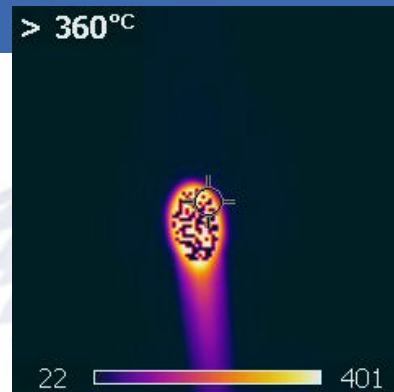


## Thermografie in der Machine Vision Erweiterung „sichtbarer“ Bildverarbeitung mit Temperaturbildern

Reinhard Kronemeyer

Vision Kronemeyer, Stuttgart



Praxis-Seminare

Vision Academy GmbH ? Konrad-Zuse-Str. 15 ? D-99099 Erfurt / Germany ? Tel. +49(0)361 / 4262-187 ? Fax -189 ? infopoint@vision-academy.org ? www.vision-academy.org

## Thermografie in der Machine Vision Erweiterung „sichtbarer“ Bildverarbeitung mit Temperaturbildern

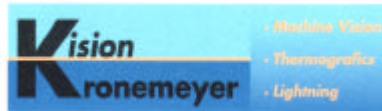
### Inhalt

- Vorstellung Vision Kronemeyer
- Thermografie in Anwendungen
- Das Prinzip, Vorteile, Besonderheiten
- Grundlagen in Kürze
- Erprobte Aufbauten und deren technische Umsetzung
- Fazit

### Vorstellung Vision Kronemeyer

- Geschäftsbereiche
- Machine Vision** Technische u. industrielle Bildverarbeitung  
Prüfanlagen / Qualitätsbarriere  
Eigenständige Prüfung
  - Thermografie** Technische, industrielle und Gebäudethermografie
  - Lightning** „Wetterleuchten“, Hervorheben, in Szene setzen durch Licht, Effektbeleuchtung, Blitzen
- Erfahrungen
- 29 Jahre Mitarbeiter der Robert Bosch GmbH
  - erste Berührungspunkte mit Bildverarbeitung ab 1986
  - seit 1999: Durchführung von Bildverarbeitungsapplikationen und Anwendung von technischer Thermografie weltweit

Vision Kronemeyer  
Happoldstraße 77  
D-70469 Stuttgart  
Tel. +49 (0) 711 / 35855 - 48  
Fax +49 (0) 711 / 35855 - 49



### Thermografie in Anwendungen

#### Industrielle Anwendungen

- Erkennung nicht sichtbarer Fehler (Materialfehler: Risse, Lunker, Ablösungen)
- Inspektion von Fügeverbindungen (Kleben, Schweißen) auf Vollständigkeit, Dichtheit
- vorbeugende Instandhaltung (Schaltschrankthermografie)
- Erkennung von Fremdkörpern in Stoffen (Lebensmittelindustrie)
- Fehlstellen in Solarzellen
- Produktentwicklung: Platinenlayout

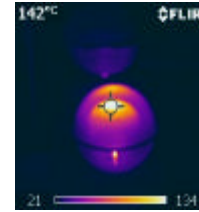
#### Nichtindustrielle Anwendungen

- Abwendung von Gefahren (Hochspannungsleitungen, Umspannwerke)
- Brandvorsorge
- Wärmemanagement an Gebäuden, Leitungssuche aller Arten
- Erkennung erhöhter Temperatur beim Menschen (SARS, Schweinegrippe auf Flughäfen)
- Entzündungen finden

Thermografie in Anwendungen

Thermografie in Branchen

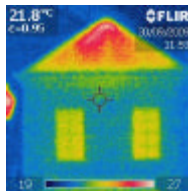
- verarbeitende Industrie (Metall, Kunststoff, Elektronik, Verbundwerkstoffe)
- Fahrzeugbau (Auto, Flugzeug, Schiff)
- Lebensmittelindustrie
- Verpackungsindustrie
- Energieversorger
- Kraftwerksbetreiber (klassisch und alternativ, auch Windkraft)
- Bauindustrie
- Medizin
- Forschung



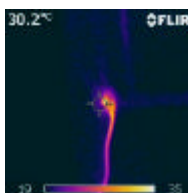
Thermografie in der Forschung:  
Plasmakugel: Darstellung des Temperaturverlaufs.

