

Projekt: Thermographieanalyse von Hochleistungsrechnern

**Prof. Dr. Thomas Ludwig
Timo Minartz**

Thema des Projektes

Kühlkreisläufe

**Yavuz Selim Cetinkaya & Özgür Sevimli &
Irfan dogan & Musa Sonay**

Gliederung

0. Motivation

1. Einleitung

2. Technische Vorbereitungen

3. Der Kühlkreislauf

4. Auswertung

5. Zusammenfassung

Motivation

- Das Projekt dient als ein Modul der Universität Hamburg
- Im Rahmen des Projekts sollte untersucht werden:
 - Verlauf und Verständnis des Kühlsystems am DKRZ
 - Erlernen der Messung und Messungstechniken
 - Ein allgemeines Fazit über das Kühlsystem

Motivation

- Warum Technische Verbesserung?
 - Kostenreduzierung durch Energiesparen
- 2 Millionen Euro/Jahr für den Betrieb der Rechner
- Energieverhungung bedingt durch
 - Rechnerbetrieb
 - Kühlung
 - Transformations- und thermische Verluste

Motivation

- Das Projekt beinhaltet eine Kombination von theoretischen und technischen Informationen
- Im folgenden werden zuerst die Projektphasen beschrieben und anschließend werden die Ergebnisse zusammen mit einem Abschlusskommentar dargestellt.

Gliederung

0. Motivation

1. Einleitung

2. Technische Vorbereitungen

3. Der Kühlkreislauf

4. Auswertung

5. Zusammenfassung

1. Einleitung

- Wo
- Wie
- Wann
- Ziel des Projekts

1. Einleitung

- Wo?

Im DKRZ



• Wie?

- Durch die abgeschlossene Termine
- Mit der Zusammenarbeit der Teilnehmern

• Wann?

- in den Vorlesungszeiten im Sommersemester
- ca. zwei Mal in der Woche

1. Einleitung

- Ziel des Projekts
 - Analyse des Kühlkonzeptes am DKRZ
 - Wärmeverlust bei Rohren
 - Deren Einfluss auf den Energieverbrauch

Gliederung

0. Motivation

1. Einleitung

2. Technische Vorbereitungen

3. Der Kühlkreislauf

4. Auswertung

5. Zusammenfassung

2. Technische Vorbereitungen

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

2.2 Bestimmung der Umgebungstemperatur

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- Thermographie
- Kamera
- Fotoaufnahme

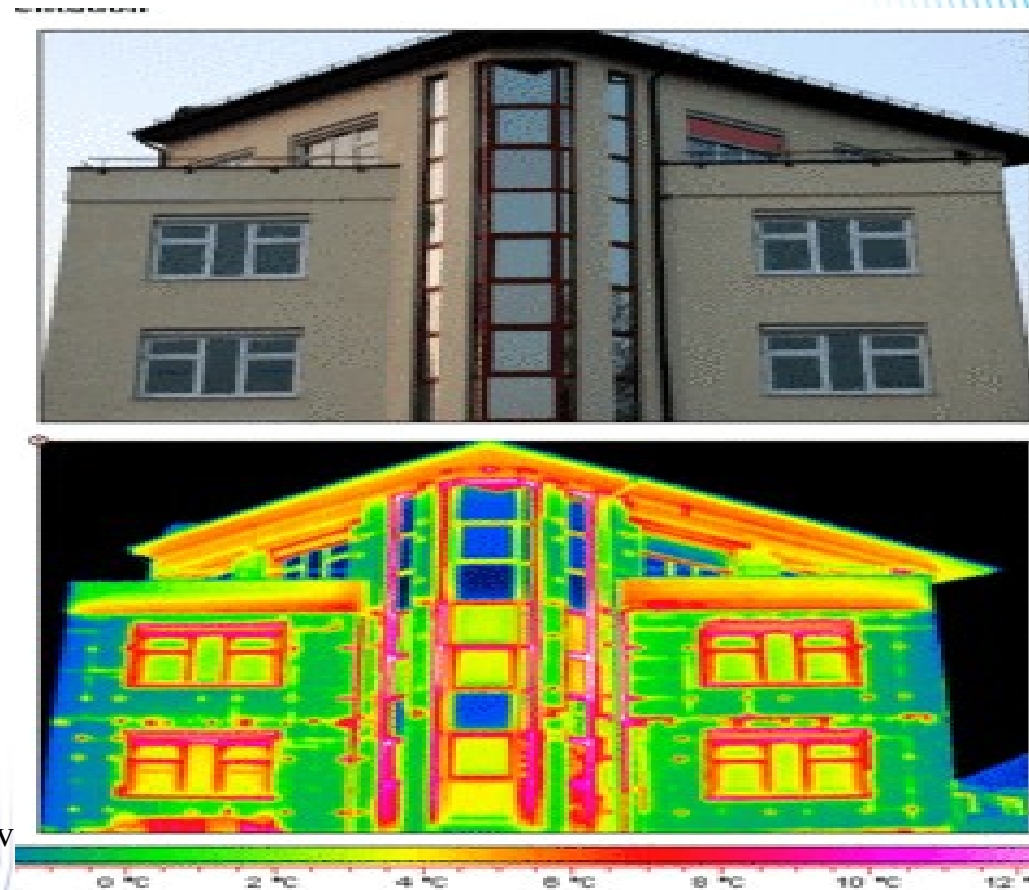
2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Thermographie:**
 - Was ist Thermographie?
 - Vor- und Nachteile der Thermographie
 - Was kann mit Thermographie untersucht werden?

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Thermographie:**
 - Was ist Thermographie?

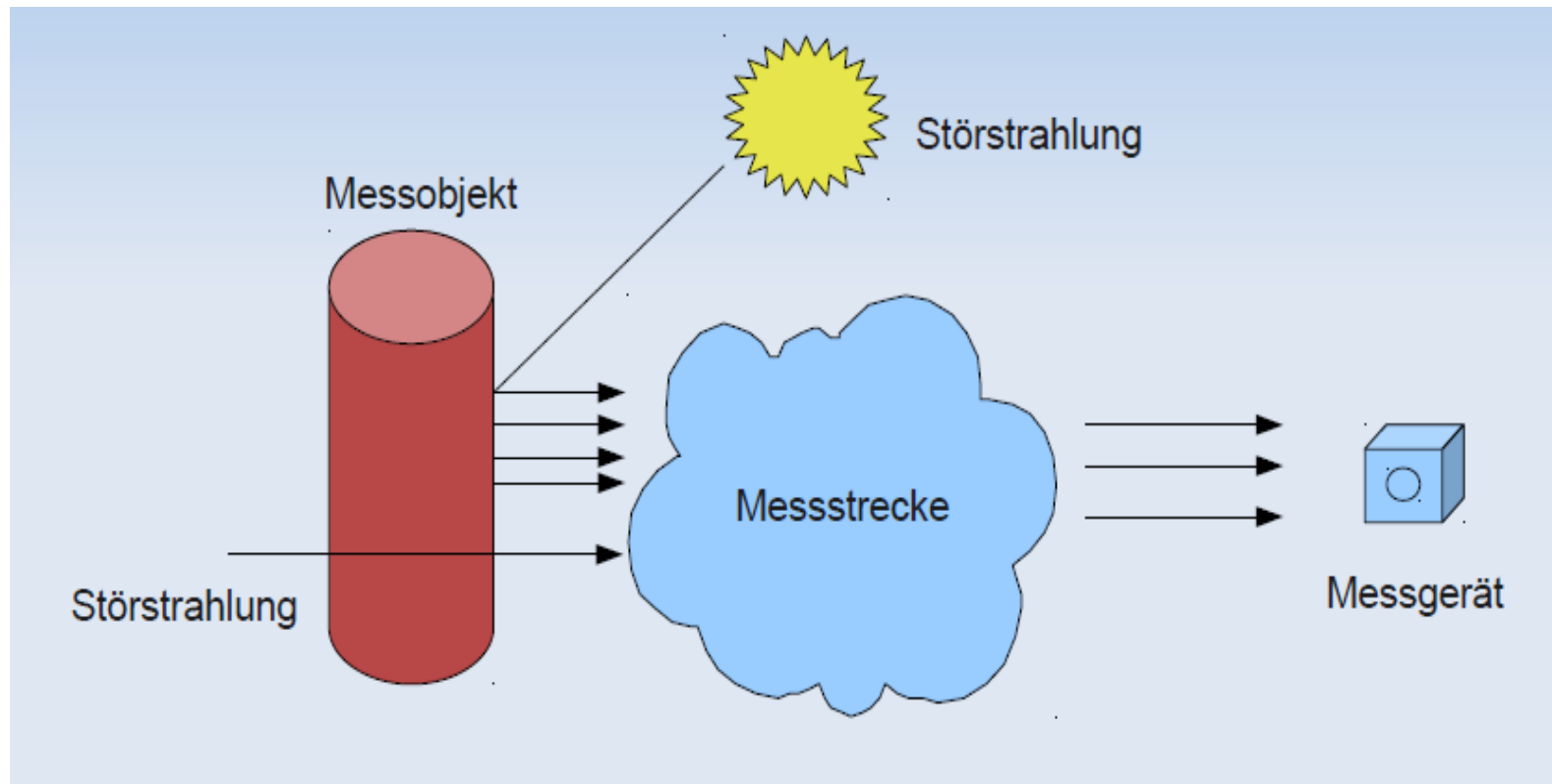
→ Berührungslose Messung der Oberflächentemperatur auf der Basis der von der Oberfläche ausgesendeten Wärmestrahlung



2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Thermographie:**

Messaufbau



2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Thermographie:**

- Wärmebilder = Infrarotbilder = Thermographie
Aufnahmen

Auf Grund dem Thema Energiesparen ist der Bedarf für Wärmebilder sehr groß, weil sie die Energieverluste von Sachen visualisieren können

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Thermographie:**

- Vorteile der Thermographie

- schnell
- unkompliziert
- zerstörungsfrei
- in laufenden Betrieb eingesetzt werden

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Thermographie:**

- **Nachteile der Thermographie**

- Qualitätskameras sind kostspielig und werden leicht beschädigt
- Bilder können hart sein, genau zu glätten
- Genaue Temperaturmaße sind sehr hart, wegen des Emissionsvermögens zu bilden
- Die meisten Kameras haben $\pm 2\%$ oder schlechtere Genauigkeit

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Thermographie:**
 - Was kann mit Thermographie untersucht werden?
 - Anwendungsgebiete: Bauthermographie, Fertigung, Fehlersuche, Zustandserkennung
 - Wirksamkeit der Wärmedämmung
 - Ortung von Rohren
 - Analyse von Schimmelpilz
 - Dichtigkeit und Anschlüsse
 - ...

