

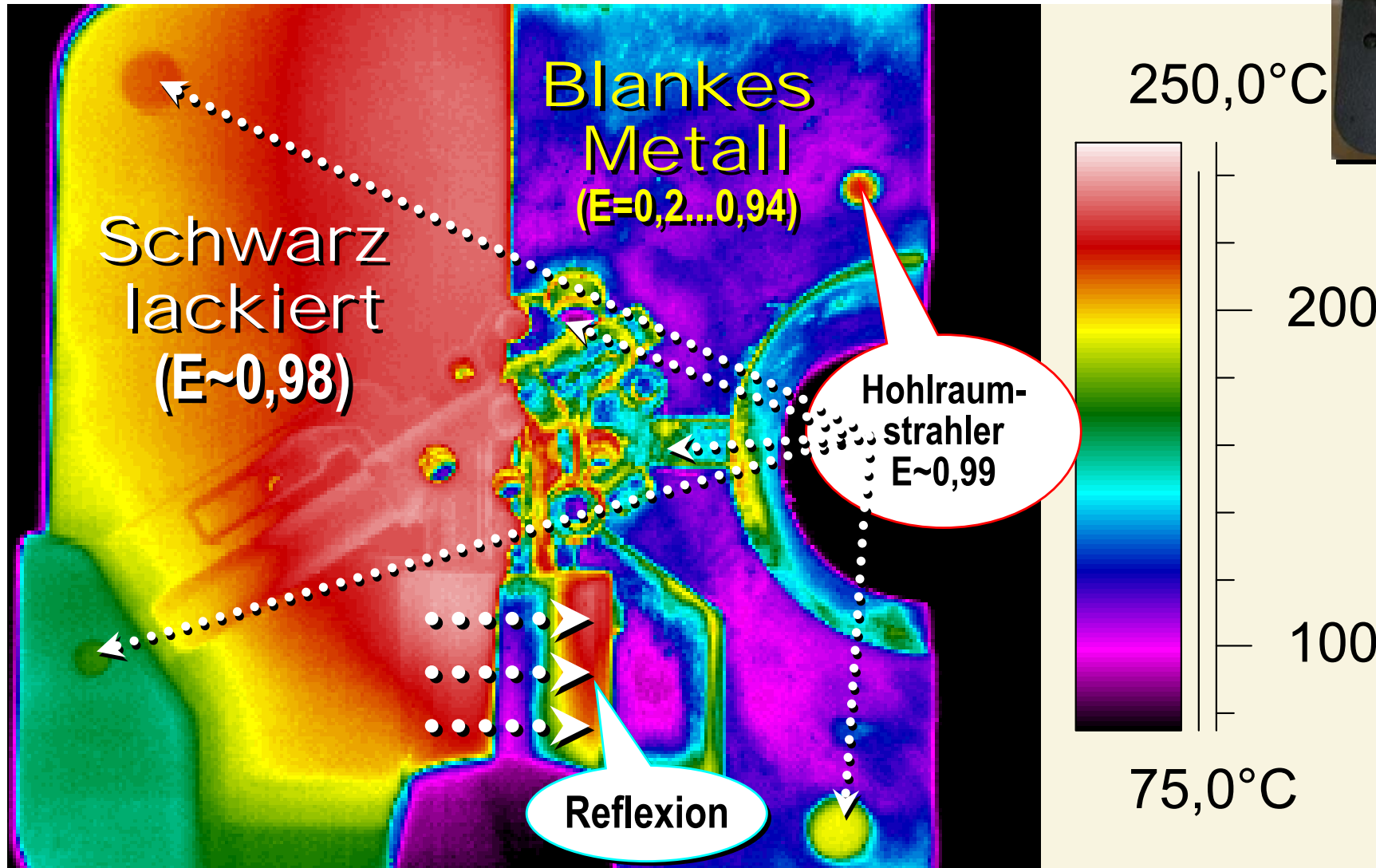
Thermografie im Druckguß

- **Prozessoptimierung**
- **Messung an Mehrfachformen**
- **Formenbau**
- **Formtemperierung & Sprühprozess**
- **Erstbemusterung**
- **Pulver/Gas als Trennstoff**
- **Zustandsüberwachung**

Praxisprobleme im Druckguß

- **Extreme Emissionsgradschwankungen** - In Abhängig von Kontur, Alter der Form, Betrachtungswinkel, Trennmittel, etc. stark schwankender Emissionsgrad. Die Eliminierung der physikalischen Effekte durch gleichzeitige Messung in verschiedenen Wellenlängen gelingt nicht, da Druckgußformen keine „grauen Strahler“ sind (strahlen nicht in allen Wellenlängen mit gleicher Intensität). Dies gilt trotz gegenteiliger Behauptungen mancher Hersteller auch für alle Handpyrometer !
Materialabhängige Emissionsgradtabellen sind nicht verwendbar.
- **Emissionsgradermittlung und partielle Korrektur** - Für exakte Messungen muß der Emissionsgrad an jeder Form ermittelt werden ! Leistungsfähige IR-Software ermöglicht den im Druckguß erforderlichen, punktuellen Emissionsgradabgleich. Absolute Genauigkeiten von +/- 15 K sind realistisch (Praxiswert). Relativmessungen können mit deutlich höherer Genauigkeit durchgeführt werden. Gegen Ende der Lebensdauer einer Form homogenisiert sich die Oberfläche (Patina) und damit in gewissen Grenzen auch der Emissionsgrad. Dies und stark zerklüftete Konturen erleichtern die Messung. In aller Regel ist die Formschwärzung aber der sicherere Weg (dient als Referenz). Wichtig ist Deckungsgleichheit der Bilder von blanker u. schwarzer Form. Nur so ist die punktuelle Anpassung des Emissionsgrades mit vernünftiger Genauigkeit möglich. Für viele Optimierungsaufgaben reicht oft schon das IR-Bild der geschwärzten Form. Wichtig ! Die Schwärzung muß möglichst sofort nach Formöffnung beginnen. Die Abkühlung ist zu beachten.
- **Hohe Abkühlgeschwindigkeit nach Formöffnung** - Die IR-Messung nach Entnahme u. Sprühen sollte jeweils sekundengenau durchgeführt werden, um zusätzliche Meßfehler auszuschließen (geht mittlerweile auch automatisch).
- **Reflexionen anderer Strahler (warm oder kalt)** - Sind oft nicht zu verhindern u. bei Messungen im lfd. Betrieb selten abzustellen. Wesentlich ist das Erkennen von Reflexionen, da sonst u.U. völlig falsche Schlüsse gezogen werden. Bspw. spiegelt sich häufig die gegenüberliegende Formseite (Pappe zum Test dazwischenhalten, Kamerastandort ändern)
- **Betrachtungswinkel und Formoberfläche** - Möglichst im Winkel von 70...80° zur Form messen (Emissionsgradmaximum, Kamera oberh. feste/bew. Form), zerklüftete Konturen erleichtern die Messung (quasi-Hohlraumstrahler, $E \sim 1,0$), große glatte Flächen und Radien erschweren sie. Die Kombination optimalem Kamerastandort u. entsprechender Optik können helfen.
- **Meßtechnische Ausrüstung** - Div. Stative, Fernbedienung, Einsatztemperatur der Technik >50°C, „echte“ Dynamik >12 Bit, Mechanik zum Schutz der Optik vor Trennmittel, Auswertesoftware für pixelweisen Emissionsgradabgleich, Bildspeicher der Kamera >100 Bilder, möglichst mit Sprachkommentar, Ausrüstung zur Formschwärzung und Objektivschutz vor Sprühnebel, Kritische Bewertung der Meßergebnisse „What you see is not What you get“

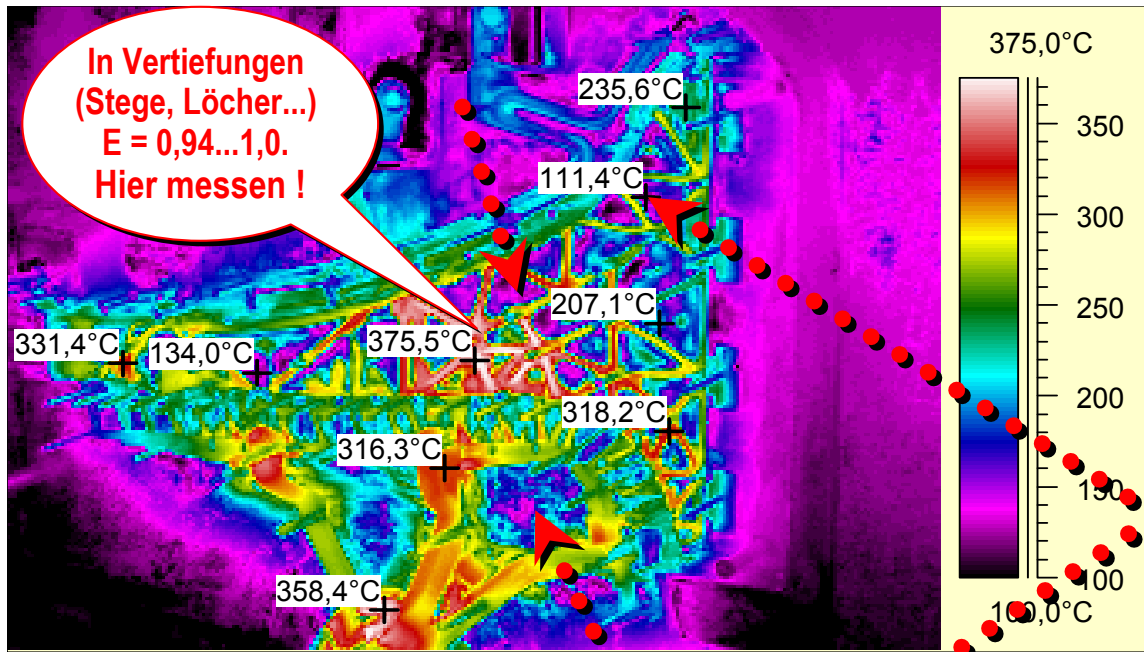
Effekte an blanken Metalloberflächen



Blanke Metalle haben geringe und i.d.R. extrem schwankende Emissivität. Es gibt Winkelabhängigkeit u. Reflexionen, die das Nutzsignal überlagern, bzw. weit stärker sein können ($\epsilon < 0,5$). Diese Oberflächen sind im IR sehr schwer zu bewerten (Meßfehler). Es existiert eine starke Abhängigkeit des Emissionsgrades von der Oberflächenrauigkeit. Je rauher die Oberfläche, um so größer ϵ . Es läßt sich modellhaft über Mehrfachreflexion an mikroskopischen Vertiefungen der Oberfläche verstehen (Hohlraumeffekt). Oxidschichten setzen ϵ stark herauf (Al-blank $\epsilon \leq 0,2$, eloxiert $\epsilon > 0,8$). Blanke Metalle neigen zu ausgeprägter Winkelabhängigkeit des Emissionsgrades. Deshalb ist es oft sinnvoll, nicht senkrecht zur Oberfläche zu messen. Günstiger ist ein Winkel von $70^\circ \dots 80^\circ$. Die Emissivität vieler Metalle nimmt mit steigender Wellenlänge ab. Außerdem ist ϵ bei Metallschmelzen stark temperaturabhängig. Pyrometrische Meßgeräte versagen hier aus den genannten physikalischen Gründen.

Einsatz einer Druckgußform \Rightarrow Beide Flächen auf gleichem Temperaturniveau. Die schwarze Seite strahlt homogen u. mit hoher Emissivität (ϵ). Auf der blanken schwankt ϵ stark. Es gibt Reflexionen.

Druckguss - Sinn der Formschwärzung

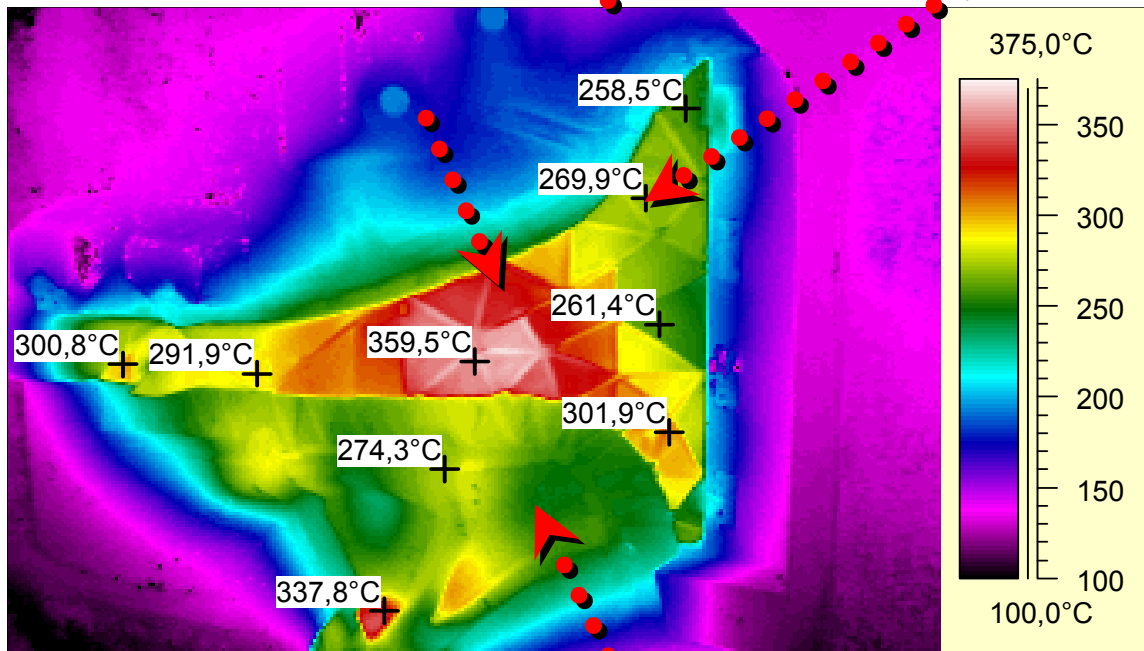


Blanke Form unmittelbar nach Entnahme des Teils

Scheinbar extreme Temperaturschwankungen in der Kontur.

