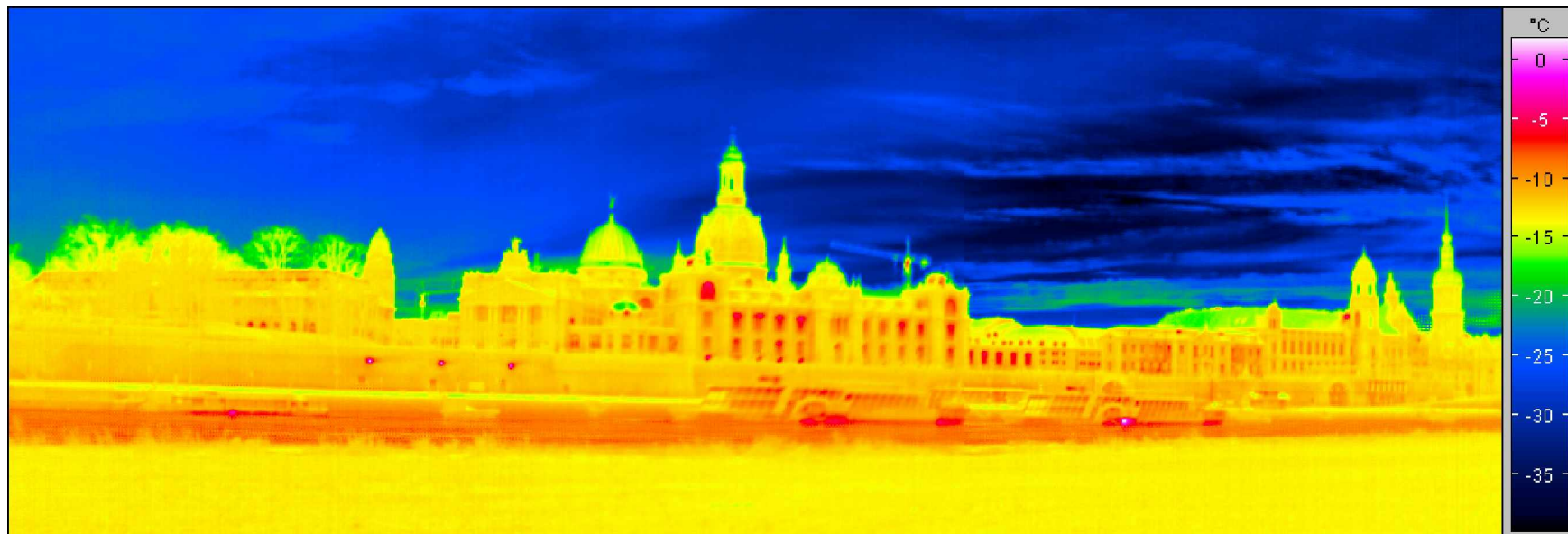


Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen,

Matthias Krauß

InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik

01217 Dresden, Gostritzer Str. 61 – 63, GERMANY

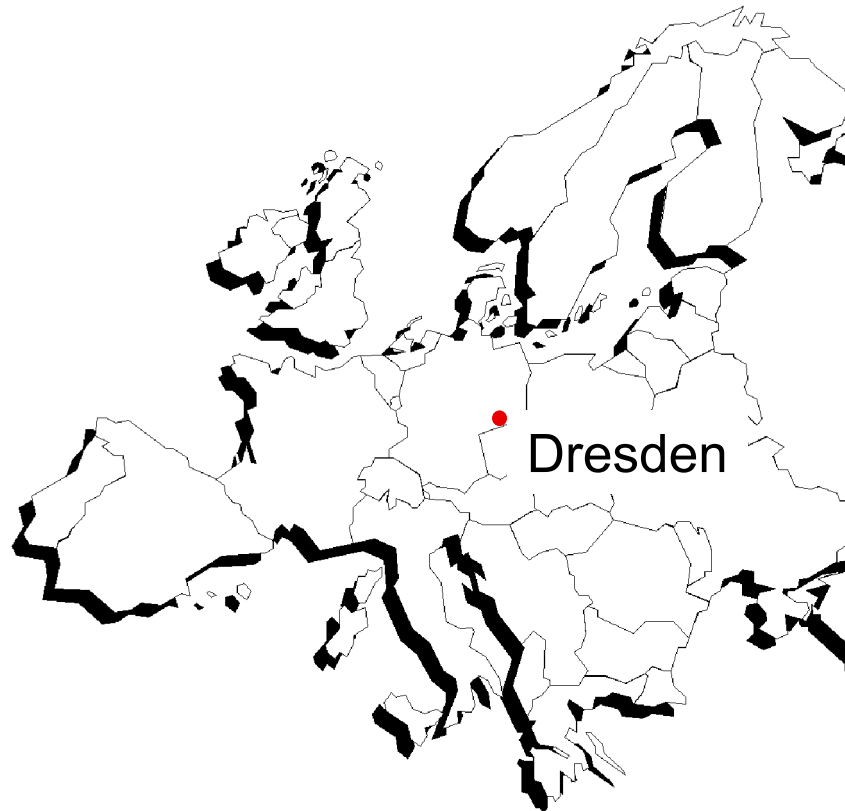


Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

- 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

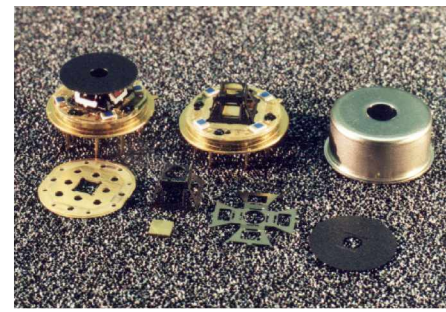
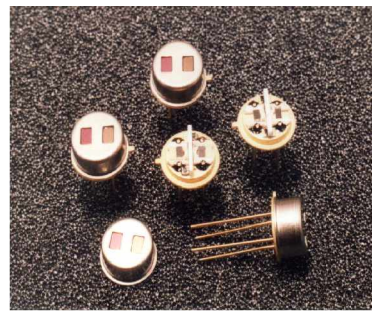
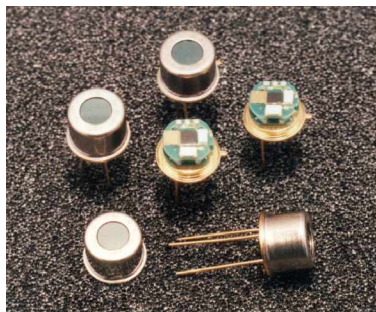
Geschäftsbereich Sensorik

Entwicklung und Produktion kundenspezifischer IR-Detektoren



Anwendungsgebiete

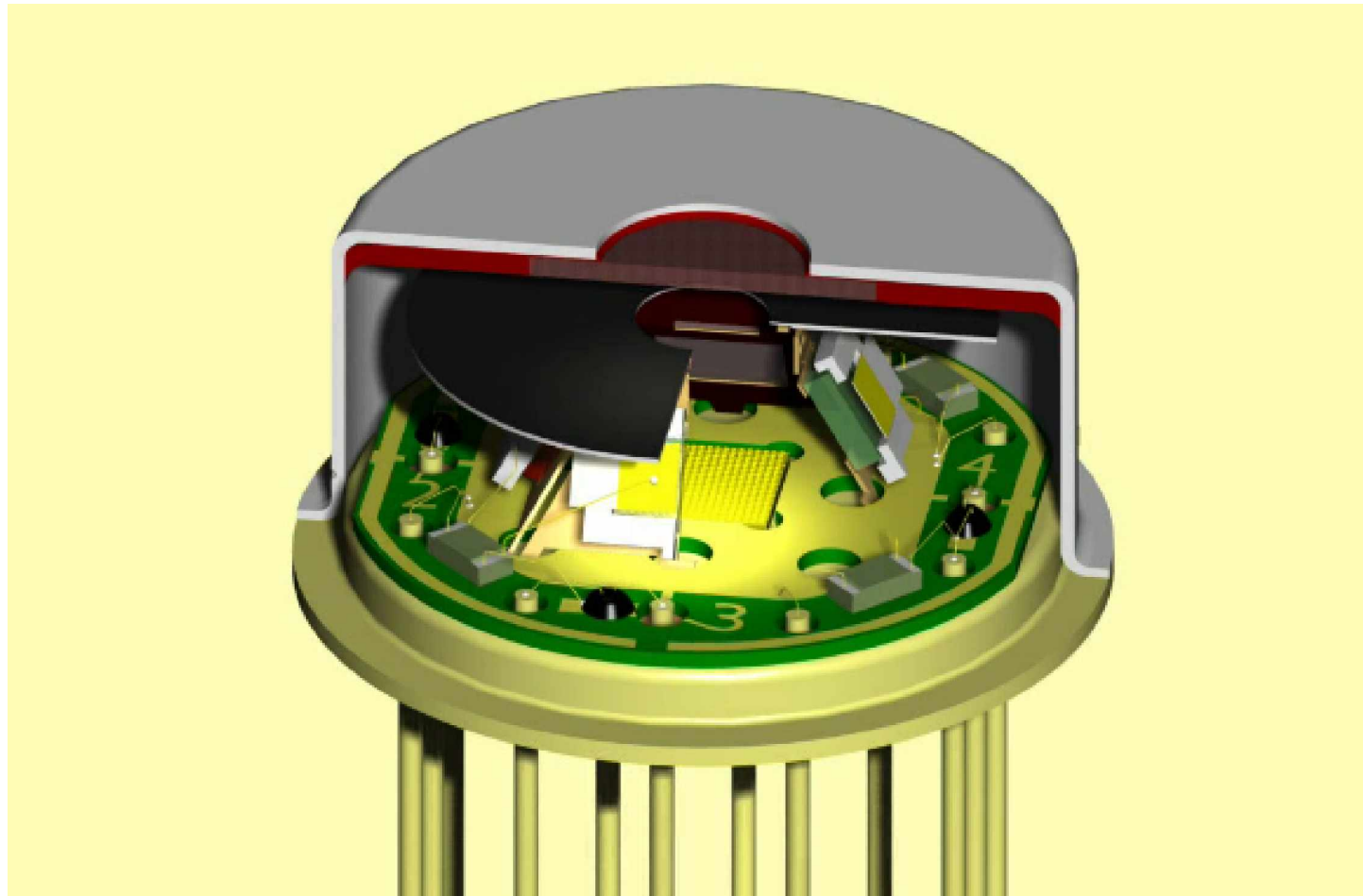
- Pyrometrie
- Gasanalytik
- Spektroskopie
- Flammensensorik
- optische Messungen



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

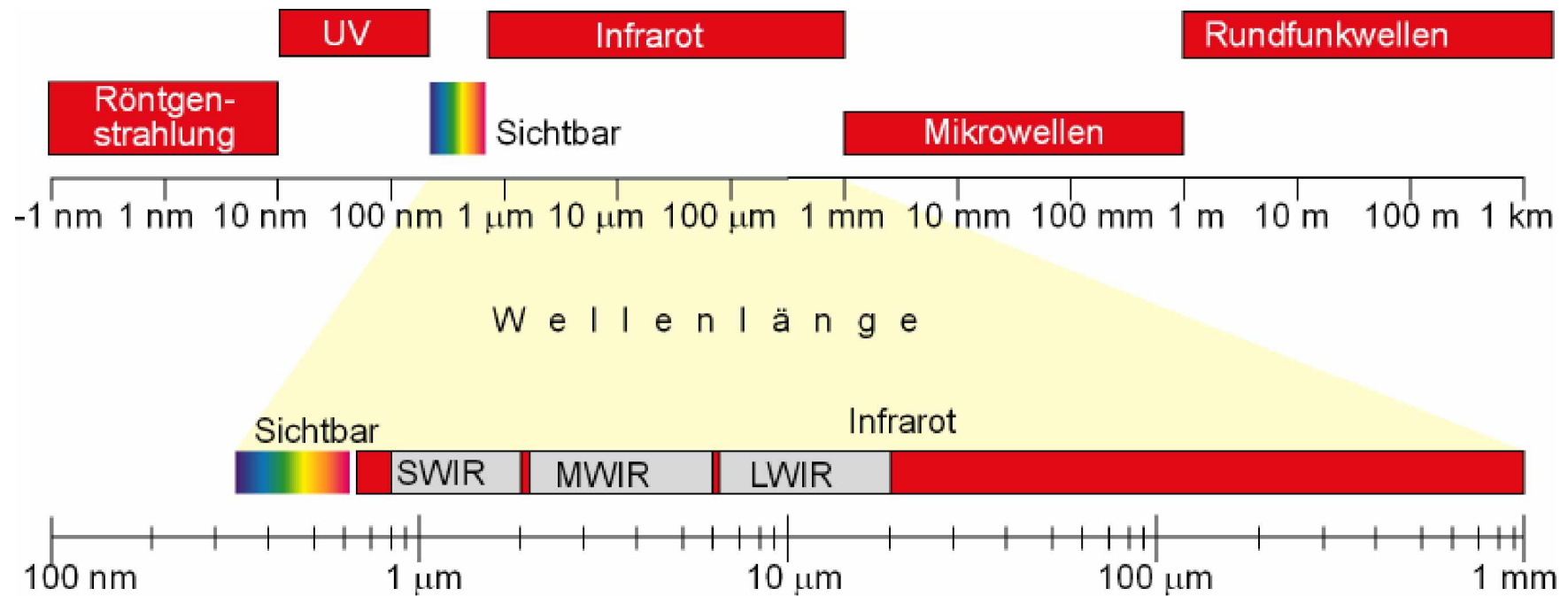


Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

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

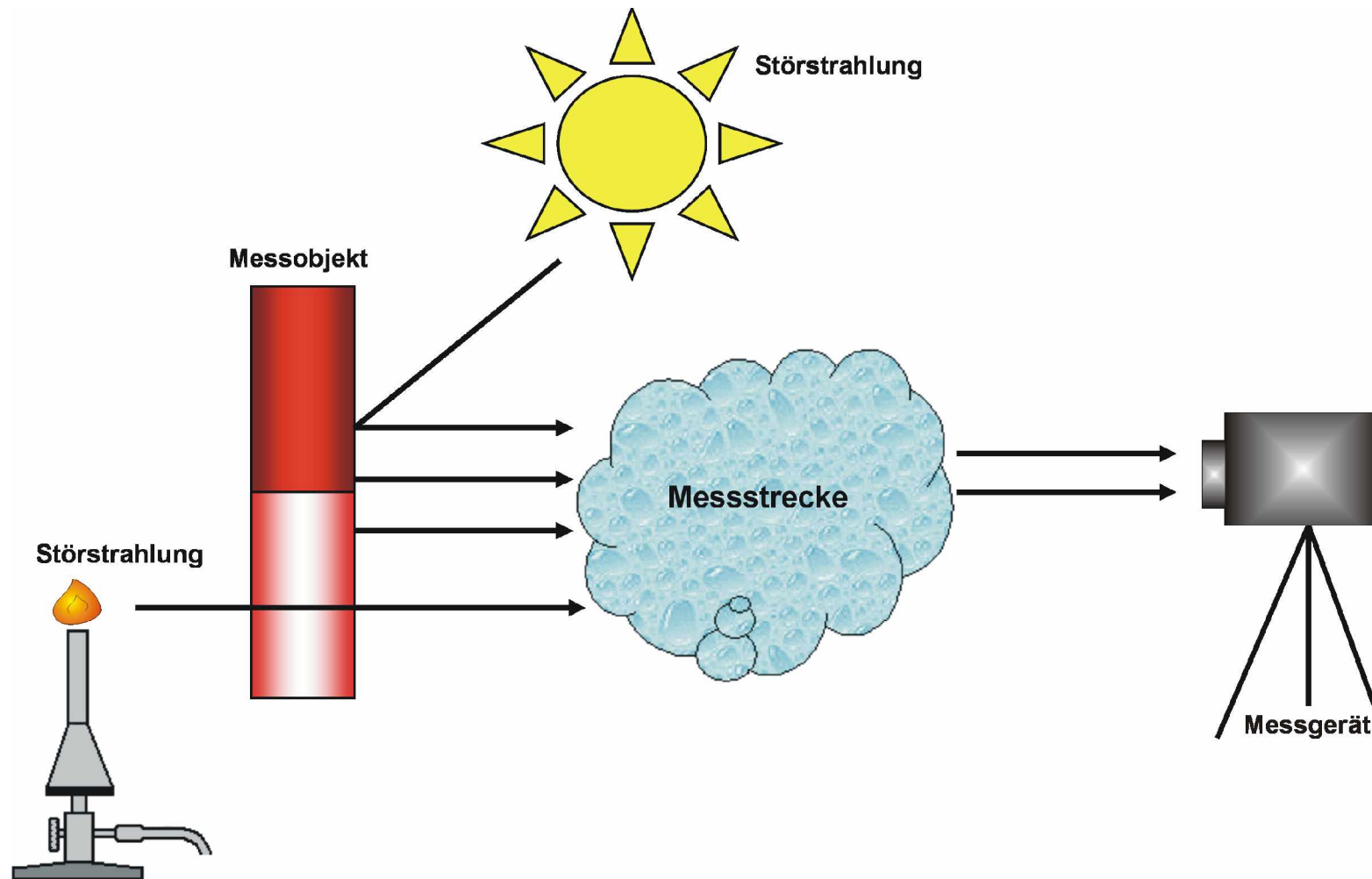
Thermografie als Temperaturmessverfahren