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Kamera**

- Wahl der richtigen Kamera
- Unsere Kameradaten
- Kamerafunktionen
- Software der Kamera
- Irbis 3 für die Nachbearbeitung der Bilder

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

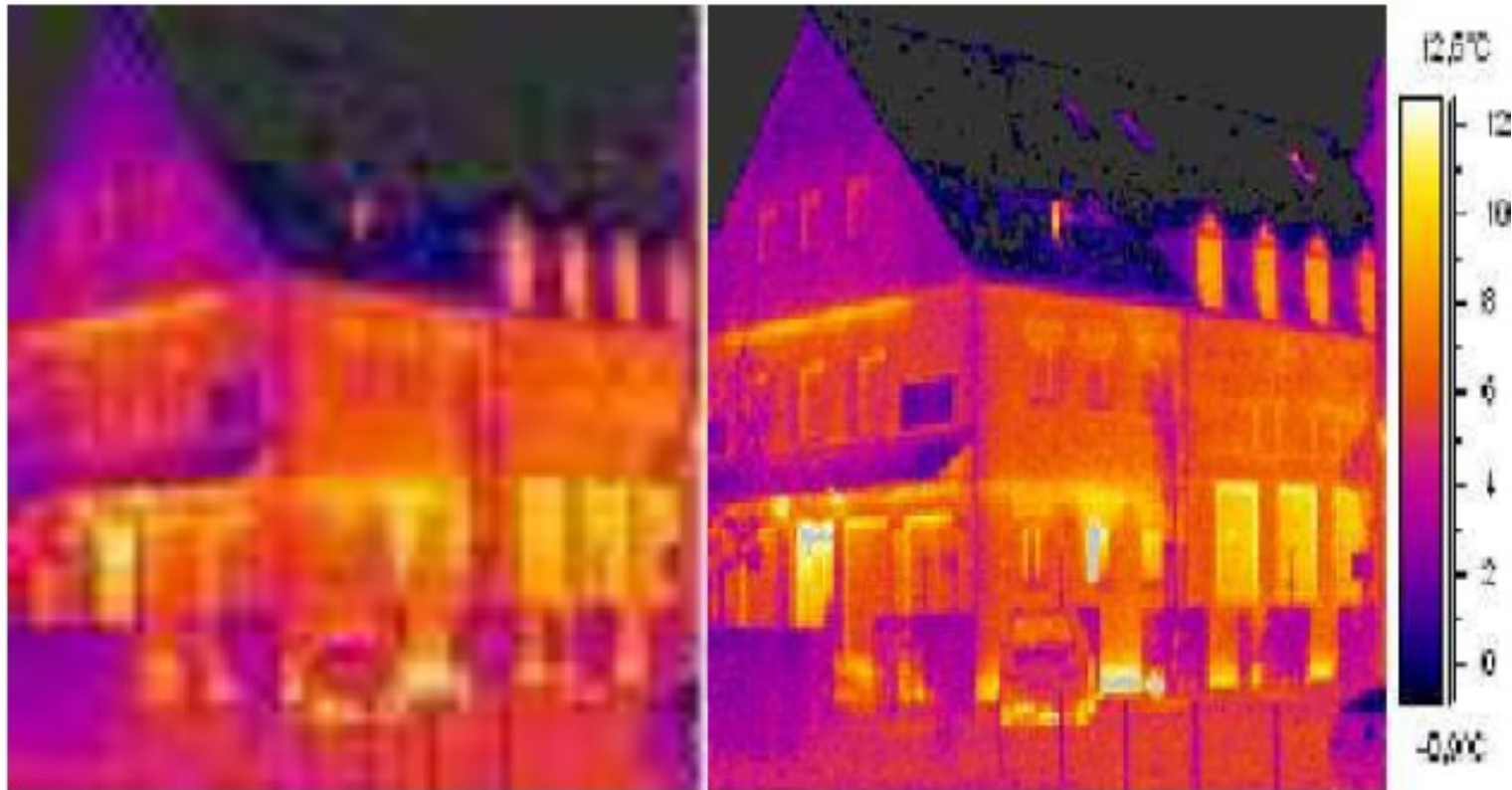
- **Kamera**

- Wahl der richtigen Kamera

- Viele unterschiedliche Kameras, die unterschiedliche Qualität haben.
 - Kameras für Von unter 3.000 € bis 45.000 €

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- Kamera



Preisklasse von 3.000 €

Preisklasse von 45.000 €

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Kamera**

- Unsere Kameradaten: VarioCAM hr inspect

- Thermische Auflösung: 0.03 K @ 30 °C
 - Detektorformat:
 - 384 x 188
 - 768 x 576
 - Bildaufnahmefrequenz: 50 Hz
 - Spektralbereich: 7,5 .. 14 μm



2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Kamera**

- Unsere Kameradaten: VarioCAM hr inspect

- Geometrische Auflösung

- 2,8 mrad (Pixeldurchsch. bei 1m Abstand: 2,8 mm)

- Nahfokussierung

- Bildfeld 86 * 65 mm

- Pixelgröße 230 μm

- Kleinster Fokussierabstand 80 mm

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Kamera**

- Kamerafunktionen

- Einstellungen von Emissionswerten

- Für reale Messungen: Emissionswert auf 1 und dann mit der Software nachbearbeiten

- Messpunkte setzen

- Differenztemperaturmessung

- Min/Max Anzeige

- Visualbildaufnahme

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Kamera**

- Software der Kamera

- Funktionen interpretieren nur Infrarotdaten
 - Deutlich einfach zu bedienen
 - Weitere Darstellungsmöglichkeiten
 - z.B. Temperaturverlauf
 - Export in diverse Dateiformate
 - Weitere Software zur Remotenbedienung vorhanden

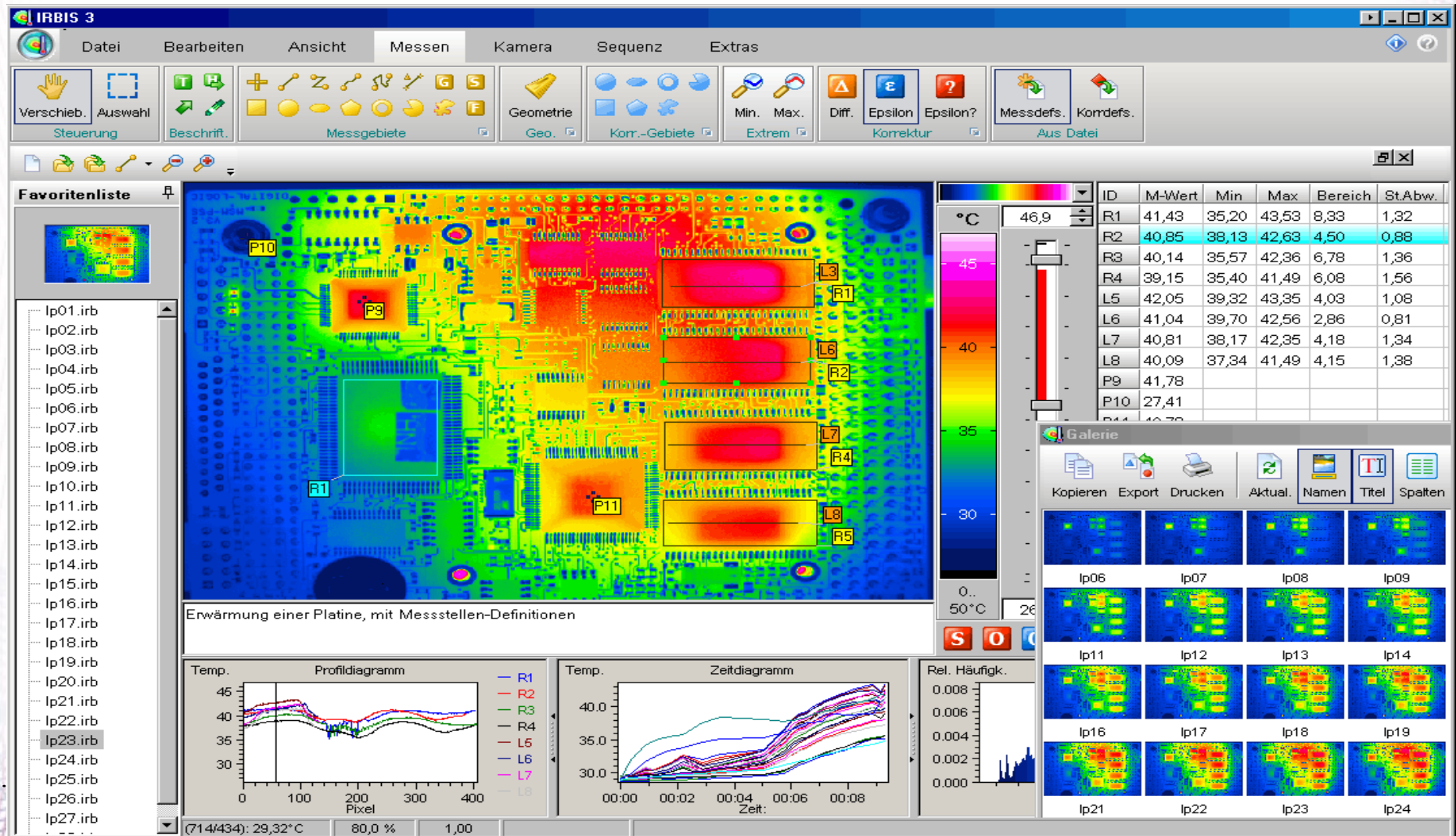
2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Kamera**

- Irbis 3 für die Nachbearbeitung der Bilder
 - Spezialsoftware zum Betrieb von Thermographiekameras
 - Gleichzeitigkeit von Kamerabetrieb und Kamerasteuerung
 - Paralleler Echtzeitbetrieb von bis zu 8 Kamerasystemen an einem PC
 - Komfortabler Bilddarstellung
 - Getriggerte Thermographie- und Bilddatenaufzeichnung
 - Echtzeitbildauswertung mit ereignisstriggerung

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- Kamera: Software Irbis 3



2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Fotoaufnahme**
 - Vorbereitungen
 - Fehlereinflüsse
 - Isolierte Aufnahme
 - Nicht-Isolierte Aufnahme

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Fotoaufnahme**

- Vorbereitungen

erforderliche Parameter:

- Lufttemperatur zum Zeitpunkt der Messung
 - Entfernung der untersuchten Oberfläche
 - Emissionsgrad der untersuchten Oberfläche

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Fotoaufnahme**

- Fehlereinflüsse

- Emissionsgrad
- Umgebungstemperatur
- Reflexion
- Signalverluste durch Messstrecke
- Messungenauigkeit des Systems
- Ungenaue Fokussierung
- Nichtbeachtung der geometrischen Auflösung

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Fotoaufnahme**

- Isolierte Aufnahme
Aufnahme mit einem
Kartonbox, damit:
 - Feste Strecke zu
Messobjekten
 - Verhinderung der
Reflexion