Ursache: blanke Metalloberfläche mit Emissionsgrad-Sprüngen und Reflexionen

Resultat: krasse Fehleinschätzung der Temperaturverhältnisse



Form nach Entnahme geschwärzt

Die reale Temperaturverteilung wird sichtbar (Niveau niedriger).

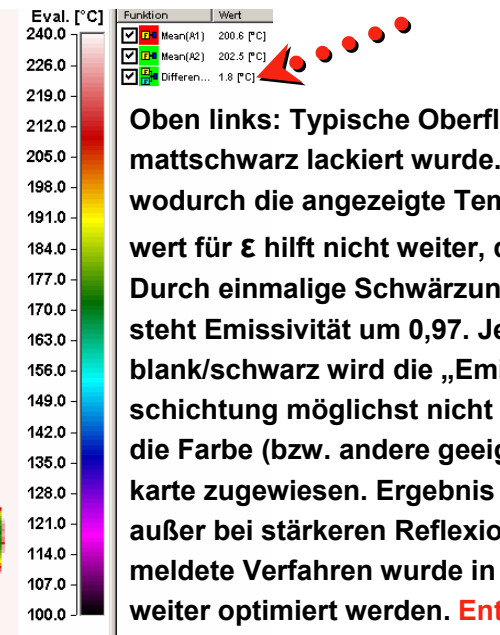
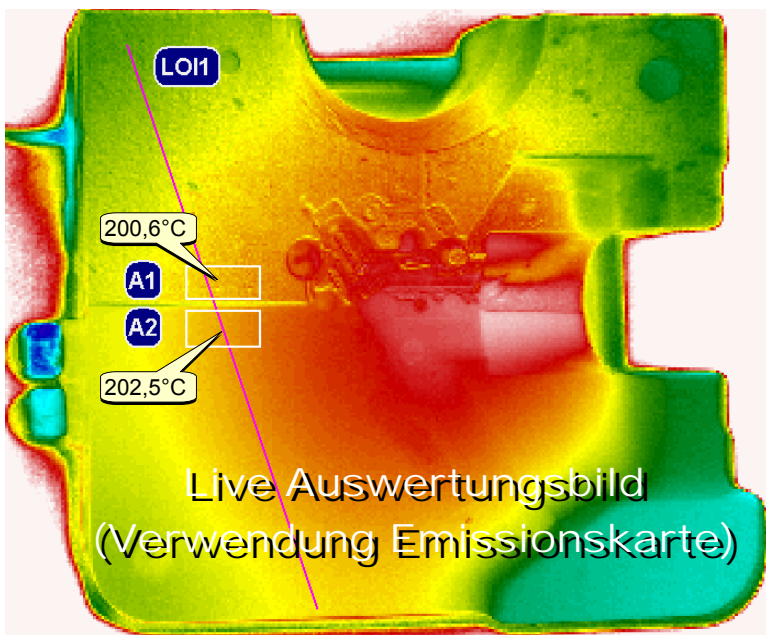
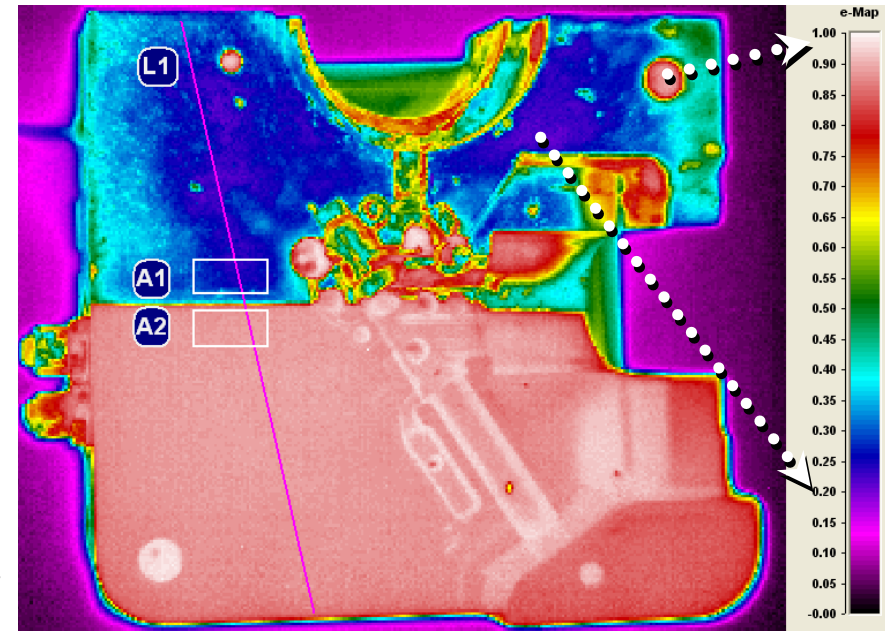
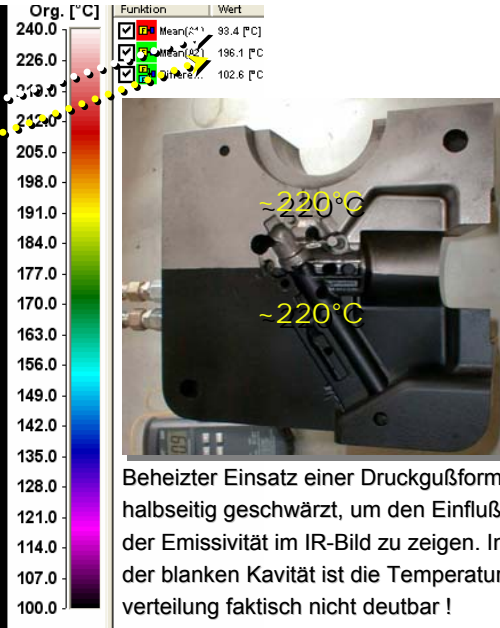
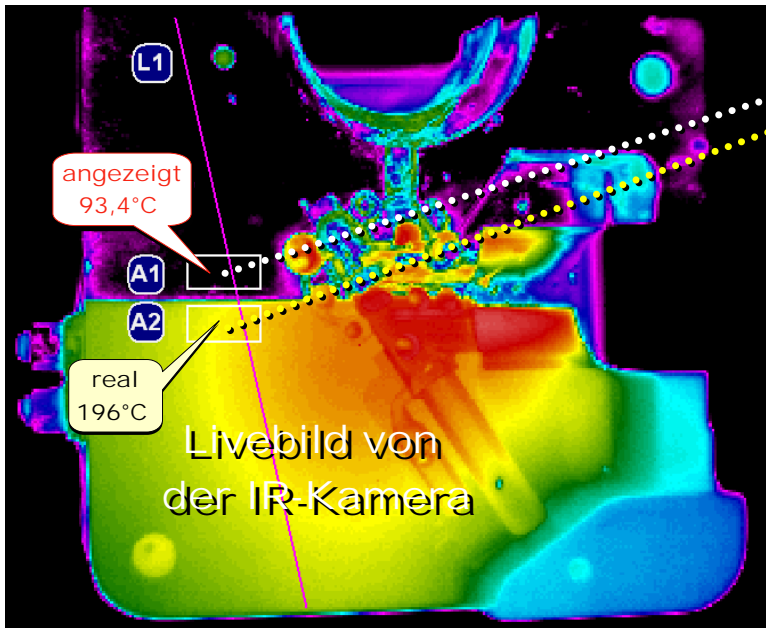
IR-Bild der schwarzen Form ist Referenz für partielle Emissionsgradkorrektur, bzw. Basis für Optimierungen (Sprüher, Temperierung)

Voraussetzung: Deckungsgleiche Bilder (Die Abkühlung während der Schwärzung wird in der Auswertung weitgehend berücksichtigt)

Druckguss (Ausblick)

Nützliche Funktion der Software „IR-Control“ von der Automation Technology GmbH Trittau

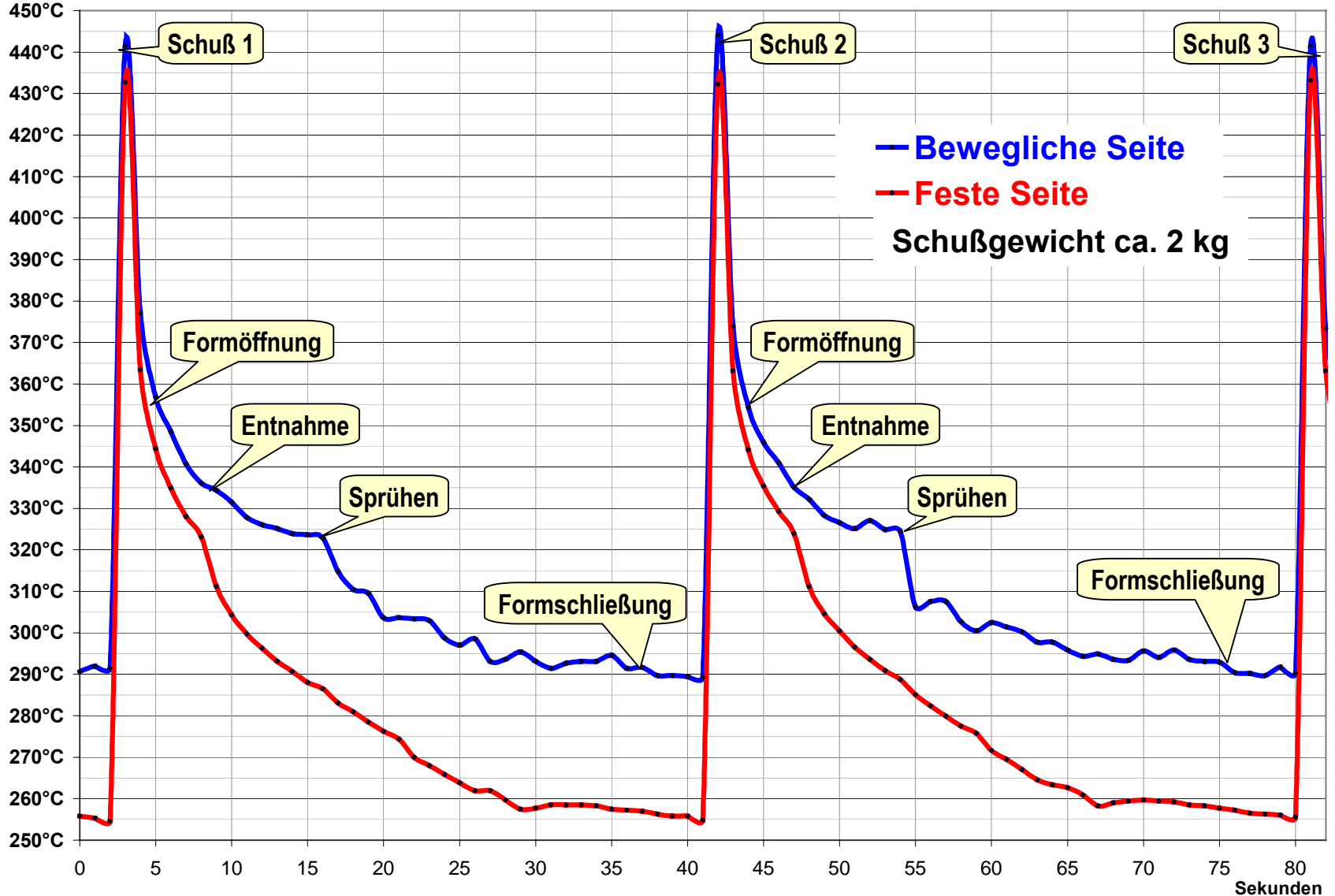
Korrektur der Emissivität im IR-Livebild durch Überlagerung mit „Emissivitätskarte“



