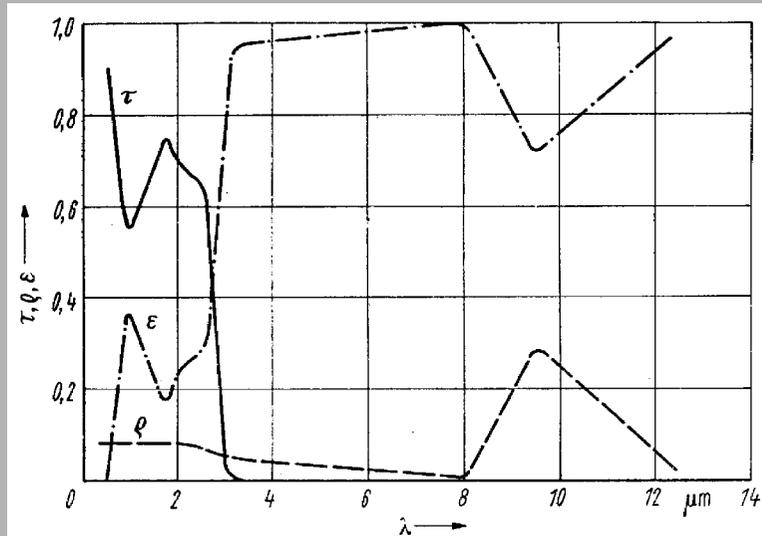


1 Emaille, 2 Gips, 3 Beton,  
4 Schamotte

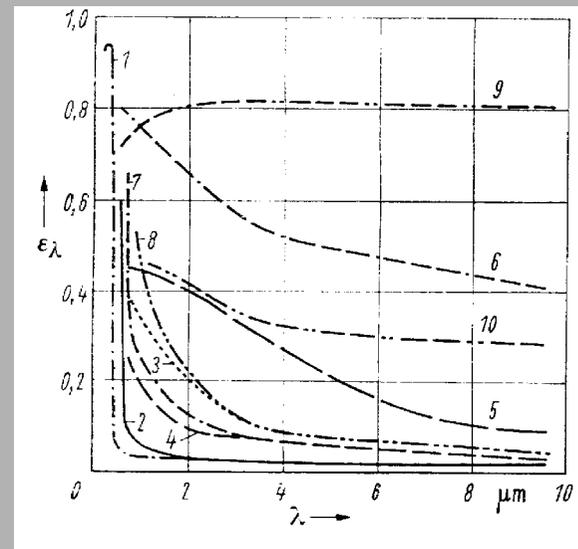
thermografische Messungen sind an vielen **Baustoffen**  
**problemlos** möglich

## Thermografie als Temperaturmessverfahren

Messobjekt, spektraler Emissionsgrad



Transmission, Emission und Reflexion von Glas

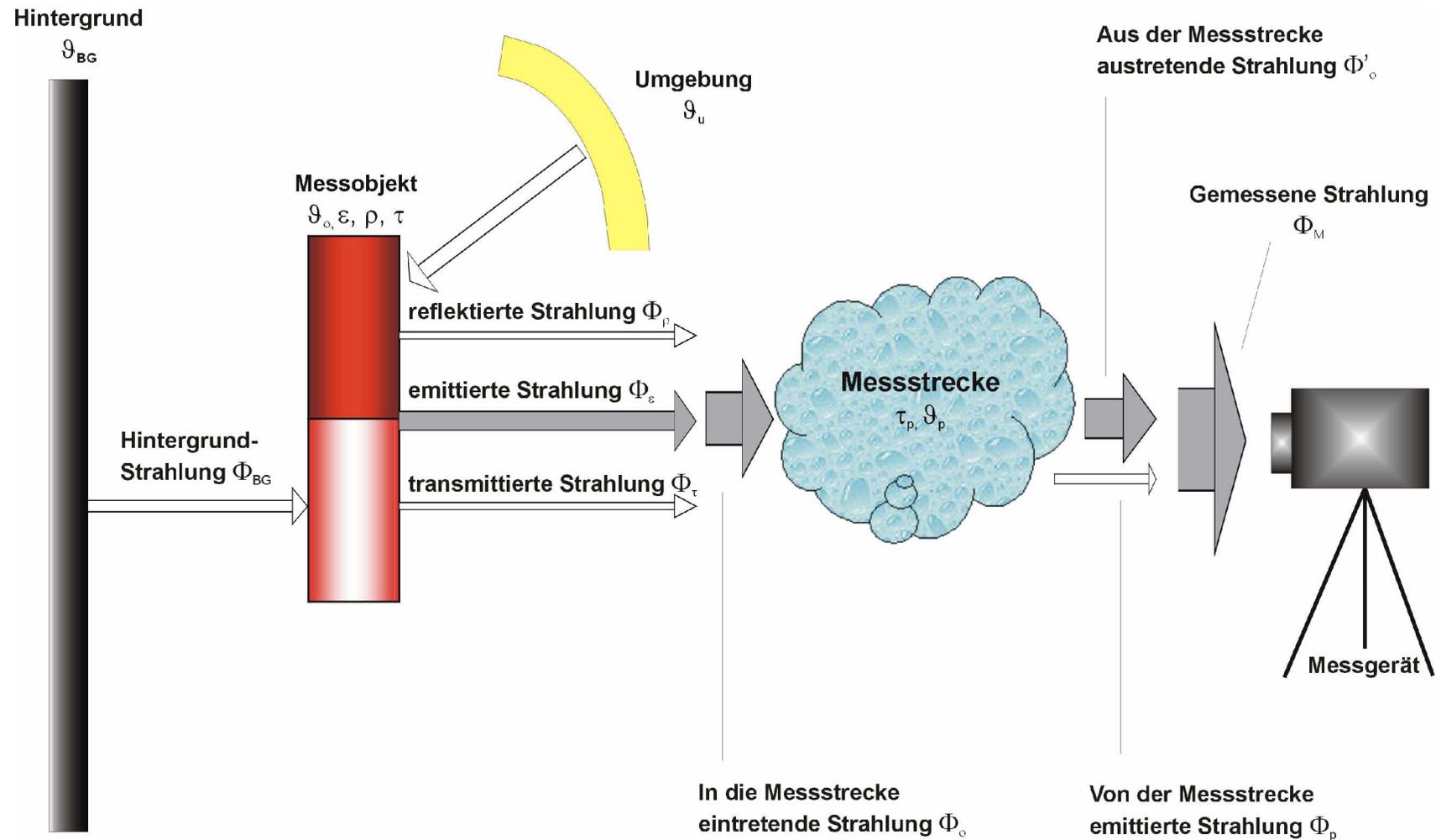


Emission von Metallen

bei thermografischen Messungen an **Fenstern** und **Metallflächen** sind die spektralen **Besonderheiten** der Materialien zu beachten

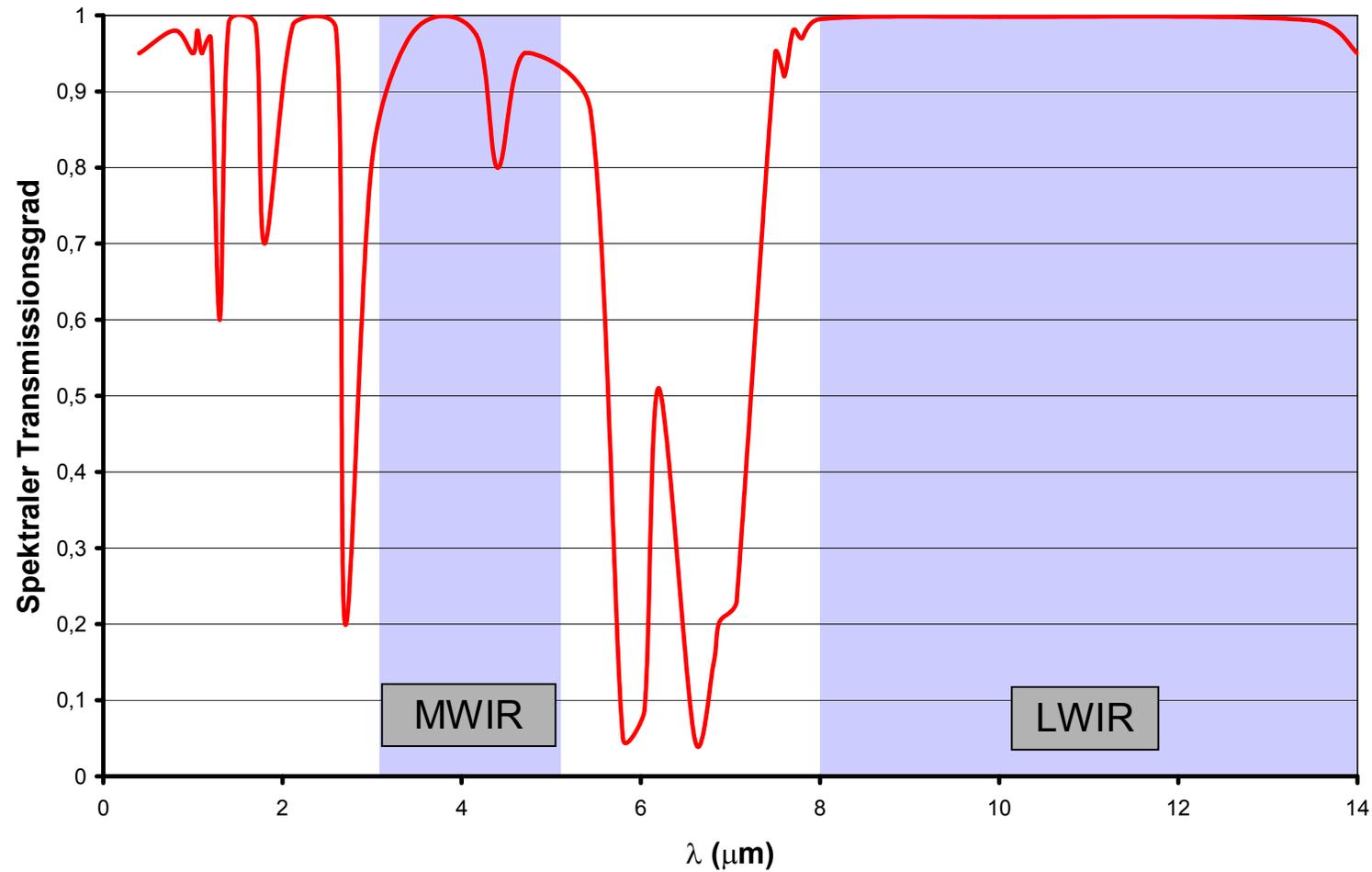
# Thermografie als Temperaturmessverfahren

## Strahlungsanteile in der thermografischen Messanordnung



# Thermografie als Temperaturmessverfahren

## Messstrecke, Transmission der Atmosphäre



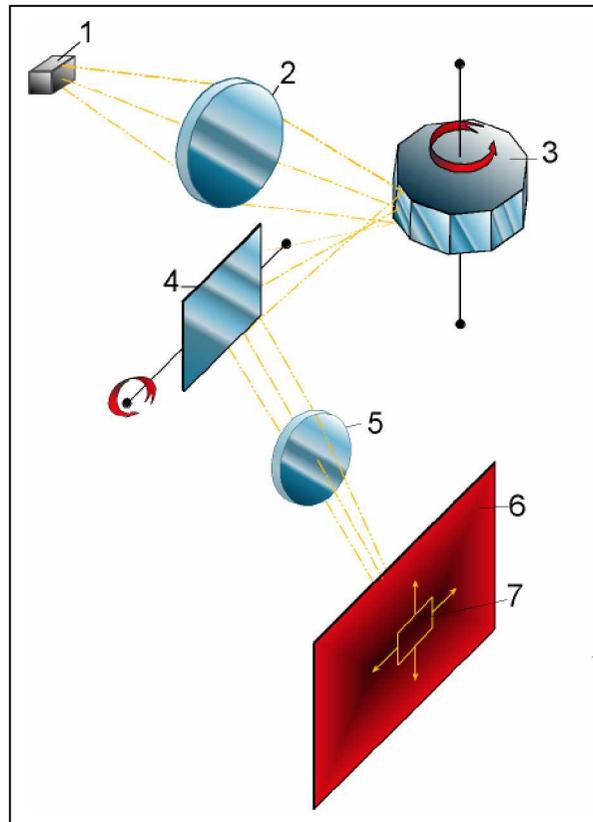
Länge 10 m, 25 °C, 1013 mbar, 85 % r.F.)

## Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

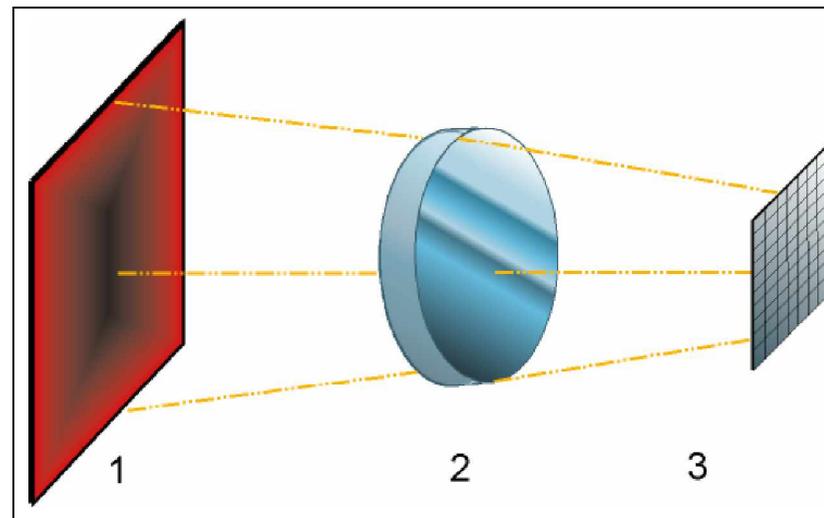
- Vorstellung InfraTec GmbH
- Thermografie als Temperaturmessverfahren
- Thermografiesysteme**
- Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung
- Allgemeine Anwendungen der Thermografie
- Thermografie-Automation