2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- **Fotoaufnahme**

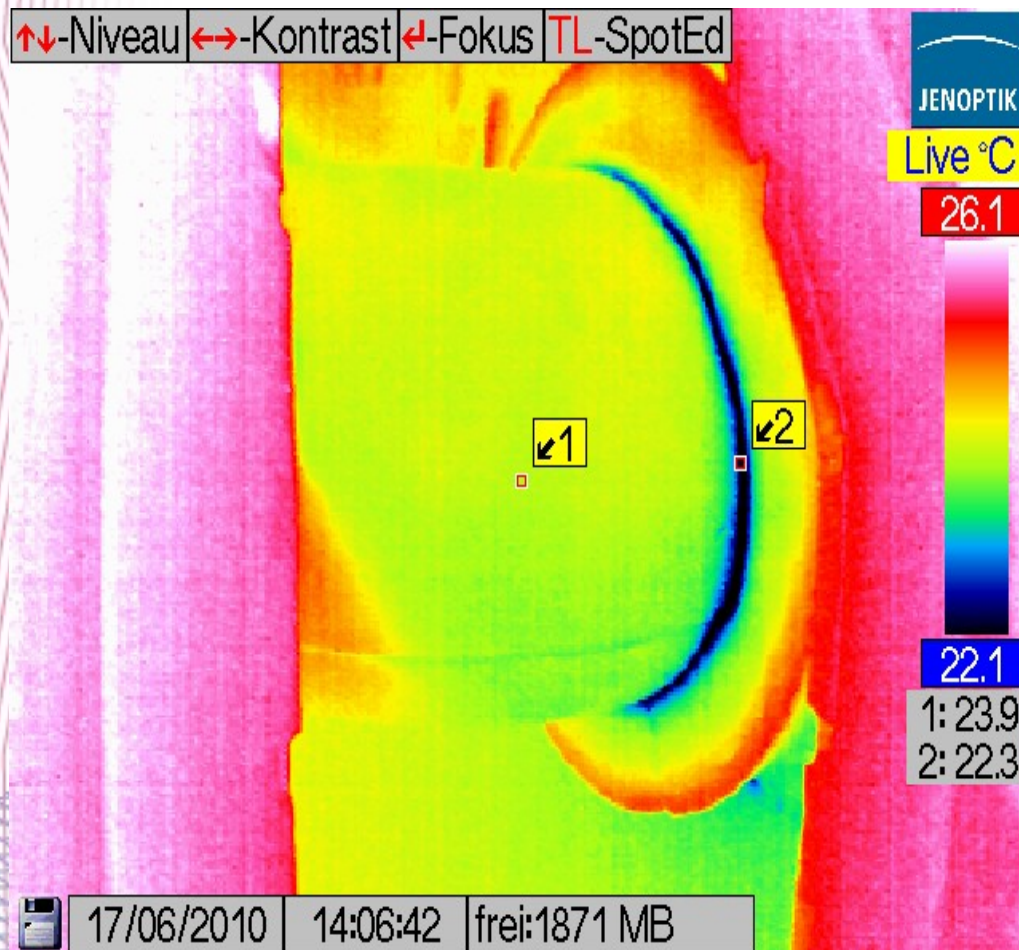
- Nicht-Isolierte Aufnahme

Direkte Aufnahme ohne den Kartonbox



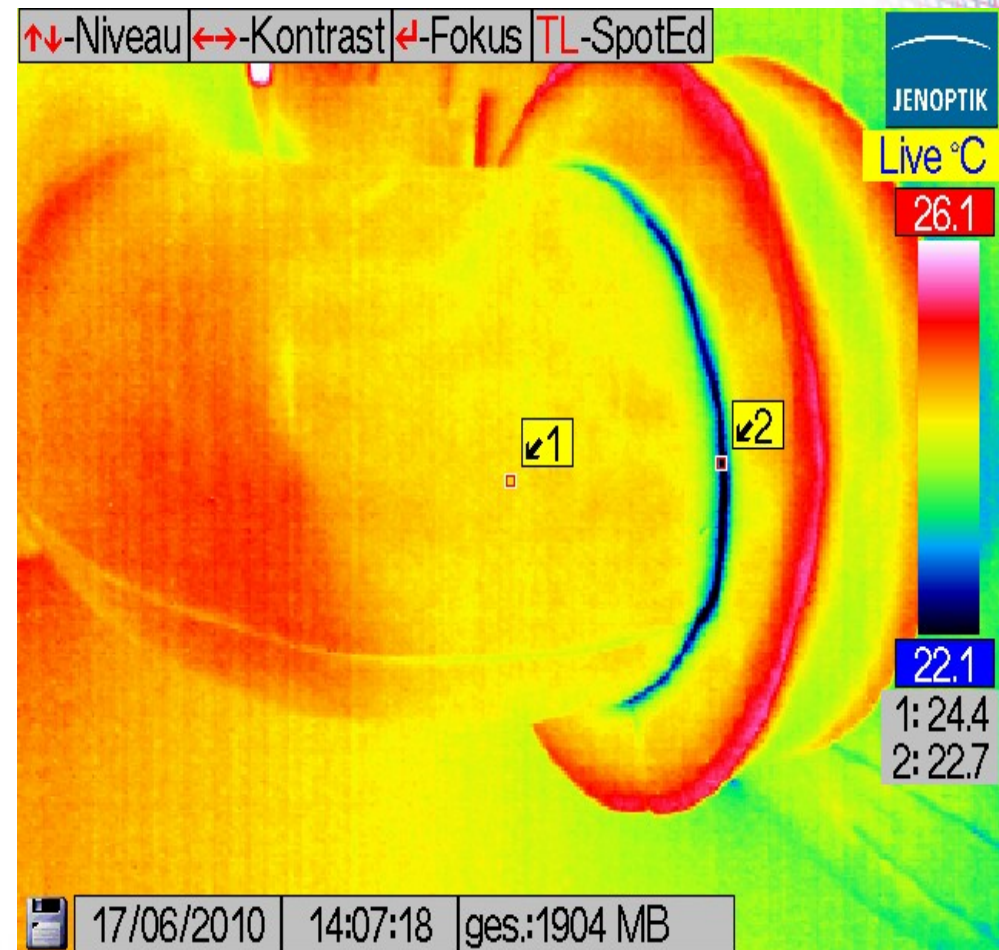
2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- Fotoaufnahme



Isolierte Aufnahme

26.10.2010

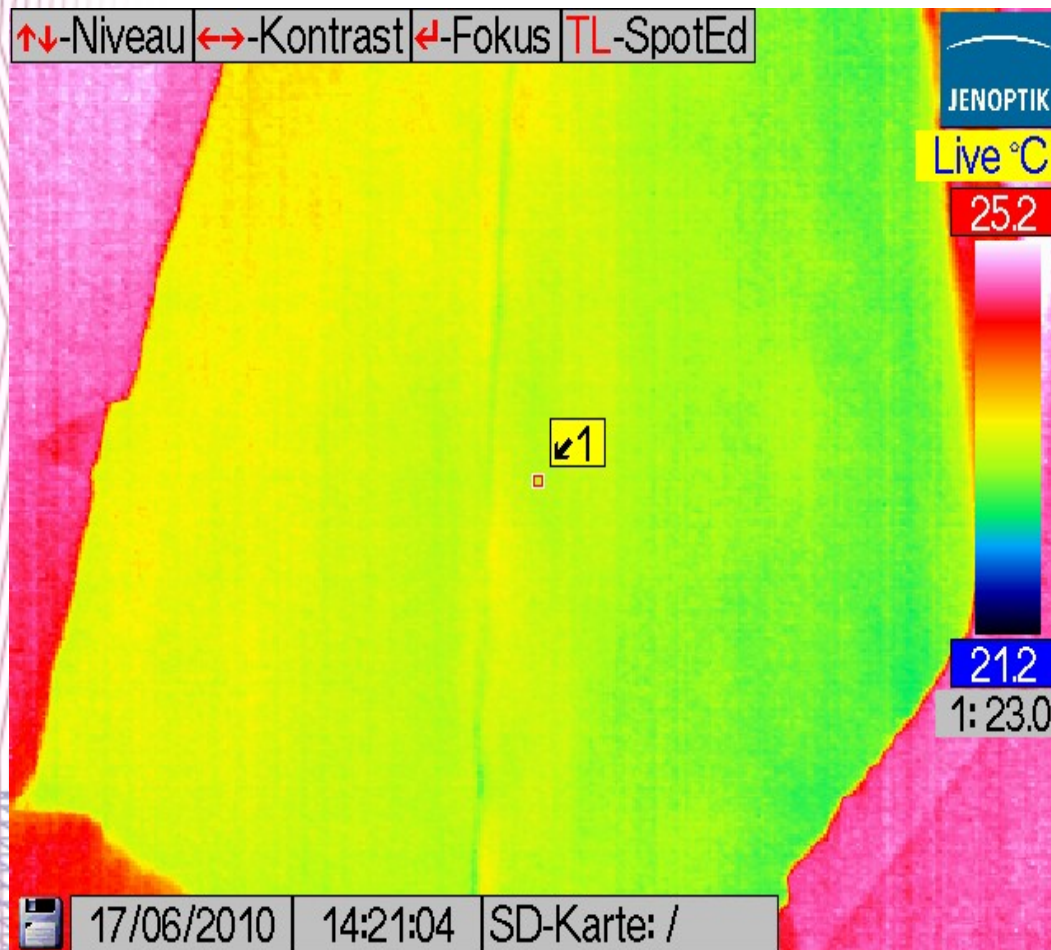


Nicht-Isolierte Aufnahme

Thermographieanalyse von Hochleistungsrechnern

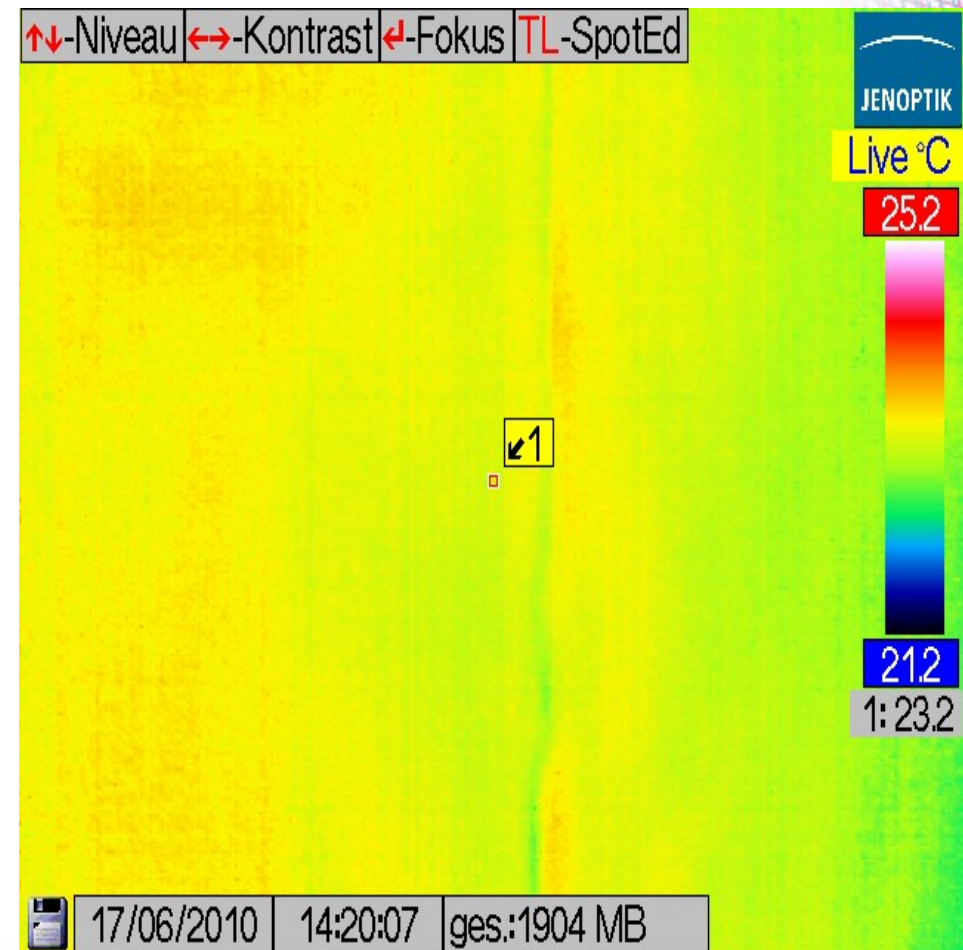
2.1 Kamera und Fotoaufnahme

- Fotoaufnahme



Isolierte Aufnahme

26.10.2010



Nicht-Isolierte Aufnahme

Thermographieanalyse von Hochleistungsrechnern

2. Durchgeführte Messungen

2.1 Kamera und Fotoaufnahme

2.2 Bestimmung der Umgebungstemperatur

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

2.2 Bestimmung der Umgebungstemperatur

- Temperatur des Technikturms
- Temperatur der Rohre
- Temperatur des Unterbodens

2.2 Bestimmung der Umgebungstemperatur

- **Temperatur des Technikturns:**
 - Eingang des Raums : 26 °C
 - Der mittlere Bereich des Raums : 27,2 °C
 - Der hintere Bereich des Raums : 26 °C

2.2 Bestimmung der Umgebungstemperatur

- **Temperatur des Unterbodens**
 - Der vordere Bereich : 20,6
 - Der mittlere Bereich : 21,6
 - Der hintere Bereich : 22,0



2.2 Bestimmung der Umgebungstemperatur

- **Temperatur der Rohre:**
 - Mit Glykolwasser Gemisch (Vorlauf) : 30,2 °C
 - Mit Glykolwasser Gemisch (Rücklauf) : 31,2 °C
 - Kaltwasser (Vorlauf) : 21,6 °C
 - Kaltwasser (Rücklauf) : 21,8 °C
 - Kompressor : 36,8 °C

2. Technische Vorbereitungen

2.1 Bestimmung der Umgebungstemperatur

2.2 Kamera und Fotoaufnahme

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

- Was ist der Emissionsgrad?
- Wozu brauchen wir den Emissionsgrad?
- Wie bestimmen wir den Emissionsgrad?
- Welche Einflüsse hat der Emissionsgrad auf die Temperatur?

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

Emissionsgrad

Jeder Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt, sendet Wärmestrahlung aus. Der Emissionsgrad eines Körpers gibt an, wie viel Strahlung er im Vergleich zu einem idealen Wärmestrahler, einem schwarzen Körper, abgibt.

„Quelle: Wikipedia“

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

Wozu Emissionsgrad?