Spektralbereich



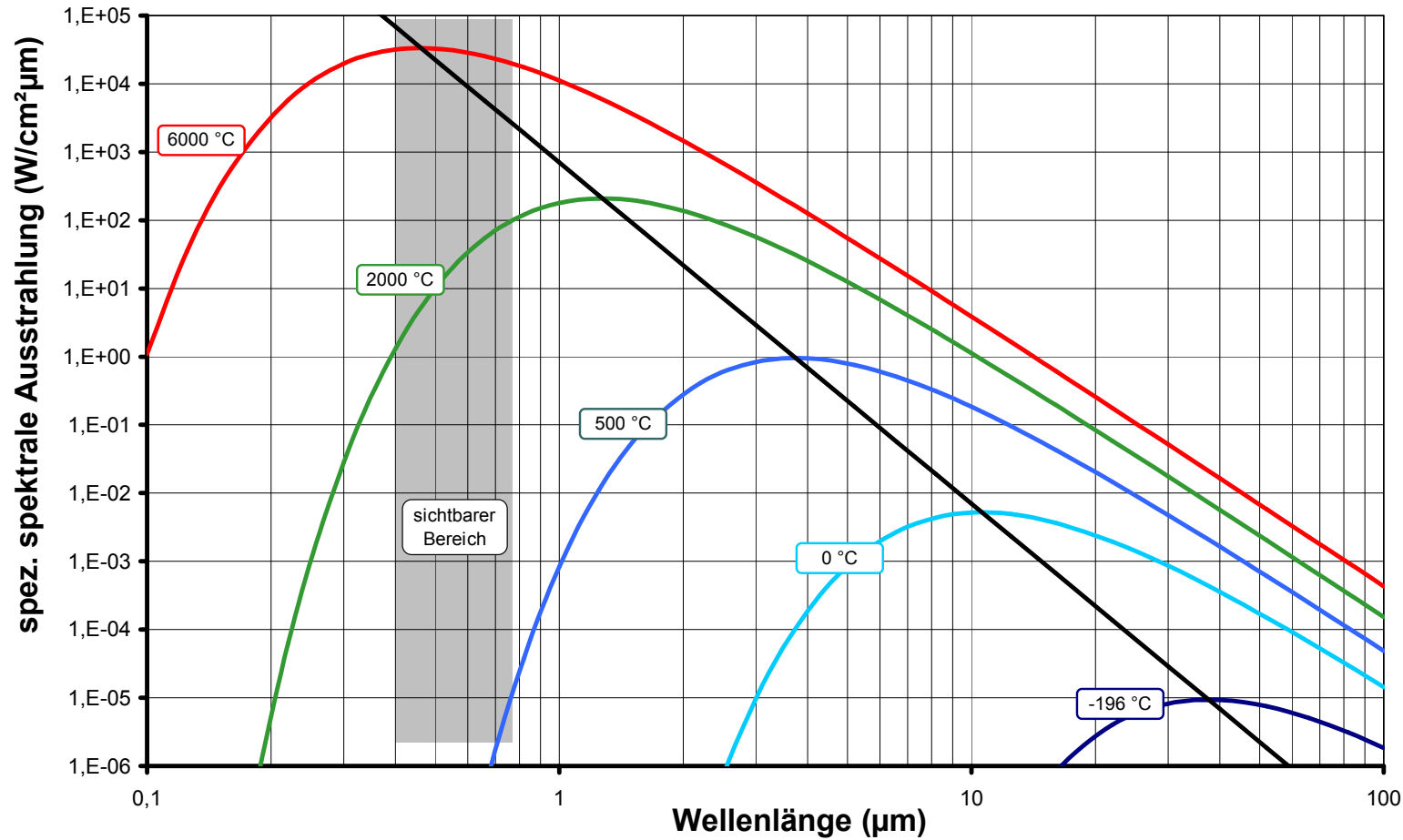
Thermografie als Temperaturmessverfahren

Prinzip der thermografischen Messanordnung



Thermografie als Temperaturmessverfahren

Messobjekt, PLANCKsches Strahlungsgesetz



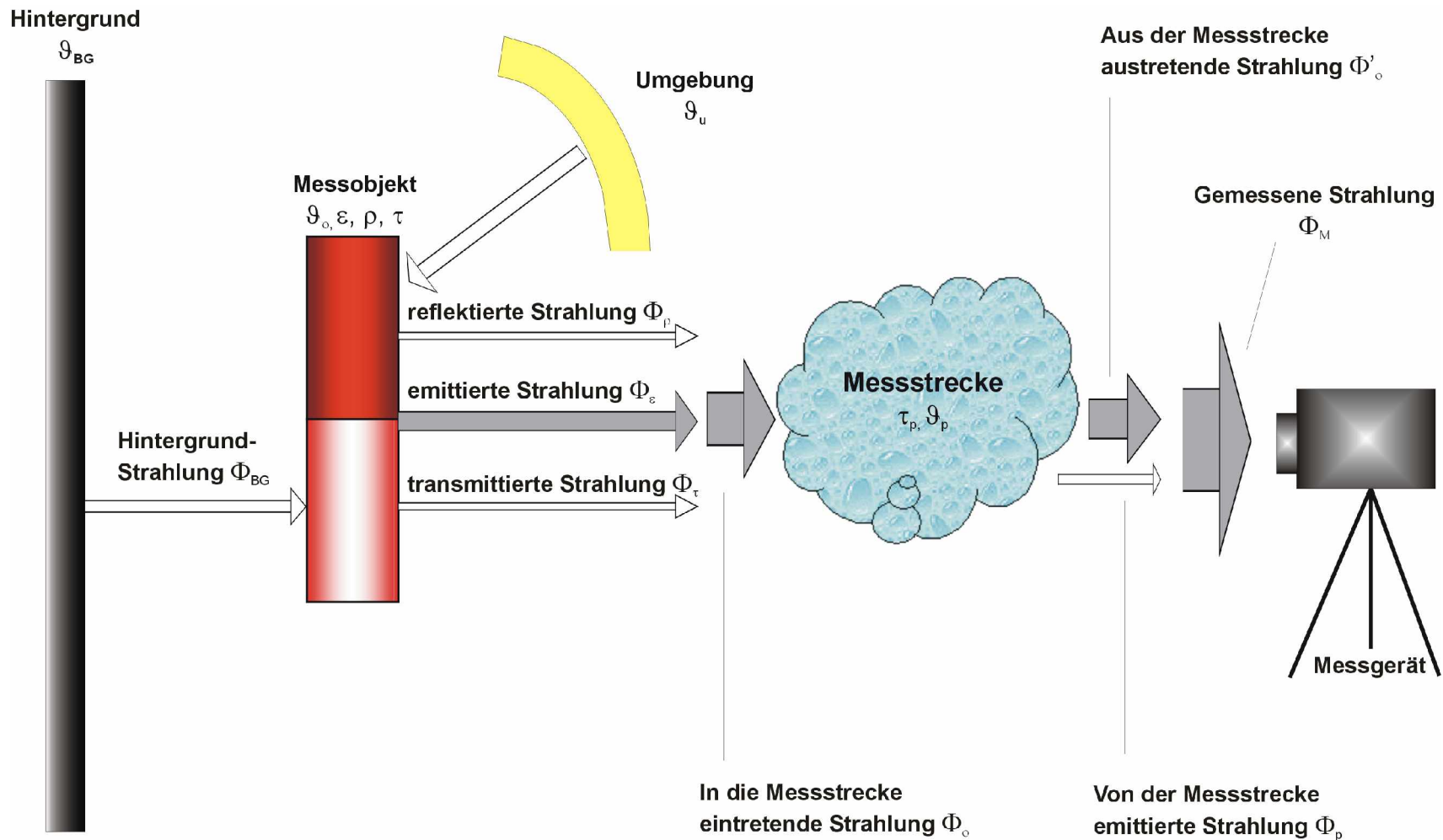
Thermografie als Temperaturmessverfahren

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

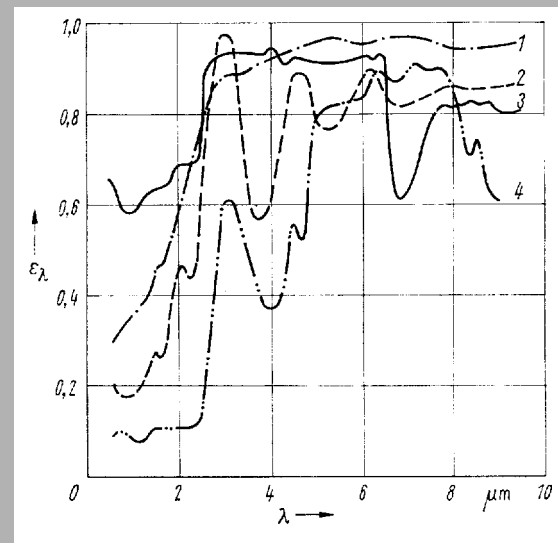
Oxidschichten der Oberfläche

Rautiefe der Oberfläche

Winkel zur Flächennormalen

Temperatur

Polarisation

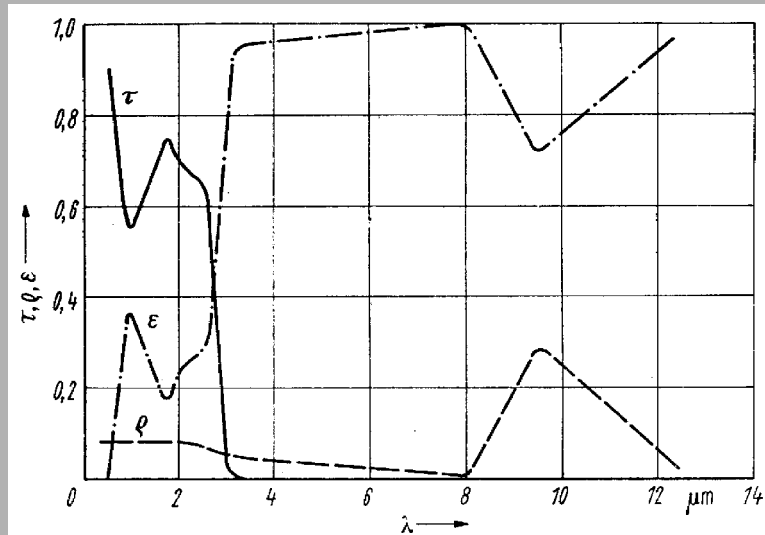


1 Emaille, 2 Gips, 3 Beton,
4 Schamotte

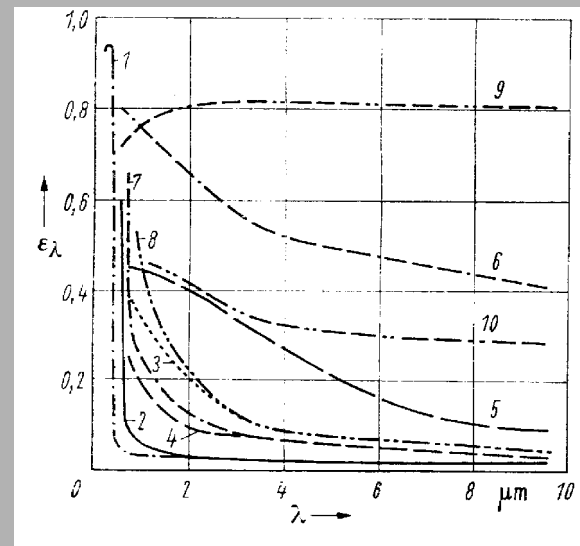
thermografische Messungen sind an vielen **Baustoffen**
problemlos möglich

Thermografie als Temperaturmessverfahren

Messobjekt, spektraler Emissionsgrad



Transmission, Emission und Reflexion von Glas

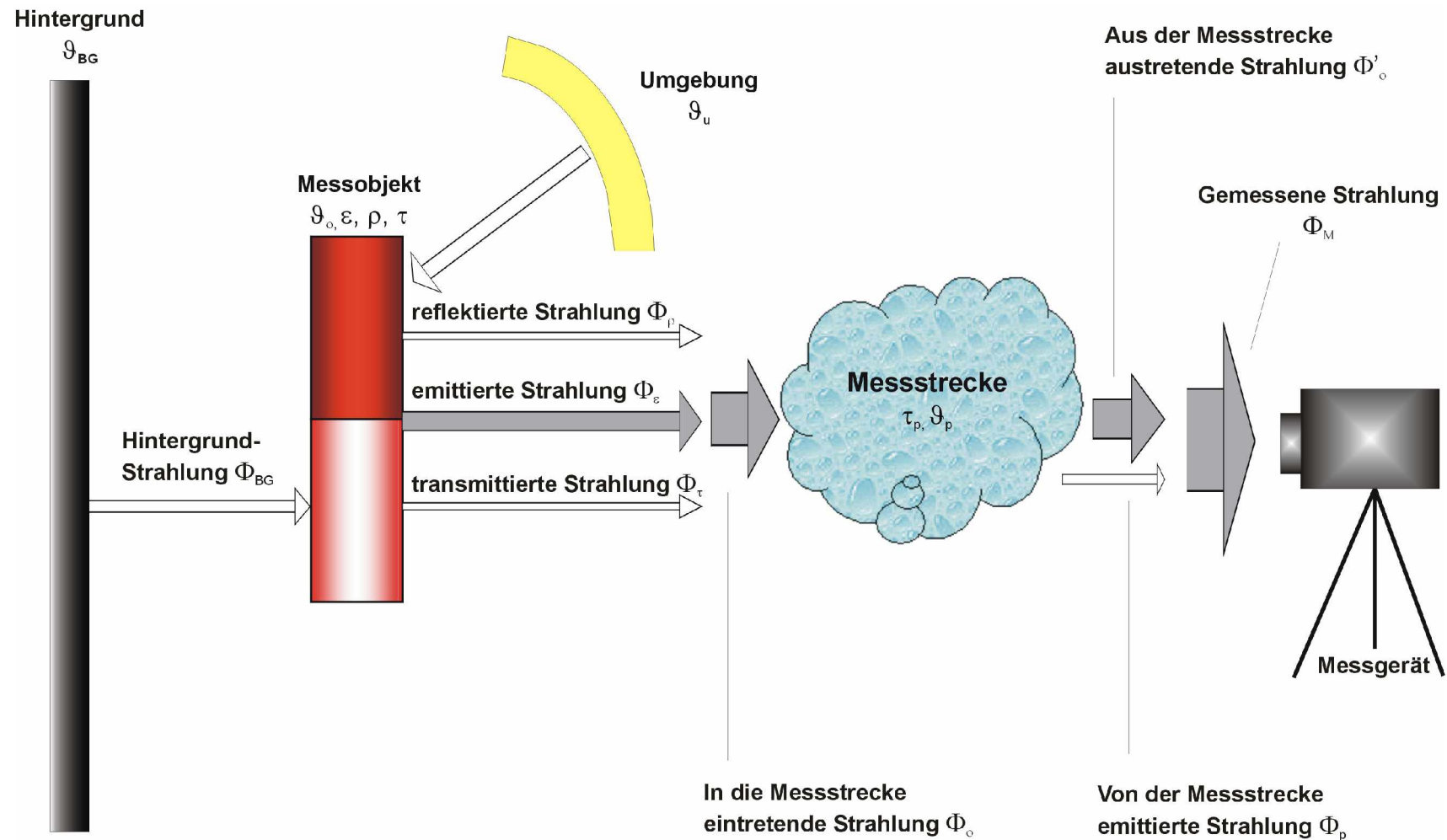


Emission von Metallen

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

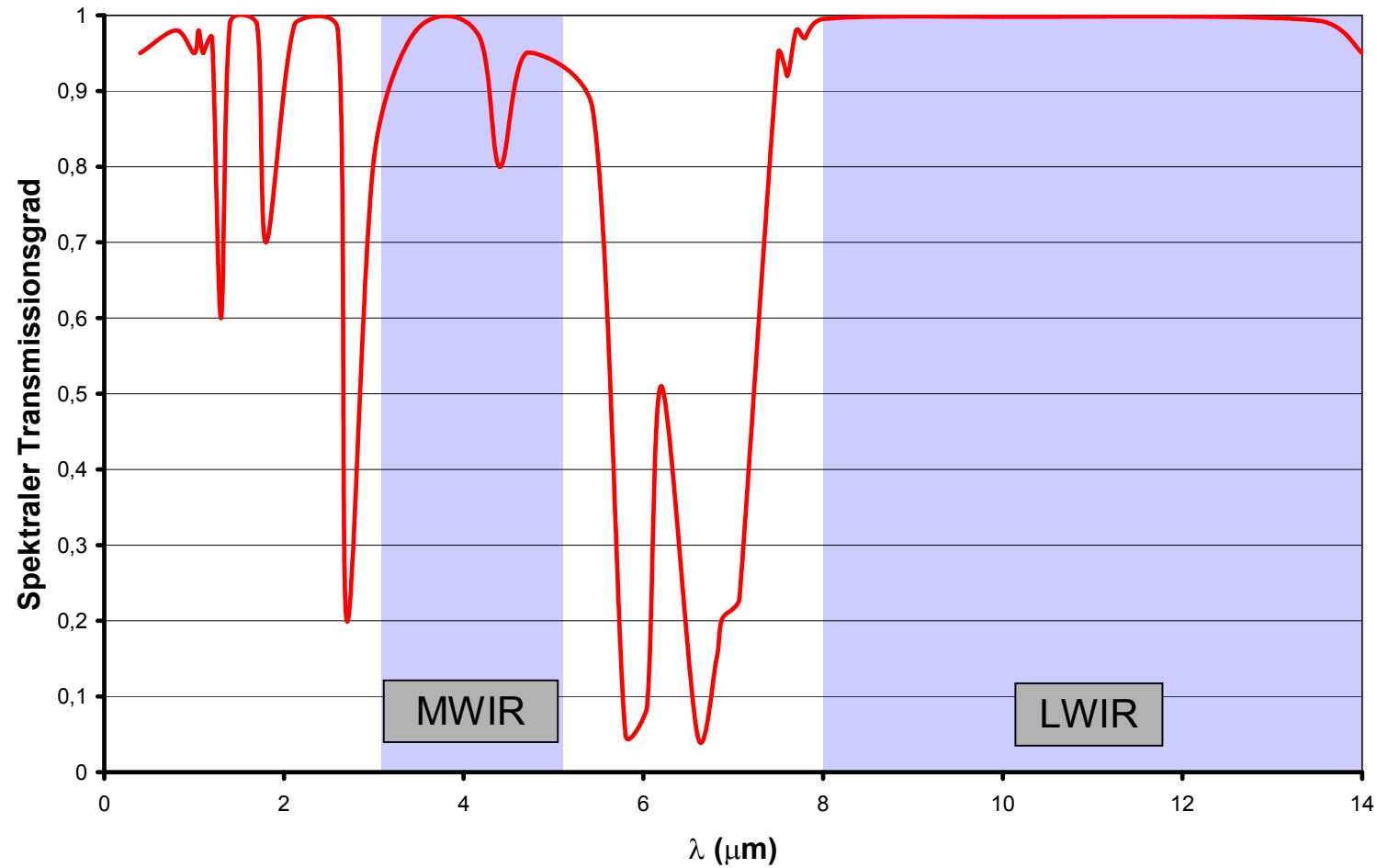
Thermografie als Temperaturmessverfahren

Strahlungsanteile in der thermografischen Messanordnung



Thermografie als Temperaturmessverfahren

Messstrecke, Transmission der Atmosphäre



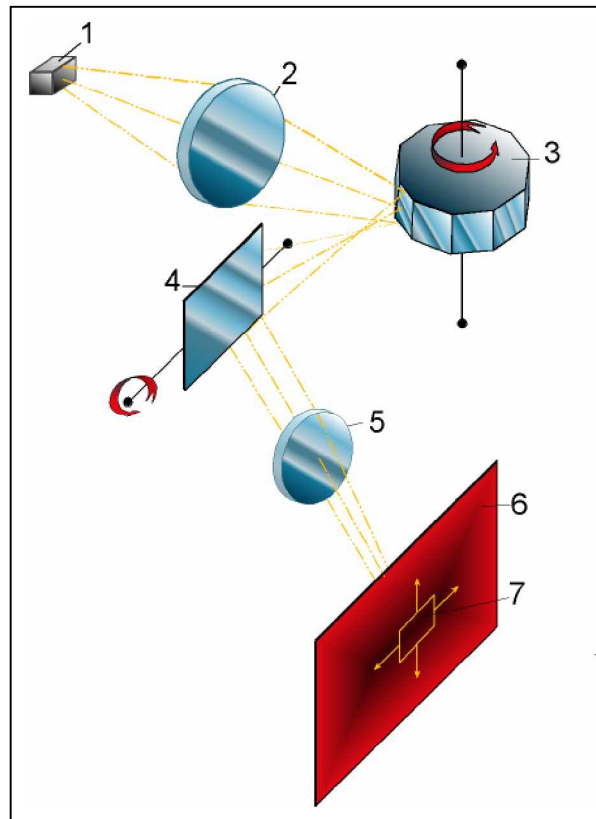
Länge 10 m, 25 °C, 1013 mbar, 85 % r.F.)

Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

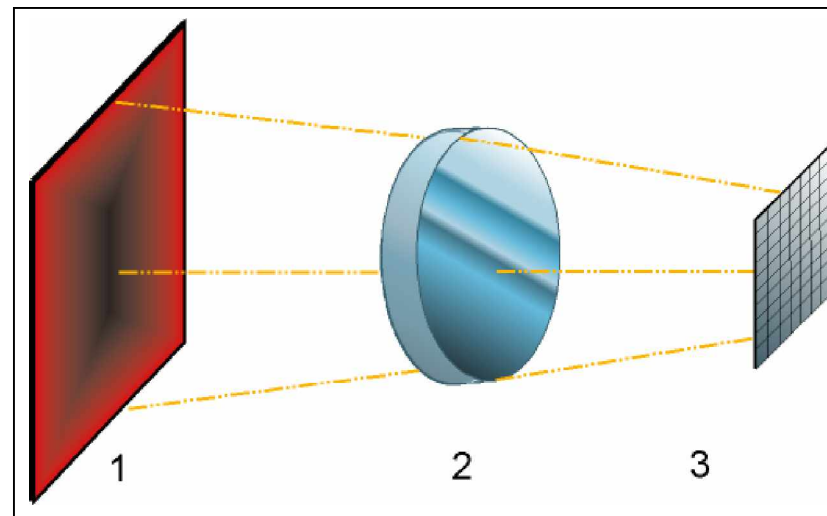
- Vorstellung InfraTec GmbH
- Thermografie als Temperaturmessverfahren
- Thermografiesysteme**
- Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung
- Allgemeine Anwendungen der Thermografie
- Thermografie-Automation

Thermografiesysteme

Grundprinzipien



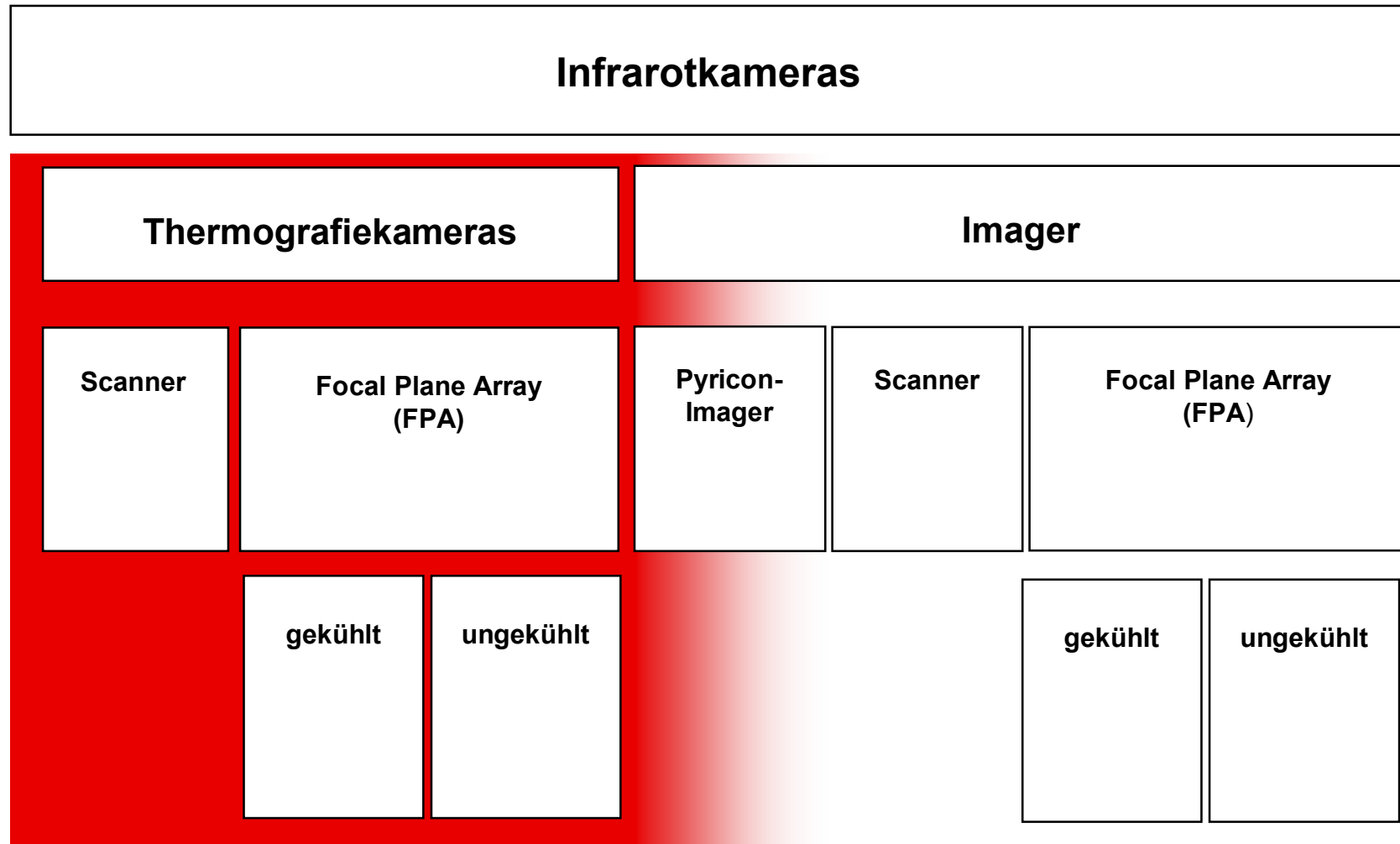
Scannersystem



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®
Spektralbereich	(2 ... 5)/(8 ... 12) µm	(1,8 ... 5) µm	(7,5 ... 14) µm
Aufnahmeverfahren	Scanner-System	Focal Plane Array (256 x 256)	Focal Plane Array (320 x 240)
Detektor	HgCdTe	PtSi	Mikrobolometerarray
Kühlung	Peltier/Stirling o. Flüssigstickstoff	Stirling-Kühler	keine
Bildfrequenz	1,1 Hz	50 Hz	50 / 60 Hz
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
Bildformat (Pixel)	360 x 240	256 x 256	320 x 240, optional 640 x 480 durch Resolution Enhancement
Bildfeld (Standardoptik)	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®
IFOV (Standardoptik)	3 / 1,5 mrad	1 mrad	1,8 mrad
Zoomfunktion	elektrooptisch, max. 6-fach, auch horizontal/vertikal getrennt	2-fach; 5-fach	bis 4,2-fach digital, stufenlos
Messgenauigkeit	±2 K, ±1 %	±2 K, ±2 %	±2 K, ±2 %
Digitalisierungstiefe	16 Bit	16 Bit	16 Bit
Arbeitstemperaturbereich	(- 10 ... 40) °C	(-10 ... 50) °C	(-15 ... 50) °C
Abmessungen	(240 x 192 x 1200) mm	(194 x 110 x 126) mm	(235 x 185 x 110) mm
Gewicht (Vollausstattung)	ca. 5 kg	2,6 kg	ca. 2 kg
Bildspeicherung	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®
analoge Schnittstellen	RGB	PAL/NTSC-FBAS und -S-Video	PAL/NTSC-FBAS und -S-Video, Headset
digitale Schnittstellen	RS232, optional Ethernet	RS232, FireWire (IEEE 1394)	RS232, optional FireWire (IEEE 1394)
integrierte digitale Videokamera	keine	keine	optional, (640 x 480) Pixel, Farbe
Stromversorgung	Li-Ionen-Akku, Netzadapter	keine	Li-Ionen-Akku, Netzadapter,
Betriebszeit mit Akku	ca. 3/2 h mit Standardakku	12 V DC	optional FireWire (IEEE 1394)

Thermografiesysteme

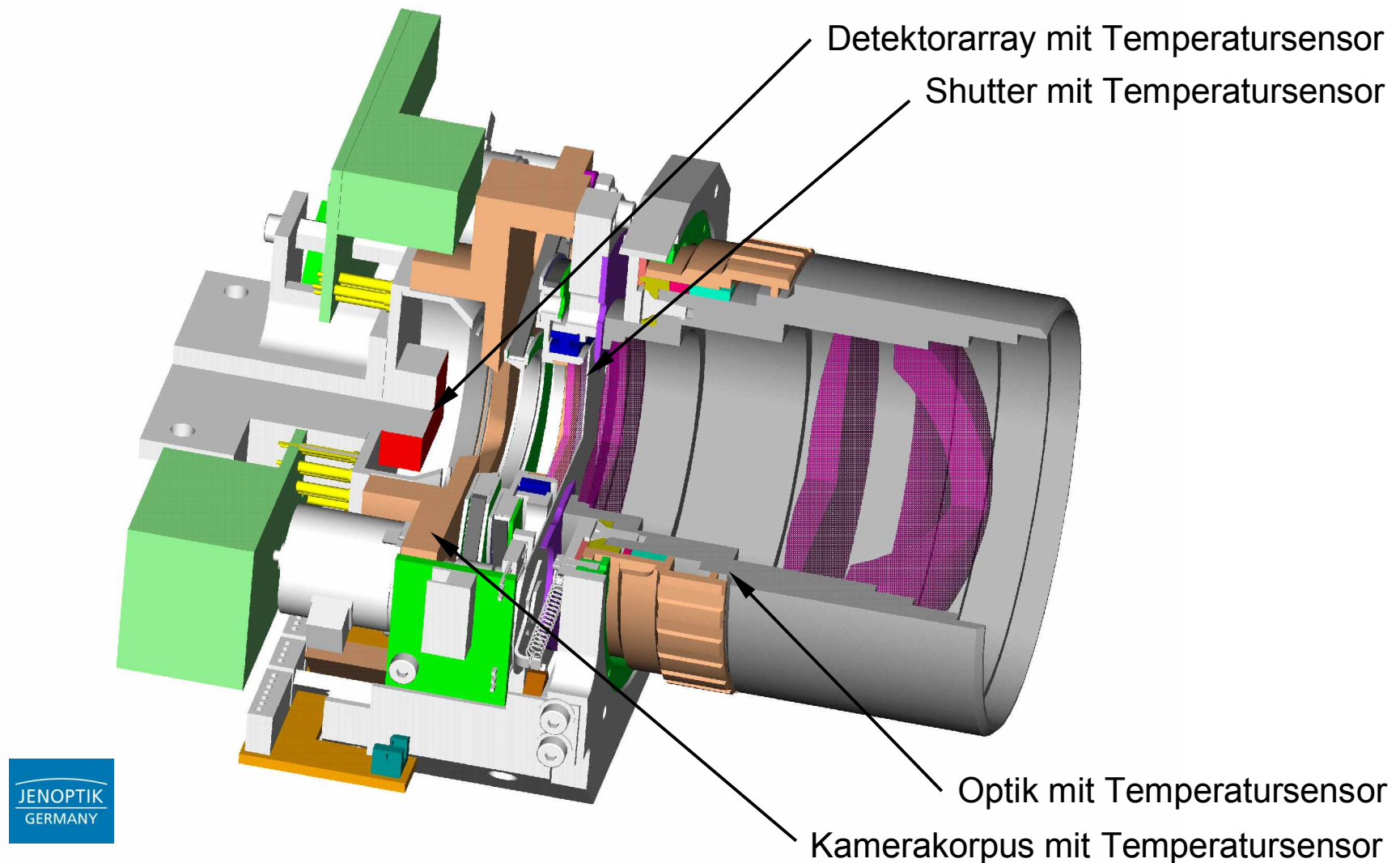
Aufbau und Parameter

Eigenschaft/Typ	VARIOSCAN	VarioTHERM head	VarioCAM®
Spektralbereich	(2 ... 5)/(8 ... 12) μm	(1,8 ... 5) μm	(7,5 ... 14) μm
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	± 2 K, ± 1 %	± 2 K, ± 2 %	± 2 K, ± 2 %
Arbeitstemperatur- bereich	(- 10 ... 40) °C	(-10 ... 50) °C	(-15 ... 50) °C



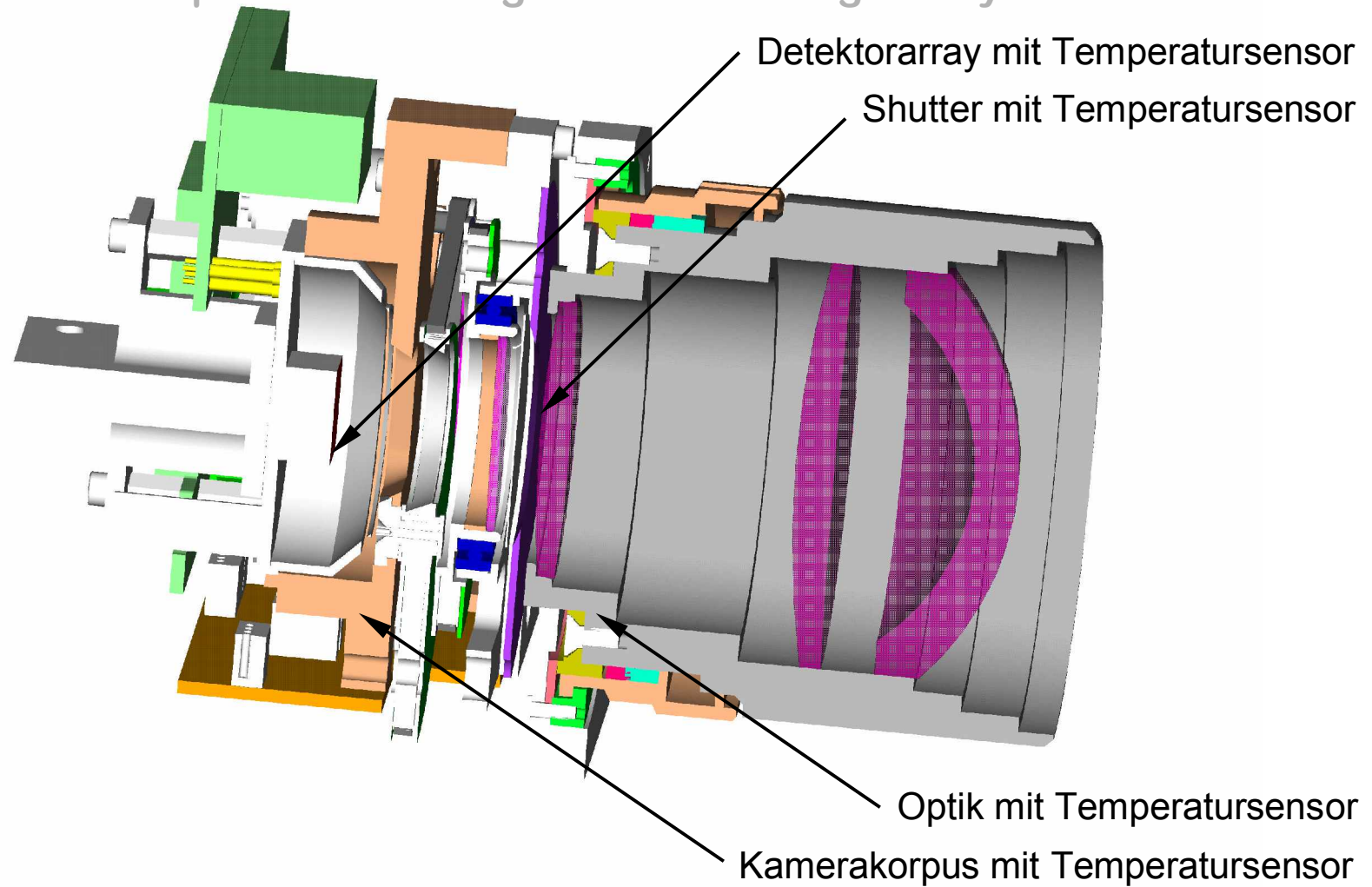
Thermografiesysteme

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) μm und (8 ... 14) μm
- Temperaturmessbereich: (-100 ... 3.000) $^{\circ}\text{C}$
- thermische Auflösung: (80 ... 10) mK
- Absolutgenauigkeit: (2 ... 0,5) %
- Zeitauflösung: Integrationszeit bis μs ; Bildfrequenz bis kHz
- Ortsauflösung: bis 5 μm
- 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