# Thermografiesysteme

## Grundprinzipien



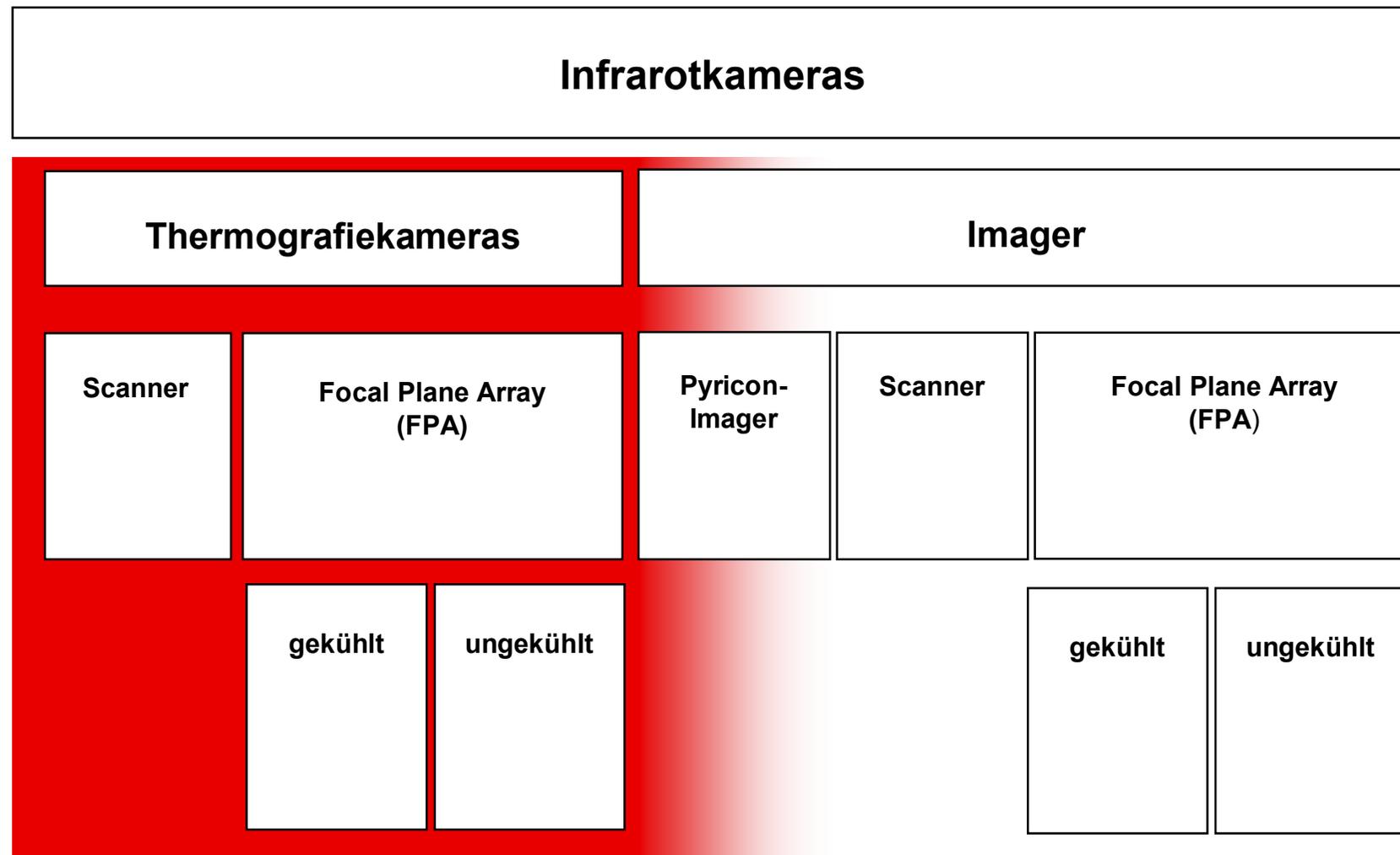
Scannersystem



FPA(Focal Plane Array)-System

# Thermografiesysteme

## Einordnung



## Thermografiesysteme Aufbau und Parameter



InfraTec

# Thermografiesysteme

## Aufbau und Parameter

Low-Cost



High-End



**mobileIR M4**



**ImagerIR®**

## Thermografiesysteme

### Aufbau und Parameter

Eigenschaft/Typ	VARIOSCAN	VarioTHERM head	VarioCAM®
<b>Spektralbereich</b>	(2 ... 5)/(8 ... 12) µm	(1,8 ... 5) µm	(7,5 ... 14) µm
<b>Aufnahmeverfahren</b>	Scanner-System	Focal Plane Array (256 x 256)	Focal Plane Array (320 x 240)
<b>Detektor</b>	HgCdTe	PtSi	Mikrobolometerarray
<b>Kühlung</b>	Peltier/Stirling o. Flüssigstickstoff	Stirling-Kühler	keine
<b>Bildfrequenz</b>	1,1 Hz	50 Hz	50 / 60 Hz
<b>thermische Auflösung @ 30 °C</b>	besser als 0,12 / 0,03 K	besser als 0,1 K	besser als 0,08 K
<b>Temperatur-Messbereich</b>	(-40 ... 1.200) °C, optional > 2.000 °C	(-25 ... 1.200) °C, optional > 2.000 °C	(-40 ... 1.200) °C, optional > 2.000 °C
<b>Bildformat (Pixel)</b>	360 x 240	256 x 256	320 x 240, optional 640 x 480 durch Resolution Enhancement
<b>Bildfeld (Standardoptik)</b>	30° H x 20° V	14° H x 14° V	32° H x 24° V

## Thermografiesysteme

### Aufbau und Parameter

Eigenschaft/Typ	VARIOSCAN	VarioTHERM head	VarioCAM®
<b>IFOV (Standardoptik)</b>	3 / 1,5 mrad	1 mrad	1,8 mrad
<b>Zoomfunktion</b>	elektrooptisch, max. 6-fach, auch horizontal/vertikal getrennt	2-fach; 5-fach	bis 4,2-fach digital, stufenlos
<b>Messgenauigkeit</b>	±2 K, ±1 %	±2 K, ±2 %	±2 K, ±2 %
<b>Digitalisierungstiefe</b>	16 Bit	16 Bit	16 Bit
<b>Arbeitstemperaturbereich</b>	(- 10 ... 40) °C	(-10 ... 50) °C	(-15 ... 50) °C
<b>Abmessungen</b>	(240 x 192 x 1200) mm	(194 x 110 x 126) mm	(235 x 185 x 110) mm
<b>Gewicht (Vollausstattung)</b>	ca. 5 kg	2,6 kg	ca. 2 kg
<b>Bildspeicherung</b>	CF-Karte, optional Ethernet	CF-Karte, optional FireWire (IEEE 1394)	CF-Karte, optional FireWire (IEEE 1394)

## Thermografiesysteme

### Aufbau und Parameter

Eigenschaft/Typ	VARIOSCAN	VarioTHERM head	VarioCAM®
<b>analoge Schnittstellen</b>	RGB	PAL/NTSC-FBAS und -S-Video	PAL/NTSC-FBAS und -S-Video, Headset
<b>digitale Schnittstellen</b>	RS232, optional Ethernet	RS232, FireWire (IEEE 1394)	RS232, optional FireWire (IEEE 1394)
<b>integrierte digitale Videokamera</b>	keine	keine	optional, (640 x 480) Pixel, Farbe
<b>Stromversorgung</b>	Li-Ionen-Akku, Netzadapter	keine	Li-Ionen-Akku, Netzadapter,
<b>Betriebszeit mit Akku</b>	ca. 3/2 h mit Standardakku	12 V DC	optional FireWire (IEEE 1394)

## Thermografiesysteme

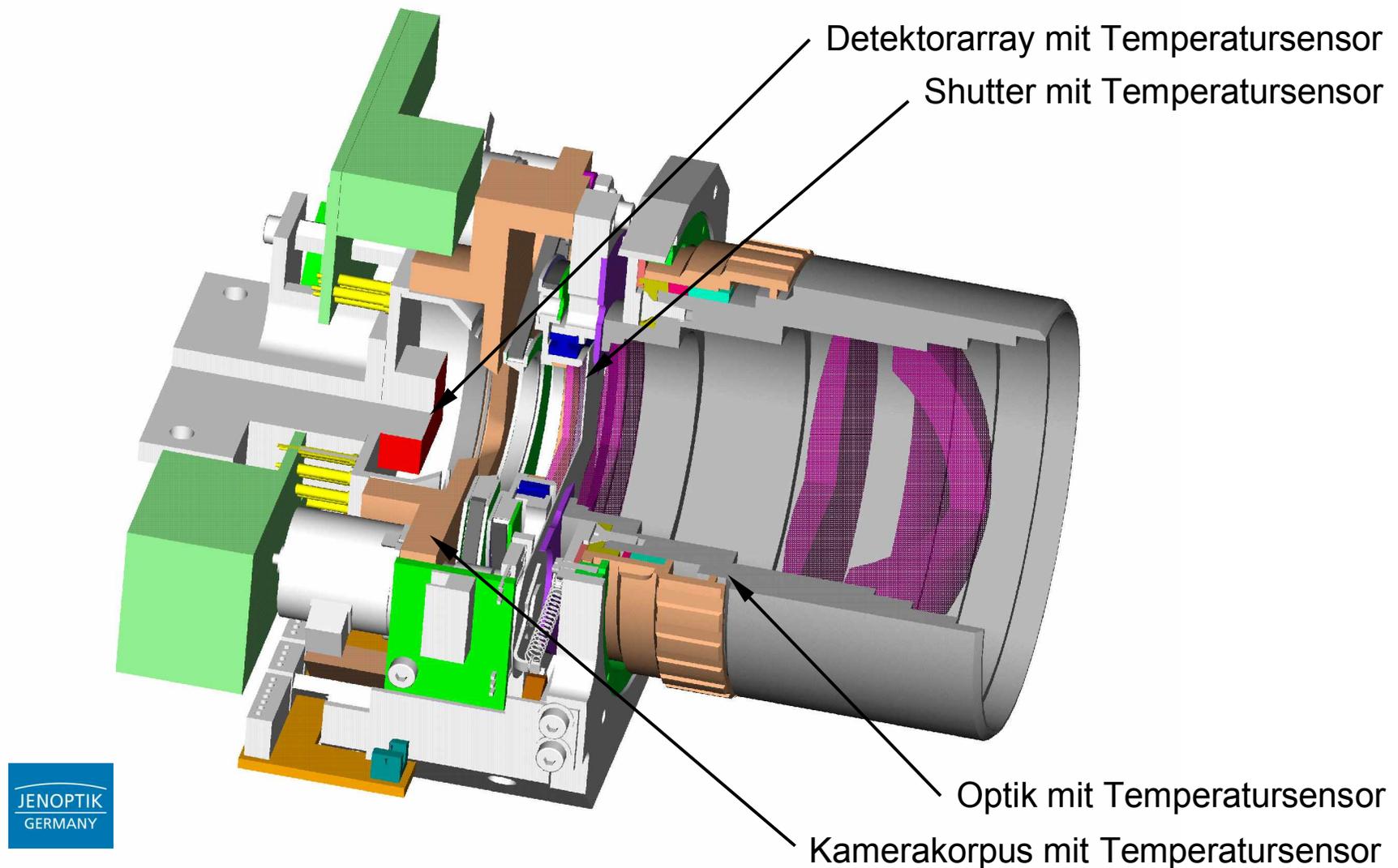
### Aufbau und Parameter

Eigenschaft/Typ	VARIOSCAN	VarioTHERM head	VarioCAM®
Spektralbereich	(2 ... 5)/(8 ... 12) $\mu\text{m}$	(1,8 ... 5) $\mu\text{m}$	(7,5 ... 14) $\mu\text{m}$
thermische Auflösung @ 30 °C	besser als 0,12 /0,03 K	besser als 0,1 K	besser als 0,08 K
Temperatur- Messbereich	(-40 ... 1.200) °C, optional > 2.000 °C	(-25 ... 1.200) °C, optional > 2.000 °C	(-40 ... 1.200) °C, optional > 2.000 °C
Messgenauigkeit	$\pm 2$ K, $\pm 1$ %	$\pm 2$ K, $\pm 2$ %	$\pm 2$ K, $\pm 2$ %
Arbeitstemperatur- bereich	(- 10 ... 40) °C	(-10 ... 50) °C	(-15 ... 50) °C



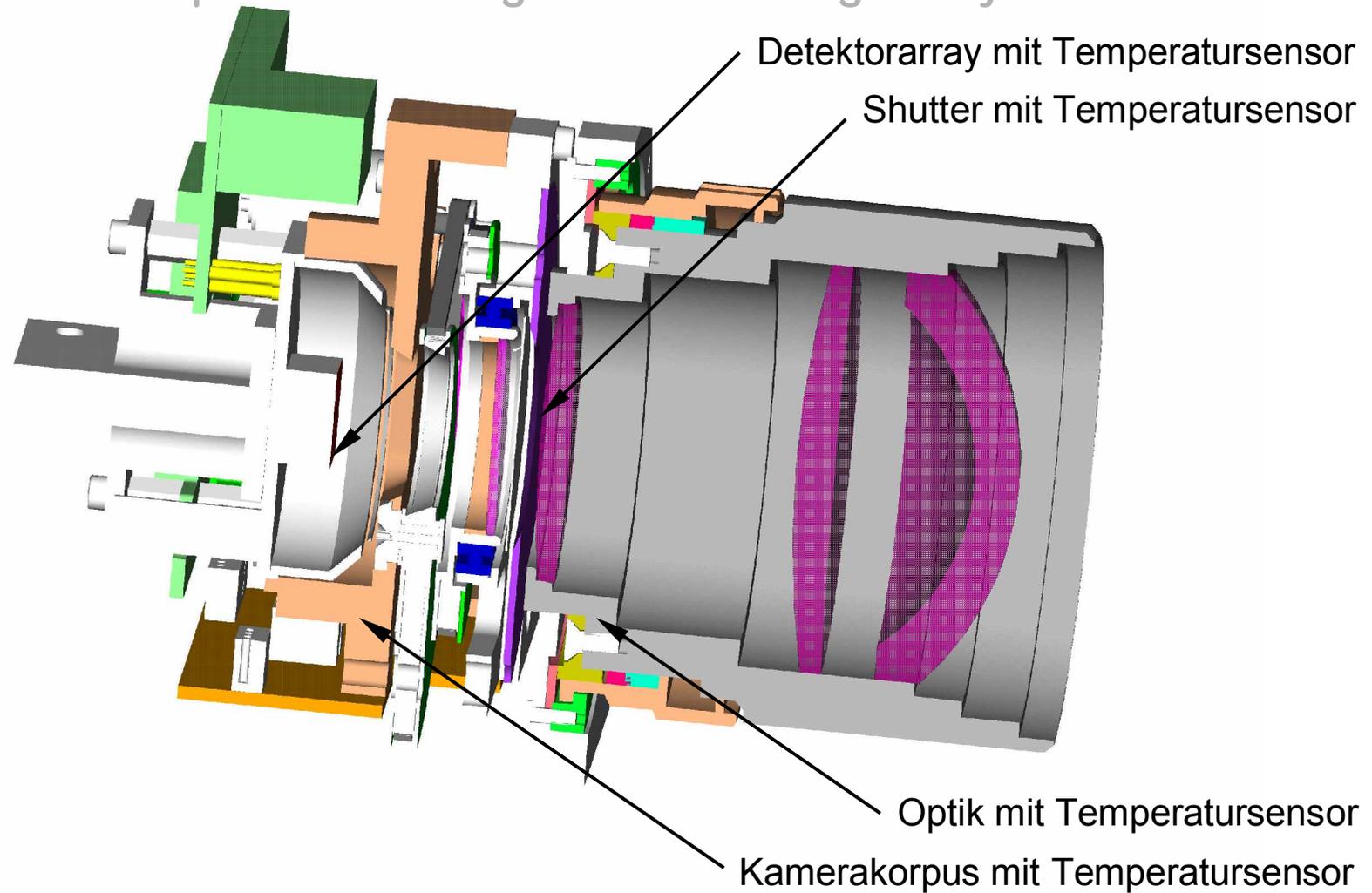
## Thermografiesysteme

Prinzip der Temperaturmessung in FPA-Thermografiesystemen



## Thermografiesysteme

Prinzip der Temperaturmessung in FPA-Thermografiesystemen



## Thermografiesysteme

### Prinzip der Temperaturmessung in FPA-Thermografiesystemen

- permanente berührende Messung der Temperaturen von Optik, Shutter, Kamerakorpus und Detektorarray
- daraus erfolgt die permanente Berechnung der aktuell zu verwendenden Kennlinie, die bei der Kalibration eingelernt wurde
- mit dieser Kennlinie werden die korrigierten Pixelsignale in Schwarzkörpertemperaturen umgerechnet
- abschließend werden die allgemeinen strahlungsphysikalischen Randbedingungen der realen Messanordnung eingerechnet

## Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung

### Leistungsspektrum der Thermografie als Temperaturmessverfahren

- Spektralbereich: (3 ... 5)  $\mu\text{m}$  und (8 ... 14)  $\mu\text{m}$
- Temperaturmessbereich: (-100 ... 3.000)  $^{\circ}\text{C}$
- thermische Auflösung: (80 ... 10) mK
- Absolutgenauigkeit: (2 ... 0,5) %
- Zeitauflösung: Integrationszeit bis  $\mu\text{s}$ ; Bildfrequenz bis kHz
- Ortsauflösung: bis 5  $\mu\text{m}$
- Messabstand: mm bis km
- Preisbereich: <10 kEUR bis >150 kEUR

## Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

- Vorstellung InfraTec GmbH
- Thermografie als Temperaturmessverfahren
- Thermografiesysteme
- Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung**
- Allgemeine Anwendungen der Thermografie
- Thermografie-Automation

## Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung

### Kernaussagen

- Entwicklung wird nach wie vor von den militärischen Applikationen bestimmt
- FPA-Detektortechnologie ist maßgeblich
- ungekühlte Mikrobolometer-FPA-Detektoren für allgemeine (Low-Cost-)Anwendungen im LWIR
- gekühlte FPA-Photonendetektoren für schnelle und thermisch hochauflösende Anwendungen im MWIR und LWIR
- A/D-Wandlung in Detektor, DSP
- diffraktive Optiken, gepresste Optiken

## Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung

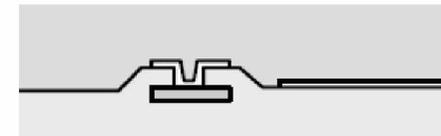
### Mikrobolometer-FPA-Detektoren, Technologie



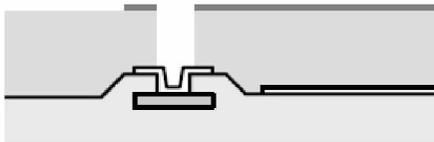
1/ CMOS wafer



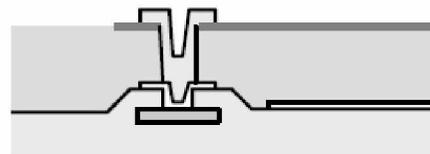
2/ Electrical contact on I/O  
+ reflector deposition & etching



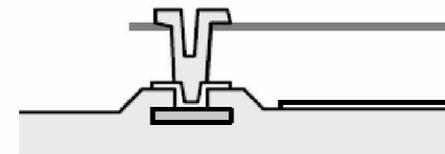
3/ Sacrificial layer  
deposition



4/ Amorphous silicon  
+ electrode depositions  
+ contact etching



5 / Contact electrode  
deposition & etching

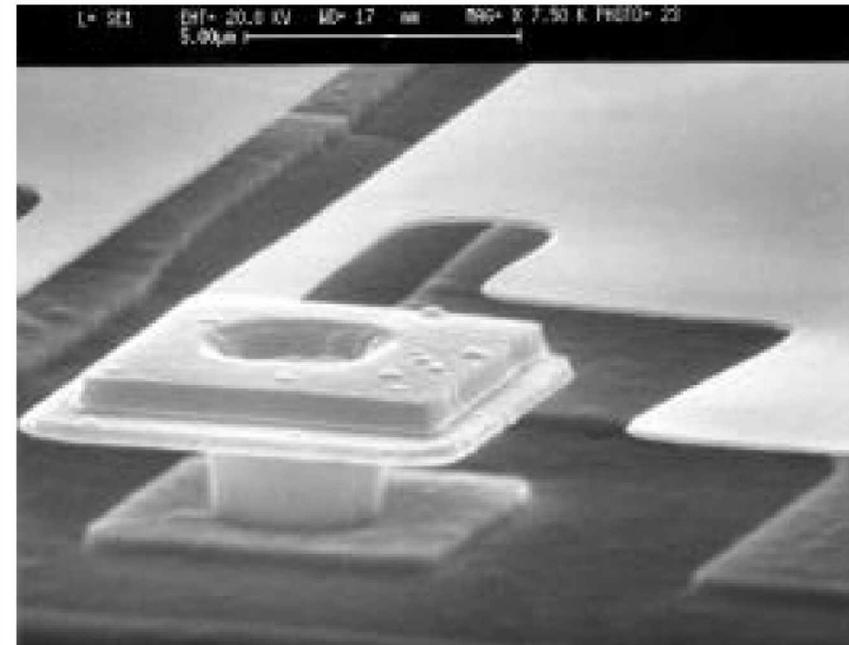
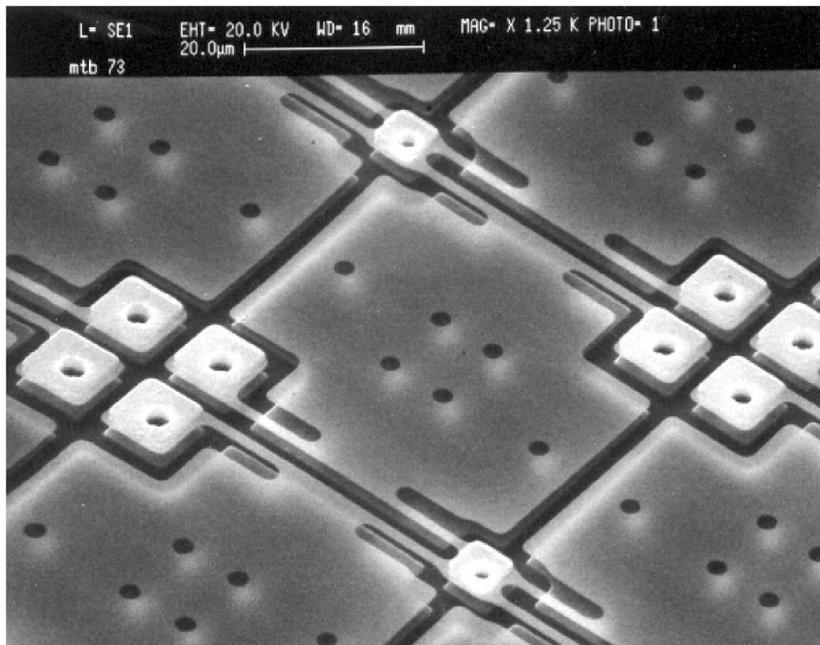


6/ Etching of sacrificial layer



## Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung

### Mikrobolometer-FPA-Detektoren, Technologie



## Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung

### Mikrobolometer-FPA-Detektoren, wo geht es hin?

- Pixelzahlen: (640 x 480) → (1280 x 960)
- Pitch: 25 µm → 15 µm
- NETD (300 K, 50 Hz, F/1.0): 50 mK → 25 mK
- digitale Signalverarbeitung im ROIC
- Vakuumverschluss im Wafermaßstab für Low-Cost (160 x 120)

## Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung

Mikrobolometer-FPA-Detektoren, kommerzielle Anwendungen



# Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung

## gekühlte FPA-Photonendetektoren, Roadmap MWIR

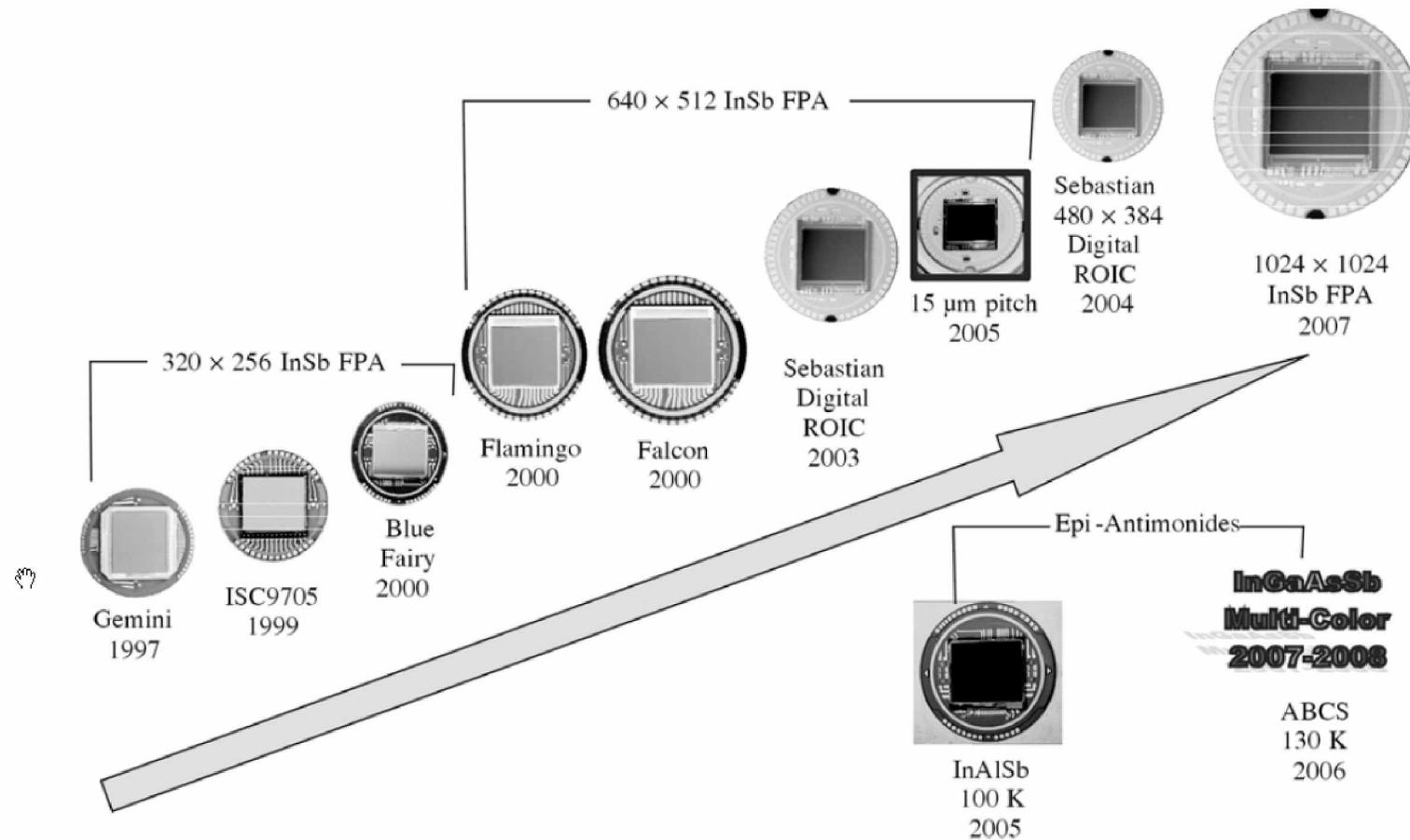


Fig. 1. SCD MWIR 2-D FPA roadmap.

# Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung

## gekühlte FPA-Photonendetektoren, Roadmap LWIR

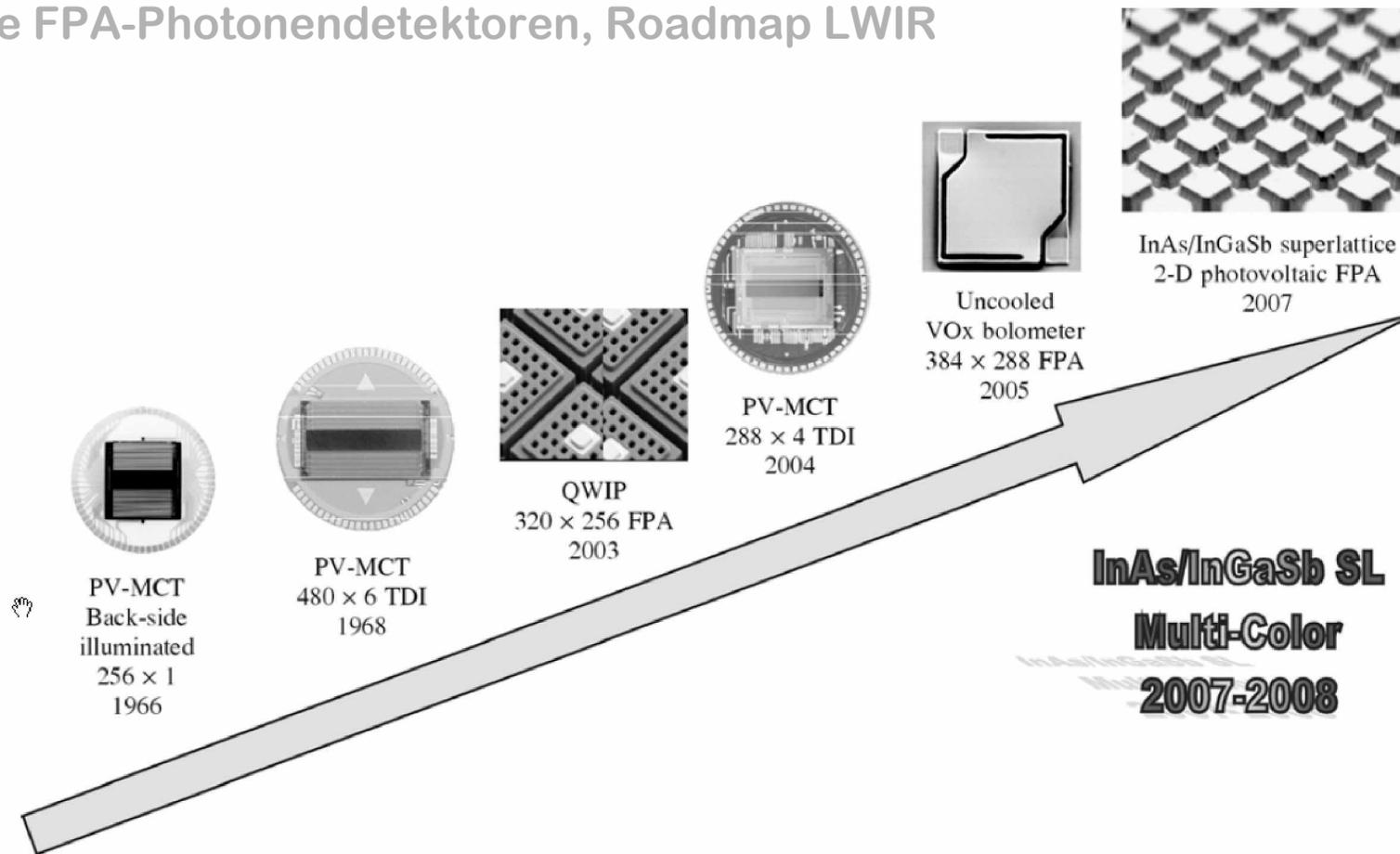
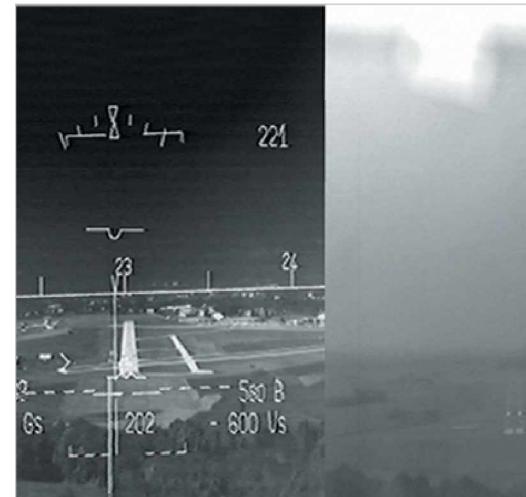


Fig. 2. SCD LWIR FPA roadmap.

## Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung gekühlte FPA-Photonendetektoren, kommerzielle Anwendungen

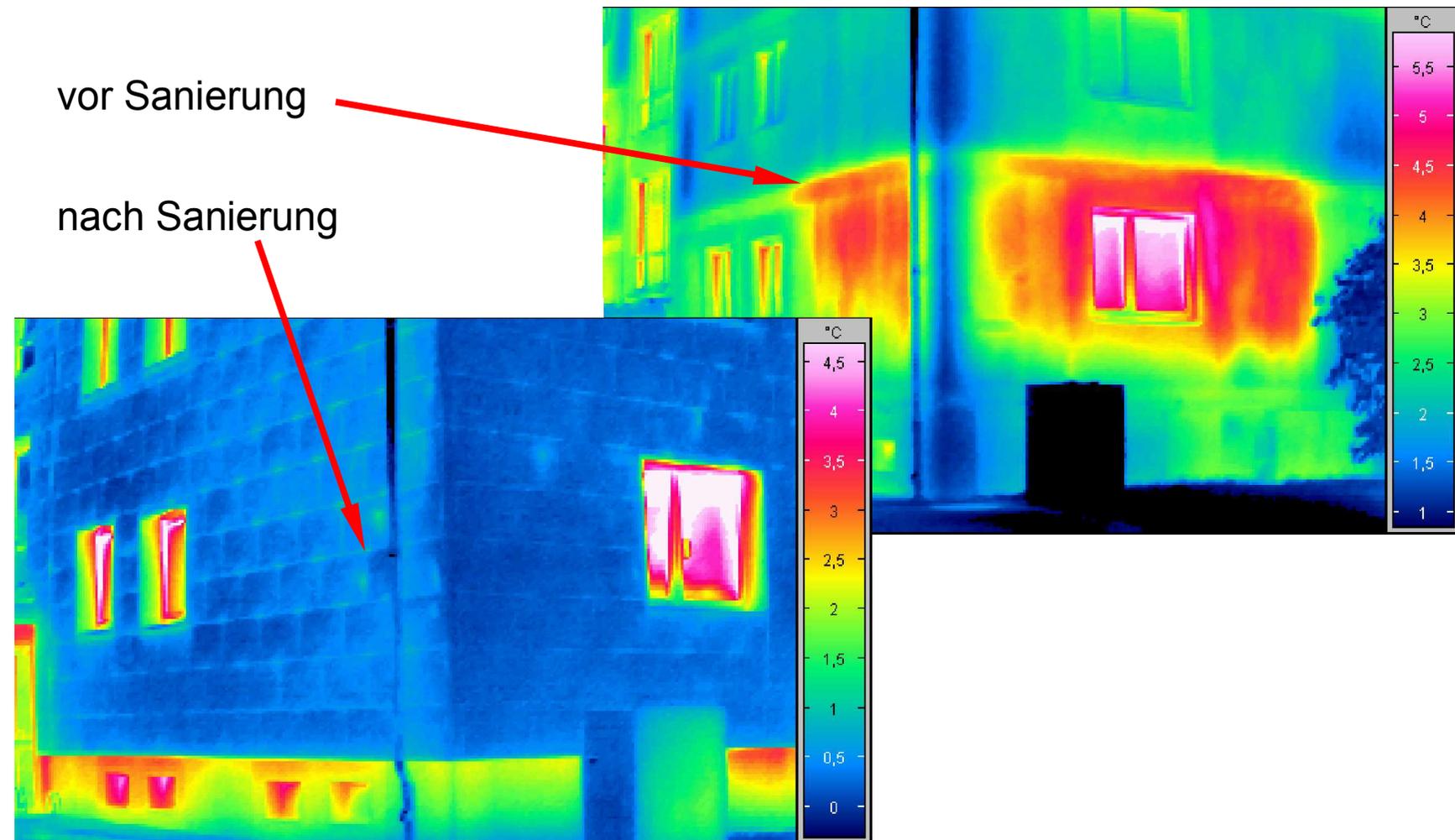


## Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

- Vorstellung InfraTec GmbH
- Thermografie als Temperaturmessverfahren
- Thermografiesysteme
- Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung
- Allgemeine Anwendungen der Thermografie**
- Thermografie-Automation

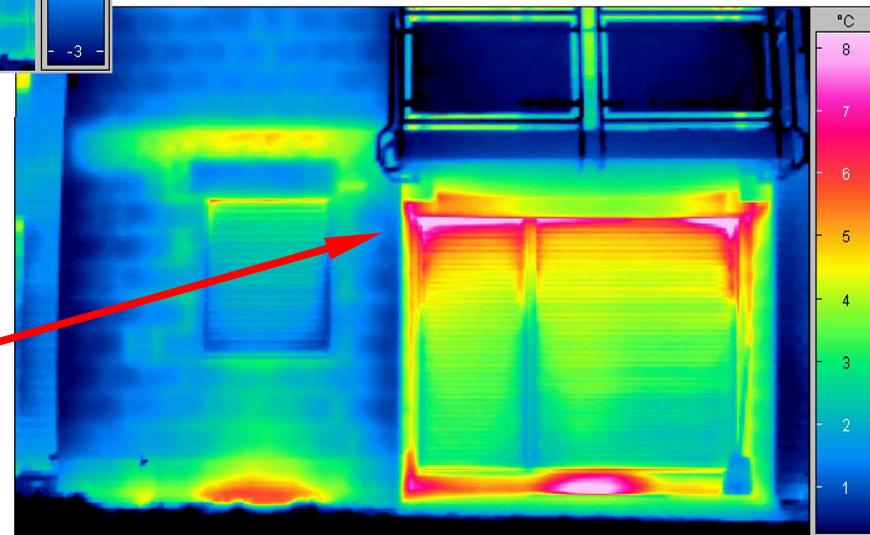
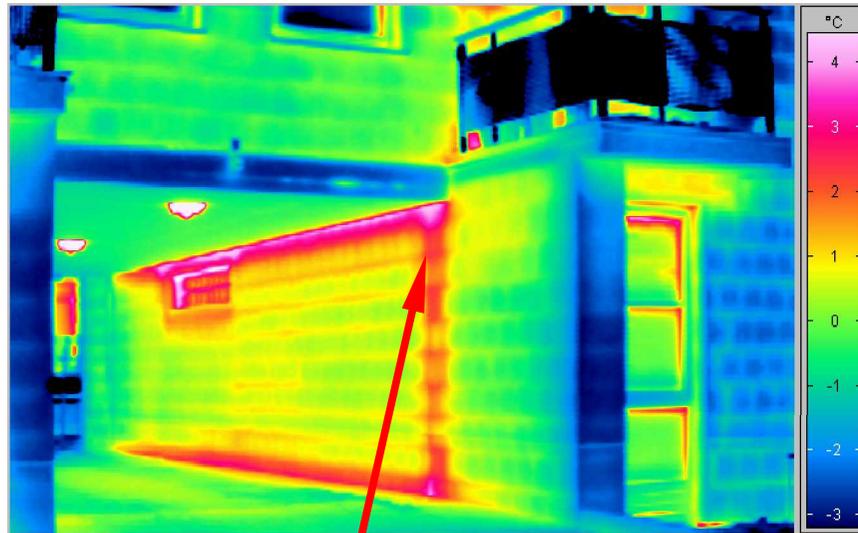
## Thermografie im Bauwesen

### Quantifizierung der Wärmedämmung



# Thermografie im Bauwesen

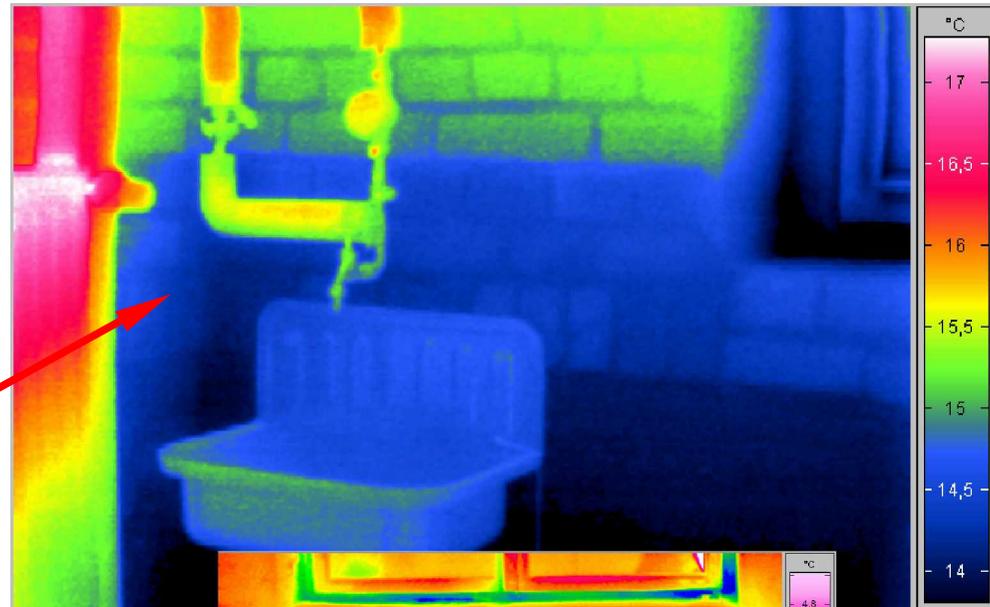
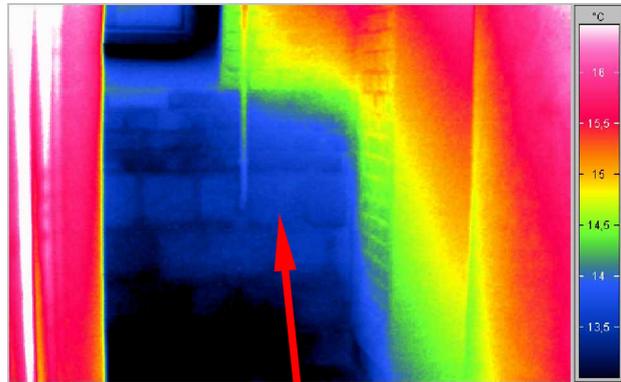
## Schwachstellenanalyse



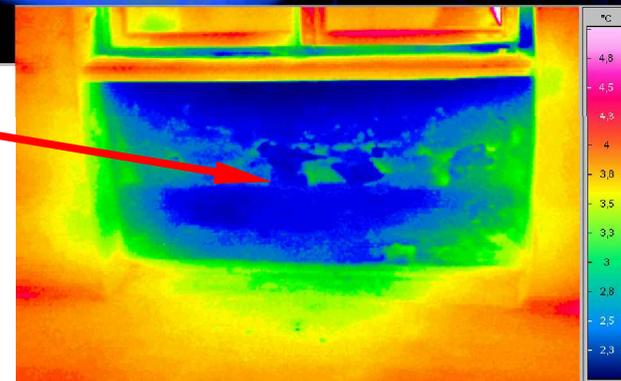
Wärmebrücken

# Thermografie im Bauwesen

## Schwachstellenanalyse

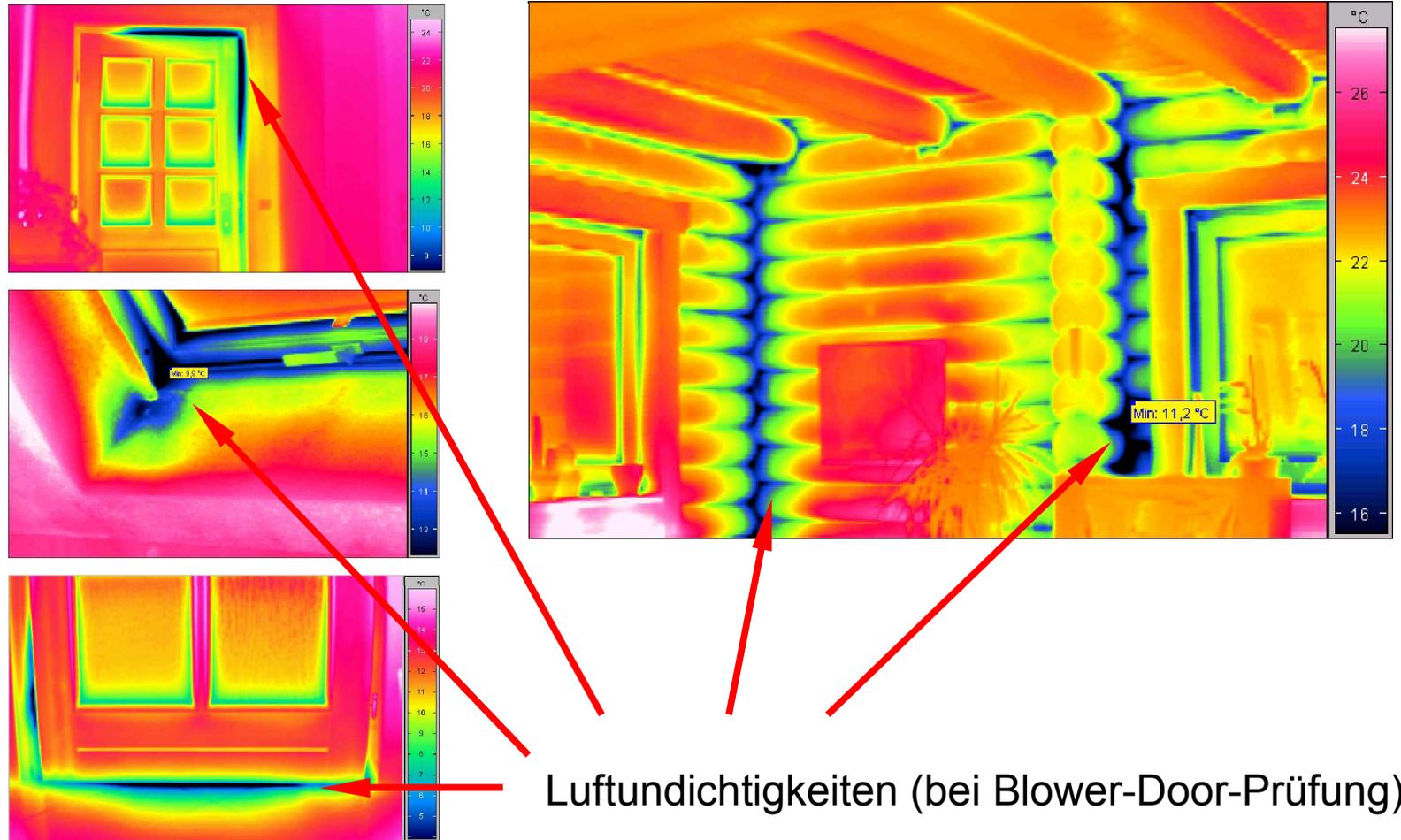


Feuchteschäden



## Thermografie im Bauwesen

### Schwachstellenanalyse

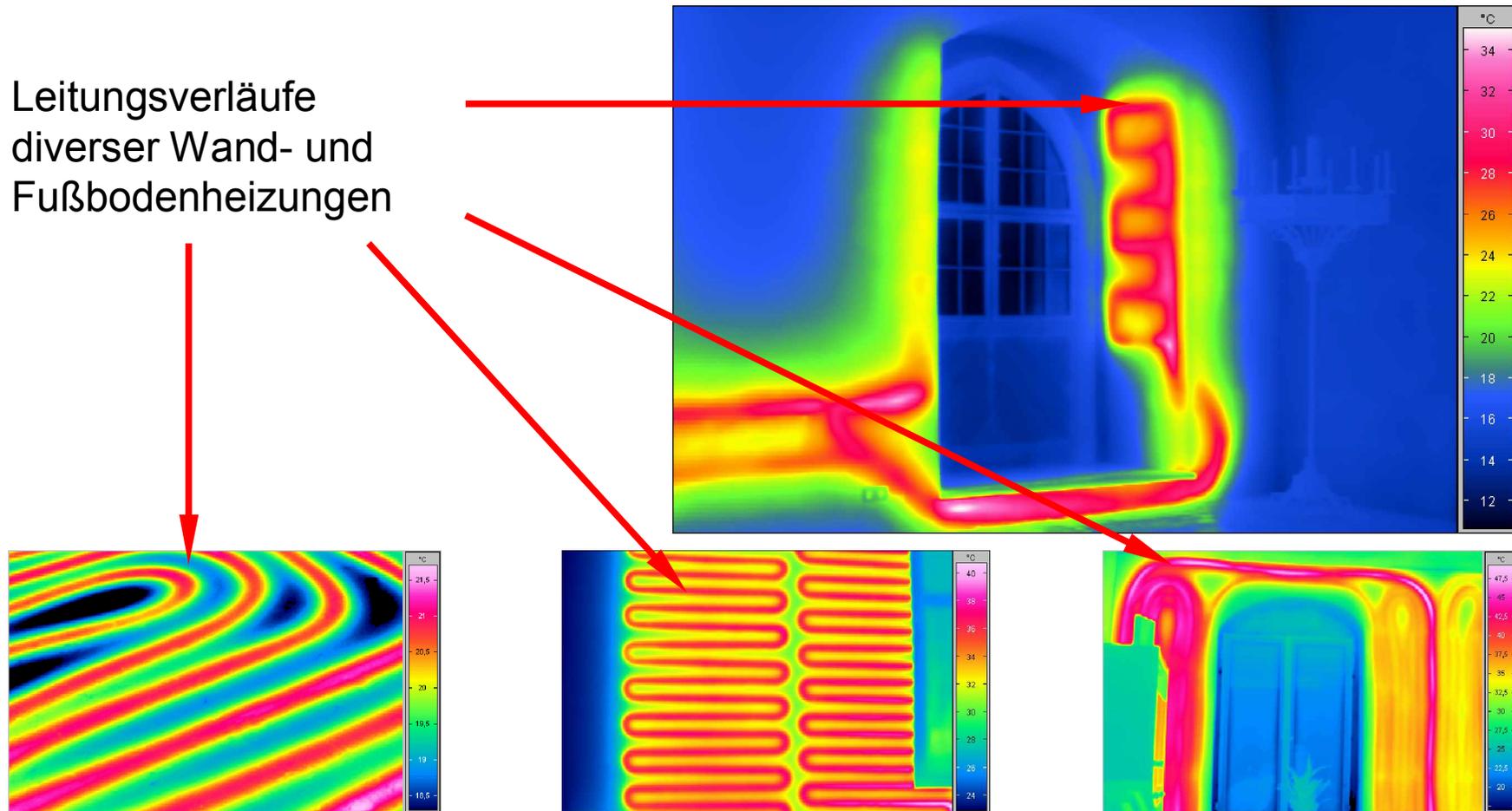


Luftundichtigkeiten (bei Blower-Door-Prüfung)