Thermografie in Anwendungen

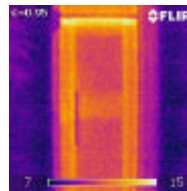
Erkennung von Wärmebrücken



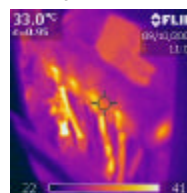
Leitungssuche mit Thermokamera



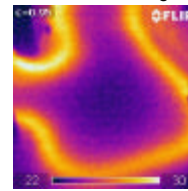
Wärmeverluste an undichter Haustür



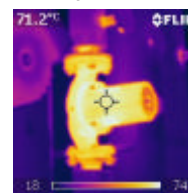
Analyse einer Leitungsverteiler



Analyse einer Fußbodenheizung

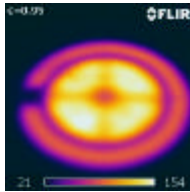


Analyse einer Heizungspumpe

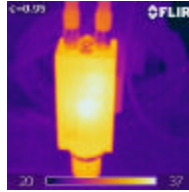


Weitere Anwendungen

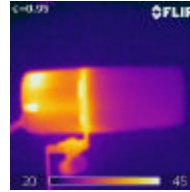
Fertigungskontrolle an Doppelkochfeld



Wärmeverteilung an Smart Camera pictor



Wärmeausbreitung an elektronischer Schaltung



Das Prinzip, Vorteile, Besonderheiten

Ausgangspunkt:

- Mensch kann Licht sehen
- Mensch kann Temperaturen fühlen - aber nicht sehen
- Temperaturmessung ist bis heute meist berührend („Temperaturfühler“)

Analogie:

- BV kann sichtbares Licht (und nahes IR) „sehen“ und verarbeiten ? Gegenstand der Messe VISION!
- Frage: IR (Wärmestrahlung) ist auch Licht – kann das nicht auch bildverarbeitet werden?

Chancen:

- Möglichkeit berührungsloser Temperaturmessung
- flächige Temperaturmessung, bisher nur punktuell
- Bilder (Temperaturfelder) geben genaueren Aufschluss über Gegenstände / Produkte
- zerstörungsfreies Prüfen auch im Innern
- Nutzung klassischer BV-Algorithmen für Aussagen zu: Temperatur, -verteilung, -maxima, -entwicklung, ...

Das Prinzip, Vorteile, Besonderheiten

Vorteile:

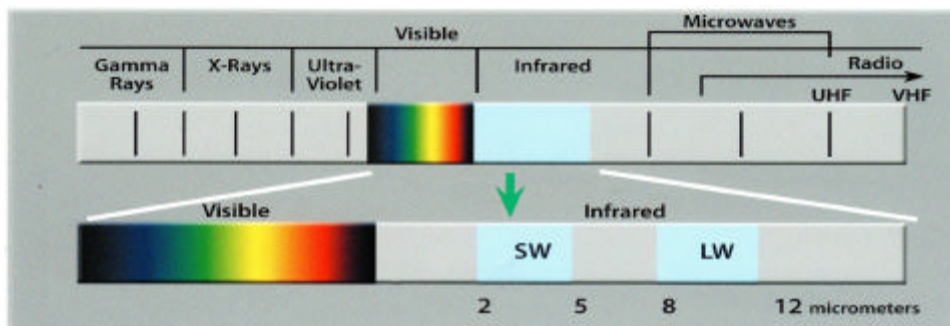
- berührungslos
- zerstörungsfrei
- auch an unzugänglichen Anordnungen anwendbar
- schnelle Messungen ohne Verzögerung
- direkte Messungen an festen, flüssigen und gasförmigen Medien
- Messung auch aus sicherer Entfernung (z.B. Hochspannung)
- großer Messbereich -160° bis 2400°C
- punktuelle und flächige Temperaturmessungen
- nachträgliches Messen und analysieren an gespeicherten Bildern

Besonderheiten:

- „Erfahrungen“ unserer menschlichen Wahrnehmung von Licht („Das sehe ich doch!“) gelten im IR nicht
- Genauigkeit ist abhängig von den eingestellten Umweltparametern

Grundlagen: Was ist Thermografie?

- Thermografie ist bildgebendes Verfahren zur Darstellung der Wärmestrahlung von Körpern, die wärmer sind als Null Kelvin (-273,15°C)
- genutzter Wellenlängenbereich der Thermografie: 2 ... 14 µm



Grundlagen: Geräte für Thermografie

- Klassische Bolometer: Messung nur integrierend über die gesamte Fläche möglich.
- Messung erfolgt indirekt über Widerstandsmessung (Messbrücke),
- bildgebende Verfahren ermöglichen 2-dimensionale Darstellung:
  - 1.) gekühlte Bolometer: Gasdetektion, Bauphysik, industrielle Anwendung (z.B. Glas)
  - 2.) ungekühlte Bolometer: Bauthermografie Technische Thermografie
- Ausführungen als Handgeräte und als stationäre Geräte