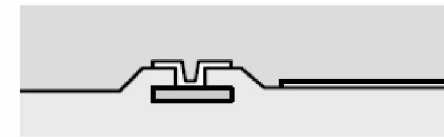
Mikrobolometer-FPA-Detektoren, Technologie



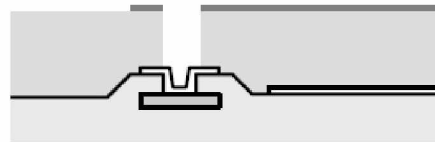
1/ CMOS wafer



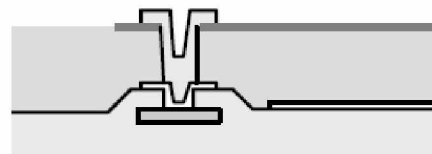
2/ Electrical contact on I/O
+ reflector deposition & etching



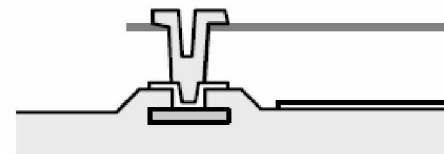
3/ Sacrificial layer
deposition



4/ Amorphous silicon
+ electrode depositions
+ contact etching



5 / Contact electrode
deposition & etching

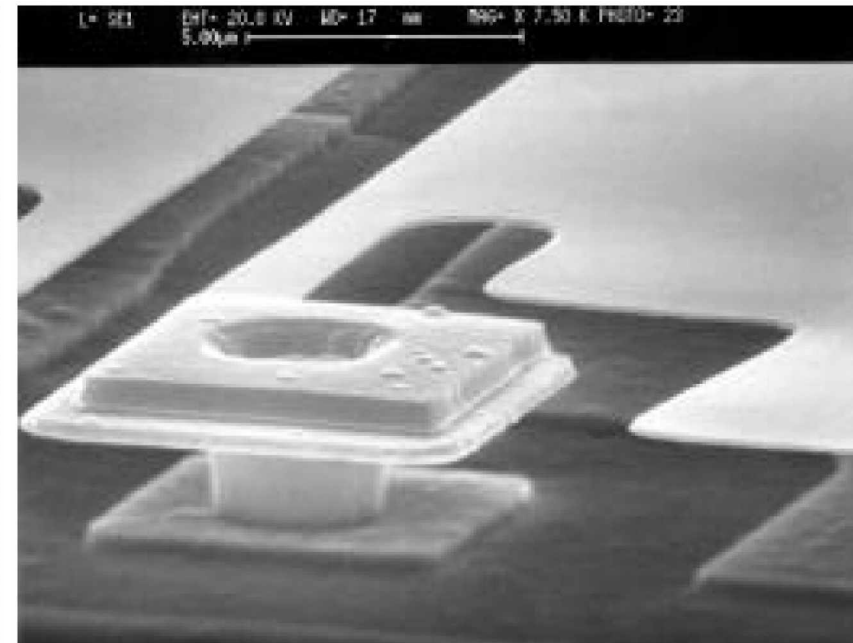
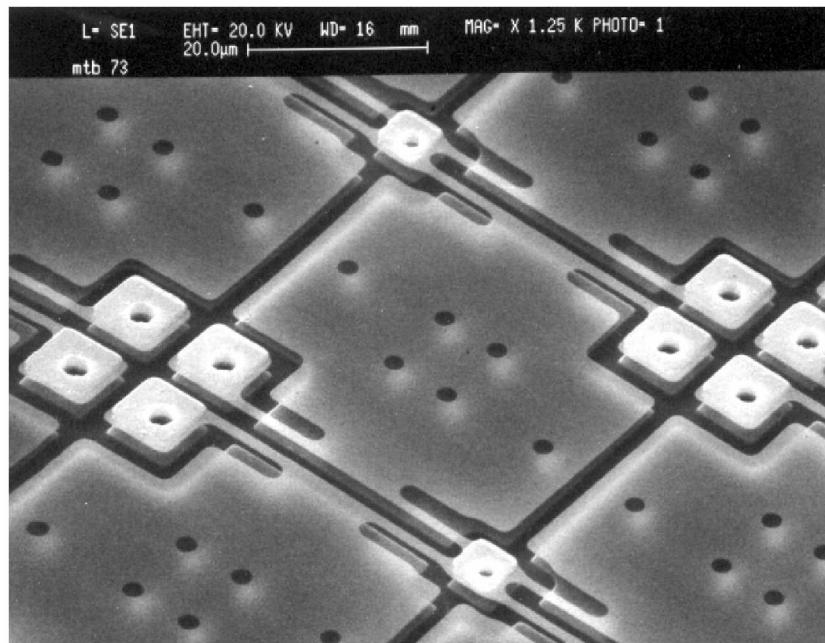


6/ Etching of sacrificial layer



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

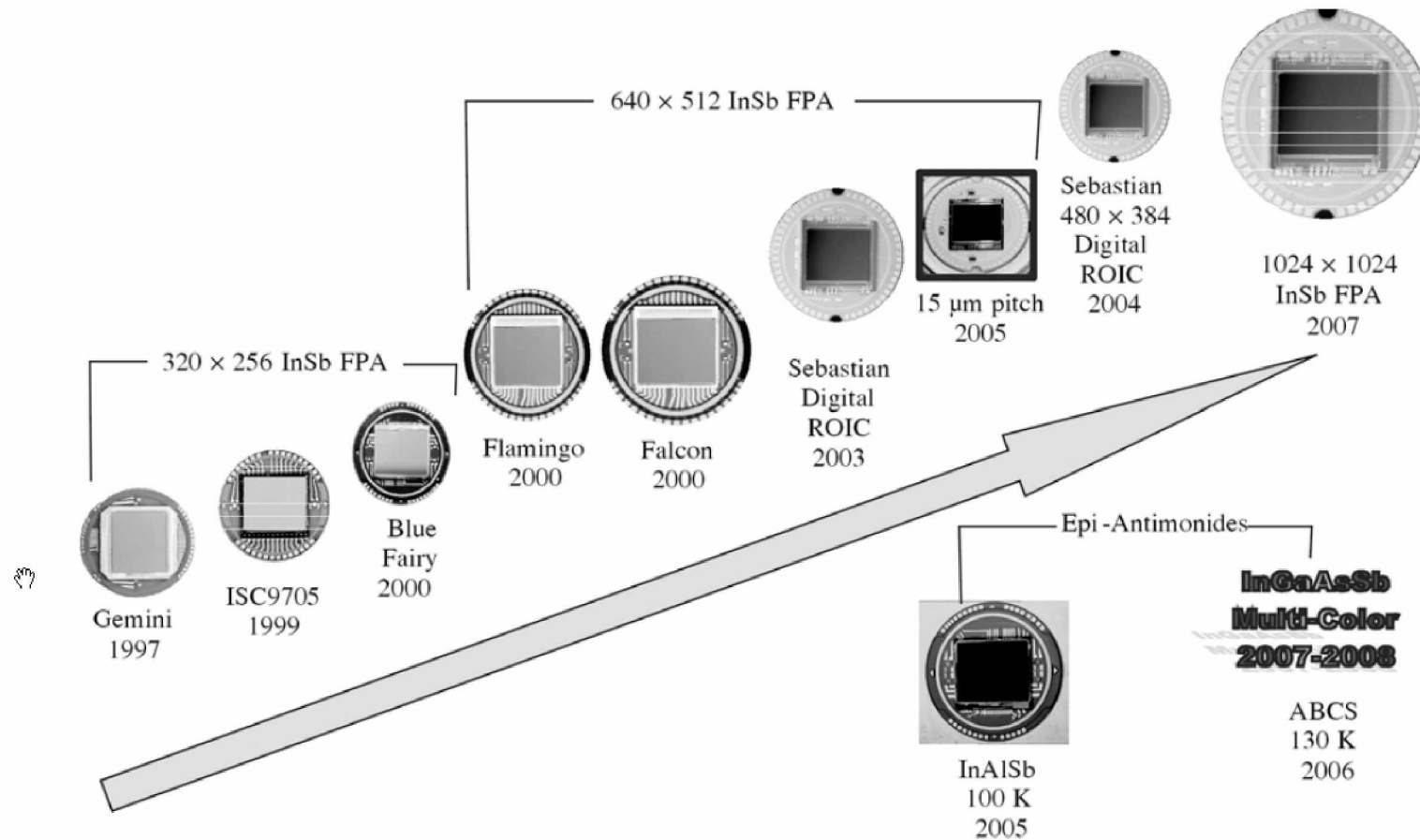


Fig. 1. SCD MWIR 2-D FPA roadmap.

Tendenzen der Detektor- und Geräteentwicklung

gekühlte FPA-Photonendetektoren, Roadmap LWIR

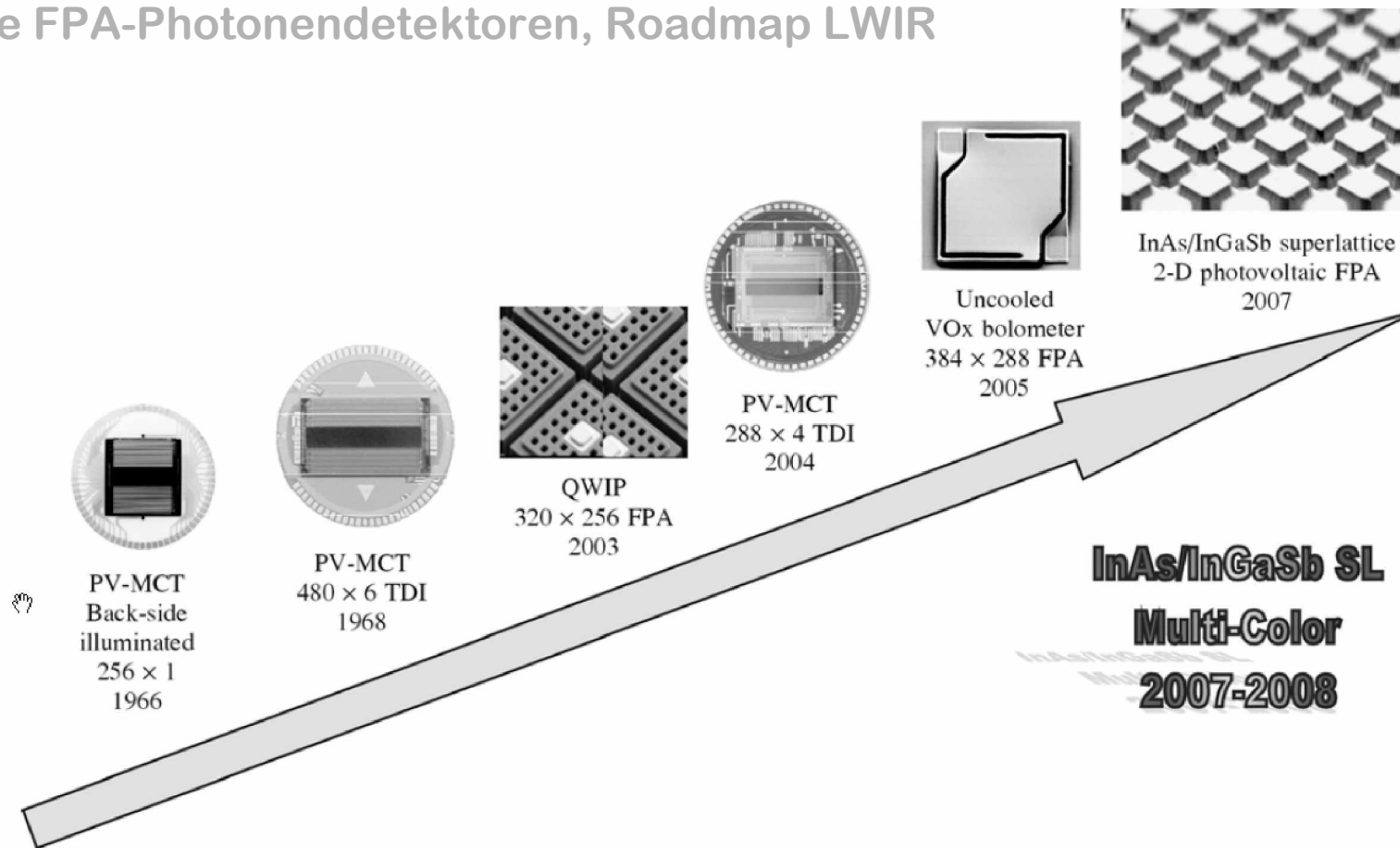


Fig. 2. SCD LWIR FPA roadmap.

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

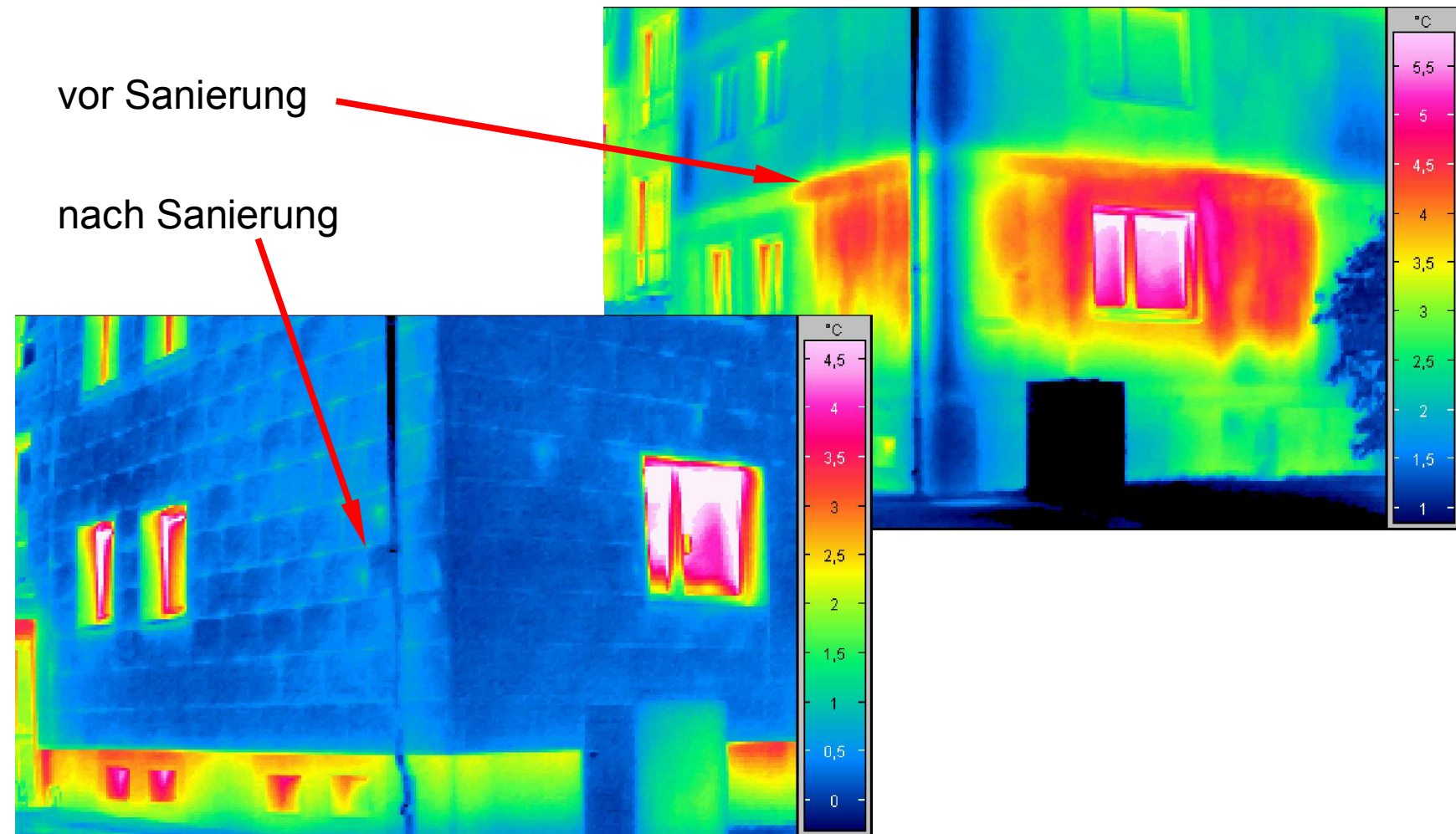


Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

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

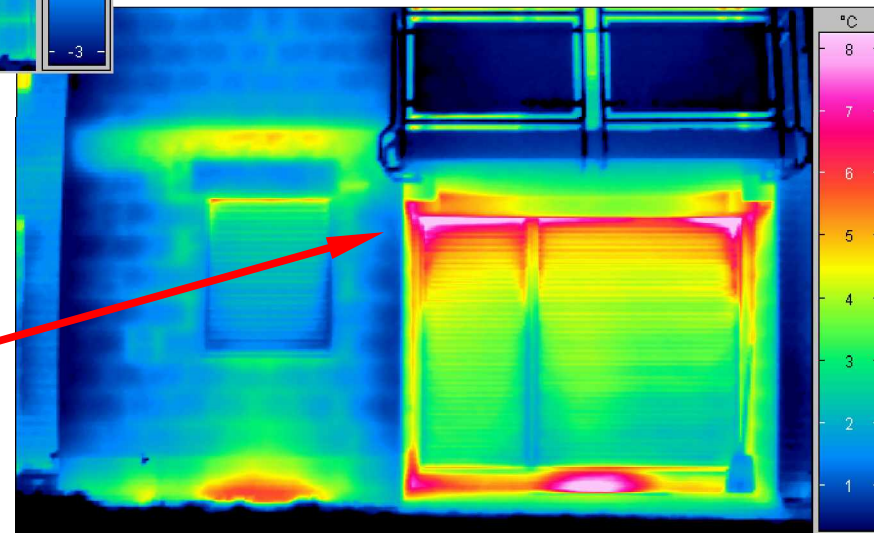
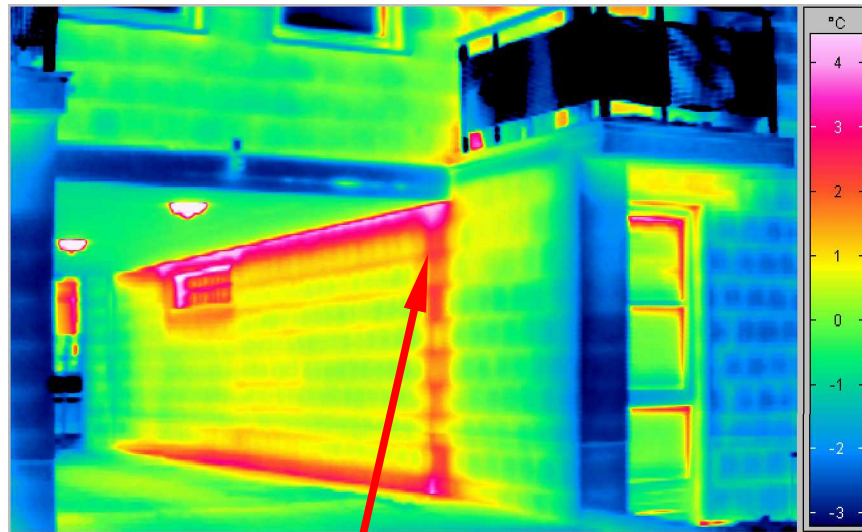
Thermografie im Bauwesen