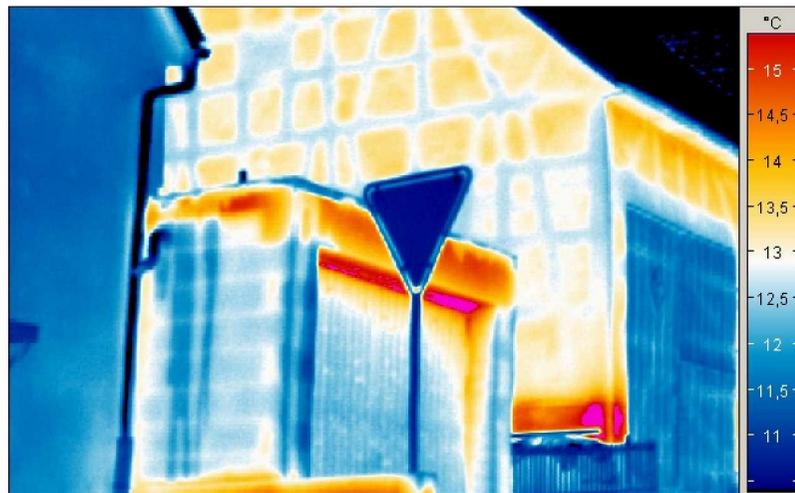
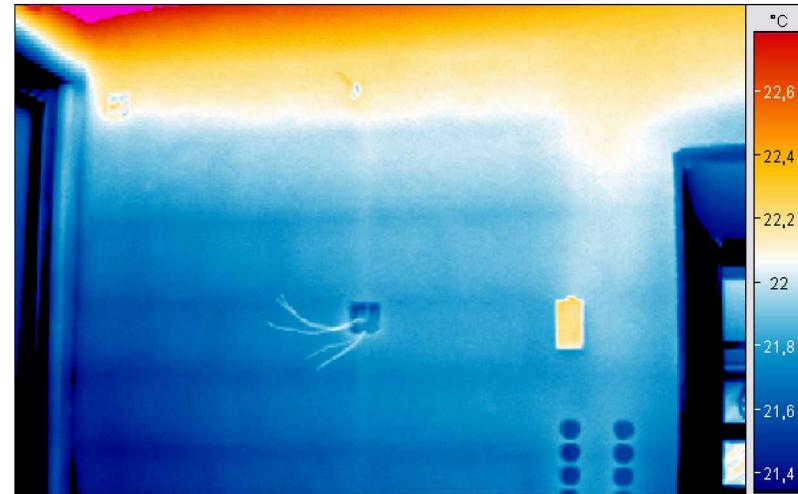
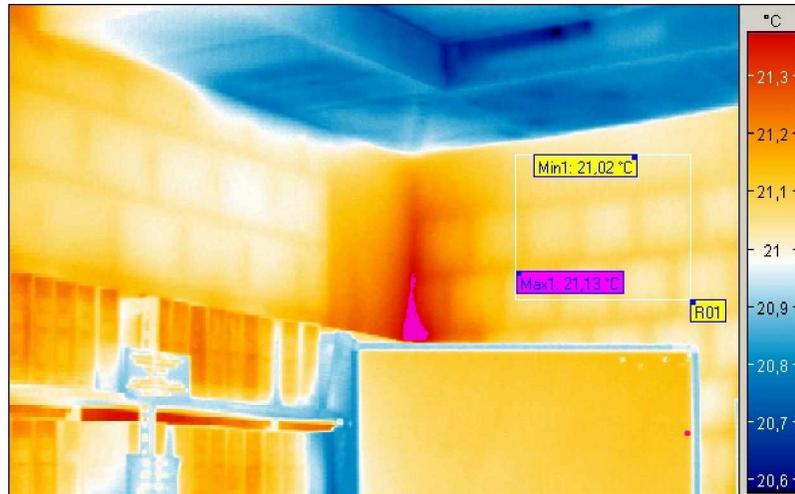
# Thermografie im Bauwesen

## Ortung verdeckter Elemente

Leitungsverläufe  
diverser Wand- und  
Fußbodenheizungen



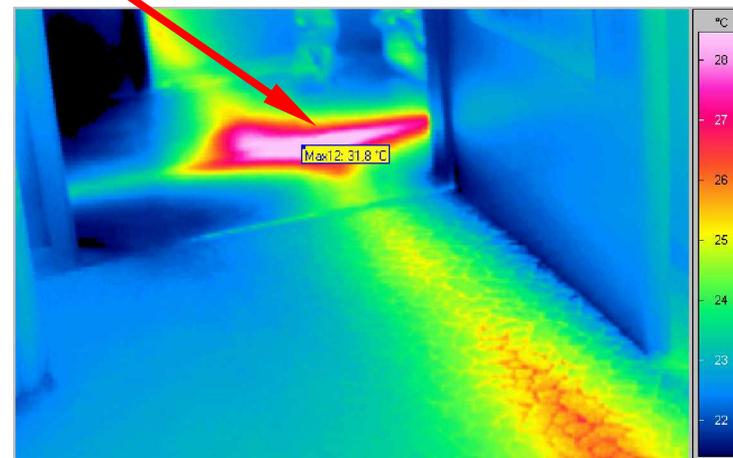
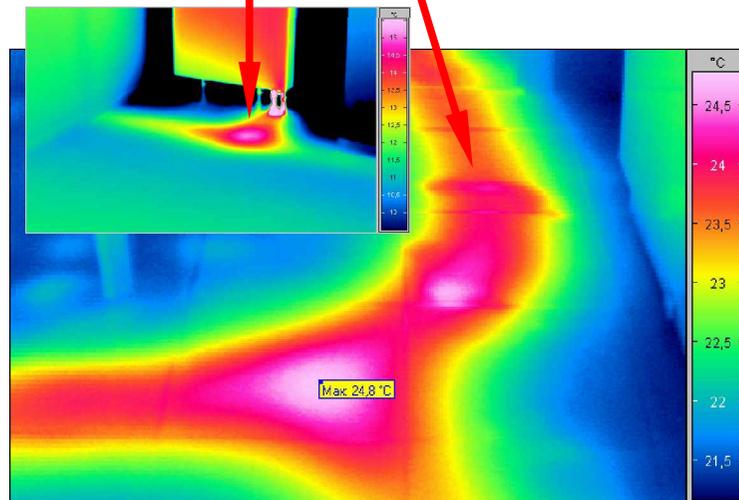
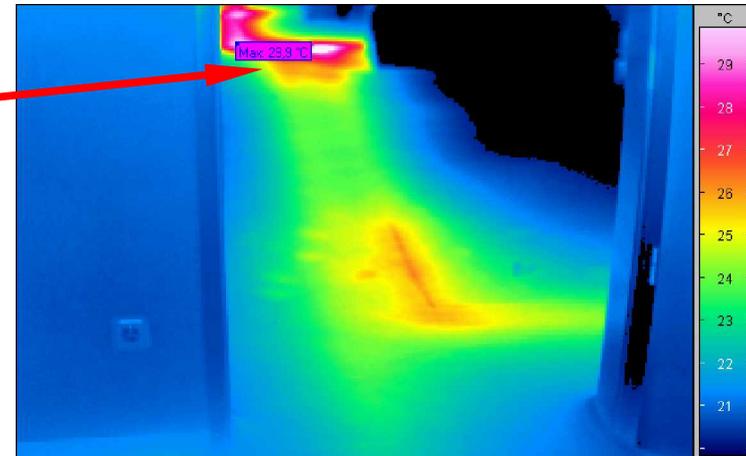
## Thermografie im Bauwesen Ortung verdeckter Elemente



# Thermografie im Bauwesen

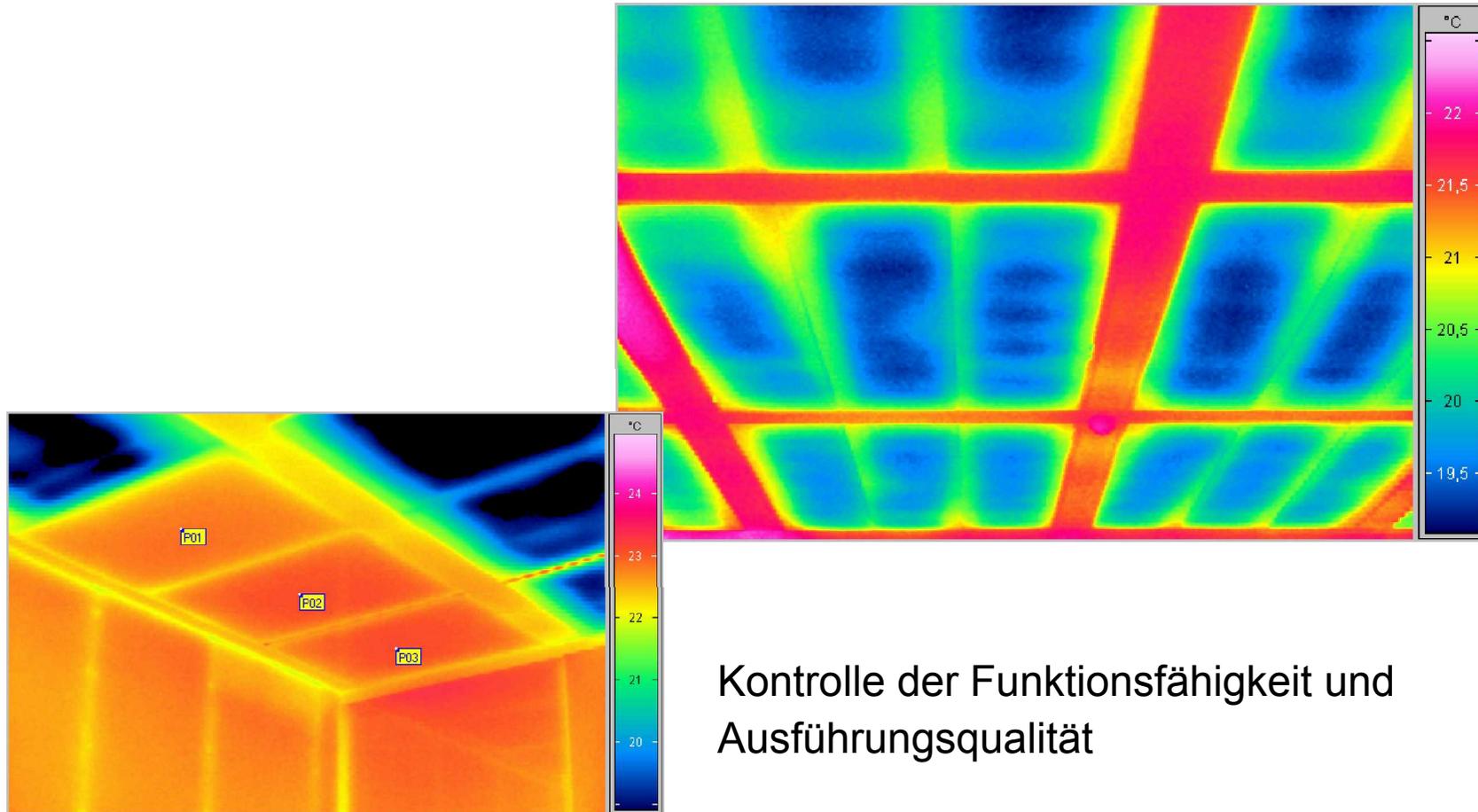
## Leckageortung

Leckageortung an verdeckten Leitungen



## Thermografie im Bauwesen

### Klimadecken



Kontrolle der Funktionsfähigkeit und  
Ausführungsqualität

# Thermografie im Bauwesen - Tendenzen

## Expertensystem FORNAX - Oberflächenkondensation

The screenshot displays the FORNAX 1.0 software interface. The main window shows three thermal images of building components, labeled 'Puffer A', 'Puffer B', and 'Puffer C'. A central dialog box titled 'Gefahr der Oberflächenkondensation in Puffer C bestimmen ...' is open, allowing the user to input parameters for a condensation risk calculation. The dialog includes fields for current and simulated indoor and outdoor conditions, room type, climate data, and moisture balance parameters. A color scale at the bottom indicates temperature values from 12.0°C to 20.0°C.