- Bestimmen der richtigen Temperatur des Messobjekts
- zum Auswerten der Fotos

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

Methoden für die Bestimmung des Emissionsgrades

- Mit Hilfe eines Thermoelements
- Mit Hilfe eines Referenzemissionsgrades
- Schwärzung der Messfläche
- Erzeugung eines Schwarzen Strahlers

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

Methoden für die Bestimmung des Emissionsgrades

- Mit Hilfe eines Thermoelements



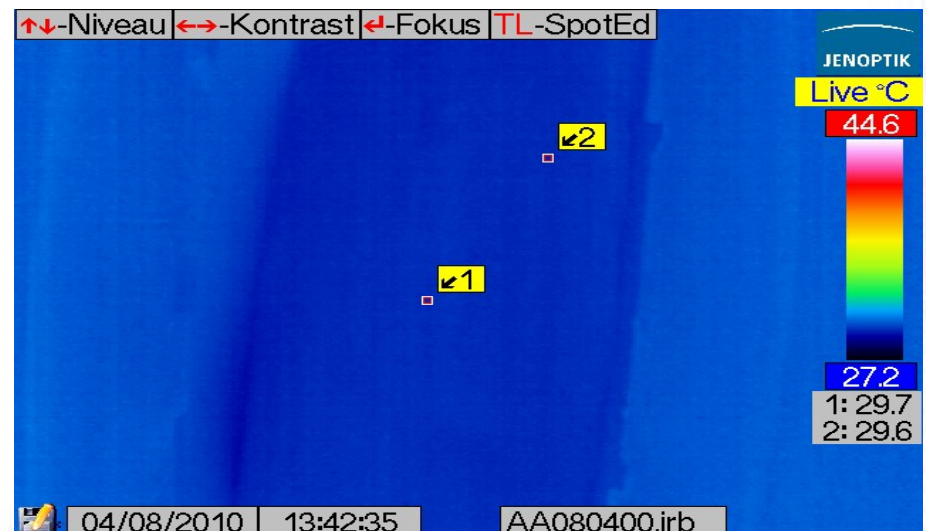
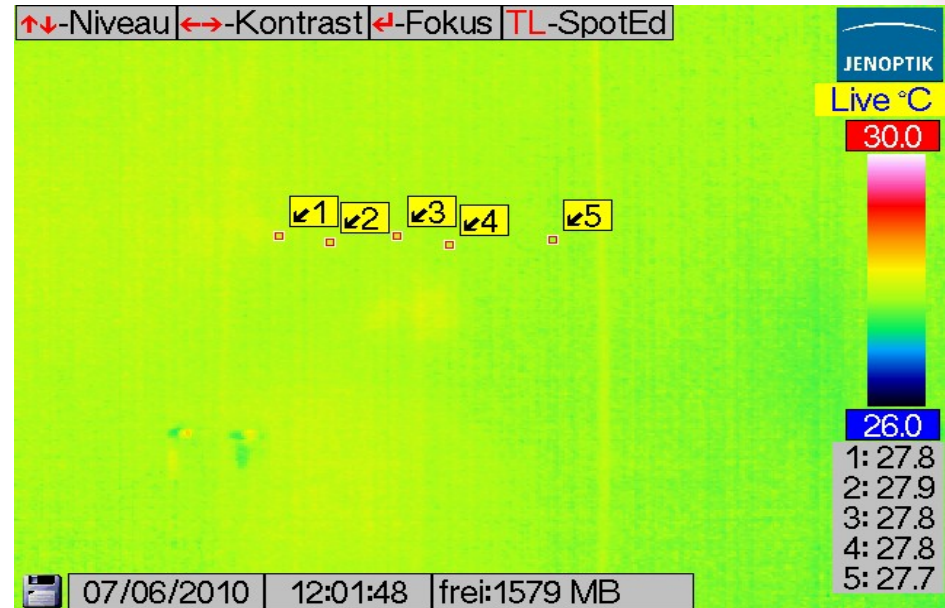
2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

Methoden für die Bestimmung des Emissionsgrades

- Mit Hilfe eines Referenzemissionsgrades



2.3 Bestimmung des Emissionsgrades



2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

Methoden für die Bestimmung des Emissionsgrads

- Einige gemessene Emissionswerte

- Lackiertes Holz : 0.93
- Kabel : 0.97
- Umluft Klimagerät : 0.98
- Kompressor : 0.87
- Isolationsmaterial : 0.93

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

Tabelle für einige Emissionswerte

Material Temperatur (°C)	Emissionsvermögen
Aluminium, poliert	0,05
Aluminium, raue Oberfläche	0,07
Aluminium, stark oxidiert	0,25
Asbestgewebe	0,78
Asbestpapier	0,94
Asbestplatte	0,96
Asbestschieferplatte	0,96
Beton	0,54
Blei, glänzend	0,08
Blei, grau	0,28
Blei, oxidiert	0,63
Blei, rot, pulverisiert	0,93
Bronze, poliert	0,10
Bronze, porös, rau	0,55
Chrom, poliert	0,10
Eis	0,97
Eisen, Blech, feuerverzinkt, blank	0,23
Eisen, Blech, feuerverzinkt, oxidiert	0,28
Eisen, geschmiedet, poliert	0,28
Eisen, gewalzt	0,77
Eisen, glänzend, geätzt	0,16
Eisen, oxidiert	0,74
Email	0,90
Farbe, Silberfinish	0,31
Formica (Resopal)	0,93
Gefrorene Erde	0,93
Glas	0,92
Glas, matt geschliffen	0,96

Material Temperatur (°C)	Emissionsvermögen
Kupfer, schwarz oxidiert	0,88
Lack, Bakelit	0,93
Lack, schwarz, glänzend	0,87
Lack, schwarz, matt	0,97
Lack, weiß	0,87
Lampenruß	0,96
Lehm, gebrannt	0,91
Messing, matt, angelaufen	0,22
Messing, poliert	0,03
Nickel, auf Gusseisen	0,05
Nickel, rein, poliert	0,05
Ölfarbe, mittel	0,94
Papier, schwarz, glänzend	0,90
Papier, schwarz, matt	0,94
Papier, weiß	0,90
Platin, rein, poliert	0,08
Porzellan, glasiert	0,92
Quarz	0,93
Quecksilber, rein	0,10
Schellack, schwarz, glänzend	0,82
Schellack, schwarz, matt	0,91
Schnee	0,80
Stahl, Blech, gewalzt	0,56
Stahl, Blech, nickelplattiert	0,11
Stahl, frisch gewalzt	0,24
Stahl, galvanisch, verzinkt	0,28
Stahl, raue Oberfläche	0,96
Stahl, rostrot	0,69

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

zu beachten...

- Benutzen Sie gleiche Geräte
- Vermeiden Sie Reflexionen

2.3 Bestimmung des Emissionsgrades

- **Einfluss des Emissionsgrades auf die Temperatur**
 - Eine unkorrekte Ermittlung des Emissionsgrad führt zu einer irrtümlichen Temperaturmessung
 - je kleiner Emissionsgrad, desto höher ist die Differenz (der Messfehler) zwischen Strahlungstemperatur und echter Temperatur

Gliederung

0. Motivation

1. Einleitung

2. Technische Vorbereitungen

3. Der Kühlkreislauf

4. Auswertung

5. Zusammenfassung

3 Der Kühlkreislauf

- 3.1. Das geschlossene Kühlsystem
- 3.2. Die Ziele des geschlossenes Kühlsystems
- 3.3. Isolation des Technikturms
- 3.4. Energie Aspekte des geschlossenes Kühlsystems
- 3.5. Zukunftsperspektive und das alternative geschlossene Kühlsystem

3.1 Das geschlossene Kühlsystem

- Wie funktioniert ein geschlossenes Kühlsystem?
- Warum soll ein geschlossenes Kühlsystem eingesetzt werden?
- Das geschlossene Kühlsystem von DKRZ
- Die Zusammenarbeit des geschlossenen Kühlsystems

3.1 Das geschlossene Kühlsystem

- Wie funktioniert ein geschlossenes Kühlsystem?
 - Im Sommerbetrieb mit einem Kompressor

3.1 Das geschlossene Kühlsystem

- Was ist ein geschlossenes Kühlsystem?
- Warum soll ein geschlossenes Kühlsystem eingesetzt werden?
- Das geschlossene Kühlsystem von DKRZ
- Die Zusammenarbeit des geschlossenen Kühlsystems

3.1 Das geschlossene Kühlsystem

- Warum soll ein geschlossenes Kühlsystem eingesetzt werden?
 - Minimierung der Korrosion der Kühlsystemkomponenten
 - Schaffung der maximalen Effektivität für die Kompressorkühlung

3.1 Das geschlossene Kühlsystem

- Was ist ein geschlossenes Kühlsystem?
- Warum soll ein geschlossenes Kühlsystem eingesetzt werden?
- Das geschlossene Kühlsystem von DKRZ
- Die Zusammenarbeit des geschlossenen Kühlsystems

3.1 Das geschlossene Kühlsystem

- Das geschlossene Kühlsystem von DKRZ

- Der Rechnerraum
- Der Technikurm
- Dachluftungssystem

3.1 Das geschlossene Kühlsystem

- Das geschlossene Kühlsystem von DKRZ

- Der Rechnerraum

Die Hochleistungsrechner

Die Umluftklimageräte

3.1 Das geschlossene Kühltssystem

- Das geschlossene Kühltssystem von DKRZ

- Der Technikurm

- Generell über den Kompressor

- Die Kompressoren im Technikurm

- Anschlüsse der Kompressoren

- Die Weiche im Technikurm

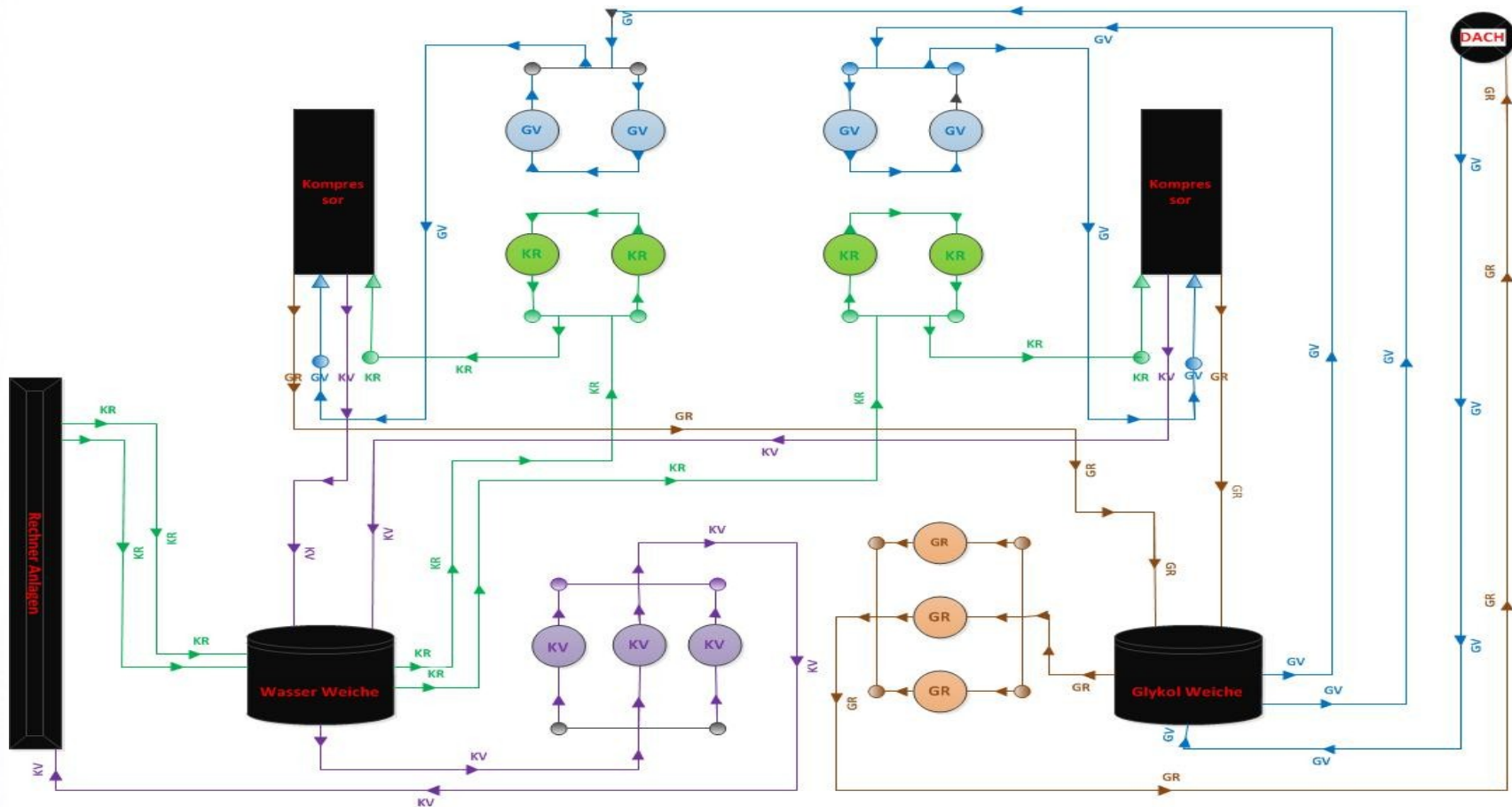
- Die Wasser-Weiche
 - Die Glykol-Wasser-Mischungsweiche