Quantifizierung der Wärmedämmung



Thermografie im Bauwesen

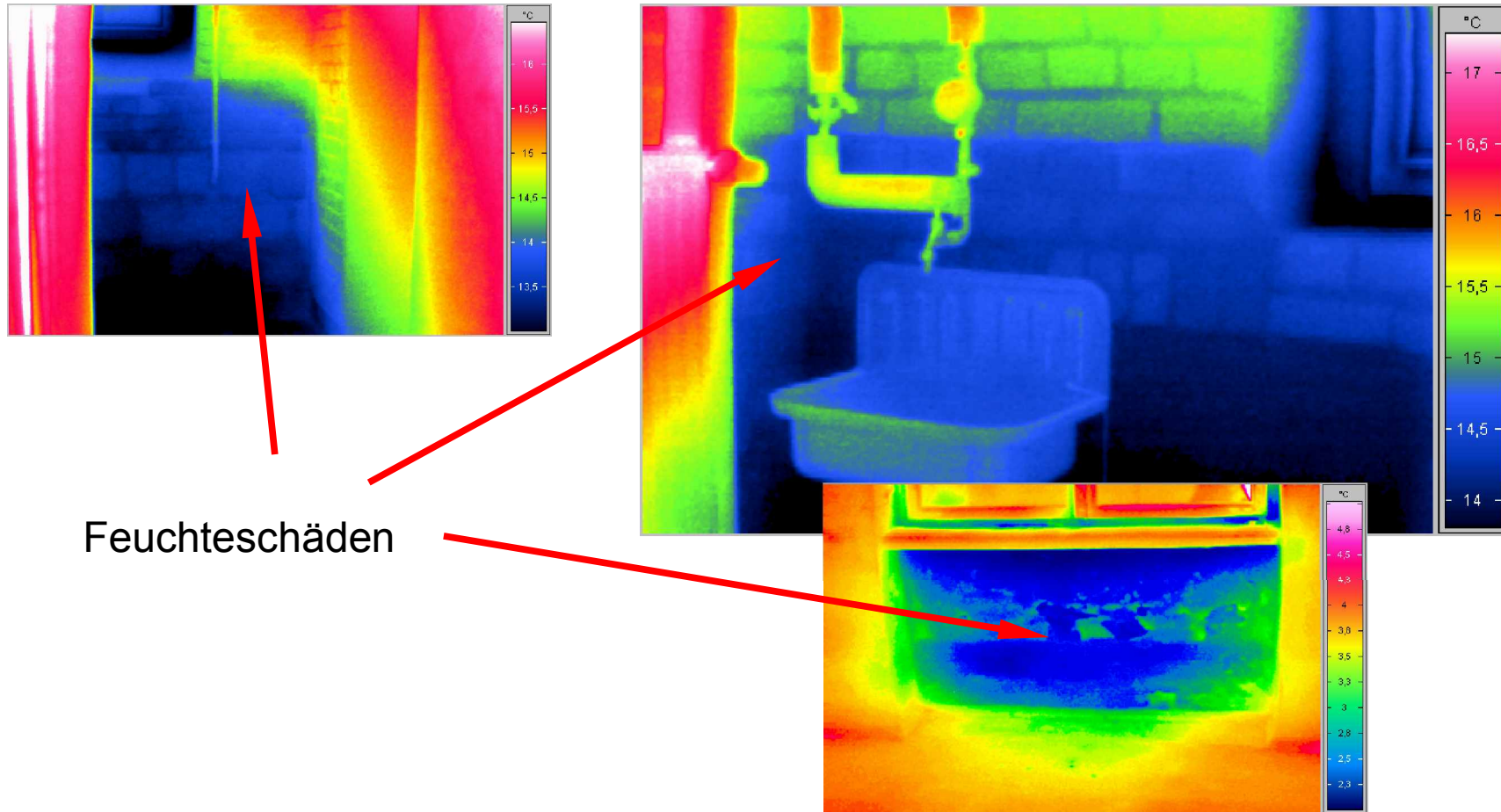
Schwachstellenanalyse



Wärmebrücken

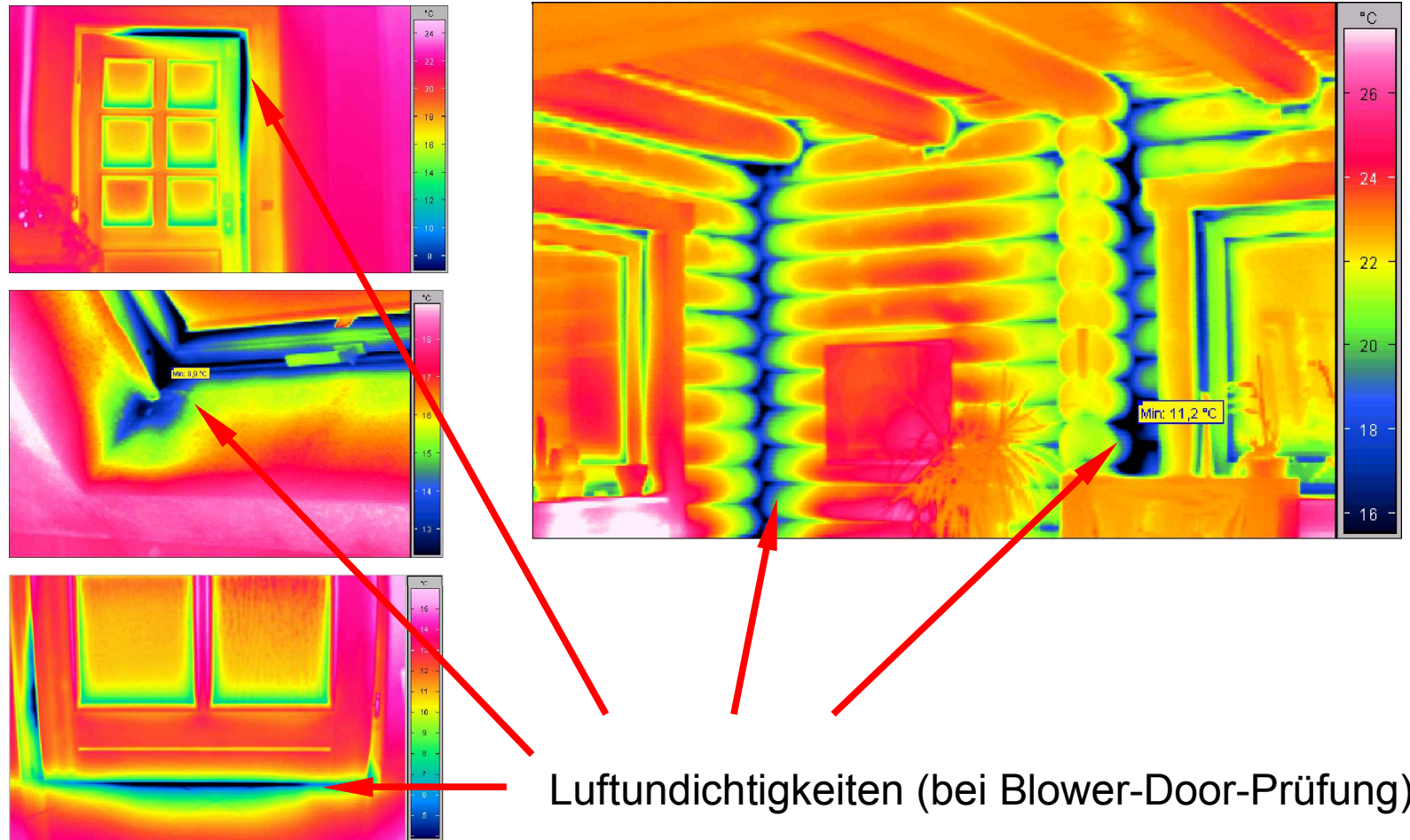
Thermografie im Bauwesen

Schwachstellenanalyse



Feuchteschäden

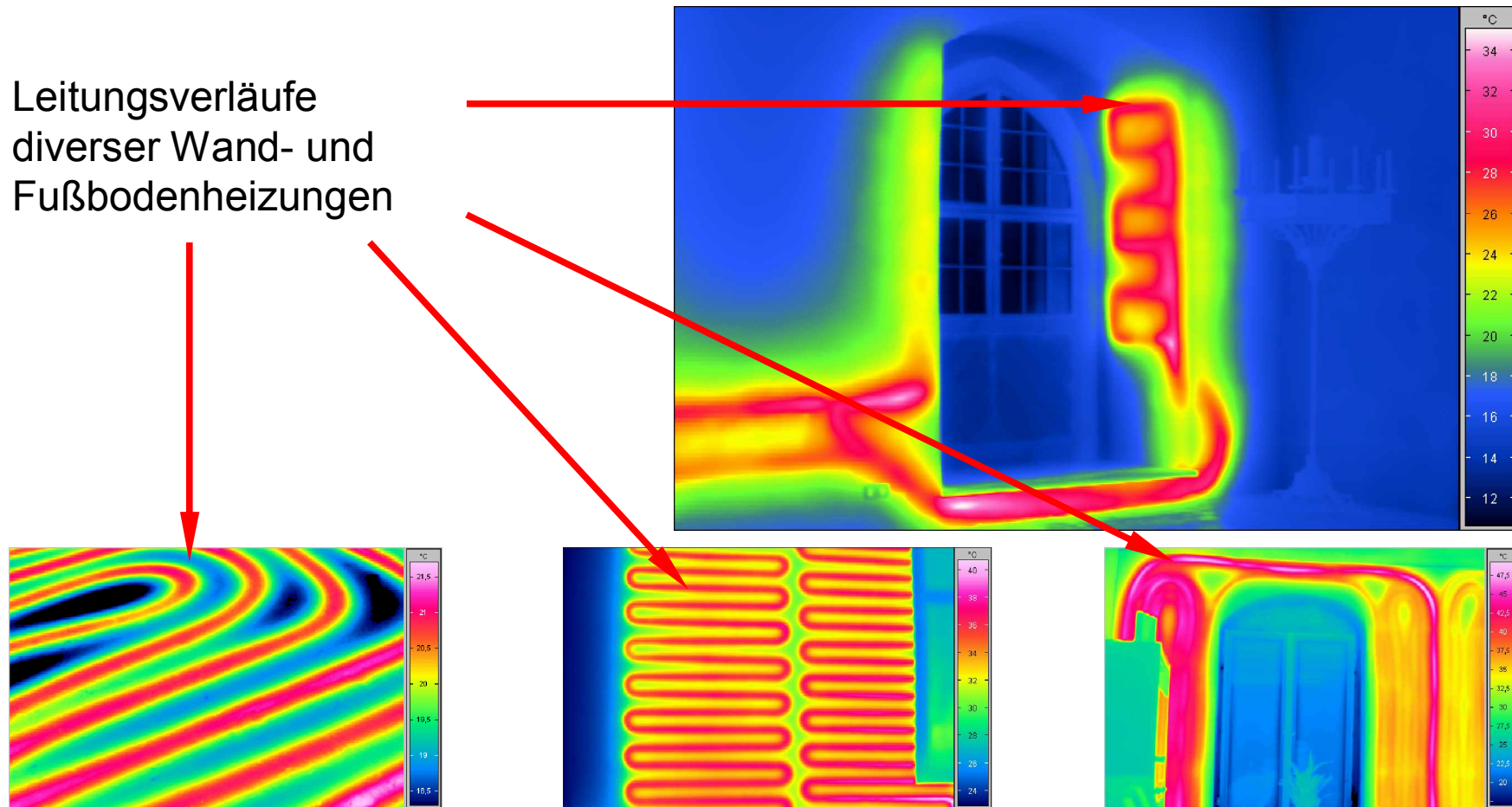
Thermografie im Bauwesen Schwachstellenanalyse



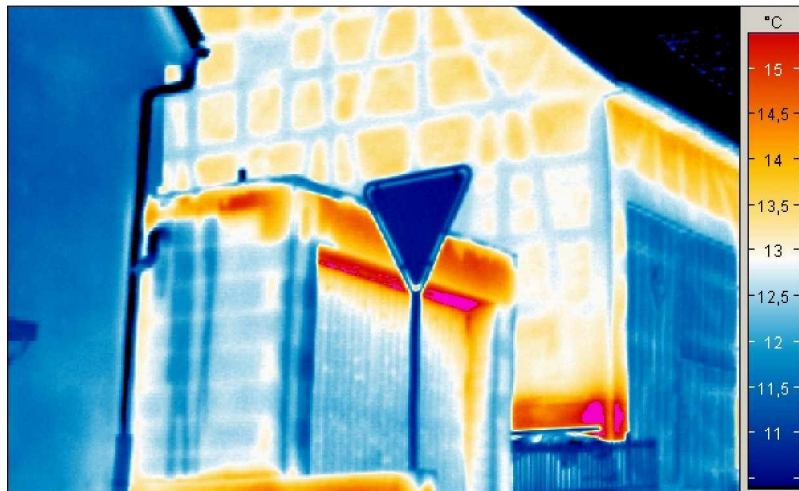
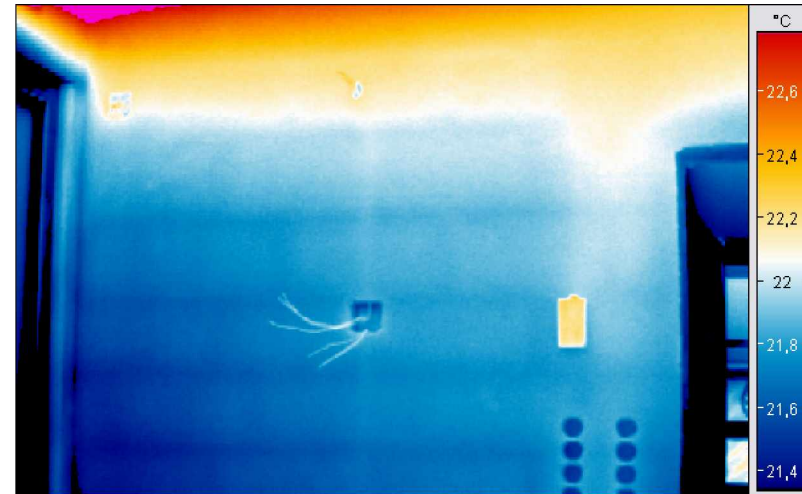
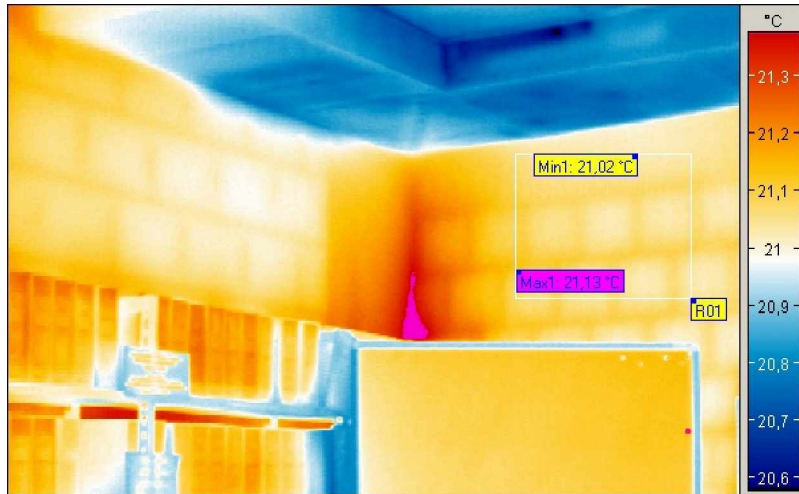
Thermografie im Bauwesen