**Gefahr der Oberflächenkondensation in Puffer C bestimmen ...**

Vorgefundener Istzustand:  
 T außen: -2.0    T innen: 18.0

Simulierter Zustand innen:  
 T norm. innen: 17.0 °C    Rel. Feuchte innen: 60 %  
 Raumnutzung: Wohnung / Schlafzimmer    Raumtyp: Wohnen

Simulierter Zustand außen:  
 T min. außen: -15.0    rel. Feuchte außen: 70.0 %  
 DIN 4108    Klimadaten    Klimaregion: Bonn  
 0 °C / 80 %    -5 °C / 80 %    Jahreszeit: Winter

Feuchtebilanz:  
 Raumvolumen: 30.0 m³  
 Luftwechsel: 0.0 pro h    Literaturwerte: Fester und Türen zu     Windstille  
 Wassereintrag: 45 g/h    Literaturwerte: Mensch in Ruhe    mal    1

Wandfeuchte:  
 Nässe     95 %     90 %     Alle

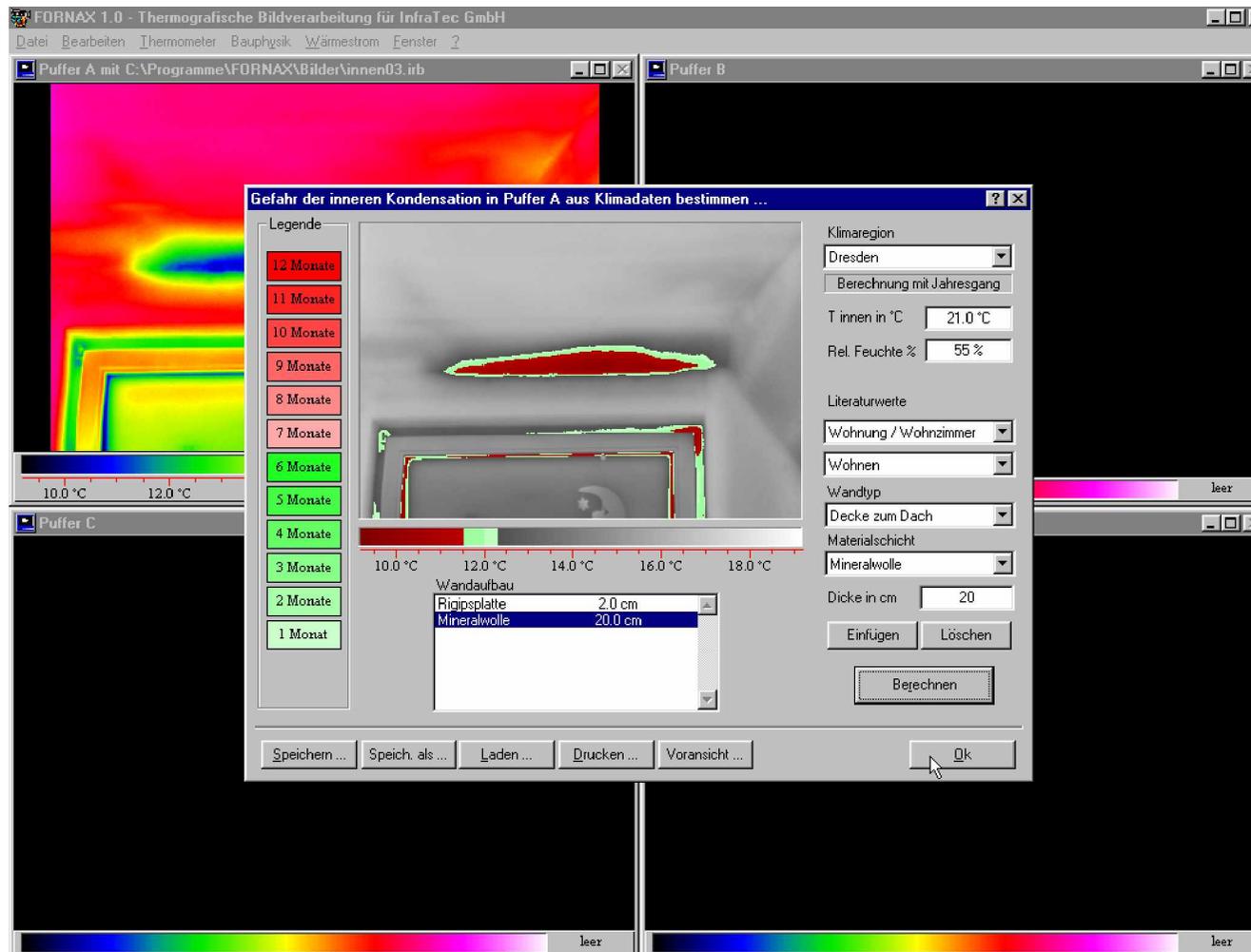
Berechnen     Mit Feuchtebilanz

Ergebnis:    Speichern ...    Speich. als ...    Laden ...    Drucken ...    Voransicht ...   

360 \* 240  
 $\epsilon = 0.97$   
 $A = 0.00$

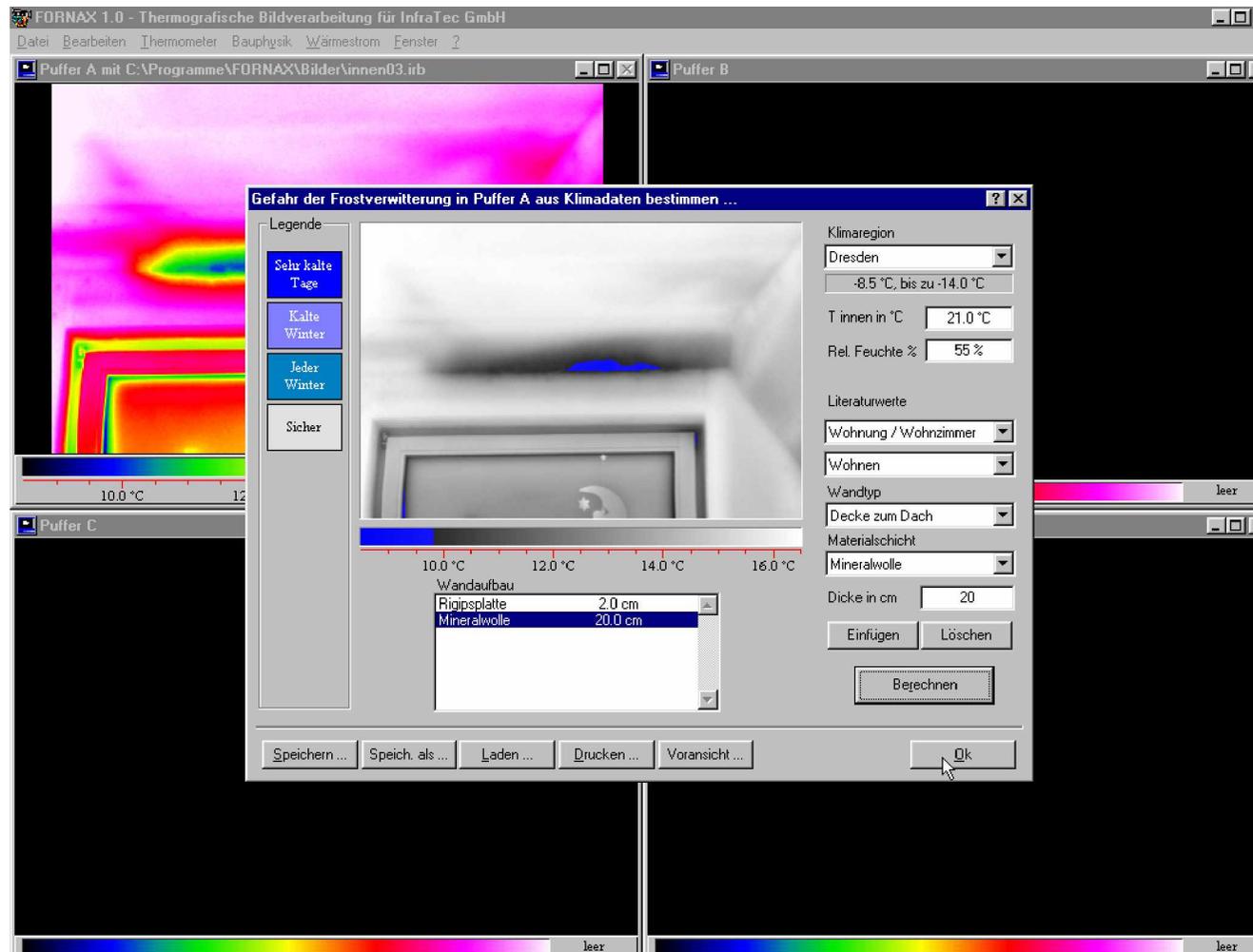
# Thermografie im Bauwesen - Tendenzen

## Expertensystem FORNAX – innere Kondensation



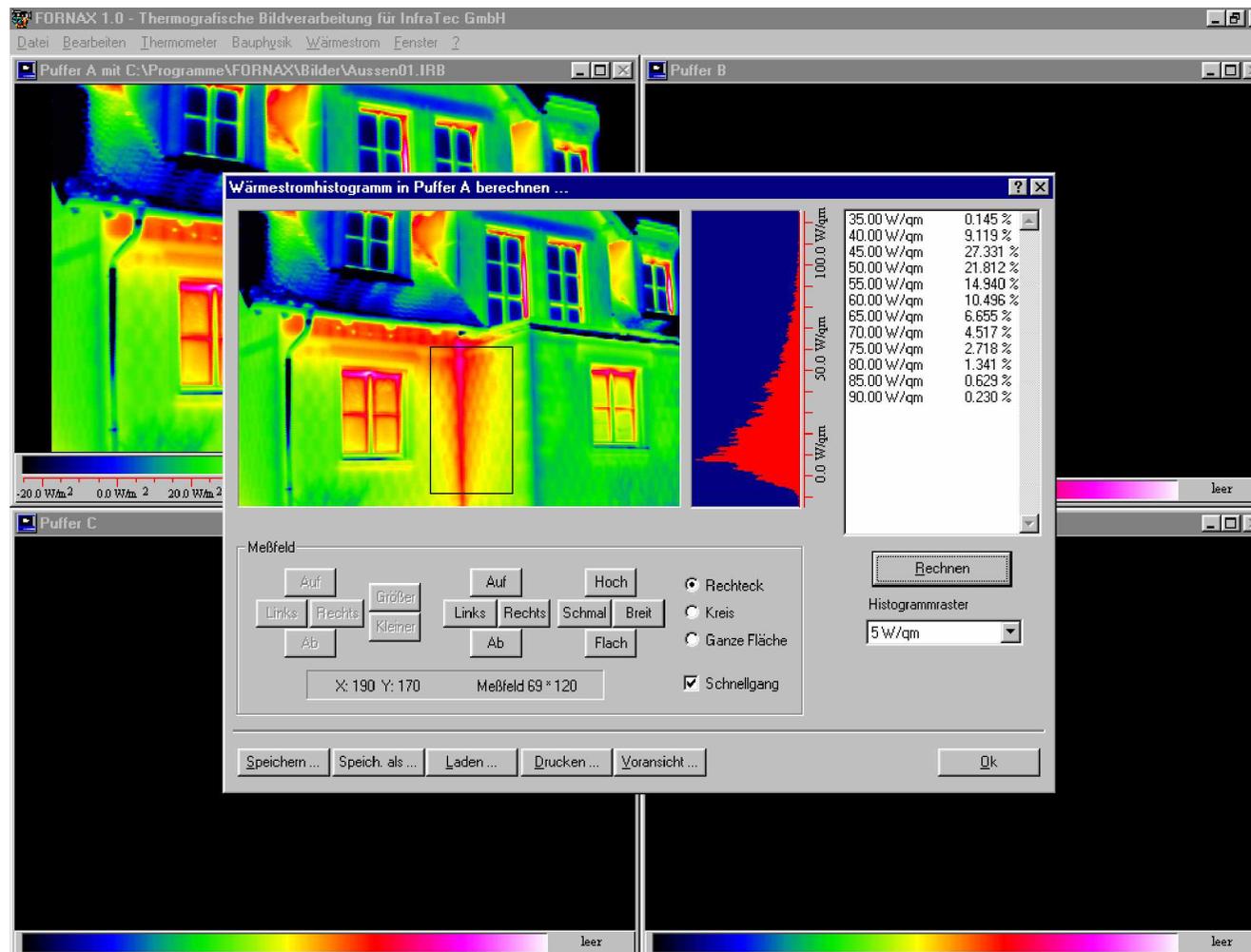
# Thermografie im Bauwesen - Tendenzen

## Expertensystem FORNAX – Frostverwitterung



# Thermografie im Bauwesen - Tendenzen

## Expertensystem FORNAX – Wärmestrom



# Thermografie im Bauwesen - Tendenzen

## Expertensystem FORNAX – Energiekostenberechnung

The screenshot displays the FORNAX 1.0 software interface. The main window shows a thermal image of a building facade with a color scale from -20.0 W/m² (blue) to 20.0 W/m² (red). A dialog box titled 'Energiekosten von Puffer A ...' is open, showing calculation parameters and results.

**Energiekosten von Puffer A ...**

Energiequelle  
 Energielieferant: Heizöl EL  
 Preis: 0.43 €/L  
 Einheit: €/L  
 Wirkungsgrad: 0.900  
 Standard  
 Brennwert  
 Wärmep.

Standort  
 Gradtagzahl: Dresden  
 T innen: 20 °C  
 -10.0 °C außen

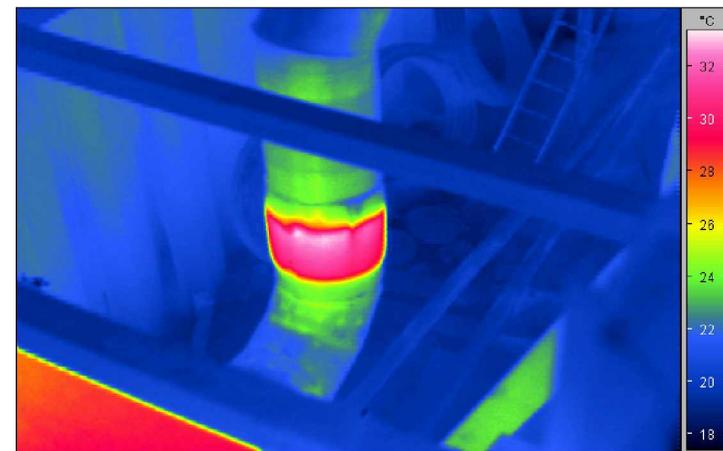
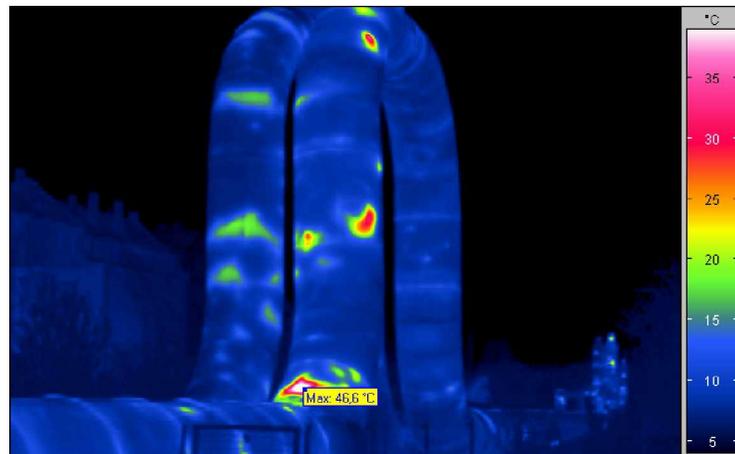
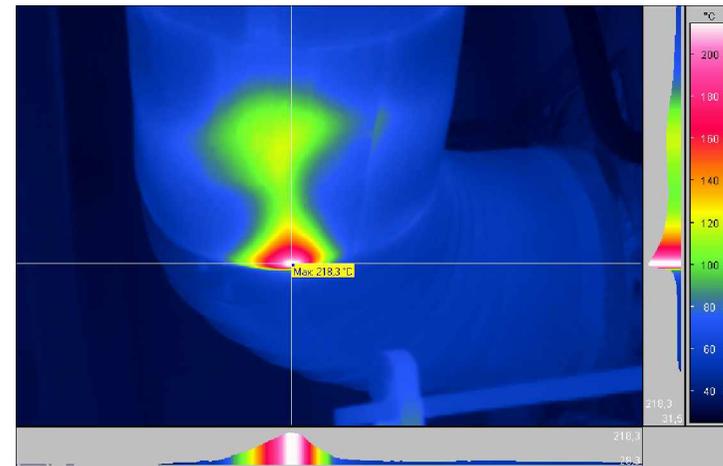
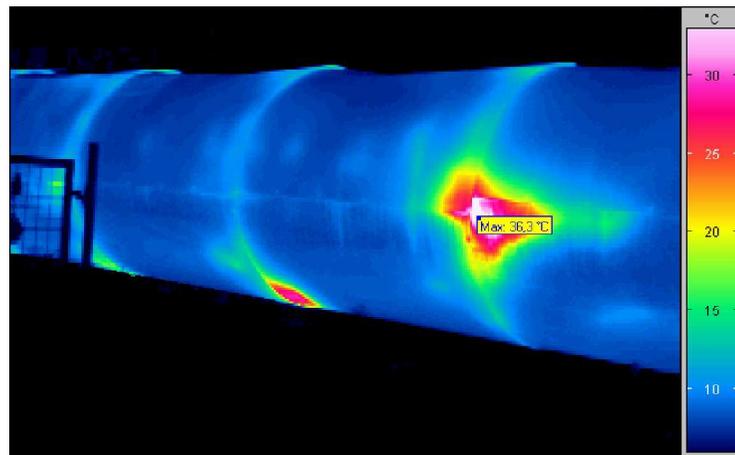
Meßfeld  
   Ganzes Bild  Schnellgang  
    X: 179 Y: 209  
  Meßfeld 329 \* 49