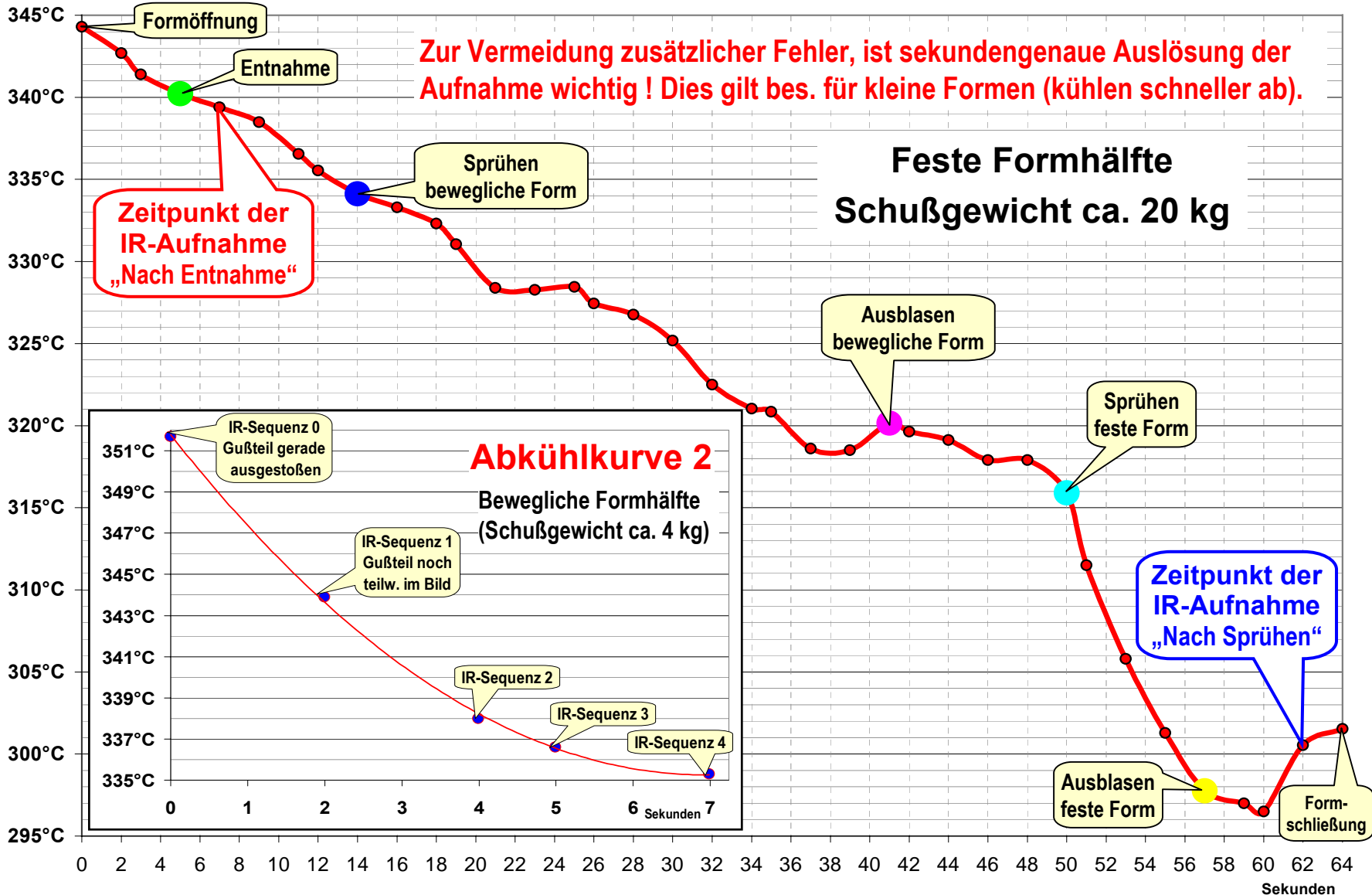
Die Emissivitätskarte

Oben links: Typische Oberfläche eines Druckgußwerkzeuges, das zur Demonstration halbseitig mattschwarz lackiert wurde. Auf der blanken Seite schwankt die Emissivität (ϵ) von 0,18...0,98! wodurch die angezeigte Temperatur ohne partielle Korrektur fernab der Realität liegt. Ein Mittelwert für ϵ hilft nicht weiter, da große Sprünge innerhalb weniger mm auftreten (siehe Kavität). Durch einmalige Schwärzung in der Nähe der Prozeßtemperatur nach längerem Stillstand entsteht Emissivität um 0,97. Jetzt werden die realen Temperaturen sichtbar. Aus dem Vergleich blank/schwarz wird die „Emissionskarte“ generiert. Die Temperatur soll sich während der Beschichtung möglichst nicht ändern (quasistationären Zustand abwarten). Im lfd. Betrieb brennt die Farbe (bzw. andere geeignete Materialien binnen 3...5 Schuß ab. Dann wird die Emissionskarte zugewiesen. Ergebnis : Anzeige der realen Temperaturen im Livebild ! (Fehler $\leq \pm 15$ K, außer bei stärkeren Reflexionen, die sich örtlich oder thermisch ändern). Das zum Patent angemeldete Verfahren wurde in 2 Gießereien erfolgreich erprobt und soll vor dem Industrieinsatz weiter optimiert werden. **Entscheidender Vorteil : Brauchbares live Wärmebild.**

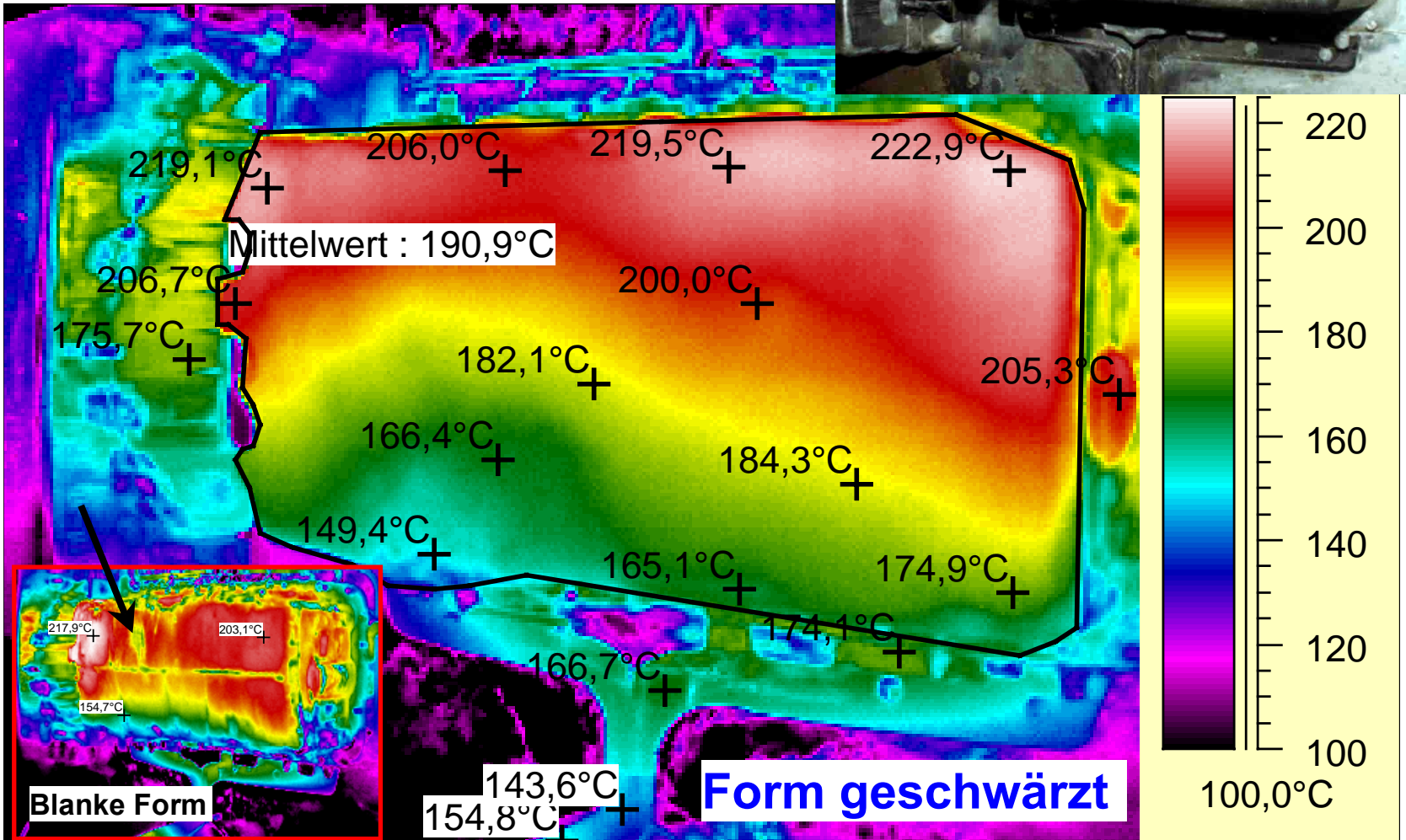
Zwei Zyklen (Thermoelemente an der Formoberfläche)