Ortung verdeckter Elemente

Leitungsverläufe
diverser Wand- und
Fußbodenheizungen



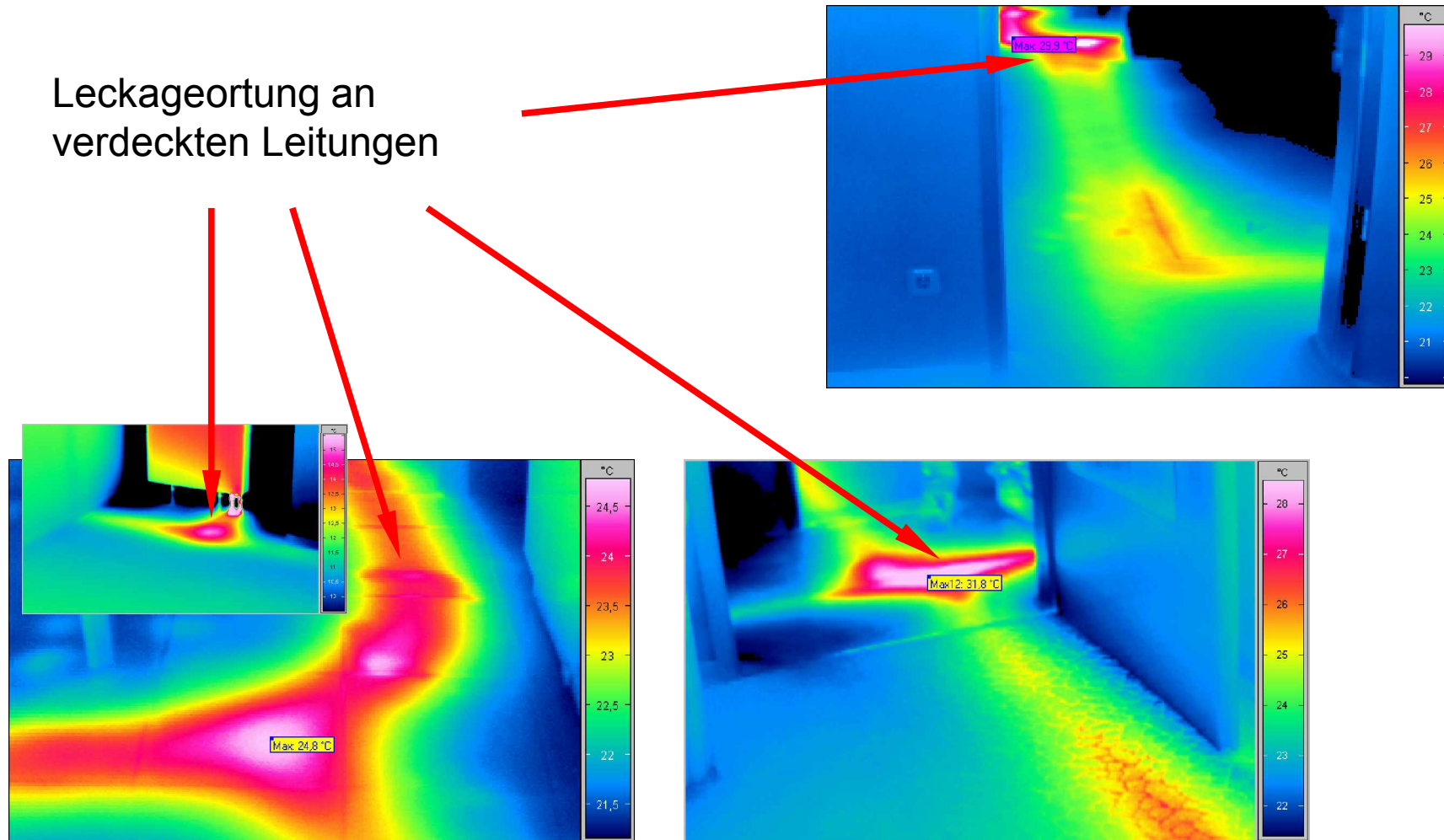
Thermografie im Bauwesen Ortung verdeckter Elemente



Thermografie im Bauwesen

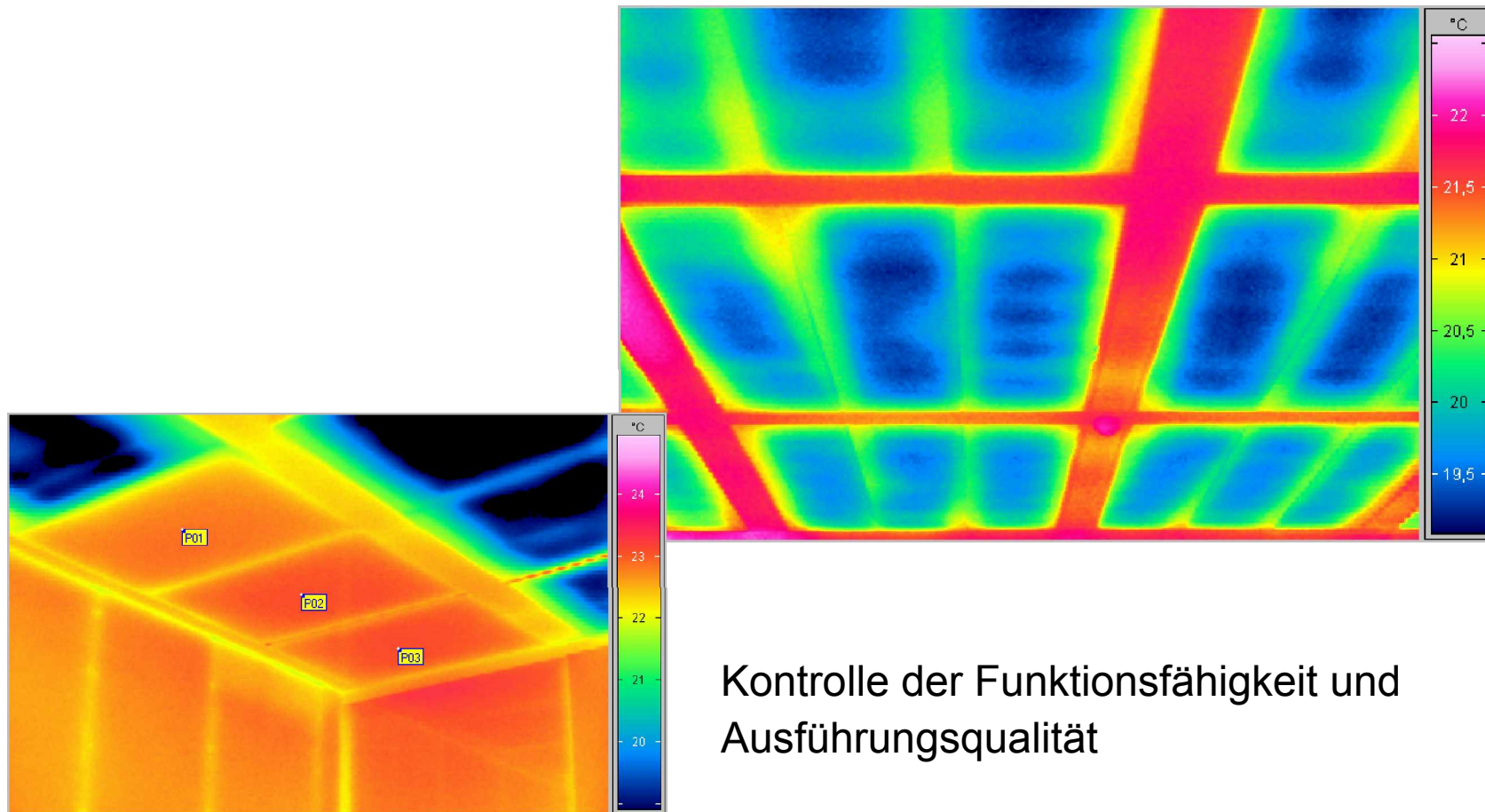
Leckageortung

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 and simulate environmental conditions for a specific buffer zone.

Gefahr der Oberflächenkondensation in Puffer C bestimmen ...

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

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 °C 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

Buttons: Feucht, Schimmel, Gefährdet, Trocken

Wandfeuchte: Nässe 95 % 90 % Alle

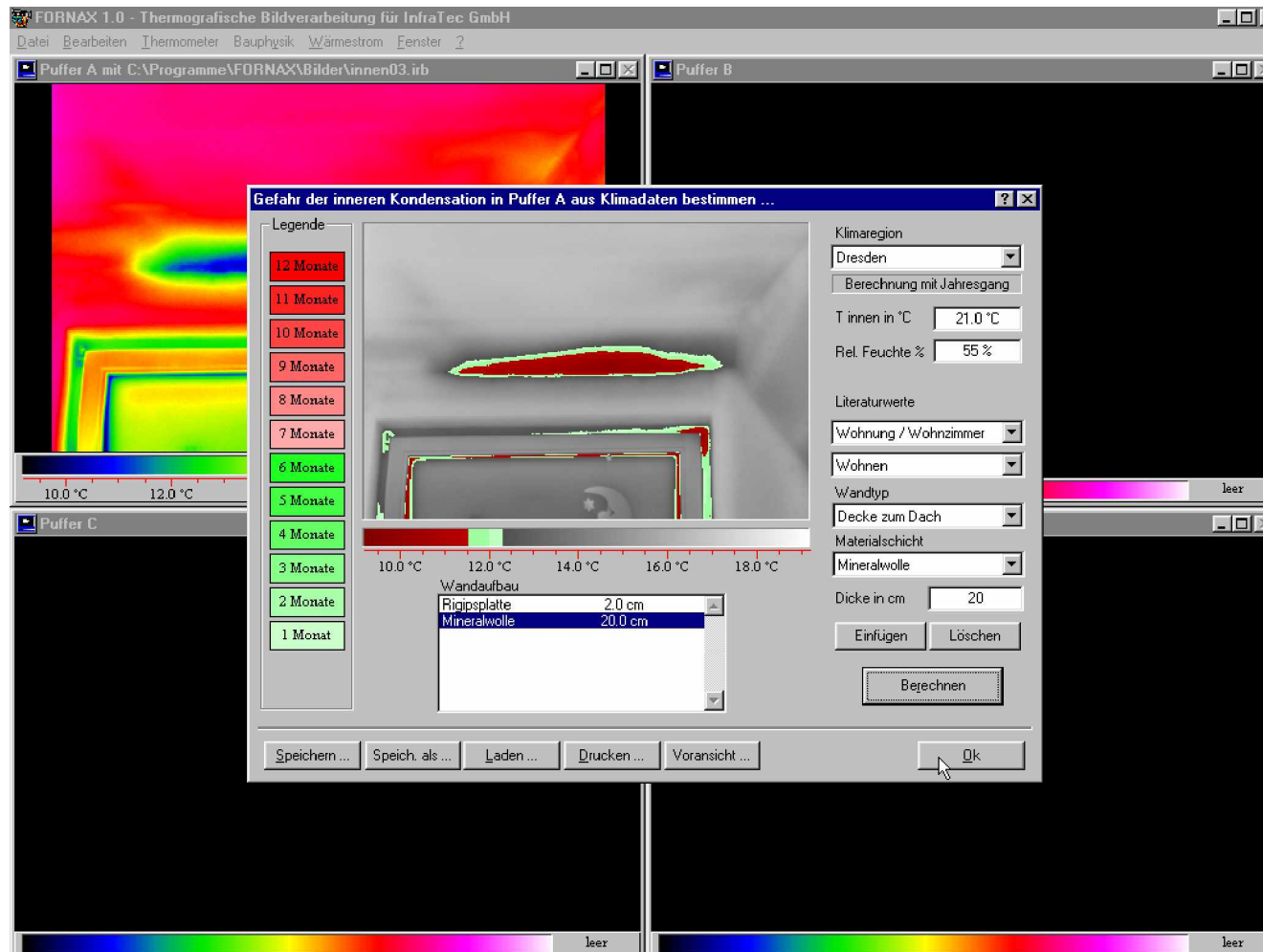
Buttons: Berechnen, Mit Feuchtebilanz

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

Technical details at the bottom: 360 * 240, ε = 0.97, A = 0.00

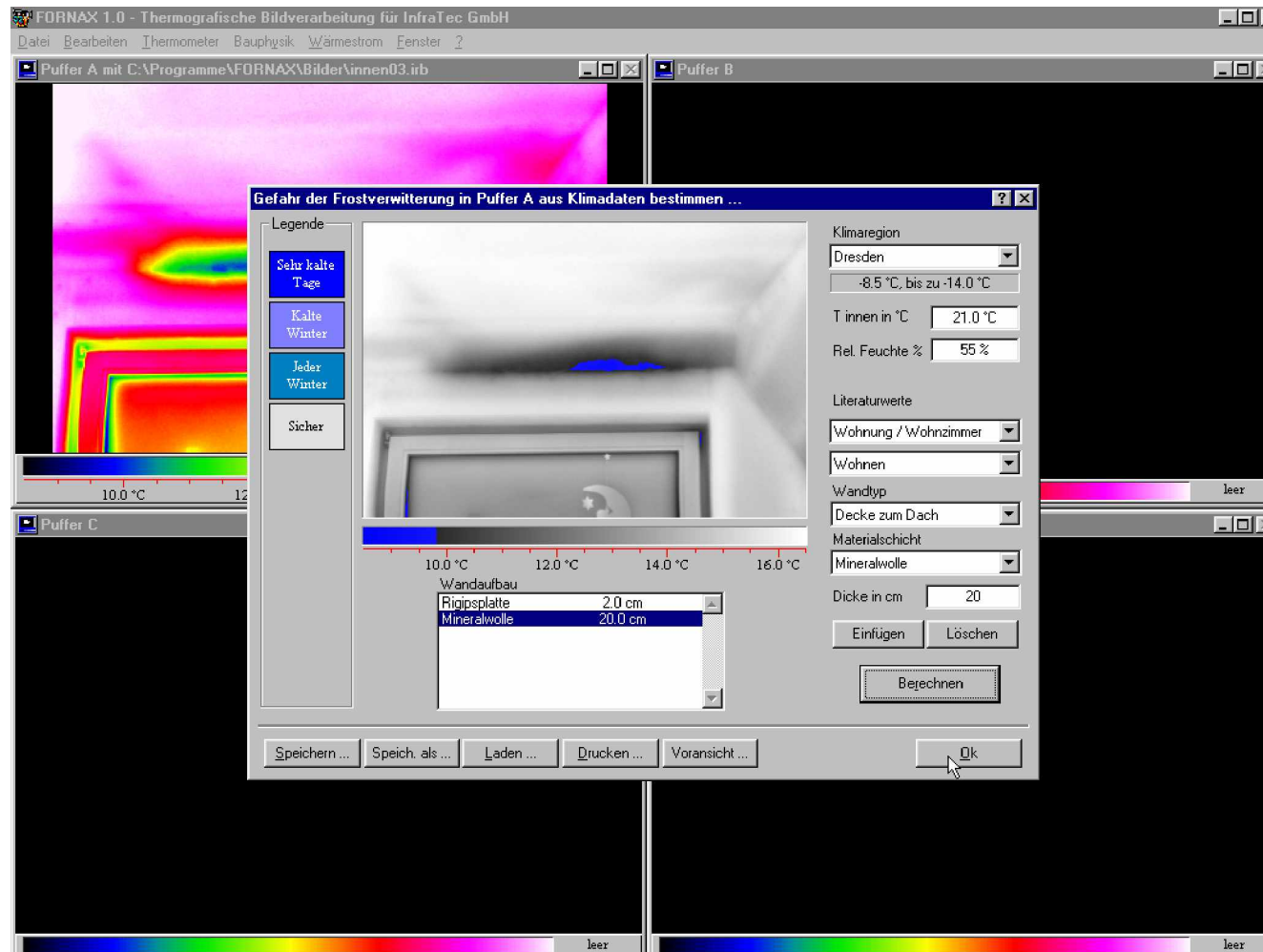
Thermografie im Bauwesen - Tendenzen

Expertensystem FORNAX – innere Kondensation



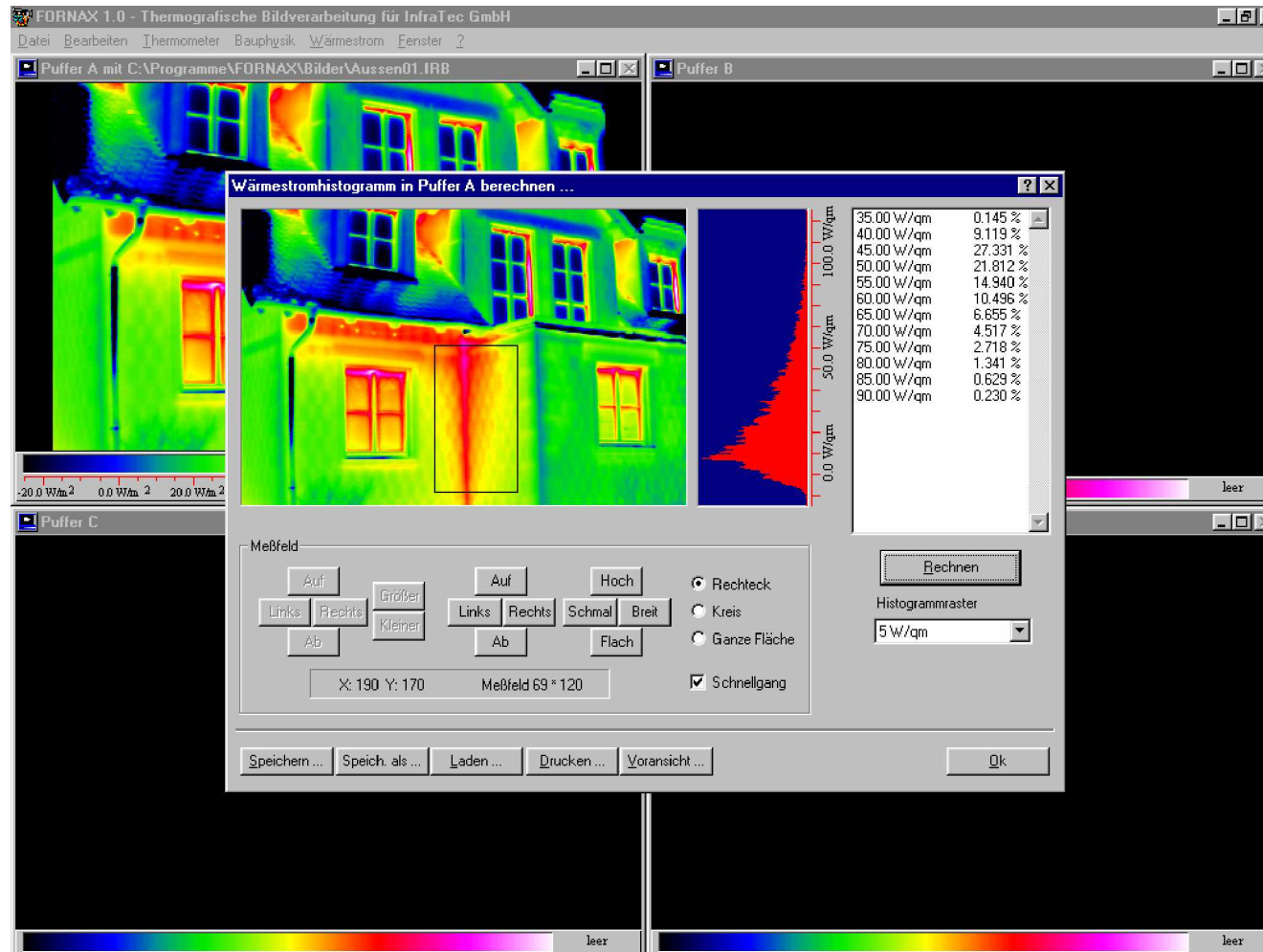
Thermografie im Bauwesen - Tendenzen

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 a smaller version of the thermal image and various input parameters for energy cost calculation.