Jährliche Energiekosten / CO2-Ausstoß  
 4.17 €/qm 25.59 kg/qm  
 mal 400 qm  
 1667.09 €/a 10.24 t/a

Energiekosten:

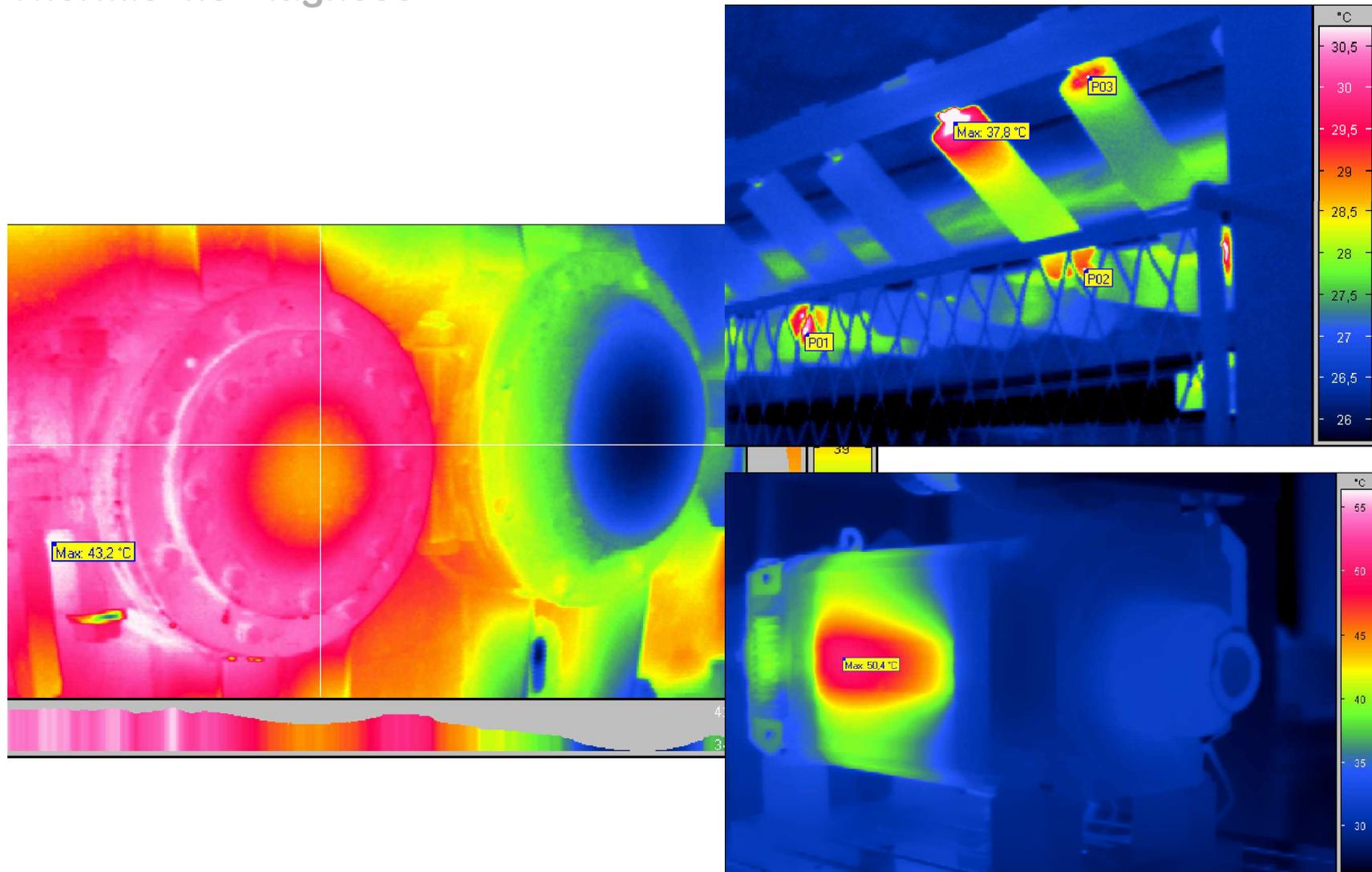
# Allgemeine Anwendungen der Thermografie

## Isolationsüberwachung



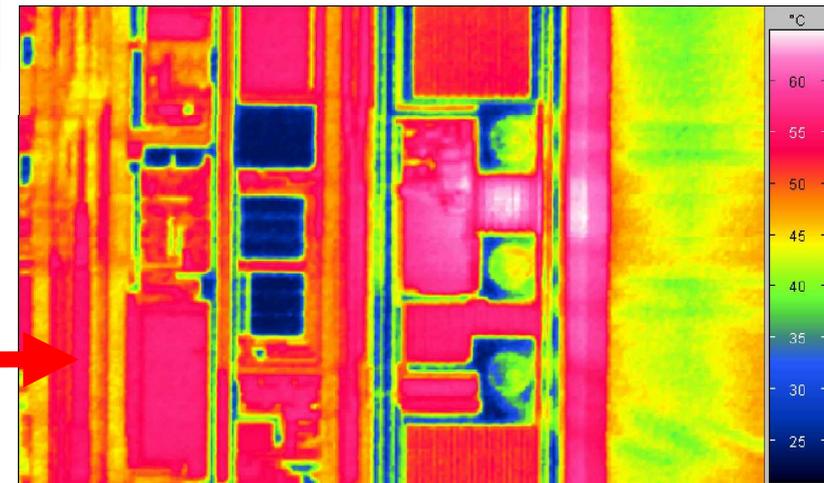
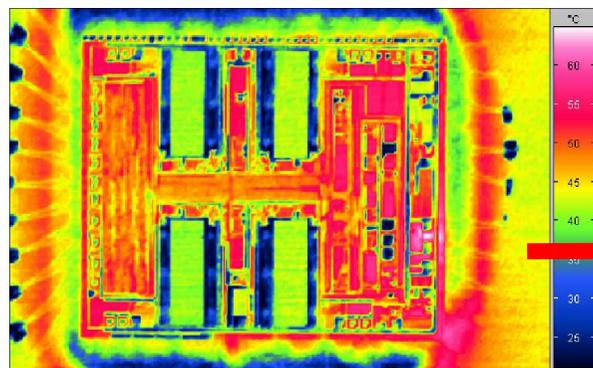
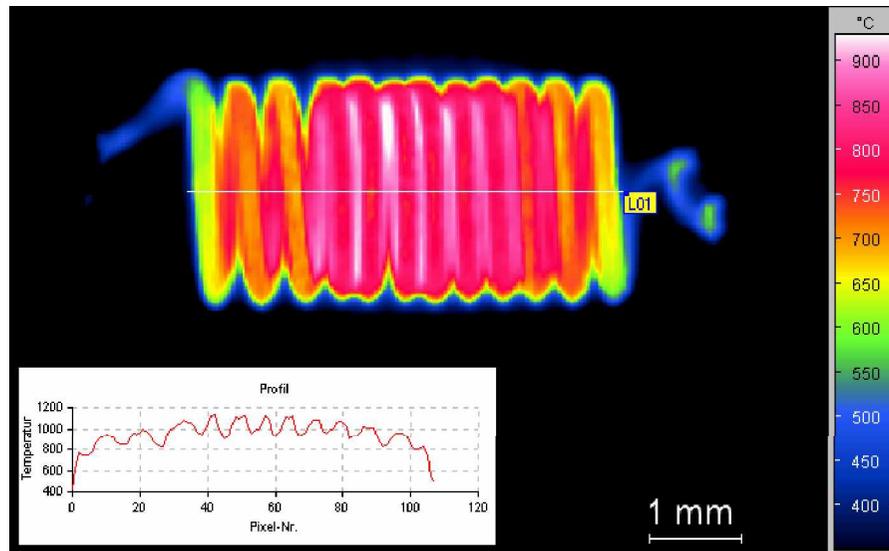
# Allgemeine Anwendungen der Thermografie

## Thermische Diagnose



# Allgemeine Anwendungen der Thermografie

## Elektronik

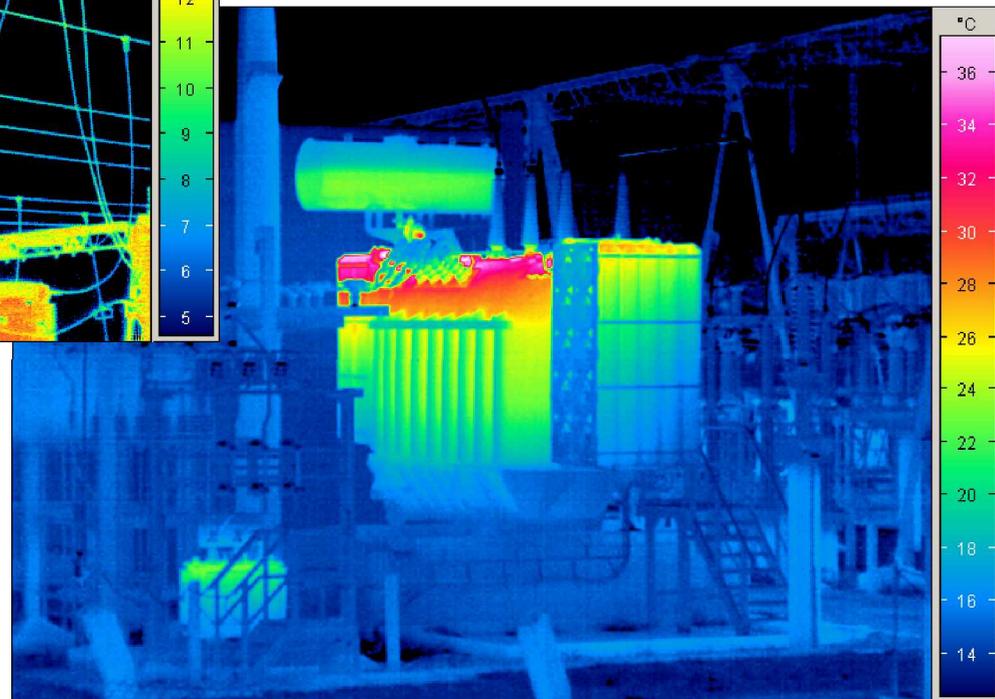
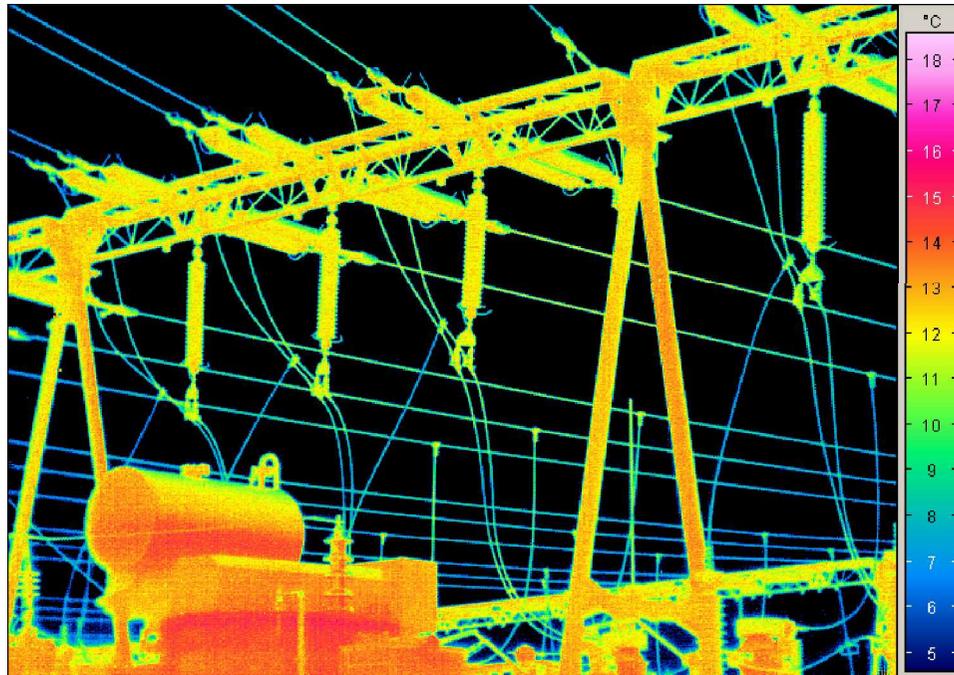


Micro-thermographic image of a chip

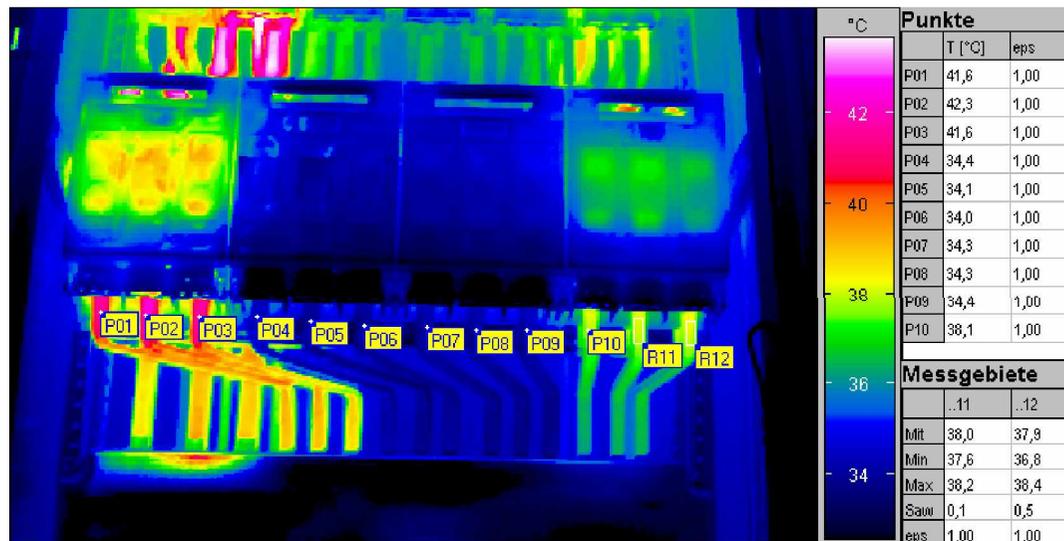
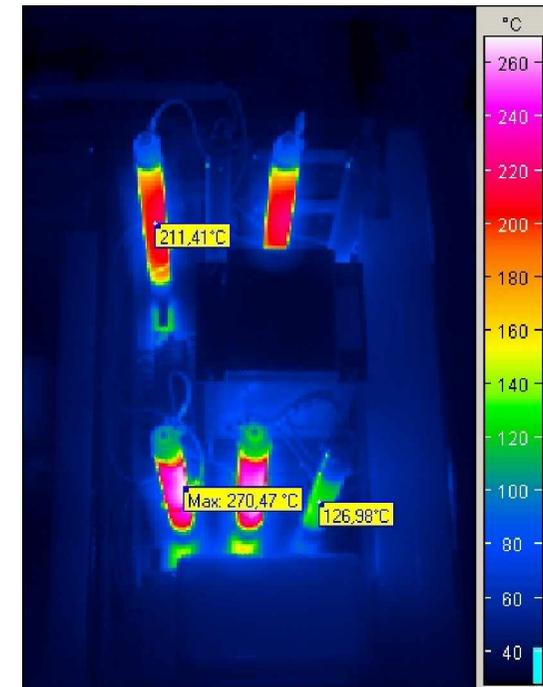
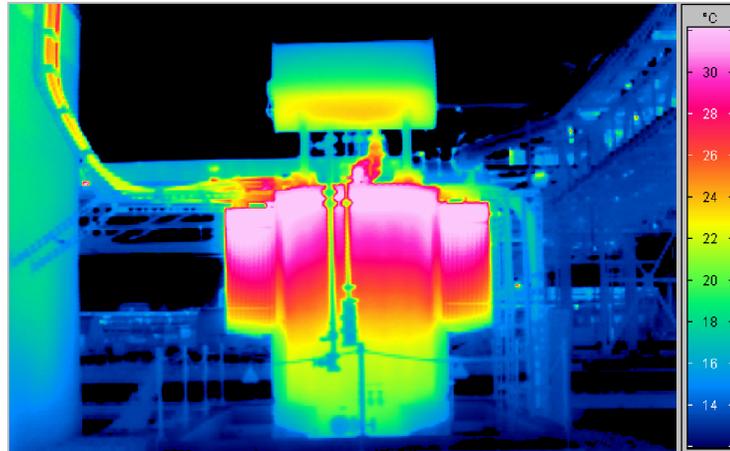
Zoom measuring for hot spot detection