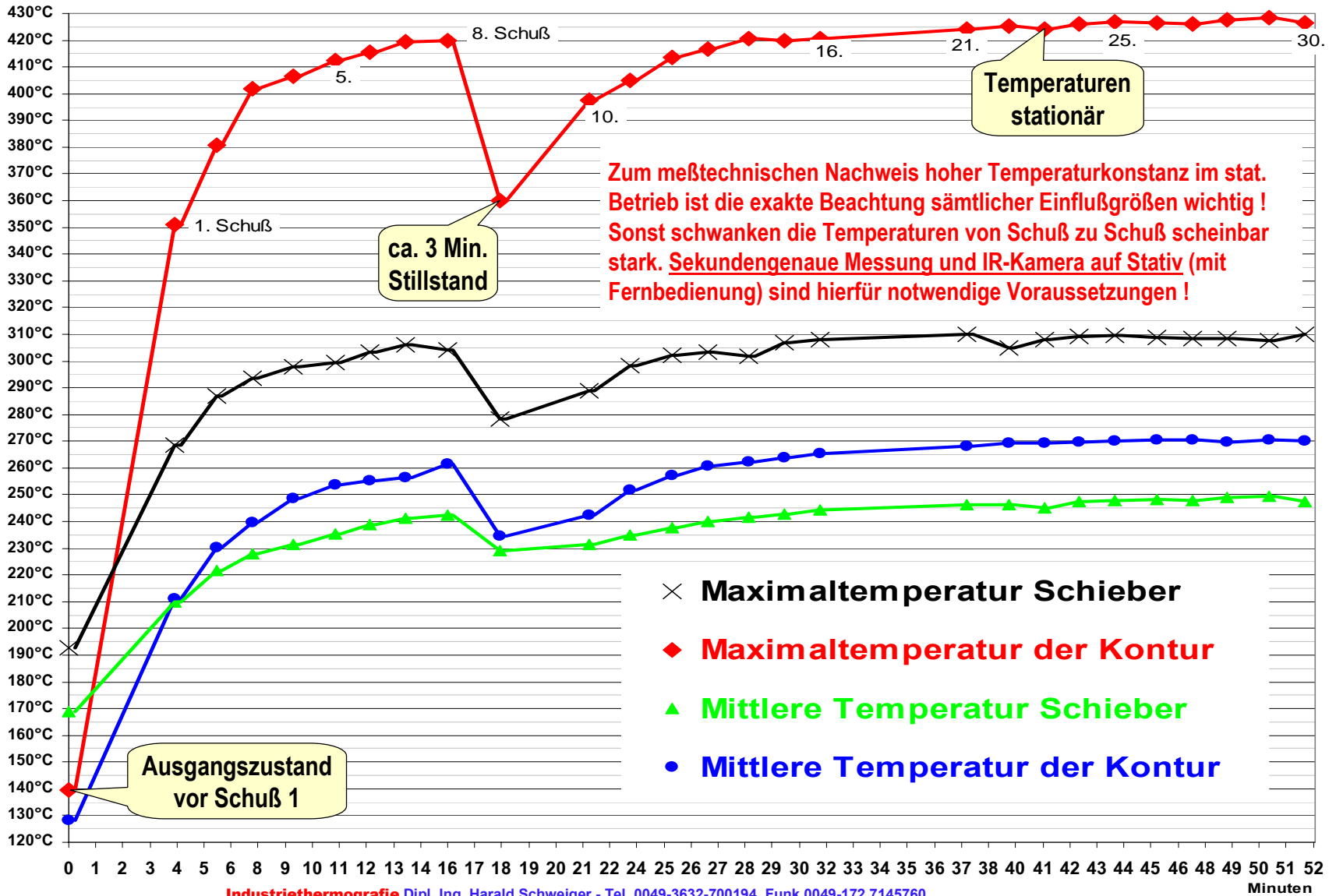
Ein Zyklus, aufgenommen mit IR-Kamera



Druckgußform für KFZ-Ölwanne

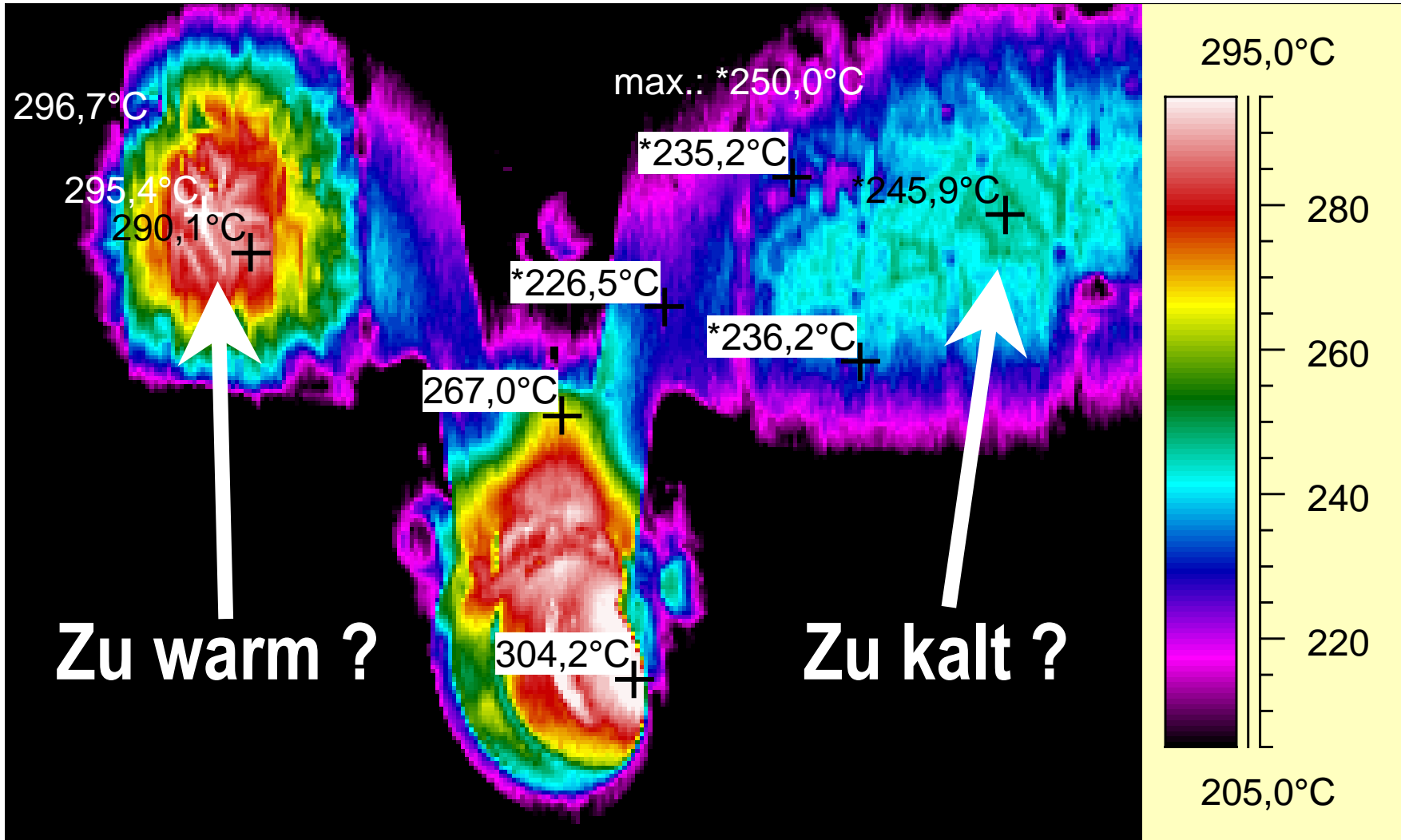


Anfahren nach längerem Stillstand



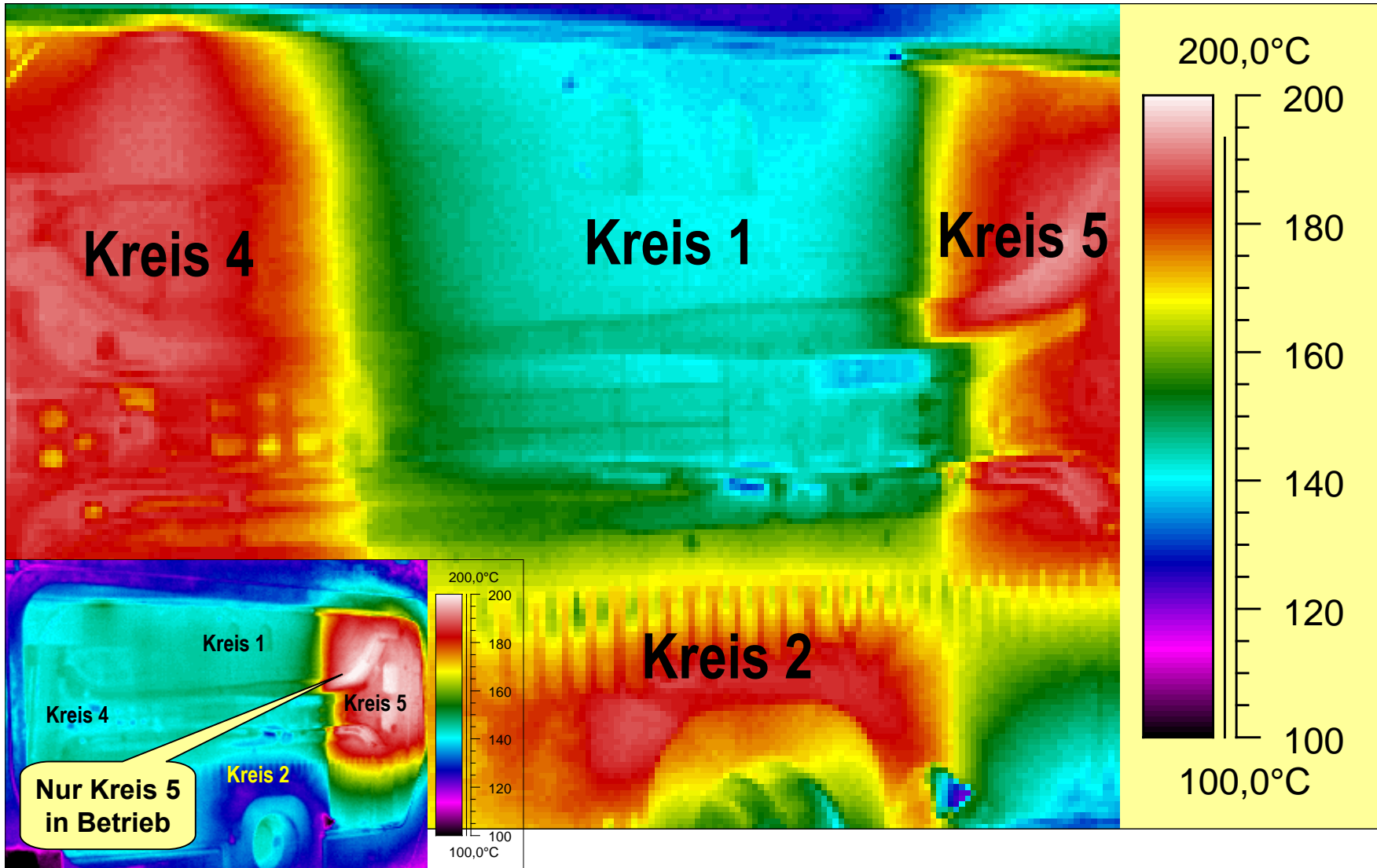
Zum meßtechnischen Nachweis hoher Temperaturkonstanz im stat. Betrieb ist die exakte Beachtung sämtlicher Einflußgrößen wichtig !
 Sonst schwanken die Temperaturen von Schuß zu Schuß scheinbar stark. Sekundengenaue Messung und IR-Kamera auf Stativ (mit Fernbedienung) sind hierfür notwendige Voraussetzungen !

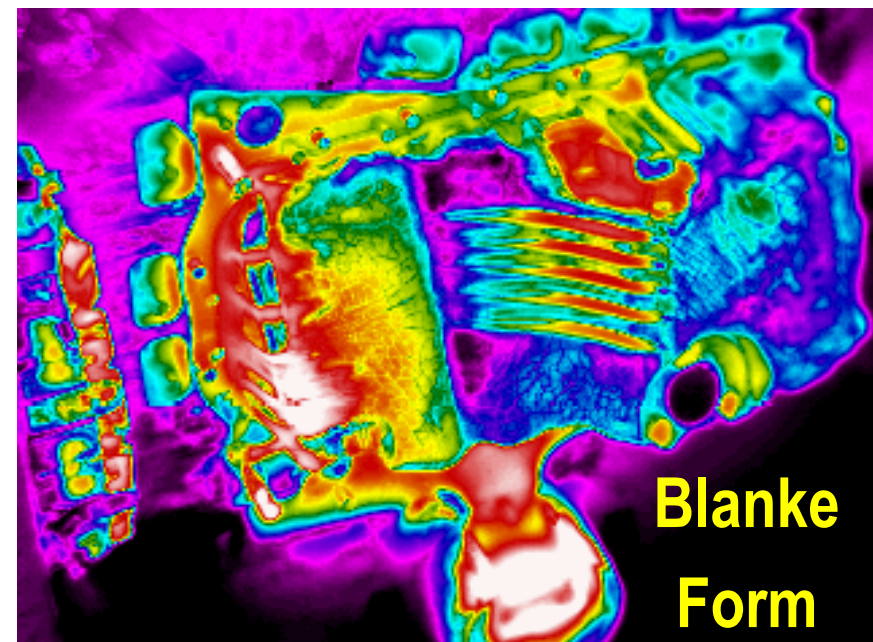
Formtemperierung & Sprühvorgang



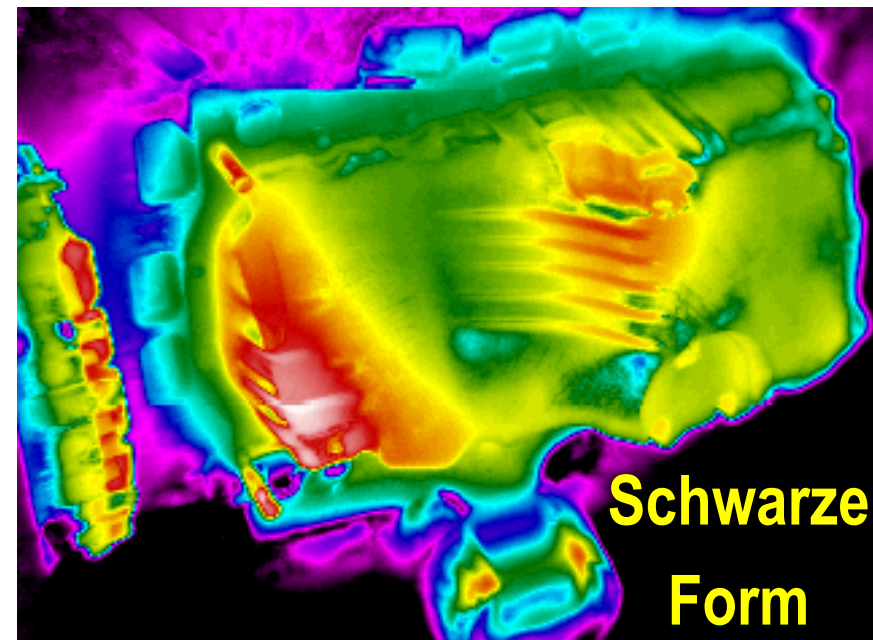
Problemfall Formtemperierung (Zweifachform)

Untersuchung einzelner Kühlkreise

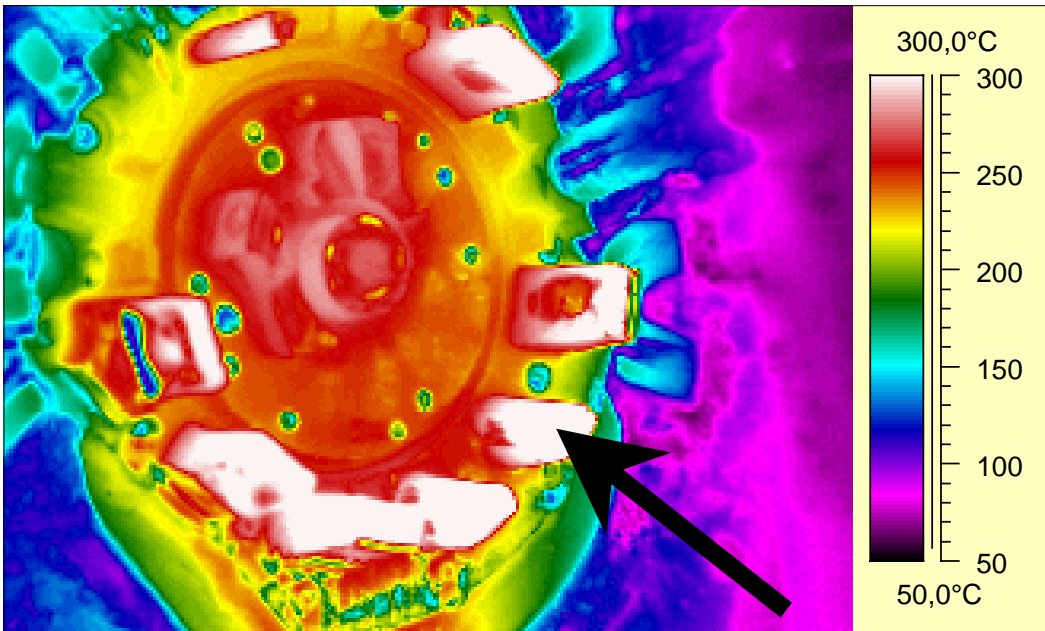




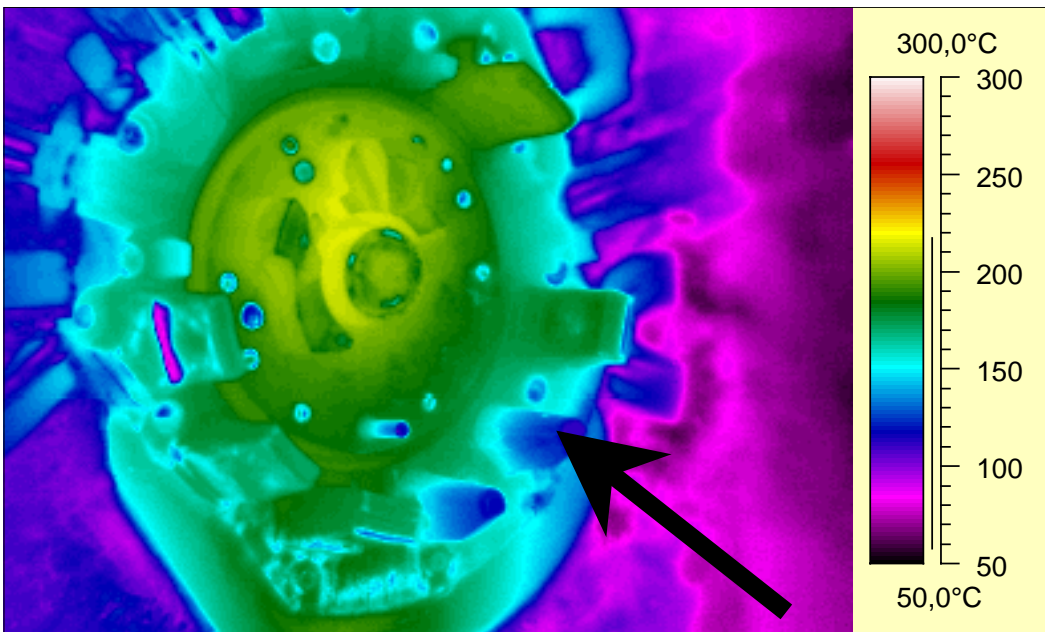
IR-Bild nach Entnahme



Die geschwärzte Form zeigt (etwa) die wahre Temperaturverteilung auf der Oberfläche. Sie dient als Referenz für den Emissionsgradabgleich und für schnelle Optimierungen an Sprüher und Temperierung.