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

Jährliche Energiekosten / CO₂-Ausstoß

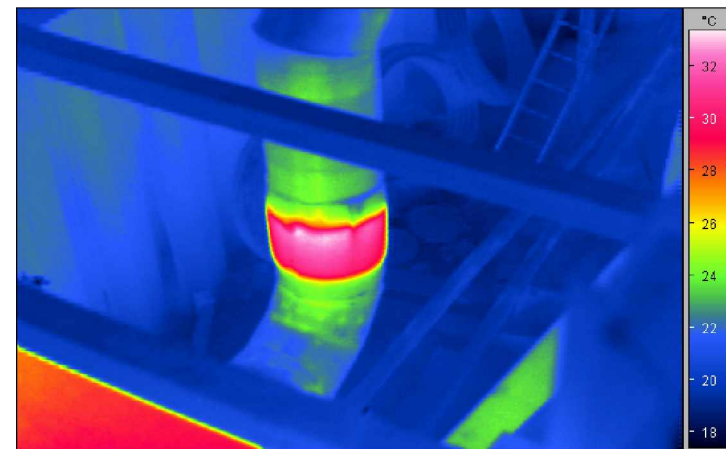
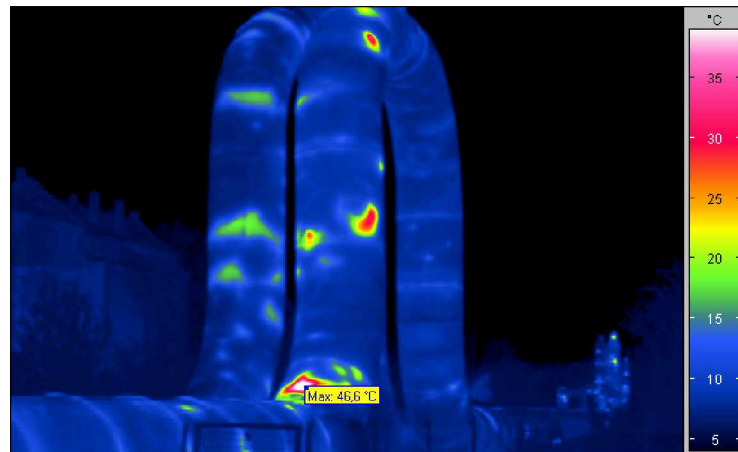
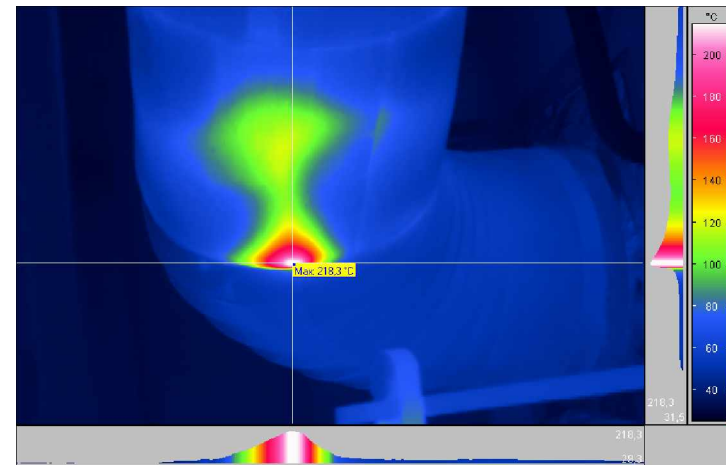
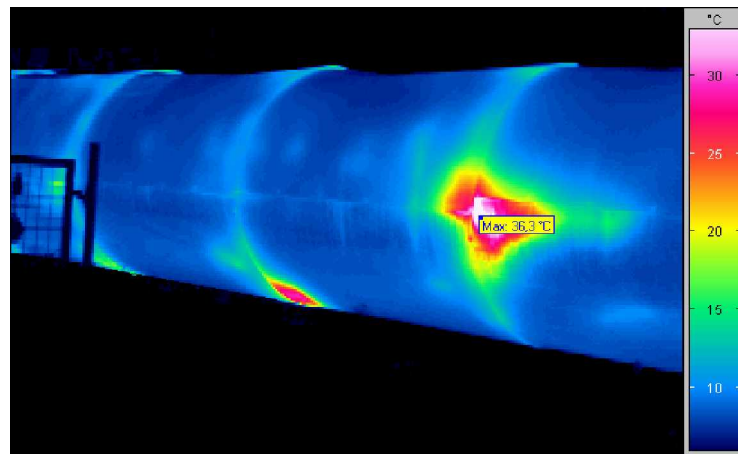
Calc	4.17 €/qm	25.59 kg/qm
mal	400 qm	
	1667.09 €/a	10.24 t/a

Meßfeld: X: 179 Y: 209 Meßfeld 329 * 49
 Ganzes Bild Schnellgang
 Buttons: Auf, Hoch, Links, Rechts, Schmal, Breit, Ab, Flach

Energiekosten: Speichern ... Speich. als ... Laden ... Drucken ... Voransicht ... OK

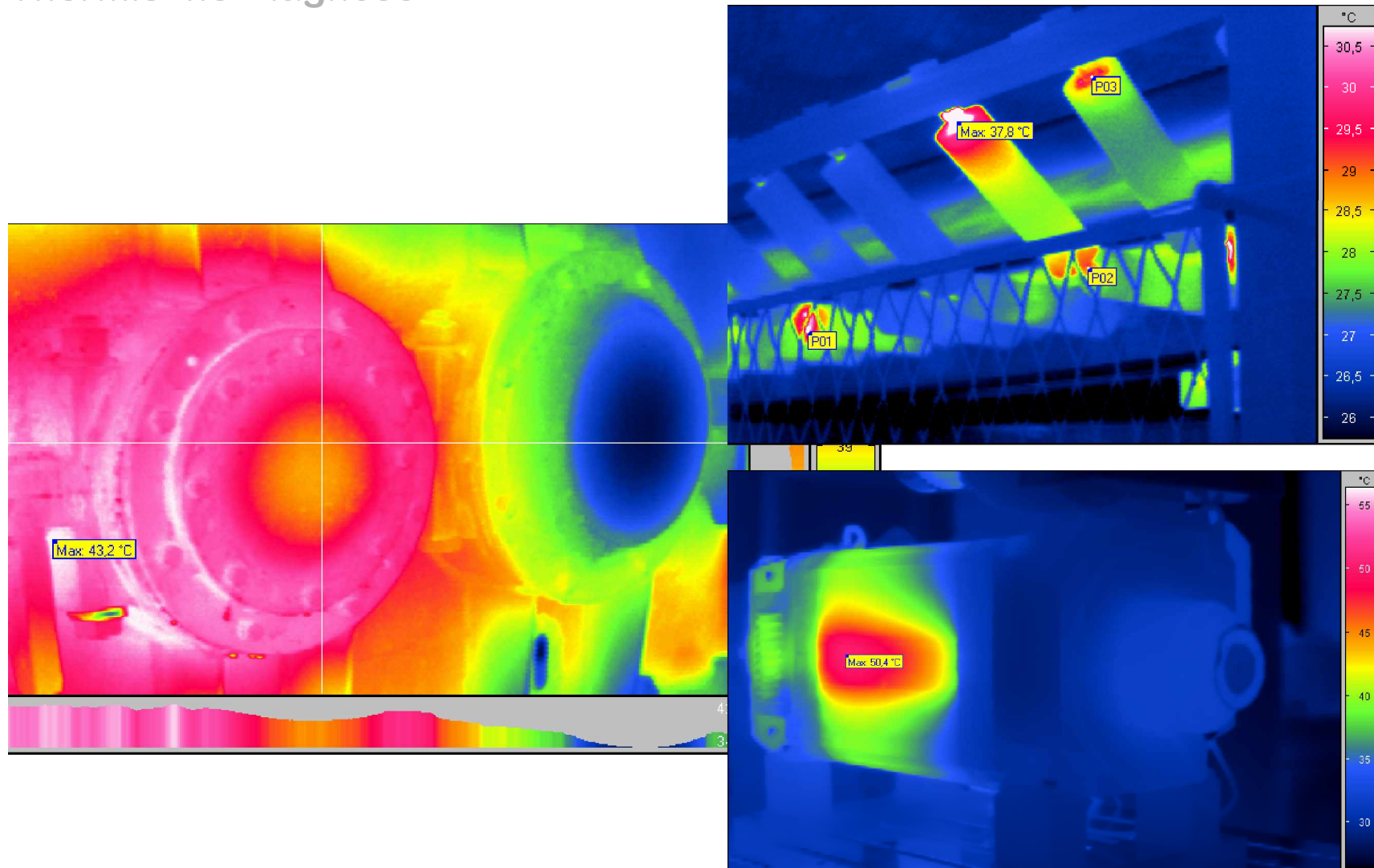
Allgemeine Anwendungen der Thermografie

Isolationsüberwachung



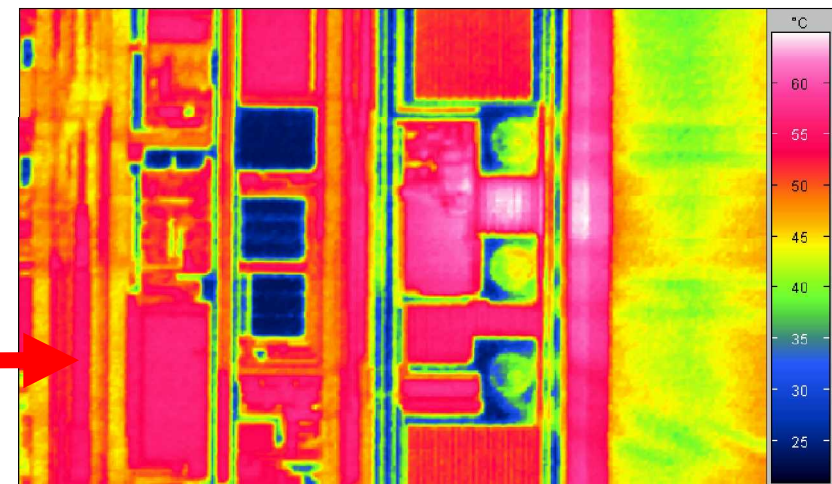
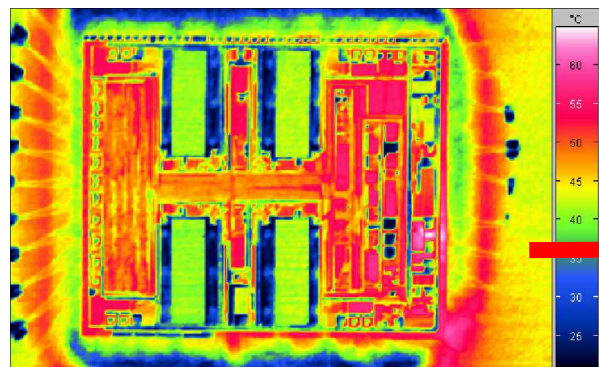
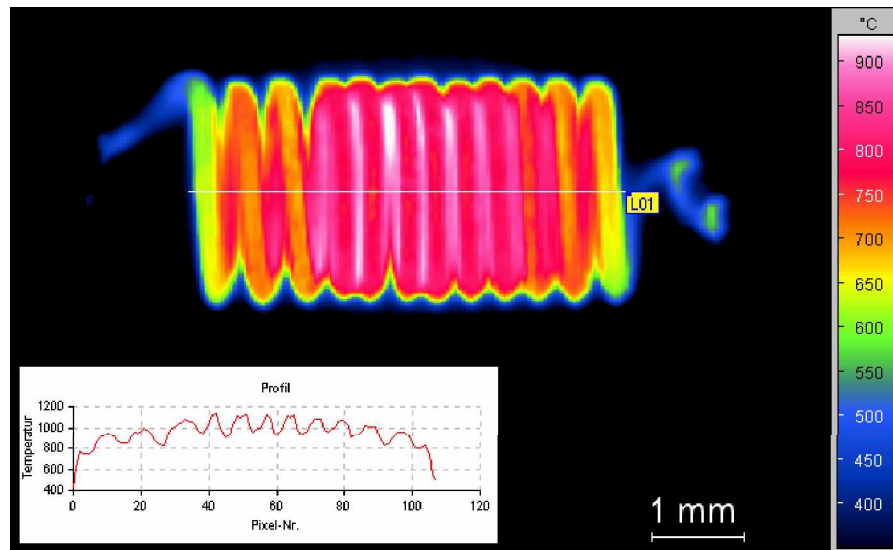
Allgemeine Anwendungen der Thermografie

Thermische Diagnose



Allgemeine Anwendungen der Thermografie

Elektronik

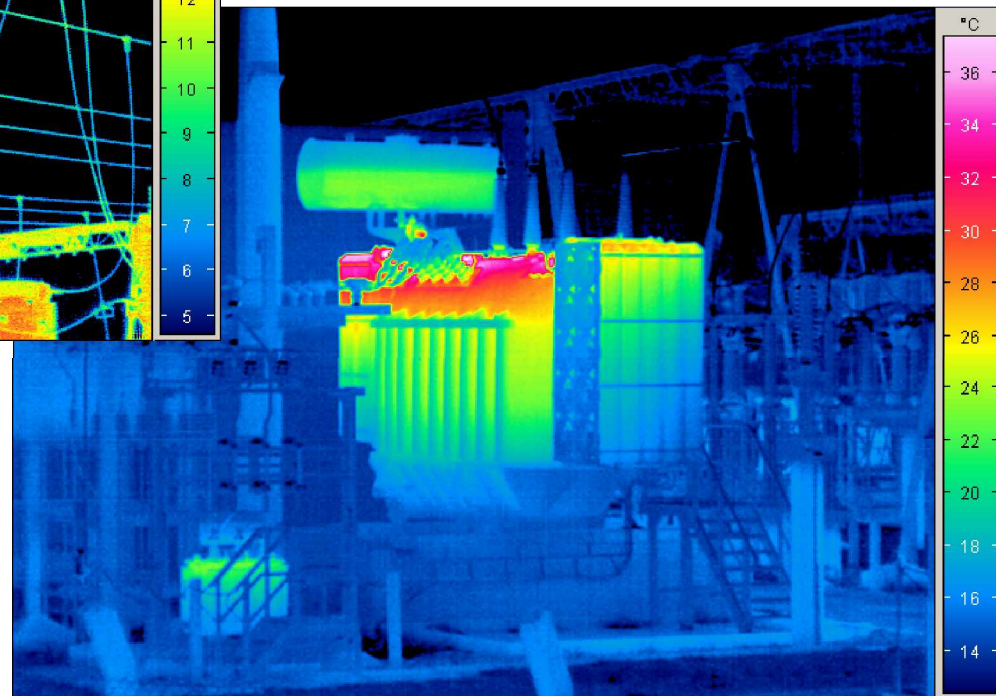
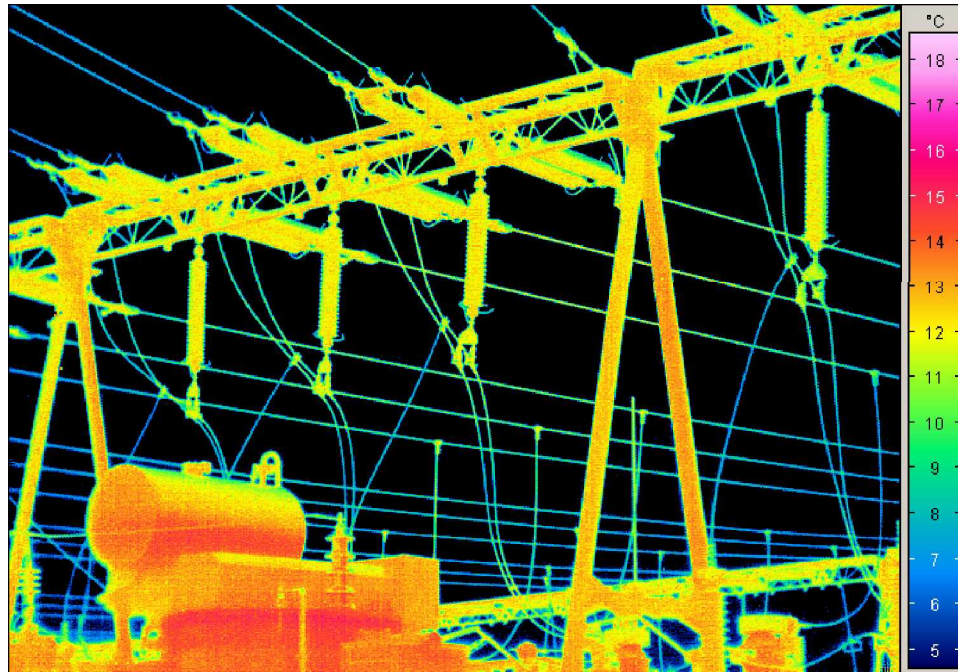