3.1 Das geschlossene Kühlsystem

- Wie funktioniert ein geschlossenes Kühlsystem?
- Warum soll ein geschlossenes Kühlsystem eingesetzt werden?
- Das geschlossene Kühlsystem von DKRZ
- Die Zusammenarbeit des geschlossenen Kühlsystems

3.1 Das geschlossene Kühlsystem

- Die Zusammenarbeit des geschlossenen Kühlsystems



3 Der Kühlkreislauf

- 3.1. Das geschlossene Kühlsystem
- 3.2. Die Ziele des geschlossenes Kühlsystems
- 3.3. Isolation des Technikturms
- 3.4. Energie Aspekte des geschlossenes Kühlsystems
- 3.5. Zukunftsperspektive und das alternative geschlossene Kühlsystem

3.2 Die Ziele des geschlossenen Kühlsystems

- Die Effiziente Kühlung
- Die Einsparung von Betriebskosten des Rechenzentrums
- Noch weniger Elektrizität

3 Der Kühlkreislauf

3.1. Das geschlossene Kühlsystem

3.2. Die Ziele des geschlossenen Kühlsystems

3.3. Isolation des Technikturms

3.4. Energie Aspekte des geschlossenen Kühlsystems

3.5. Zukunftsperspektive und das alternative geschlossene
Kühlsystem

3.3 Isolation des Technikturms

- Spezielle Isolationsmaterial
- Isolierte Komponente des Technikturms

3 Der Kühlkreislauf

3.1. Das geschlossene Kühlsystem

3.2. Die Ziele des geschlossenen Kühlsystems

3.3. Isolation des Technikturms

3.4. Energie Aspekte des geschlossenen Kühlsystems

3.5. Zukunftsperspektive und das alternative geschlossene Kühlsystem

3.4 Energie Aspekte des geschlossenes Kühlsystems

Der Energieverbrauch der geschlossenen Kühlsysteme in Rechnerzentren

Reduzierung des Energieverbrauchs der geschlossene Kühlsystemen in Rechenzentren

3 Der Kühlkreislauf

3.1. Das geschlossene Kühlsystem

3.2. Die Ziele des geschlossenen Kühlsystems

3.3. Isolation des Technikturms

3.4. Energie Aspekte des geschlossenen Kühlsystems

3.5. Zukunftsperspektive und das alternative geschlossene
Kühlsystem

3.5 Zukunftsperspektive und das alternative geschlossene Kühlsystem

Mit heißem Wasser große Rechner kühlen



Gliederung

0. Motivation

1. Einleitung

2. Technische Vorbereitungen

3. Der Kühlkreislauf

4. Auswertung

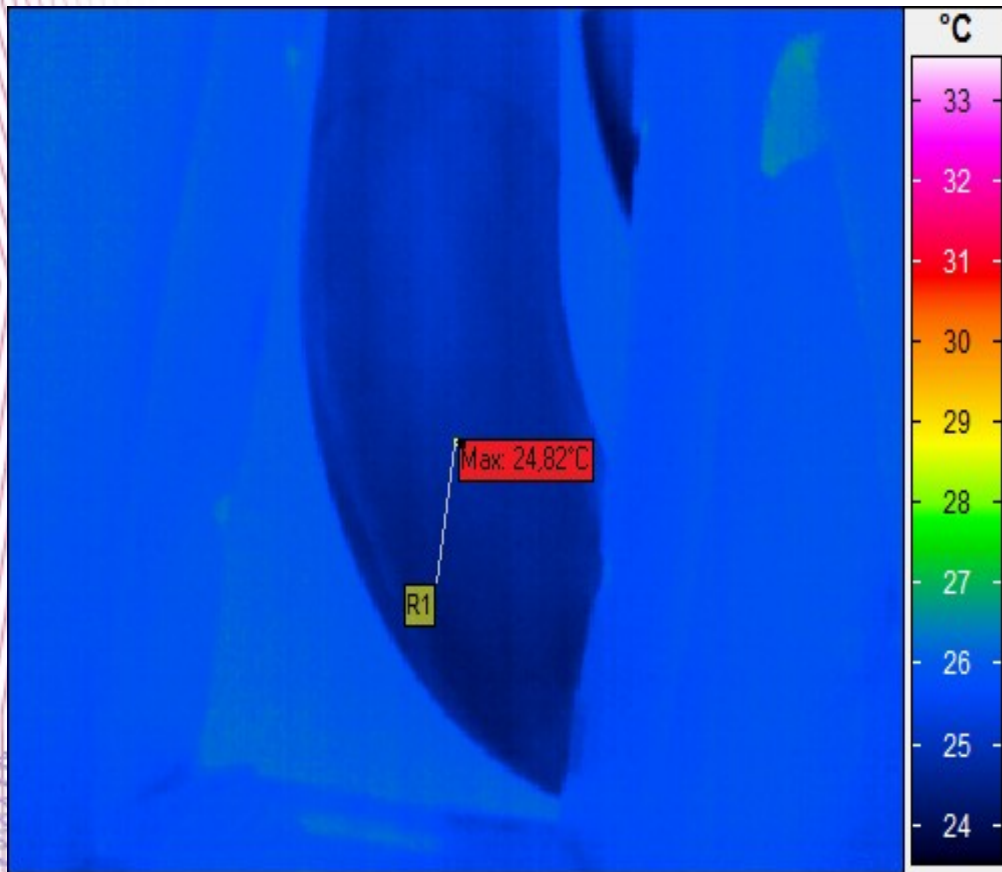
5. Zusammenfassung

4. Auswertung

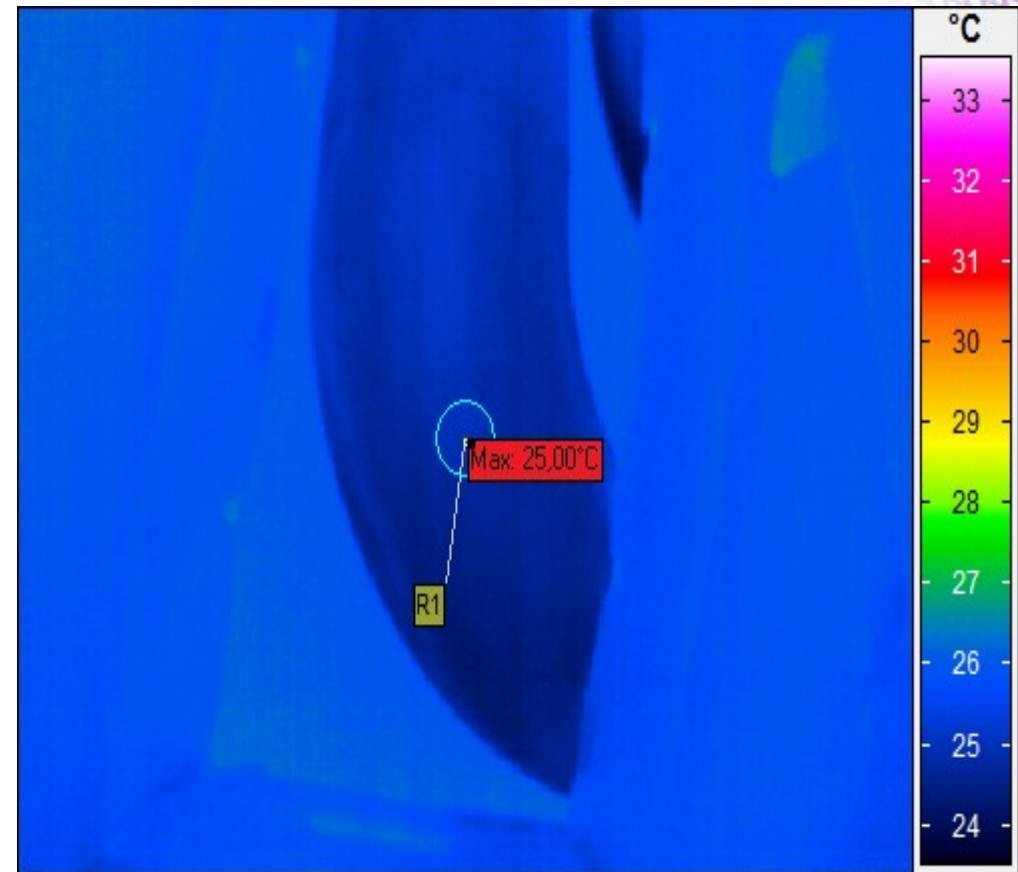
- **Auswerten der Fotos**

4. Auswertung

- Auswerten der Fotos



Kaltes Wasser Vorlauf



Kaltes Wasser Vorlauf Korrektur

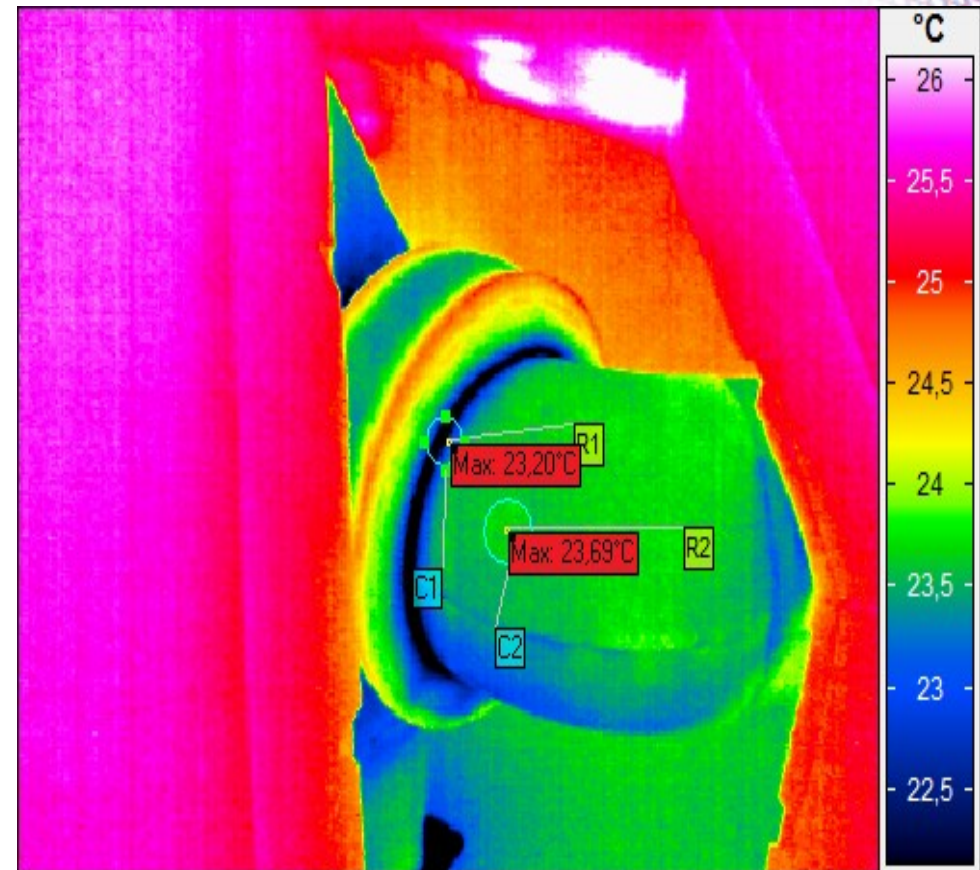
4. Auswertung

- Auswerten der Fotos



Kaltes Wasser Vorlauf

26.10.2010

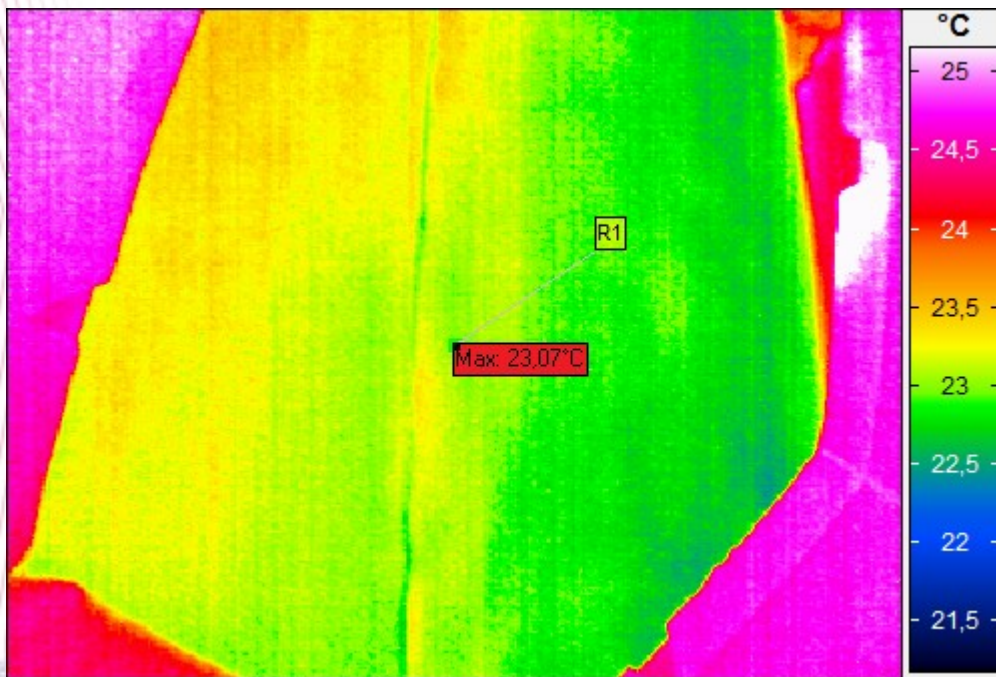


Kaltes Wasser Vorlauf Korrektur

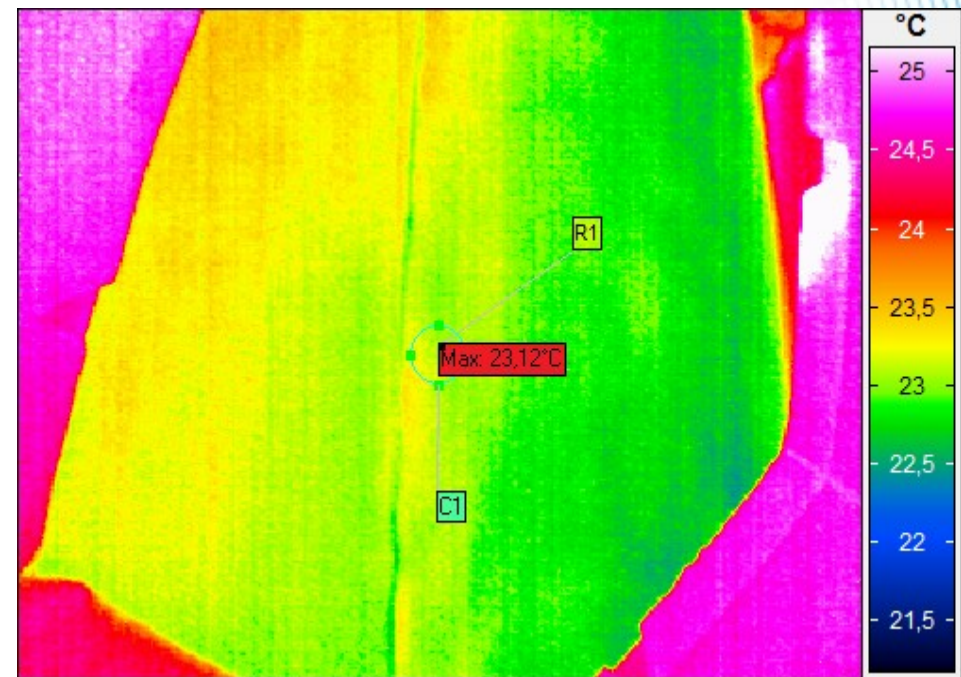
Thermographieanalyse von Hochleistungsrechnern