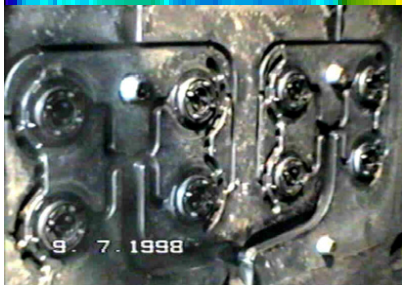
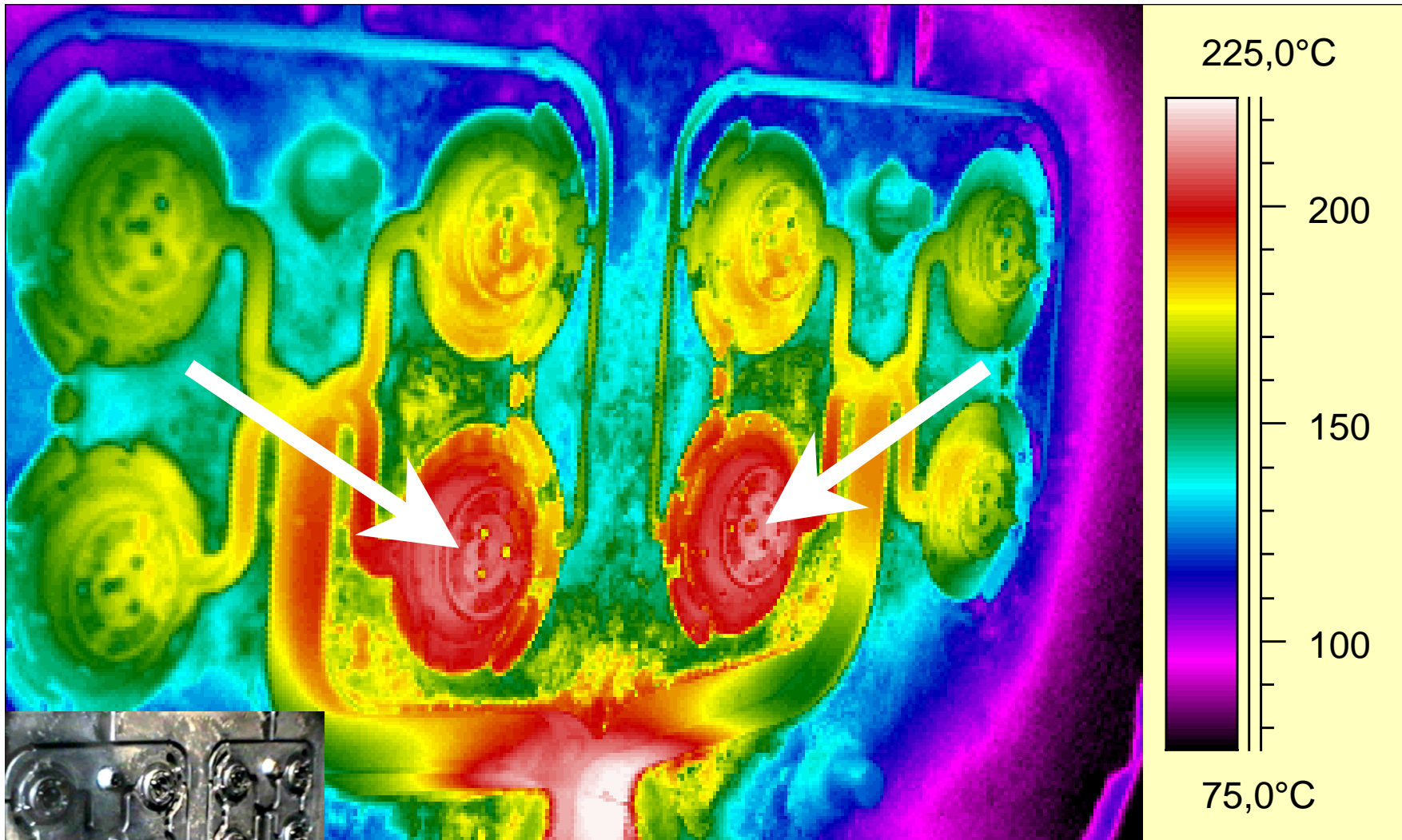


Nach Entnahme



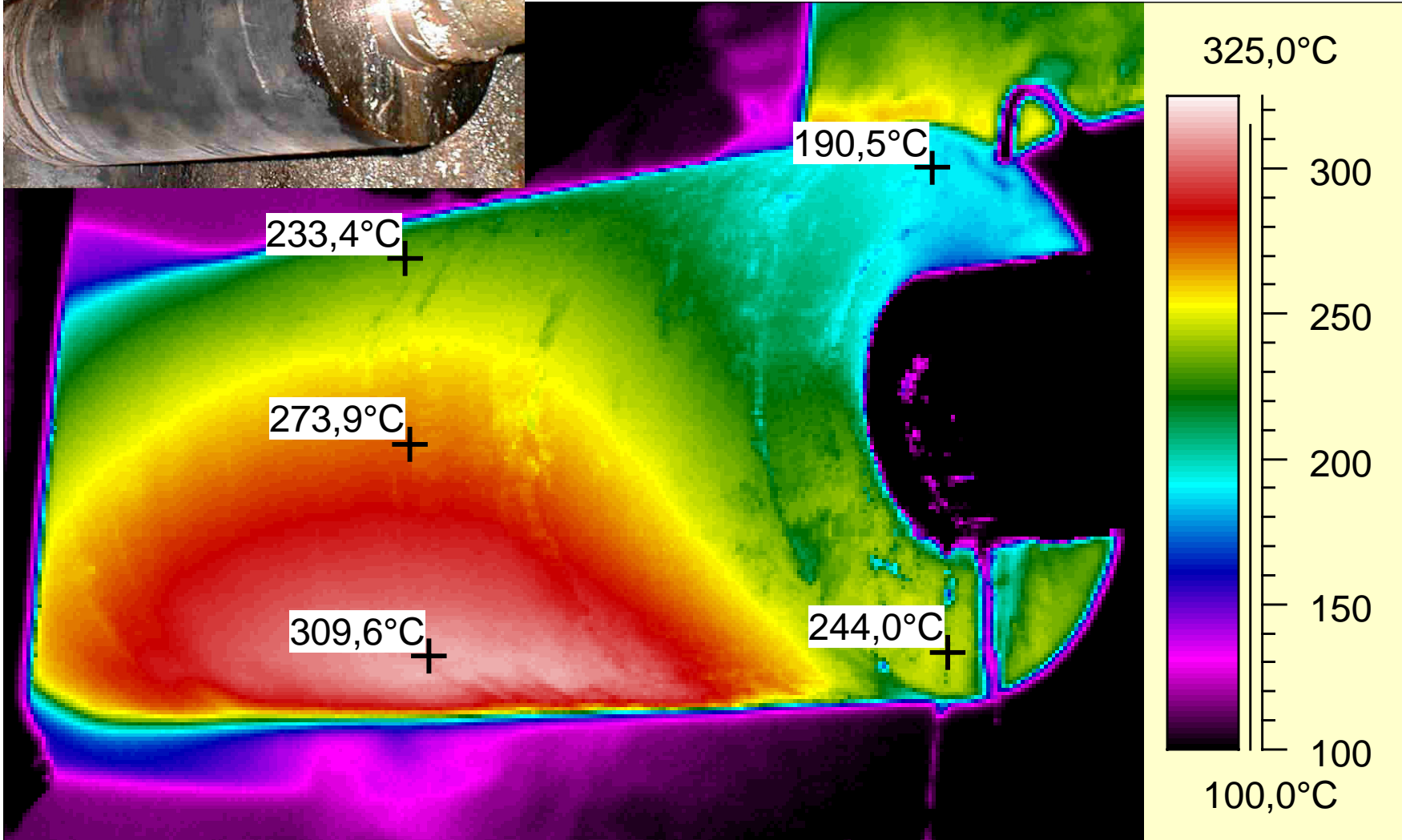
Nach dem Sprühen

Mehrfachformen

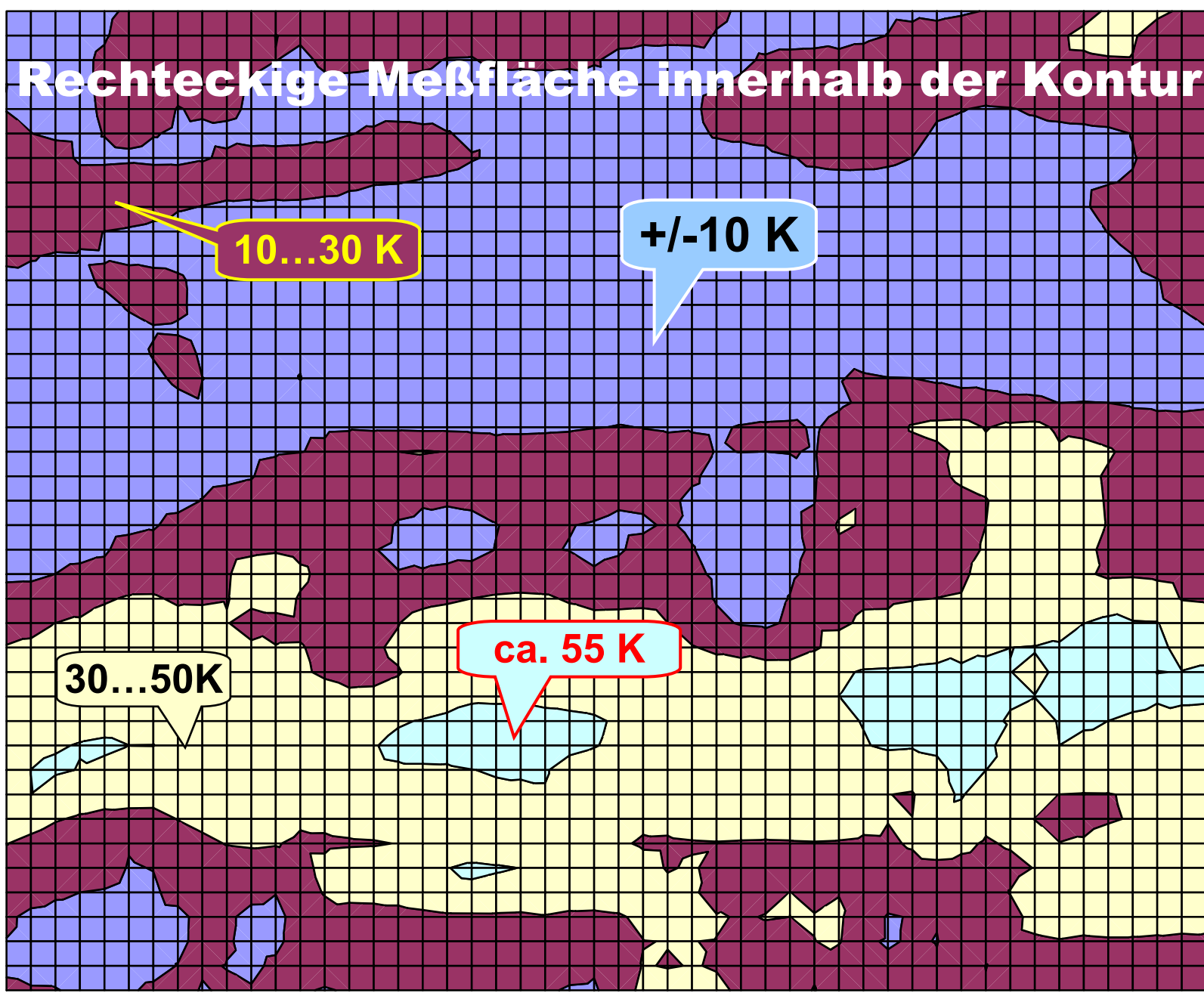


Gleichzeitige Temperaturmessung aller Nester !