Micro-thermographic image of a chip

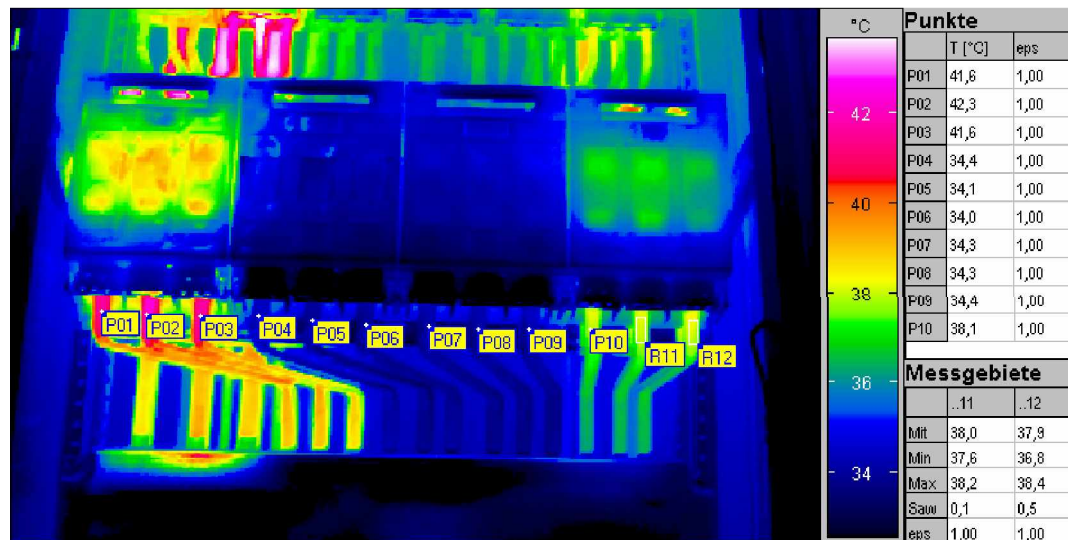
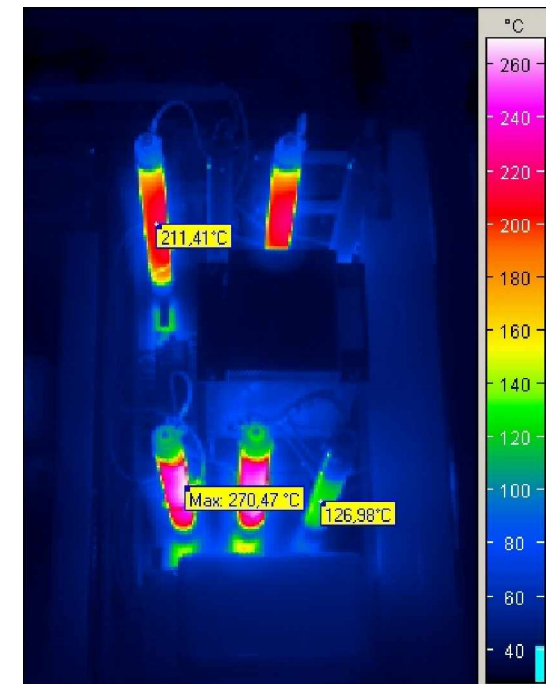
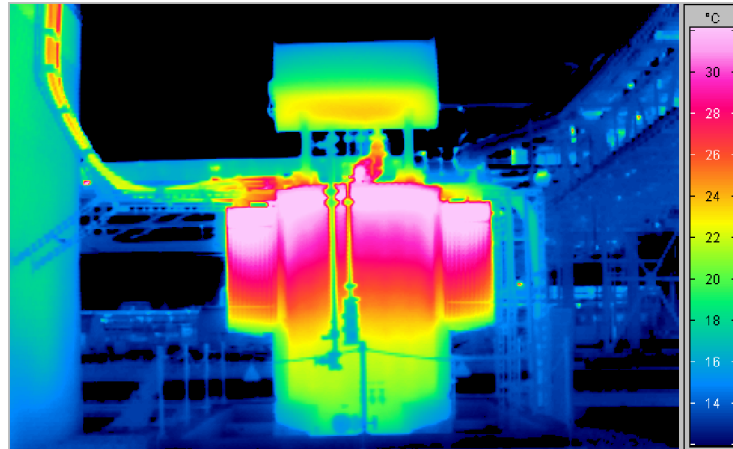
Zoom measuring for hot spot detection

Allgemeine Anwendungen der Thermografie

Elektroanlagen



Allgemeine Anwendungen der Thermografie Elektroanlagen

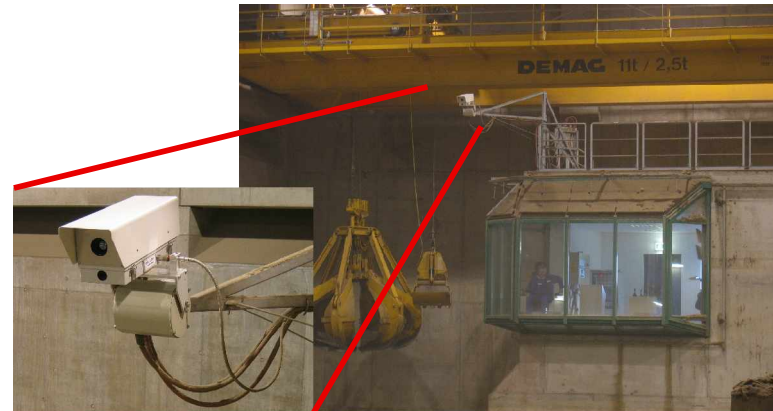
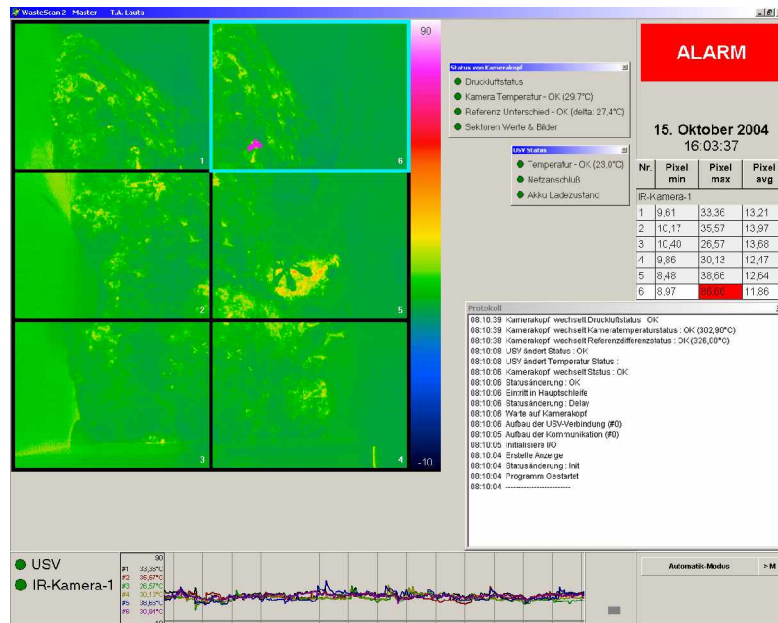


Thermografie als Mess- und Monitoringverfahren Stand und Tendenzen

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

Thermografie-Automatation

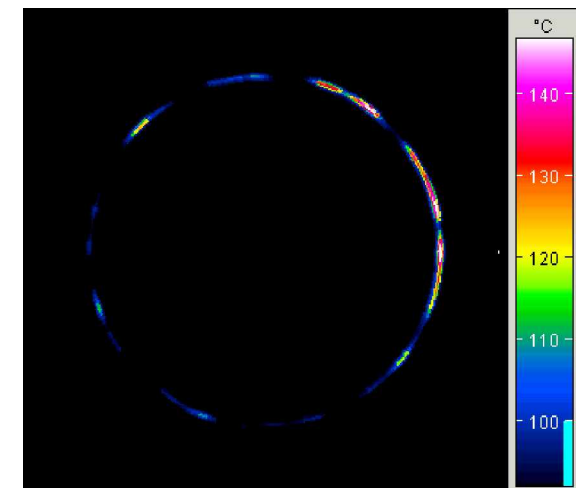
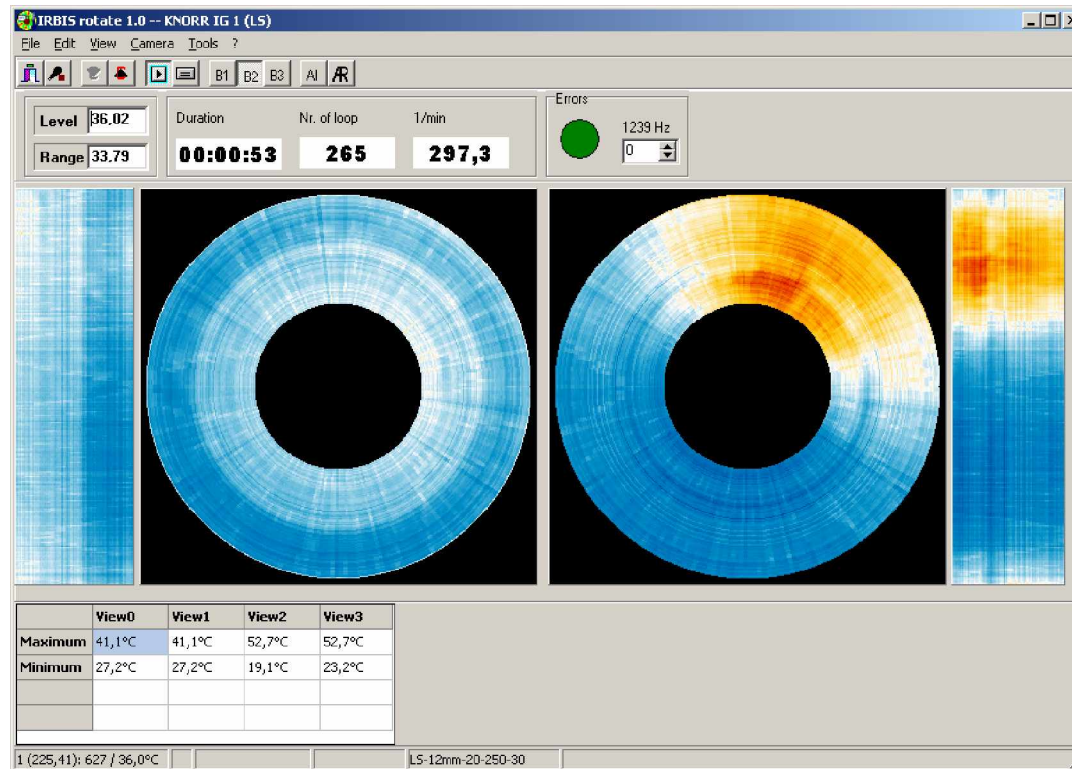
Brandfrüherkennung



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			
-			

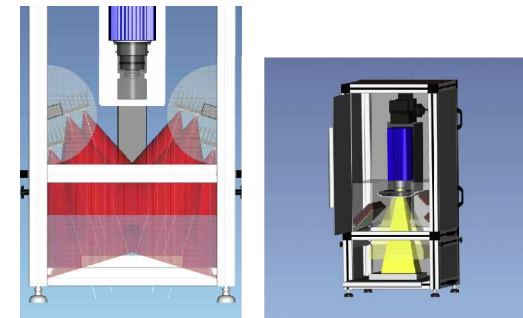
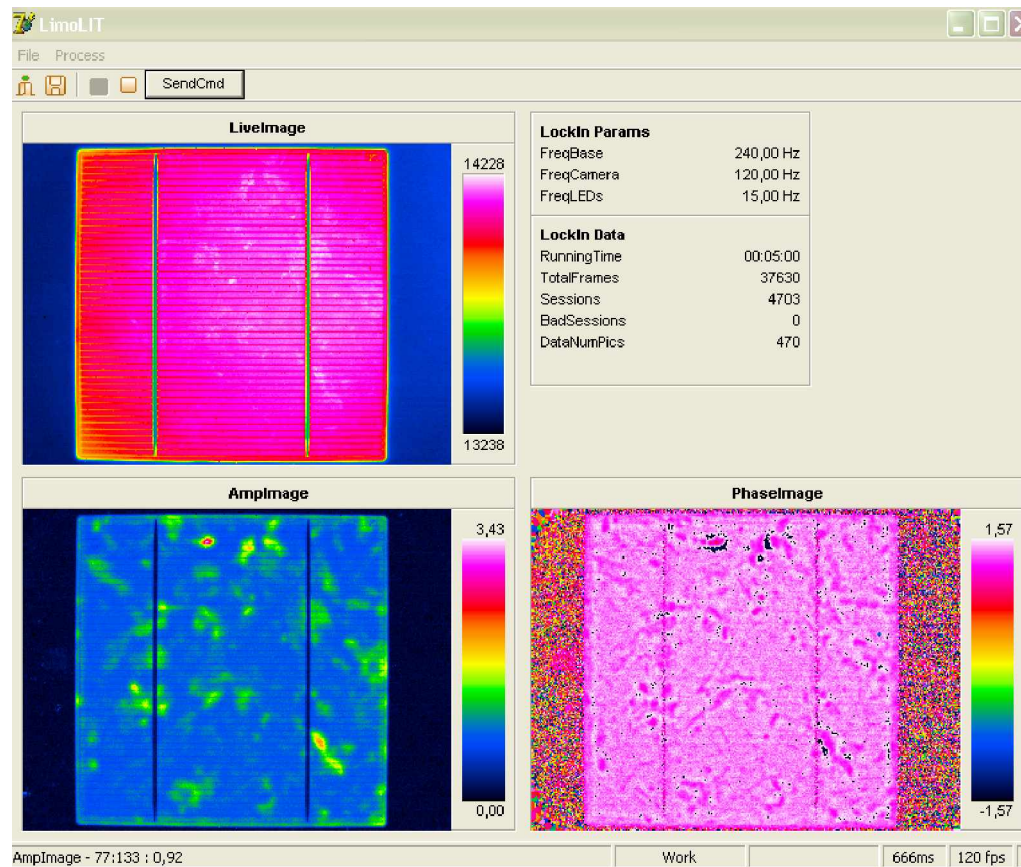
StichTG	Value
Blech-Nr.	313361
Stich-Nr.	1
Richtung	1
W.-Durchm.	10965
Blechbreite	2668
Blechlänge	2963
PyroTemp.	1091

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

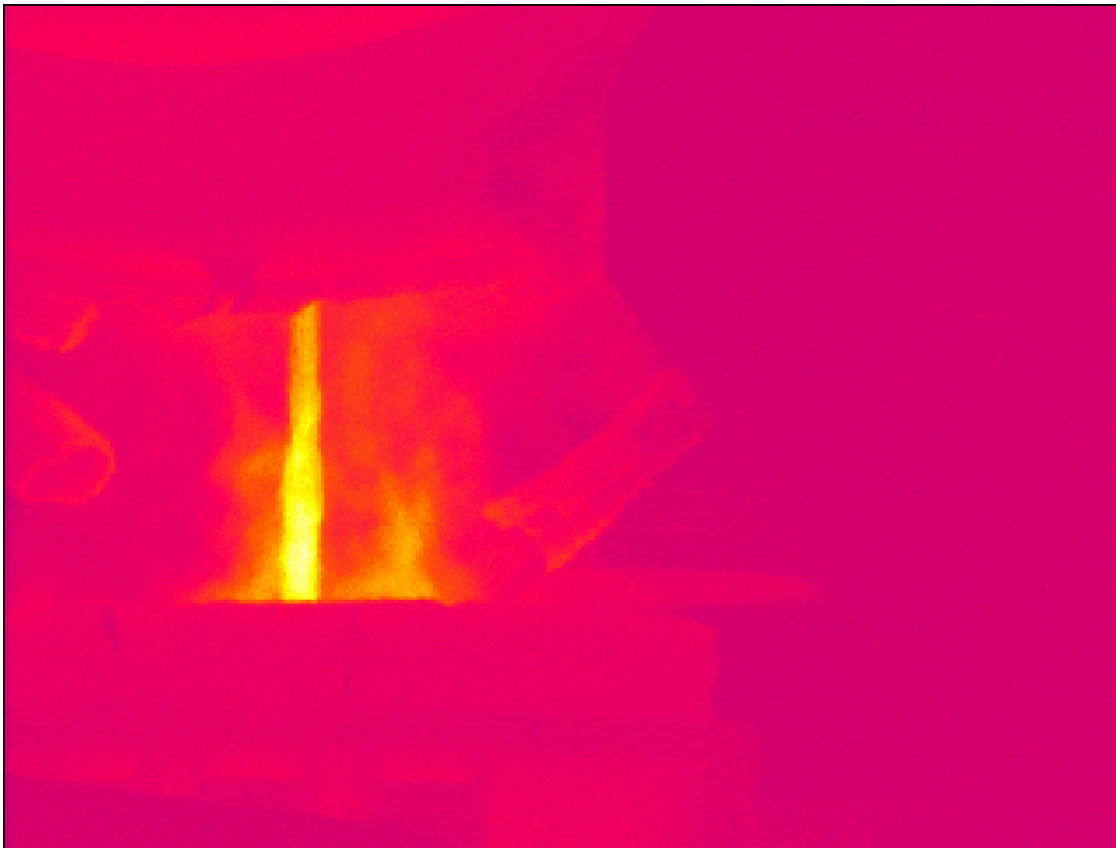
Thermografie-Automation Solarzellenprüfung



Lichtinduzierte Lock-in-Thermografie (LimoLIT) zur Qualitätssicherung

Thermografie-Automation

Qualitätsüberwachung/Fertigungssteuerung in der Stahlindustrie



Echtzeit-Thermografie

Thermografie-Automation

Vielen Dank!