4. Auswertung

- Auswerten der Fotos



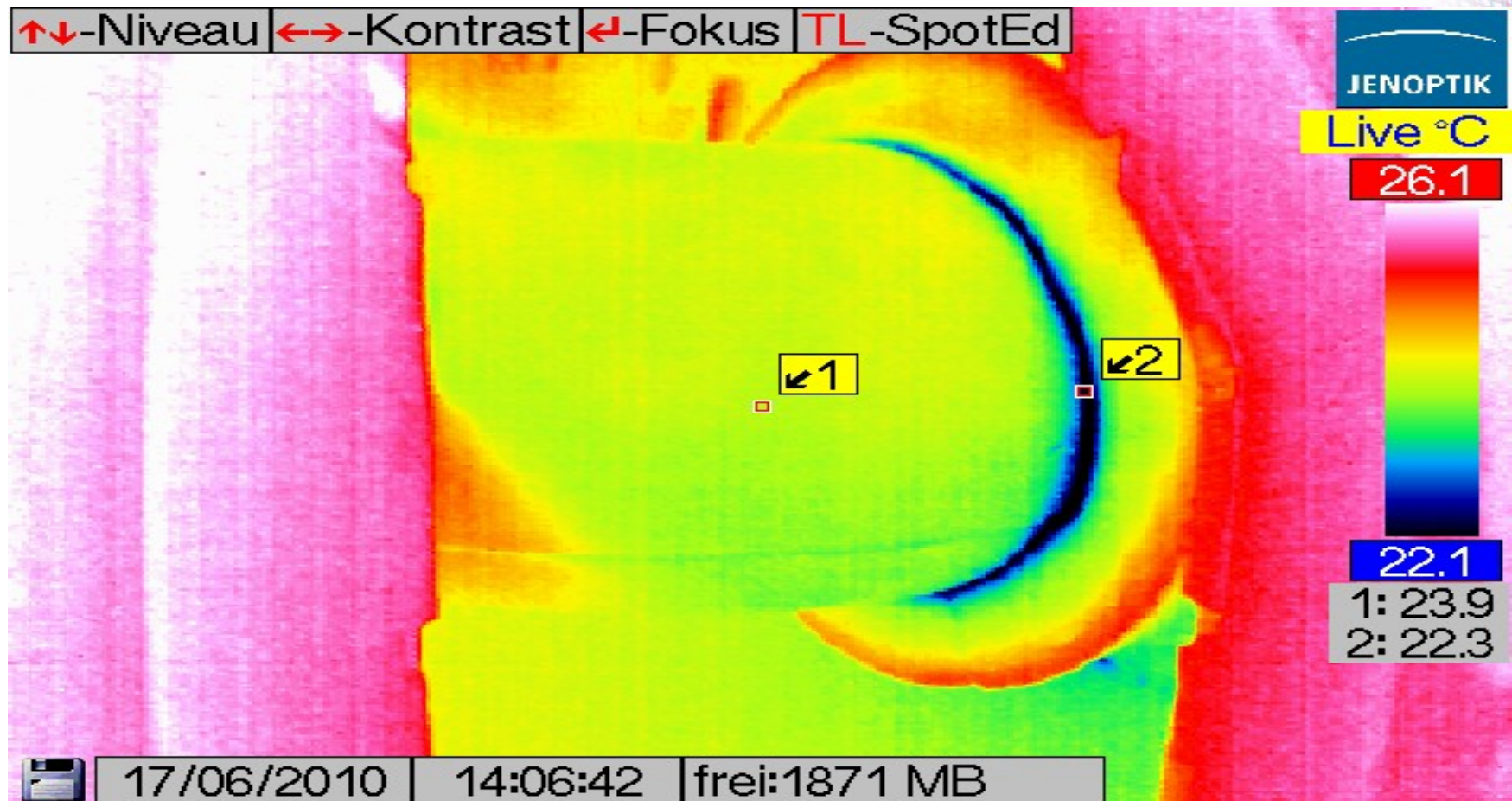
Wasser-Weiche



Wasser-Weiche Korrektur

4. Auswertung

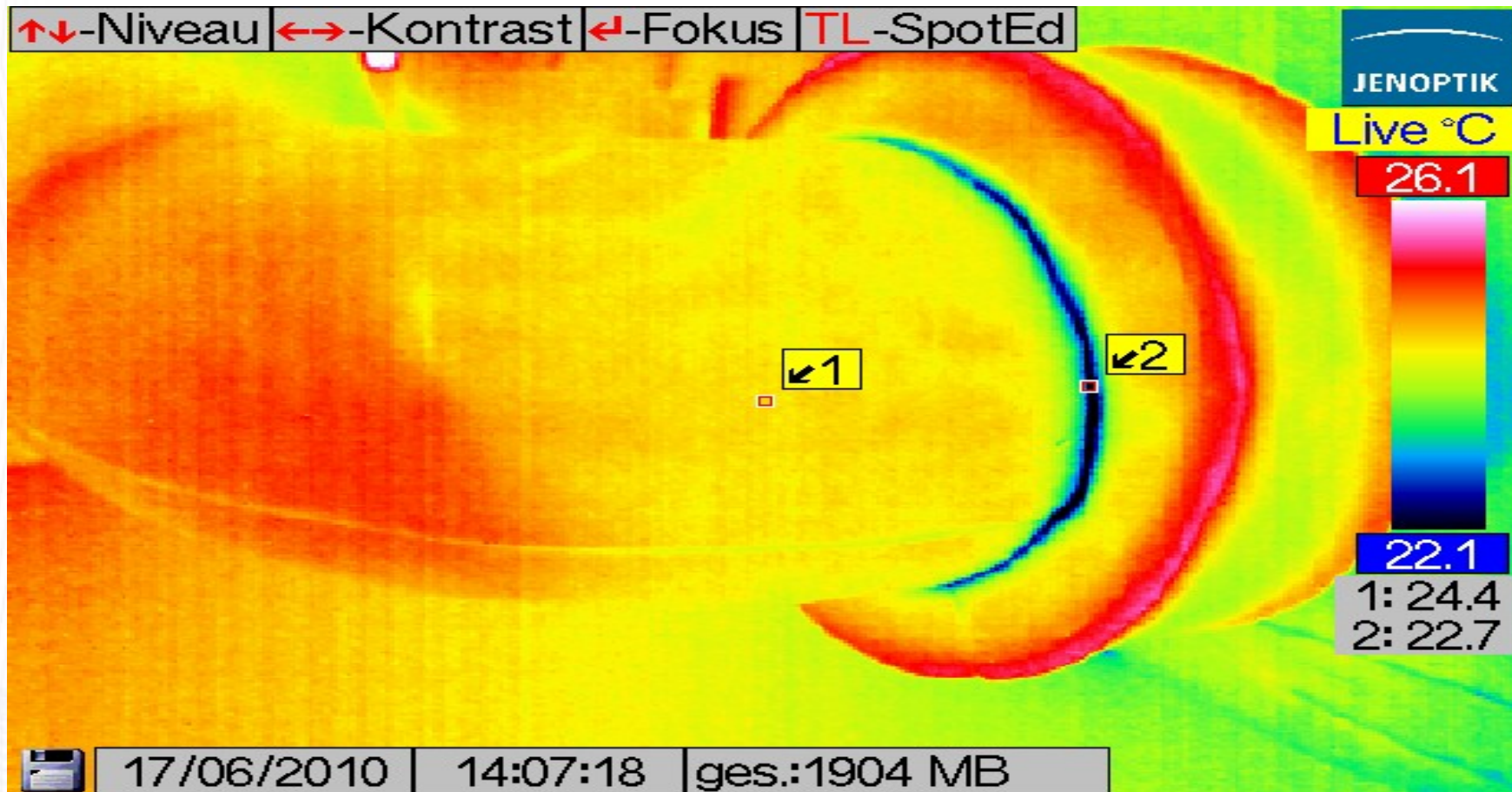
- Auswerten der Fotos



Kaltes Wasser Vorlauf

4. Auswertung

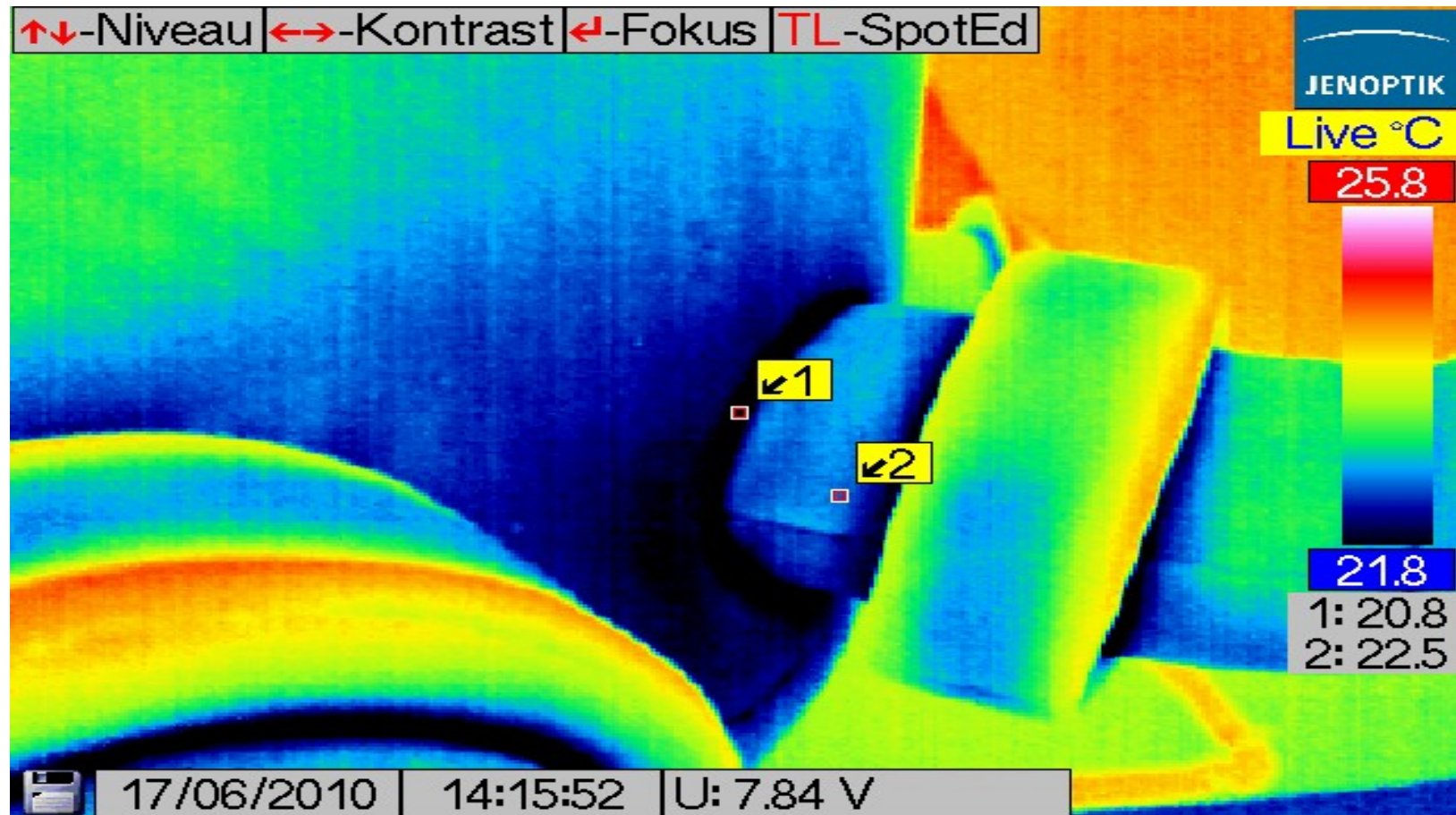
- Auswerten der Fotos



Kaltes Wasser Vorlauf

4. Auswertung

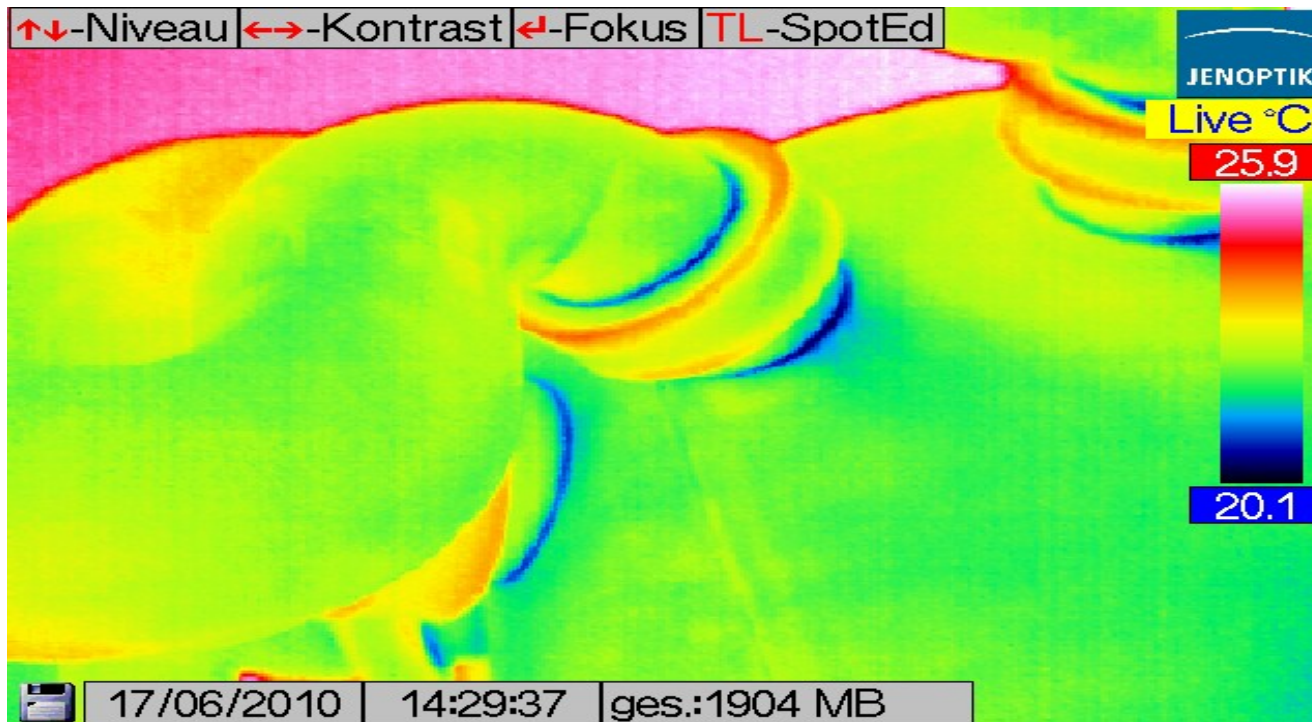
- Auswerten der Fotos



Wasser - Weiche

4. Auswertung

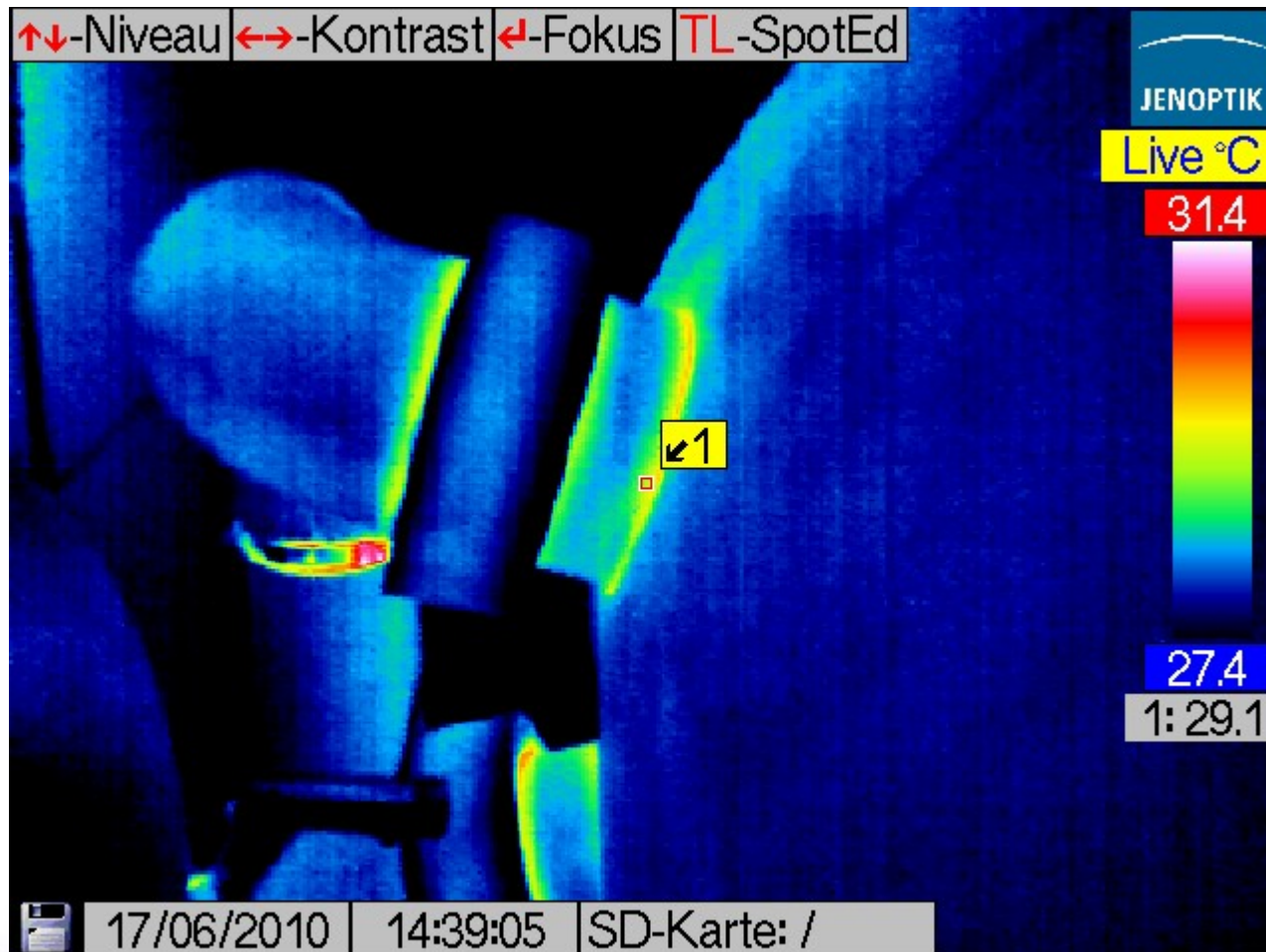
- Auswerten der Fotos



Wasser – Weiche