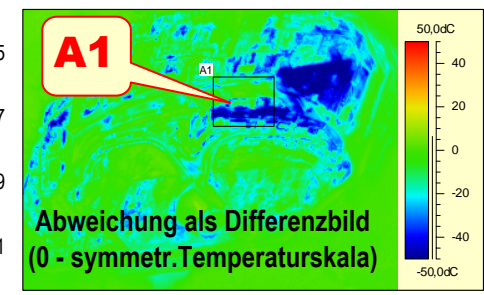
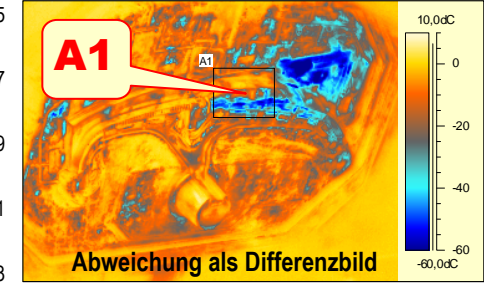
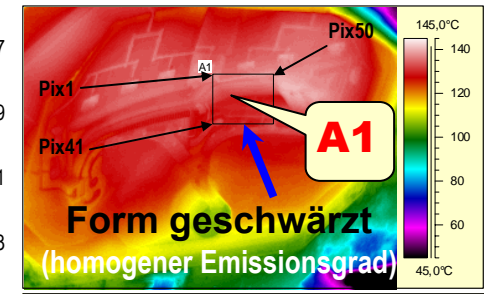
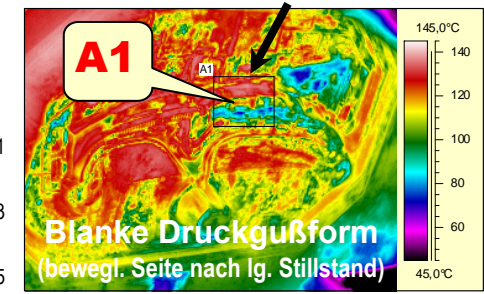
Gießkammer



Darstellung des Meßfehlers durch Emissionsgradschwankungen innerhalb einer ausgewählten Fläche (A1)

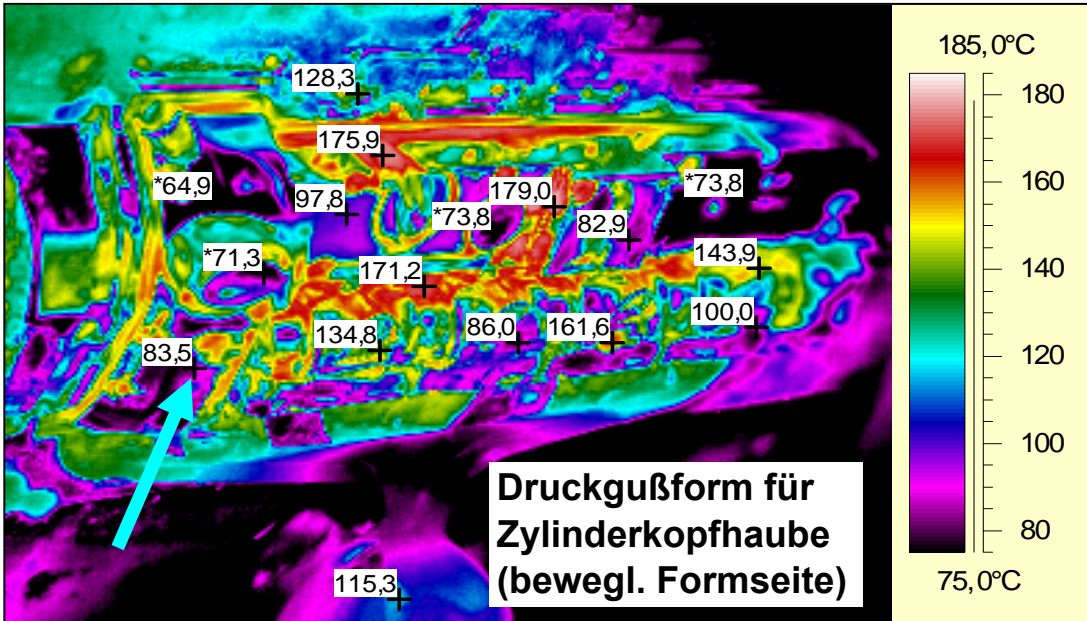


- 50 K-70 K !!!
- 30 K-50 K !
- 10 K-30 K ?
- 10 K-10 K o.k.

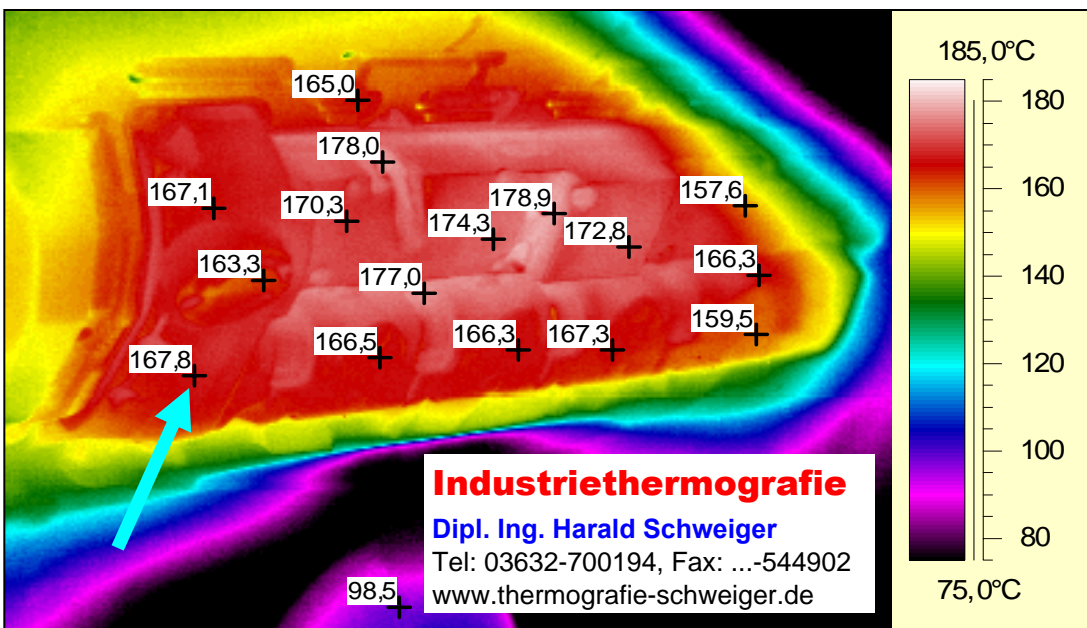


Pix1 Pix3 Pix5 Pix7 Pix9 Pix11 Pix13 Pix15 Pix17 Pix19 Pix21 Pix23 Pix25 Pix27 Pix29 Pix31 Pix33 Pix35 Pix37 Pix39 Pix41 Pix43 Pix45 Pix47 Pix49

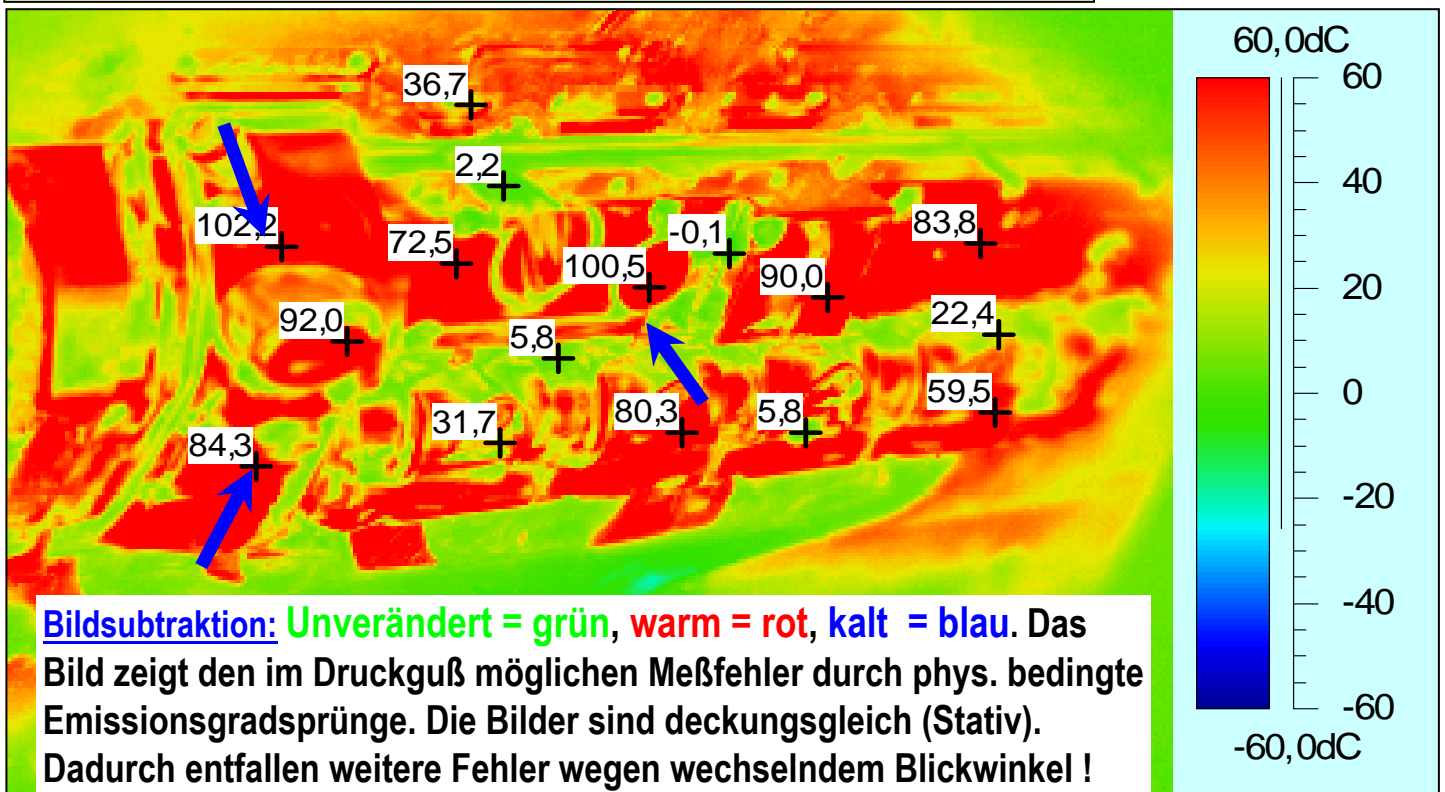
Druckgußform für BMW-Zylinderkopfhaube



Blanke Form nach längerem Stillstand, unmittelbar vor der Schwärzung (Homogenisierung des Emissionsgrades)

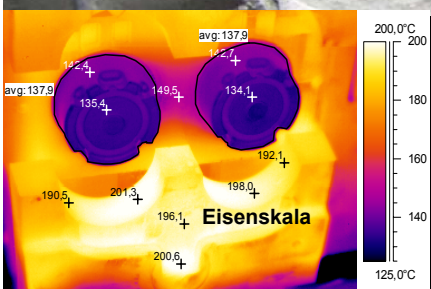
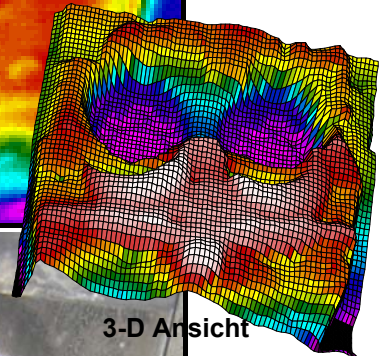
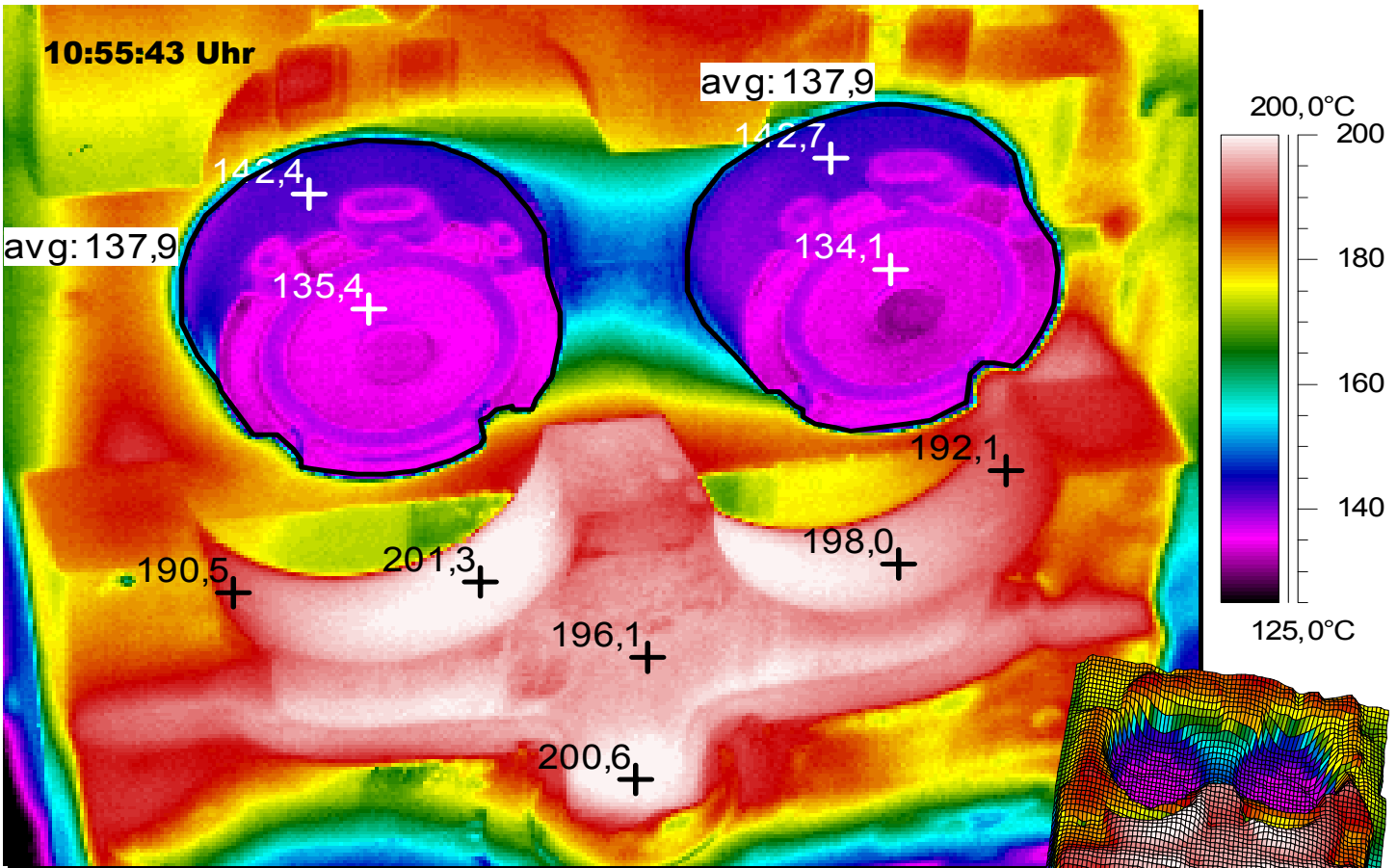


Form geschwärzt. Erst jetzt wird die wahre Temperaturverteilung sichtbar. Die Differenz beider Bilder entspricht dem Meßfehler, bei Nichtbeachtung der phys. Gegebenheiten (bis ~100 K!).