Handgeführte Kamera, ungekühlt (InfraCam)  
Messbereich: -20 ... 350 °C  
(Quelle: FLIR)



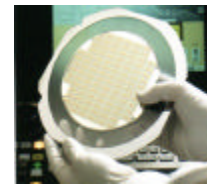
Ungekühlte stationäre Kamera. (PI)  
(Quelle: Optris)



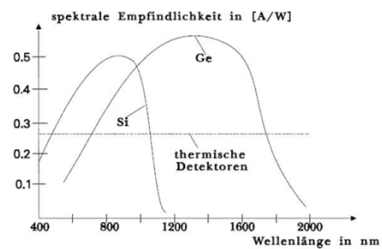
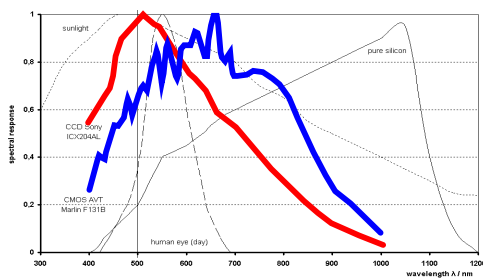
Gekühlte Militärkamera (A325)  
(Quelle: FLIR)

Grundlagen: Unterschied Thermokamera / Kamera für sichtbares Licht

- Bildaufnehmer von Kameras für sichtbares Licht: CCD oder CMOS
- Nutzung klassischer Halbleitermaterialien (dotiertes Silizium)
- CMOS: häufig Bildrauschen, großer Dynamikbereich
- CCD: geringes Rauschen, geringer Dynamikbereich, nicht vorverstärkbar
- Bildaufnehmer von Kameras für IR-Licht: InSb, Indium Antimon Vanadiumoxid (z.B. Bildaufnehmer von ungekühlter FLIR-Kamera)

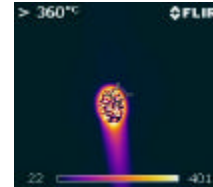


Bolometerchips auf Wafer  
(Quelle: FLIR)



Grundlagen: Wo sind die Grenzen?

- nutzbarer Wellenlängenbereich: 2 ... 14 µm
- ursprünglich für das Militär entwickelt, langsam kommen zivile Anwendungen
- es werden keine Empfindlichkeitskurven der Kameras freigegeben
- bekannt ist: nichtlinearen Verlauf der Empfindlichkeit
- macht aufwändiges Kalibrieren ist erforderlich
- militärische IR-Bildaufnehmer haben Auflösung > 0,01K
- zivile IR-Bildaufnehmer haben Auflösung > 0,4 K
- Genauigkeit der Messung liegt typisch bei +/- 2°C



Wärmeverteilung auf einer Elektrode einer Plasmafackel

Grundlagen: Unterschied Thermokamera / Kamera für sichtbares Licht

Infrarot-Bildaufnehmer haben andere Abhängigkeiten als Bildaufnehmer für sichtbares Licht:  
Emissionsgrad, Reflexionsgrad, Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck

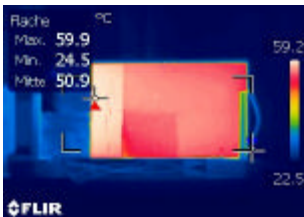
Beispiel:

- Betrachtung einer gleich warmen Fläche aus verschiedenen Materialien (Kamera FLIR B400).
- Wirkung des Emissionsgrades auf die angezeigte Temperatur: Für jedes Material der Fläche muss Emissionsgrad bestimmt werden, damit alle Materialien die gleiche Temperatur anzeigen.

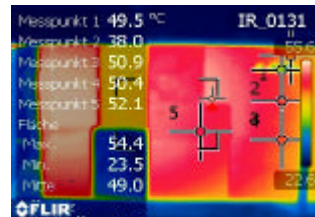
Messfläche im sichtbaren Licht



Messfläche als Thermobild

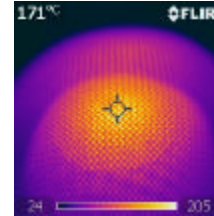


Emissionsgrade an der Messfläche



Grundlagen: Wo sind die Grenzen?

- Aufnahme und Auswertung von thermografischen Bilder durch Menschen ist sehr fehlerbehaftet (fehlende Kenntnisse)
- viele Fehler werden durch Fehleinstellungen des Thermokamerasystems erzeugt häufigste Fehler sind:
  - Unkenntnis des Prozesses (Änderung von Materialeigenschaften)
  - nicht sichtbarer Wechsel von Materialeigenschaften (z.B. Oxidation: Alu blank / oxidiert) führt zu falschen Messwerten
  - falsch eingestellte Parameter (Emissionsgrad, reflektierende Temperatur)
  - unscharfe Bilder
  - zu kleiner Messbereich
  - Überschätzung der Ortsauflösung (Pixelanzahl)  
→ Thermokameras sind keine Mega-Pixel-Kameras!