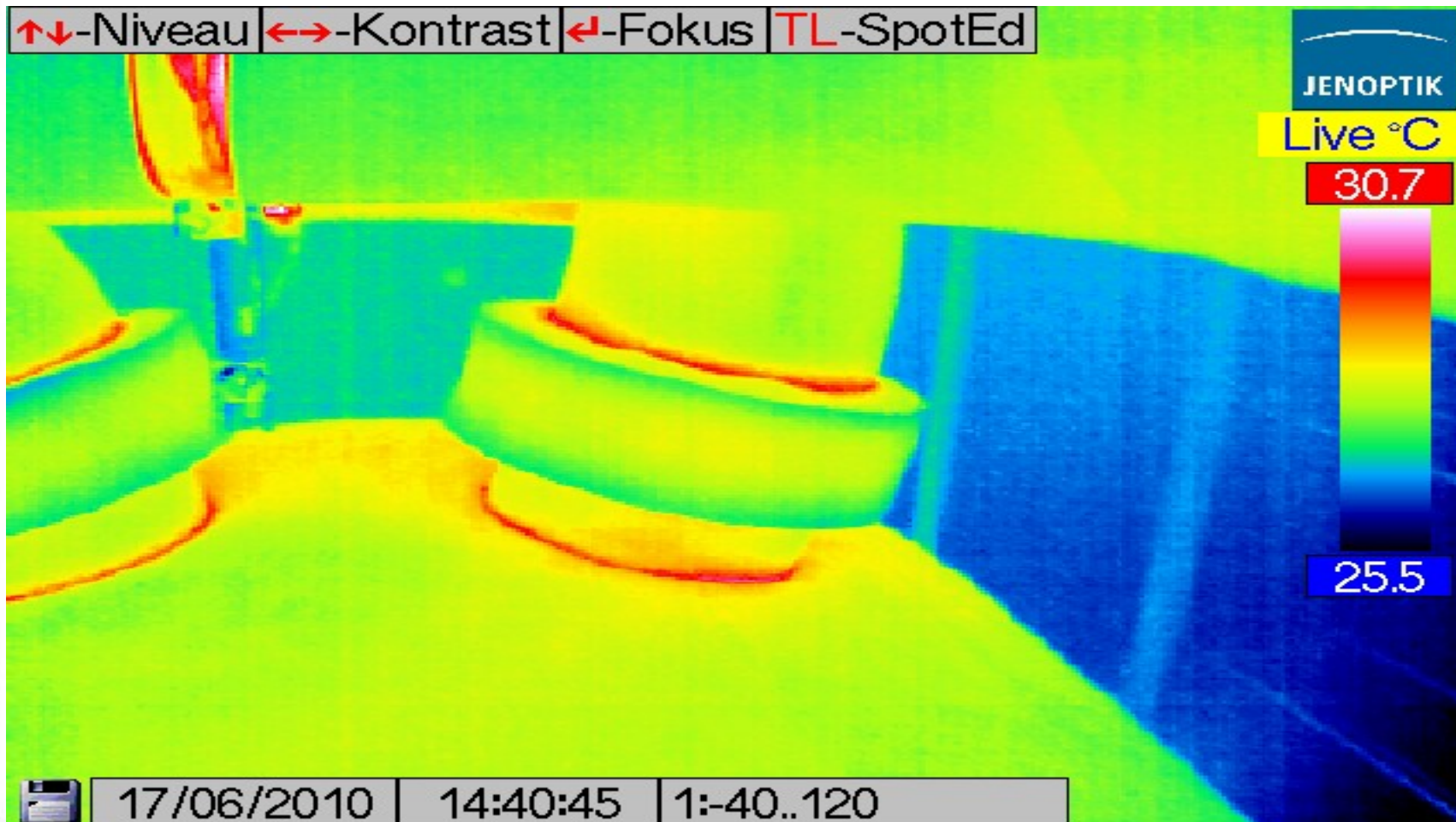
4. Auswertung

- Auswerten der Fotos



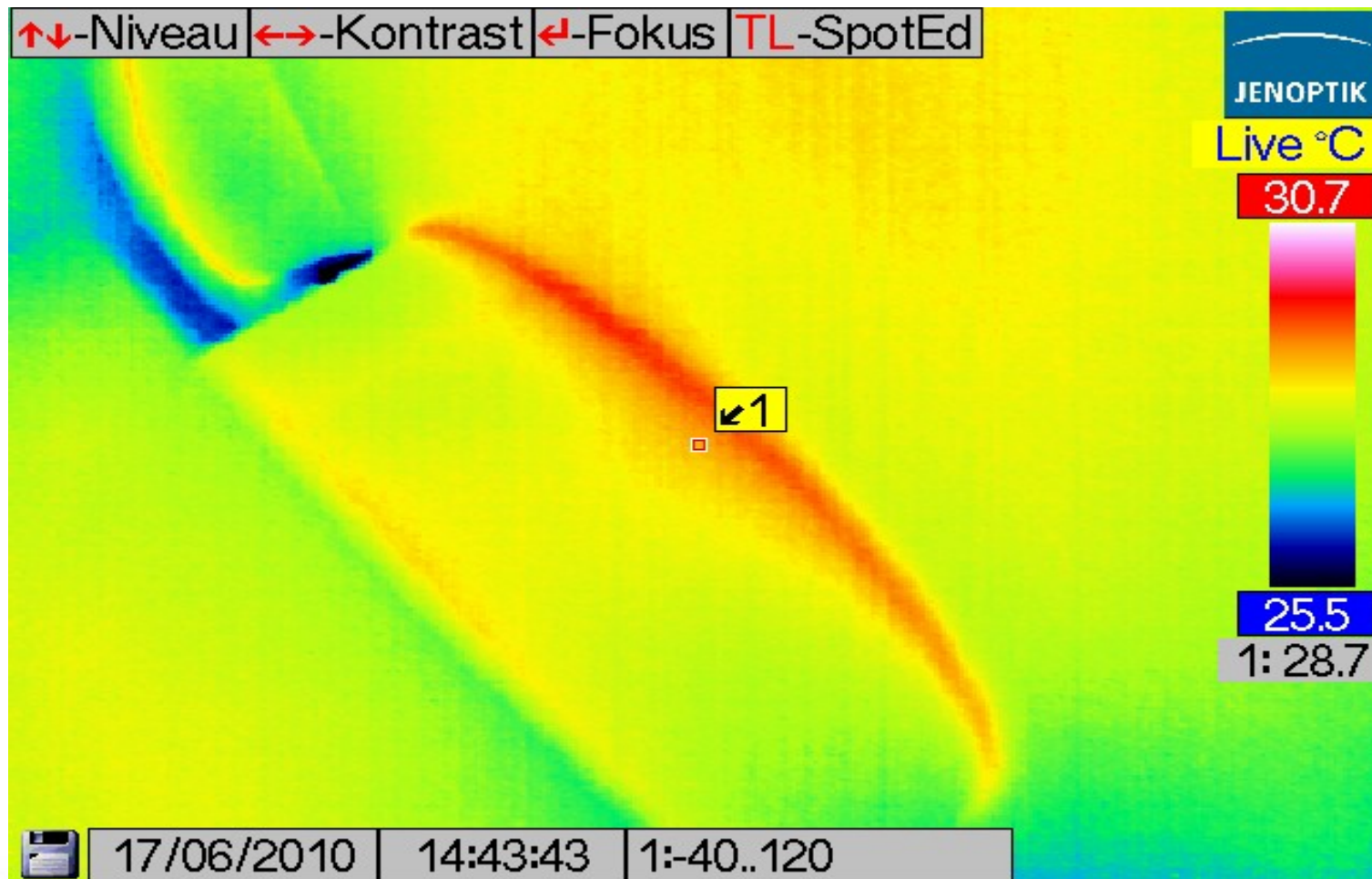
4. Auswertung

- Auswerten der Fotos



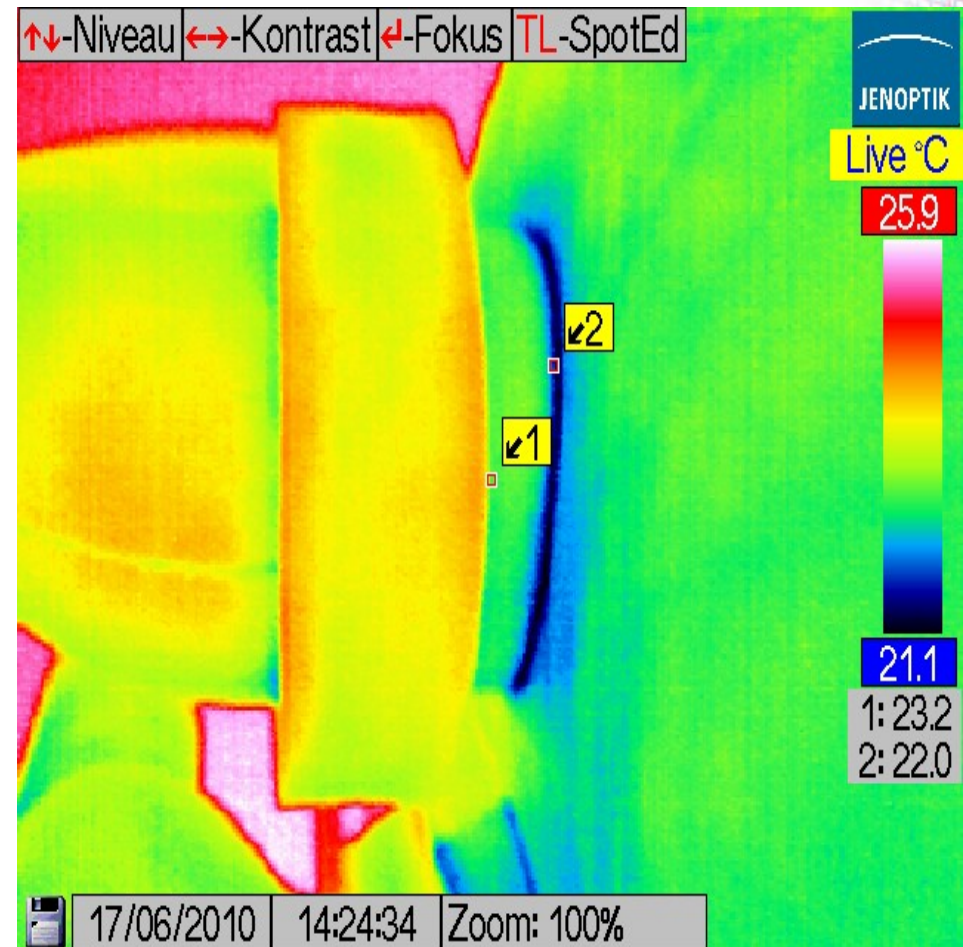
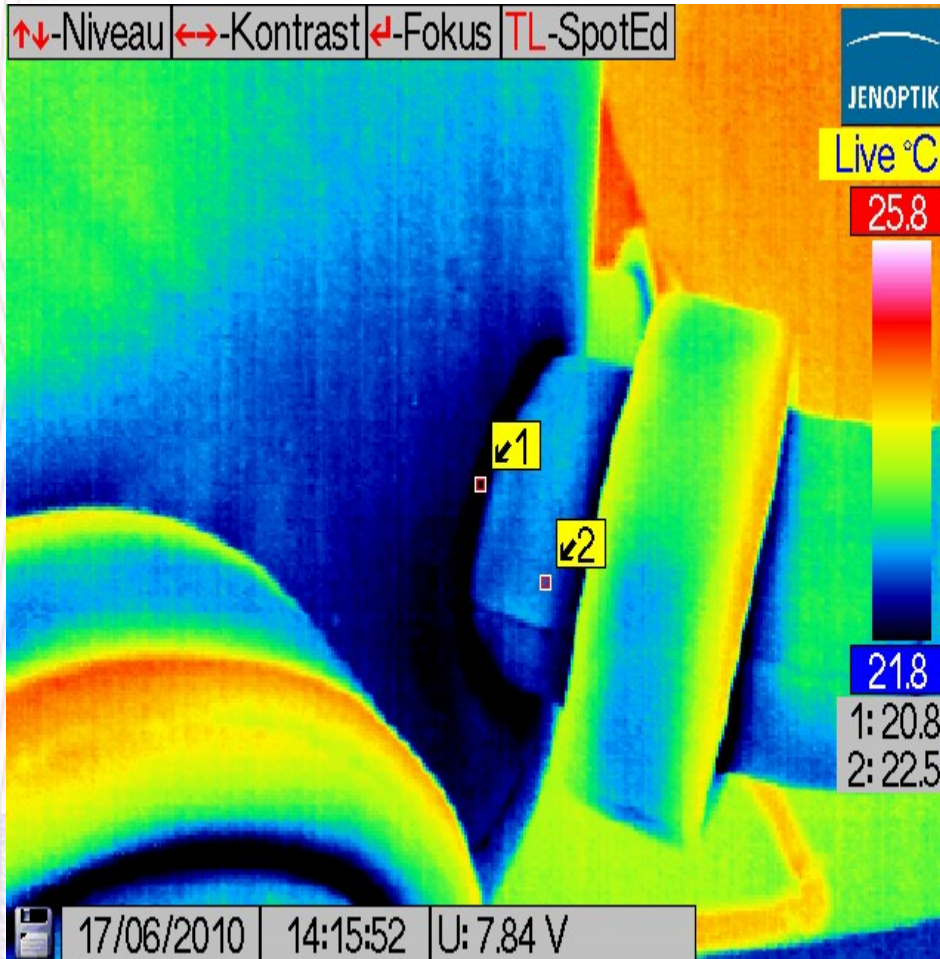
4. Auswertung

- Auswerten der Fotos



4. Auswertung

- Auswerten der Fotos



Gliederung

0. Motivation

1. Einleitung

2. Technische Vorbereitungen

3. Der Kühlkreislauf

4. Auswertung

5. Zusammenfassung

5. Zusammenfassung

- Das Kühlsystem zu verstehen
- Fotografieren des Kühlsystems
- Bestimmung der richtigen Temperaturwerten von Kühlsystemkomponenten
- Darstellung des Unterschieds zwischen den korrigierten und gemessenen Temperaturen

5. Zusammenfassung

- Die Isolation des Kühlsystems ist nicht optimal
- Wegen der Fehlereinflüsse und mangelnder Technologie ist eine 100 % Auswertung nicht möglich

5. Zusammenfassung

Das Modul Projekt

Thermographieanalyse von Hochleistungsrechnern

nicht nur theoretisch,



sondern auch praktisch...

Besondere Danke
an **Timo**
für die freundliche und hilfreiche
Betreuung

Danke für die Aufmerksamkeit