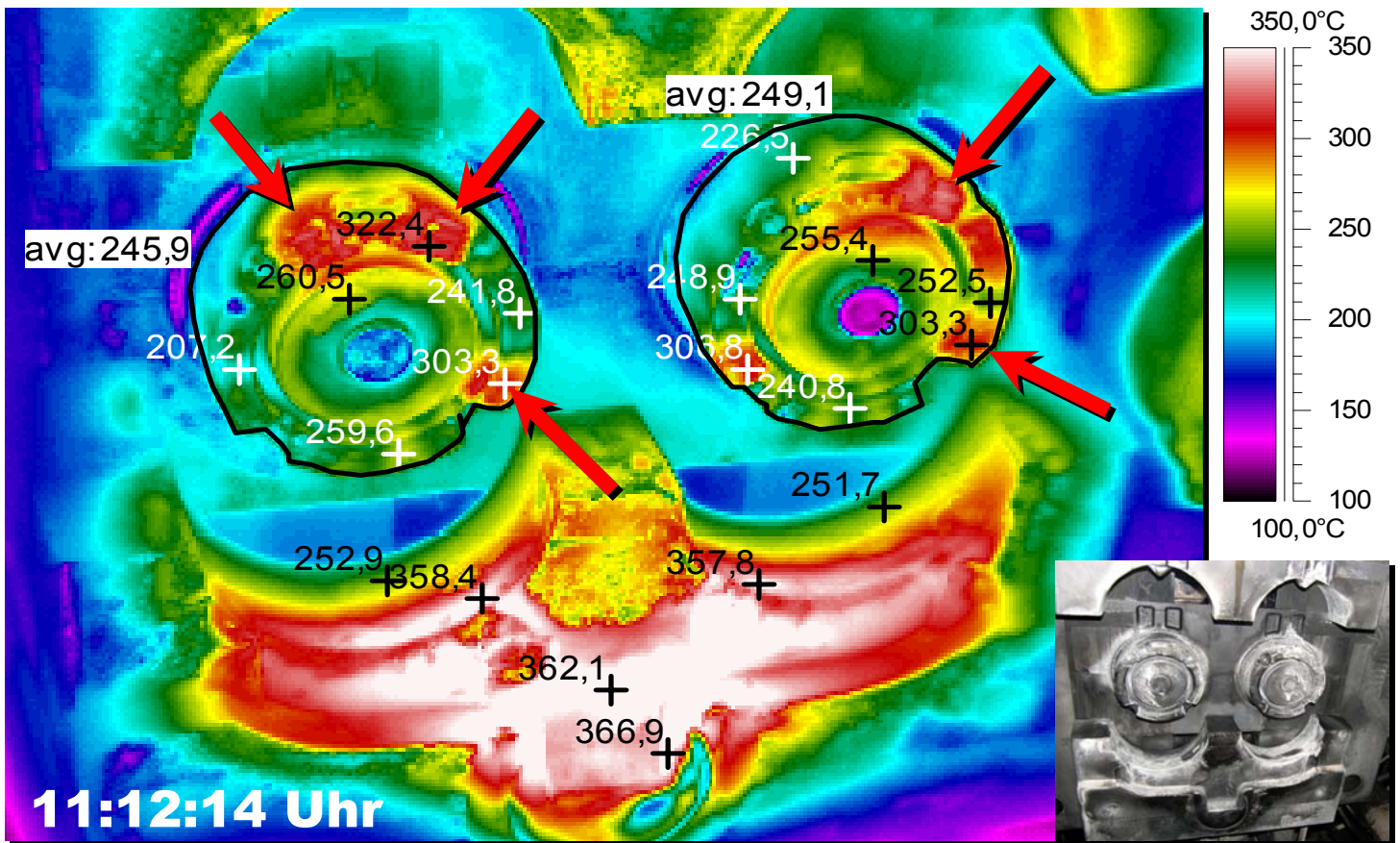
Schaffung einer Referenz durch Schwärzung

Aufnahme der (geschwärzten) Form nach längerem Stillstand

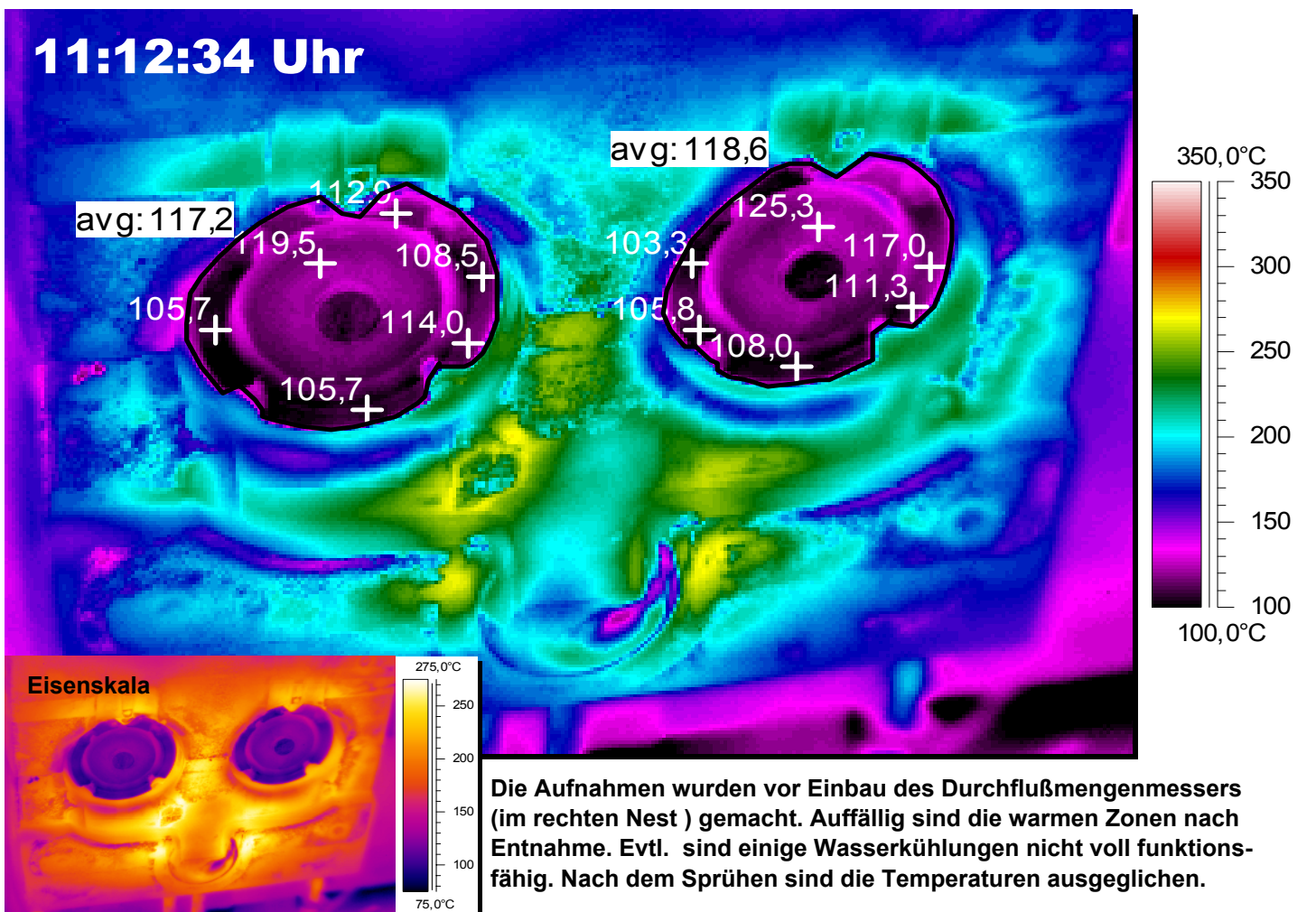


Zweifachwerkzeug - Bewegliche Formseite

Zustand unmittelbar nach Entnahme des Teils

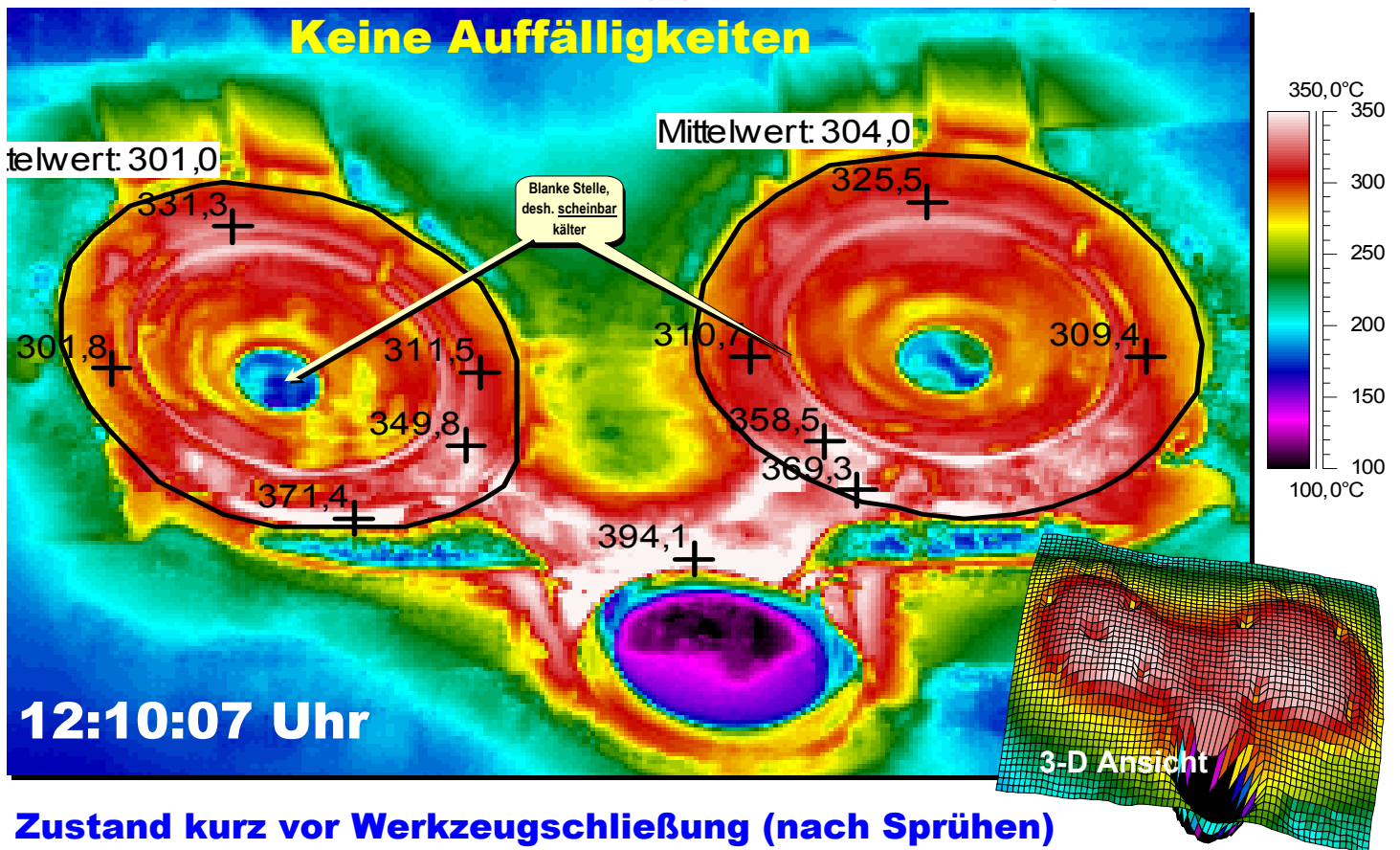


Zustand kurz vor Werkzeugschließung (nach Sprühen)