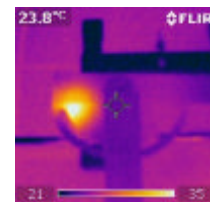


Temperaturverlauf an doppeltem Abschirmgitter eines Lautsprechers („Plasmahochtöner“).

Erprobte Aufbauten: Was ist möglich?

Zerstörungsfreies Prüfen mit Thermografie bietet sich an für:

- Erkennen von Reibungswärme
- Erkennen von Materialverbiegungswärme
- Leckagesuche ohne z. B. Wände großflächig zu öffnen
- Hintergrundbetrachtung durch unterschiedliche Wärmeverteilung in Körpern
- Materialhomogenitätskontrolle
- Prüfung von Übergangswiderständen an Hochspannungsanlagen, ohne sie vom Netz nehmen zu müssen
- Wärmeableitungsfähigkeit von elektronischen Leistungsschaltungen
- Rissprüfung von Kacheln an Gasturbinen kalt und in Betrieb durch Inspektionsöffnung
- ...



Darstellung von Wärmeentwicklung durch Reibung: Schweißverbindung an Mähbalken.

**Neue Aufbauten: Brücke zur „klassischen“ Bildverarbeitung**

- Kombination von „sichtbarer“ und thermischer Bildverarbeitung
- Erzeugung von Multispektralbildern für Prüfung erweiterter Eigenschaften an Produkten: neben Abmessungen, Mustern, Farben, ... nun auch Temperaturen sowie verdeckte Eigenschaften.
- Anbindung von Thermografiekameras über standardisierte Schnittstellen (GigE), z.B. an Mehrkammersysteme
- Beleuchtung meist nicht notwendig, da Objekte selber strahlen
- Objektive für sichtbares und nahes IR-Licht sind nicht nutzbar  
→ spezielle Germanium-Objektive (kein breites Produktspektrum) werden benötigt
- Ablage der Bilder erfolgt wie gewohnt im Bildspeicher



Einige Mehrkammersysteme bieten Möglichkeiten neben VIS-Kameras auch IR-Kameras anzuschließen.

(Quelle: [www.vision-control.com](http://www.vision-control.com))

**Neue Aufbauten: Brücke zur „klassischen“ Bildverarbeitung**

- gleiche Bildverarbeitungsalgorithmen nutzbar für sichtbares Licht und Wärmestrahlung
- Interpretation der Helligkeitswerte ist verschieden:

	Bild von sichtbarem Licht	IR-Bild
Binarisierung	Schwellwert für Helligkeit	Schwellwert für Temperatur
Blobanalyse	zusammenhängende Orte gleicher Helligkeit	Hot / cold Spots erkennen
Grauwertesttest	gleichfarbige Fläche	Temperatur messen / gleich temperierte Fläche
Bilddifferenz	Hellwerte / Temperaturwerte voneinander abziehen	
Hellanteil	hellste Farbe ermitteln	Temperaturmaximum ermitteln
Kante antasten	Erkennen geometrischer Orte	Erkennen von Temperaturorten
Konturen antasten	geometrische Grenze	Isotherme (Linie gleicher Temperatur) Erkennen von Temperaturgrenzen
Mustersuche	Finden ähnlicher Teile	Finden ähnlicher Temperaturverteilungen

Weiterhin notwendig: thermografische Formeln für Vorverarbeitung  
Kalibrierung: System braucht für Temperaturmessungen Kalibrierfläche!

#### Fazit

- völlig neue Anwendungen der Bildverarbeitung werden durch multispektrale Bilder möglich
- Erweiterung der sensitiven Fähigkeiten der Bildverarbeitung um die Dimensionen Temperatur und „Unsichtbares“
- erweiterte Aussagen für die Qualitätssicherung
- erweiterte Aussagen für die Thermografie durch Identifikation
- Mehrkamerasysteme eignen sich zur Verbindung von sichtbarer mit Wärmebildverarbeitung
- Verarbeitung auf bekannten BV-Plattformen, da nur die Messwertaufnehmer (Kameras) verschieden sind
- Nutzung gleicher Algorithmen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?



**Kision**  
**Kronemeyer**

- Machine Vision
- Thermografie
- Lighting

**Geschäftsführung:** Happoldstr. 77  
Reinhard Kronemeyer 70469 Stuttgart

Telefon +49(0)711 / 3 58 55 48  
Fax +49(0)711 / 3 58 55 49  
Mobil +49(0)1 71 / 2 89 83 30  
E-Mail: kronemeyer@gmx.de