## Allgemeine Anwendungen der Thermografie

### Elektroanlagen



## Allgemeine Anwendungen der Thermografie Elektroanlagen

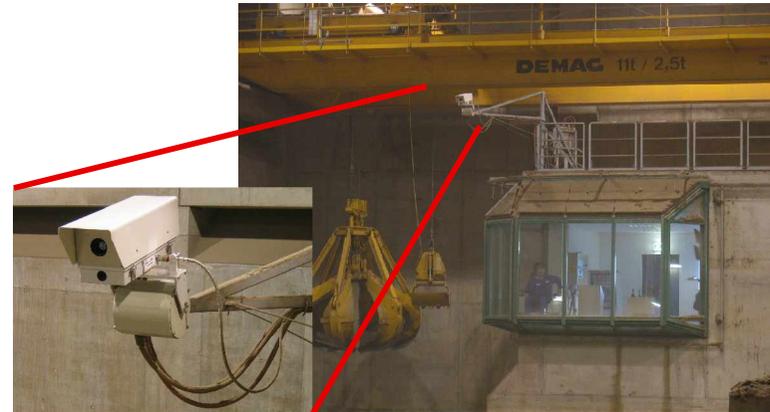
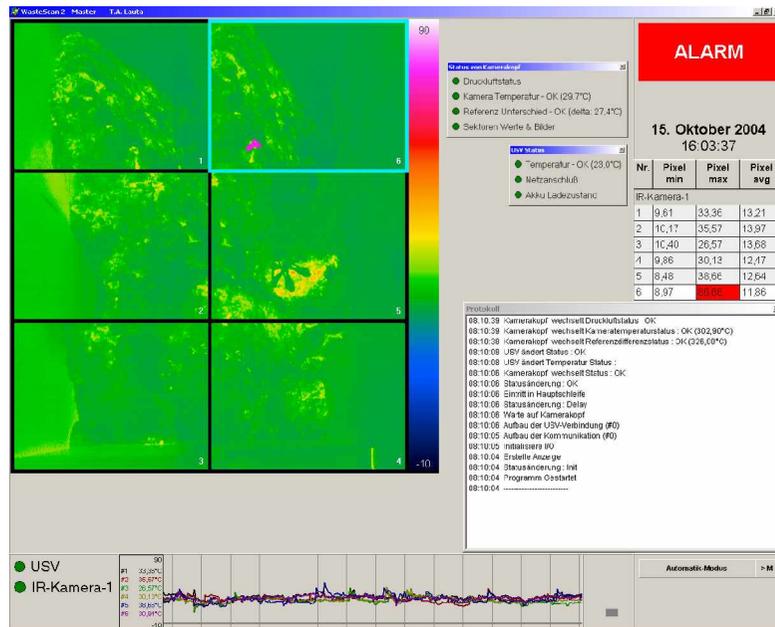


## Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

- Vorstellung InfraTec GmbH
- Thermografie als Temperaturmessverfahren
- Thermografiesysteme
- Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung
- Allgemeine Anwendungen der Thermografie
- Thermografie-Automation**

# Thermografie-Automatation

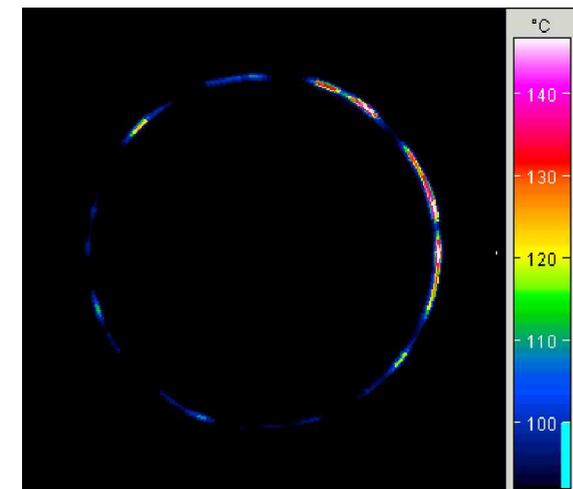
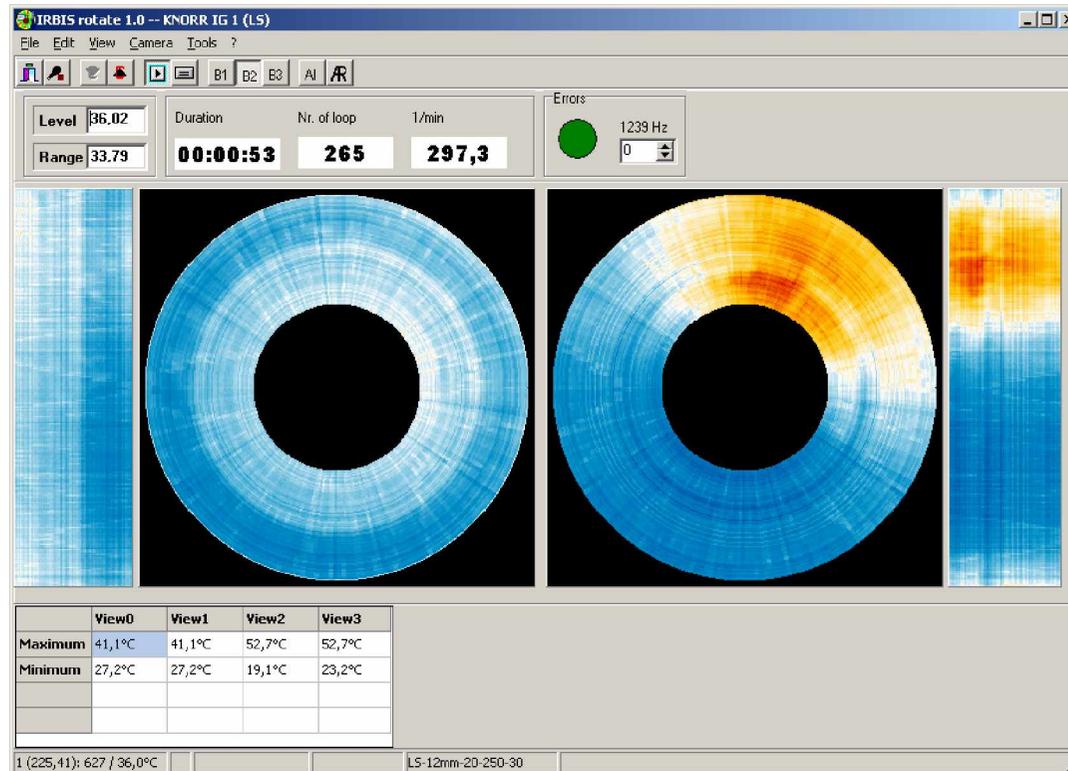
## Brandfrüherkennung



Infrarot-Überwachungssystem  
WASTE-SCAN zur  
Brandfrüherkennung in Müllbunkern

# Thermografie-Automation

## Bremsenprüfstände



Thermografische Echtzeit-Profil- und Segmentmessungen an Bremscheiben bis 400 km/h

## Thermografie-Automation Walzgutvermessung



Thermografische Überwachung von Walzprozessen und geometrische Vermessung des bewegten Walzgutes

# Thermografie-Automation

## Walzgutvermessung

ILG 0.1 -- Walze Ilsenburg

Beenden Start Kamera 1 Kamera 2 Visualisierung

1,4 m/s

1	Valid	MinPo	MaxPo
Extr	V	46,50	96,10
Avg			
-			

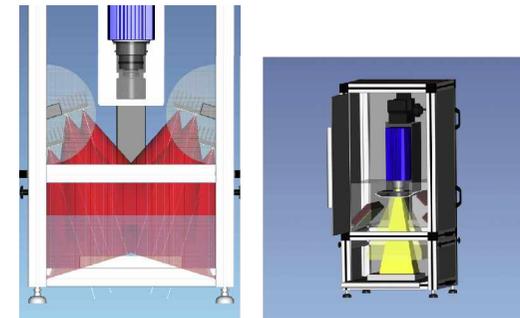
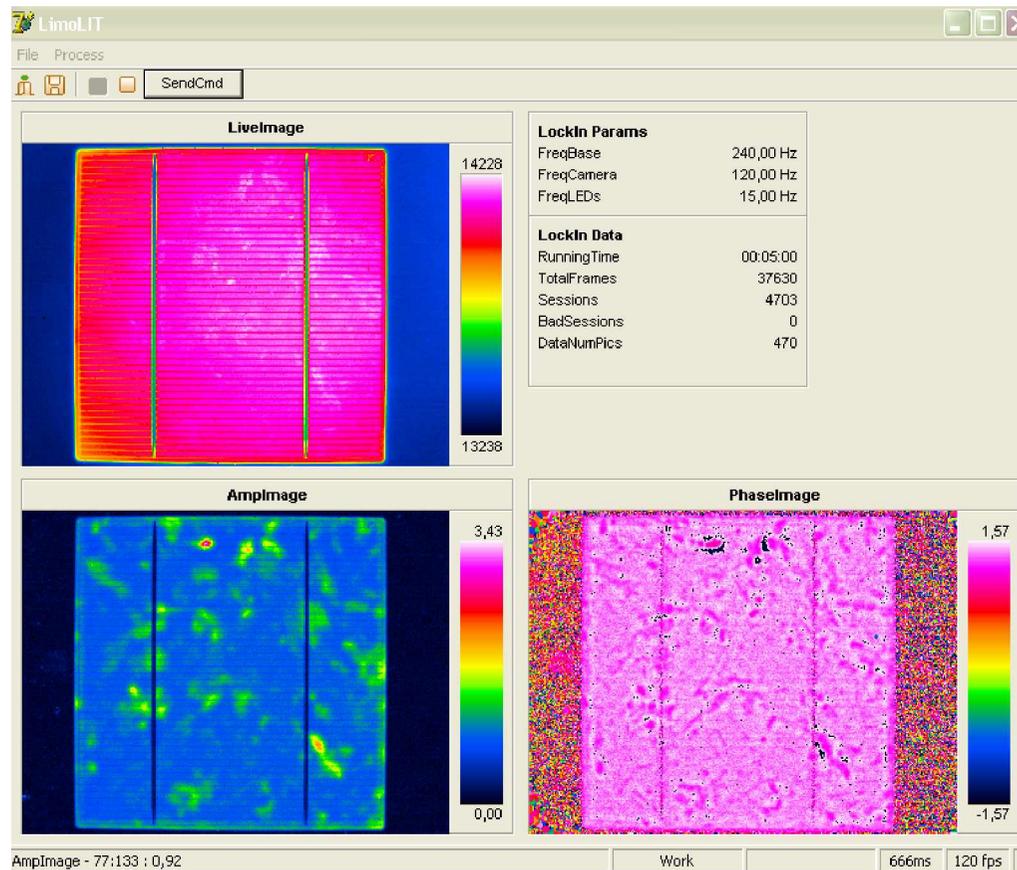
StichTG	Value
Blech-Nr.	313361
Stich-Nr.	1
Richtung	1
W.-Durchm.	10965
Blechbreite	2668
Blechlänge	2963
PyroTemp.	1091

2 RX: Icalmatrix OK  
 1 TX: :calmatrix 1  
 1 RX: Icalmatrix OK  
 2 TX: :calmatrix 1  
 2 RX: Icalmatrix OK  
 2 TX: :calmatrix 1  
 2 RX: Icalmatrix OK  
 1 TX: :calmatrix 1  
 1 RX: Icalmatrix OK  
 1 TX: :calmatrix 1  
 1 RX: Icalmatrix OK  
 2 TX: :calmatrix 1  
 2 RX: Icalmatrix OK

Kamera 1 Druck 1 Klappe 1 EndPos 1      12,2 m      Kamera 2 Druck 2 Klappe 2 EndPos 2

1 (121,69): 16384 / 21,5°C    igWaitWig1    1379388/1406093    SPR verbunden    7,6Hz / 91 / 12044ri

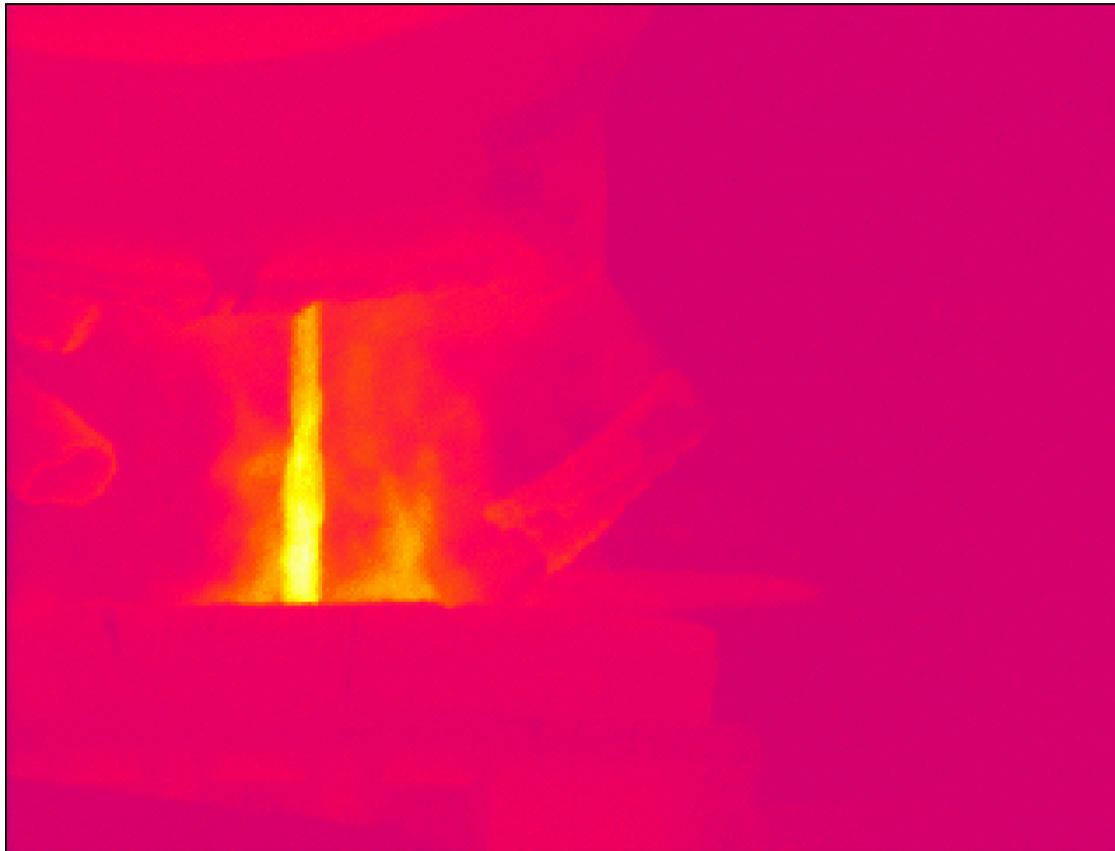
# Thermografie-Automation Solarzellenprüfung



Lichtinduzierte Lock-in-Thermografie (LimoLIT) zur Qualitätssicherung

## Thermografie-Automation

Qualitätsüberwachung/Fertigungssteuerung in der Stahlindustrie



Echtzeit-Thermografie

Thermografie-Automation

**Vielen Dank!**