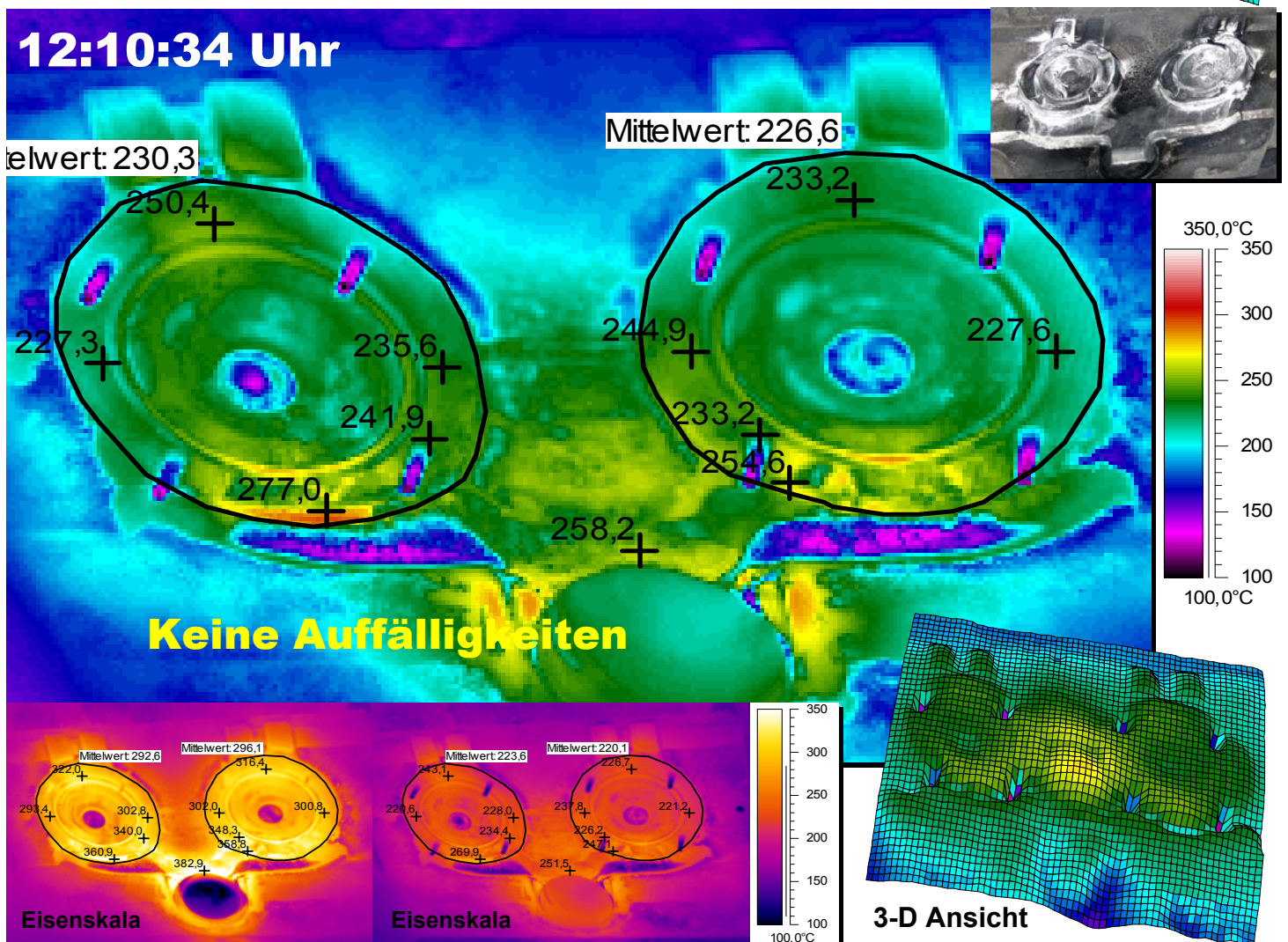


Zweifachwerkzeug - Feste Formseite

Zustand unmittelbar Formöffnung (kurz vor Entnahme)

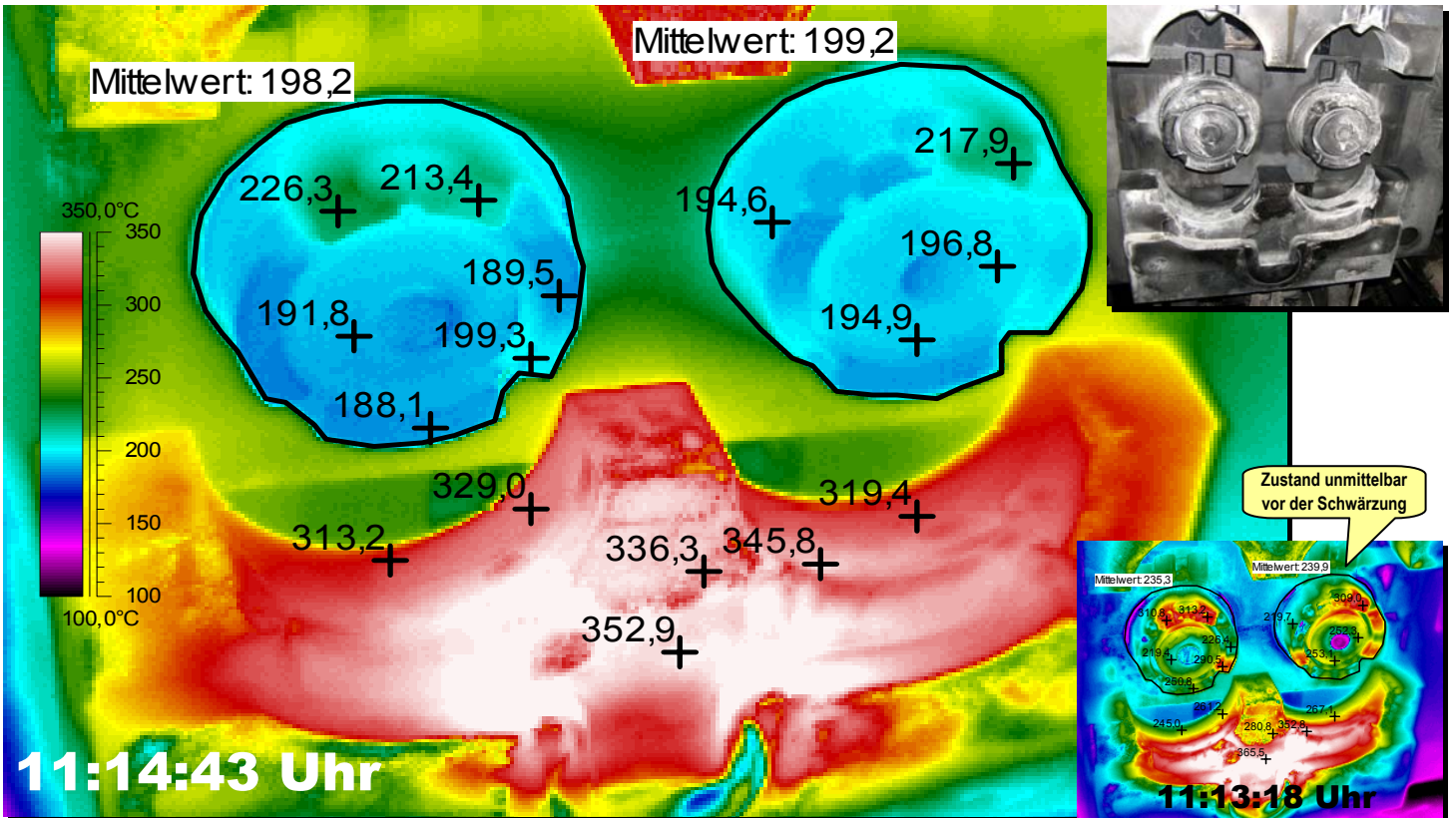


Zustand kurz vor Werkzeugschließung (nach Sprühen)

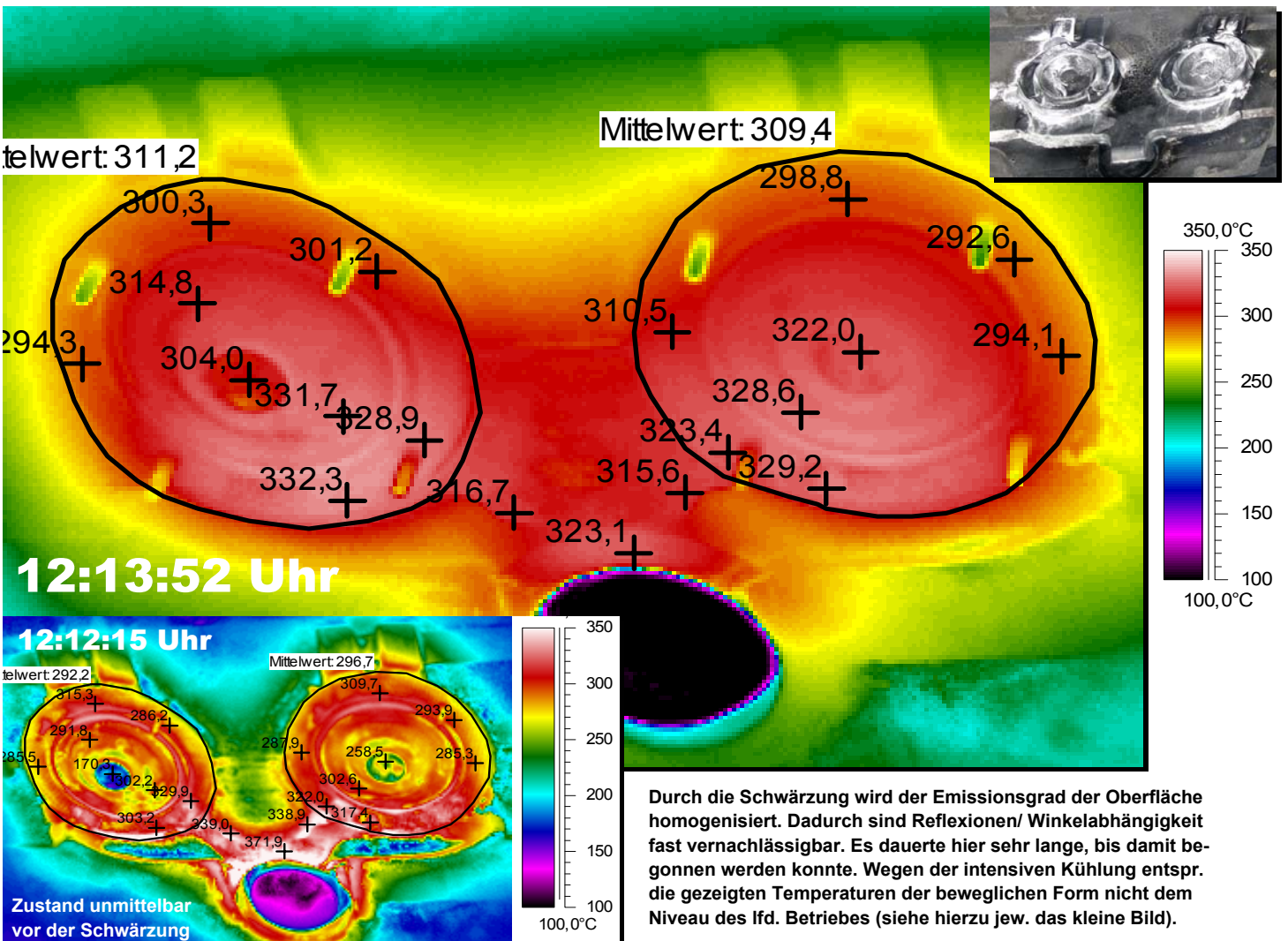


Zweifachwerkzeug - bewegliche/feste Form

Bewegliche Form nach Entnahme geschwärzt



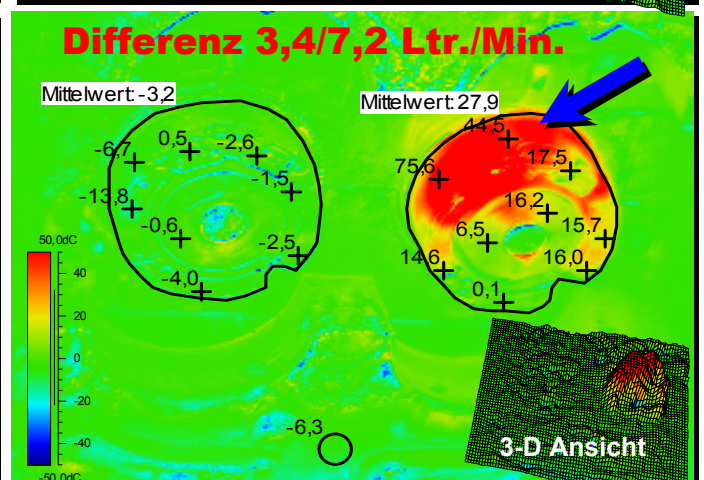
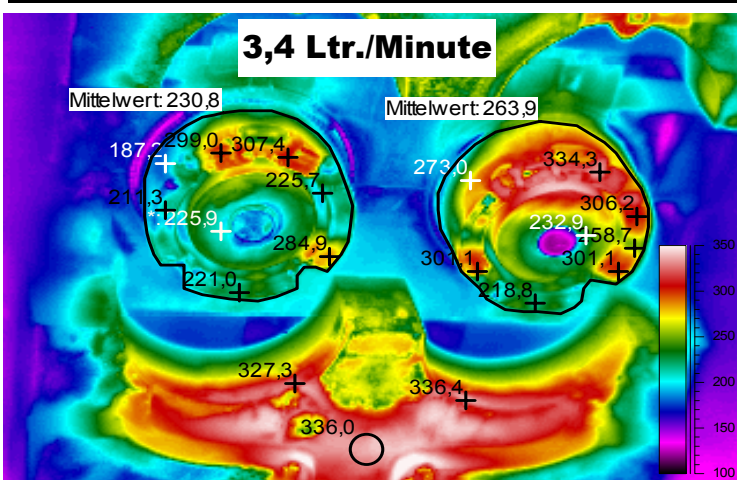
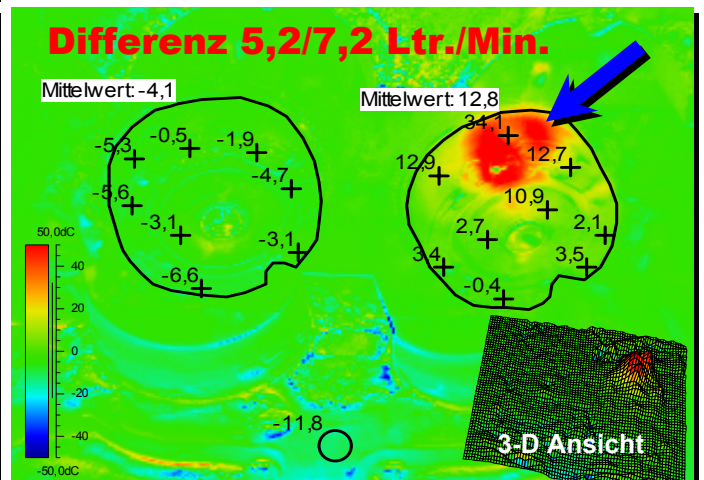
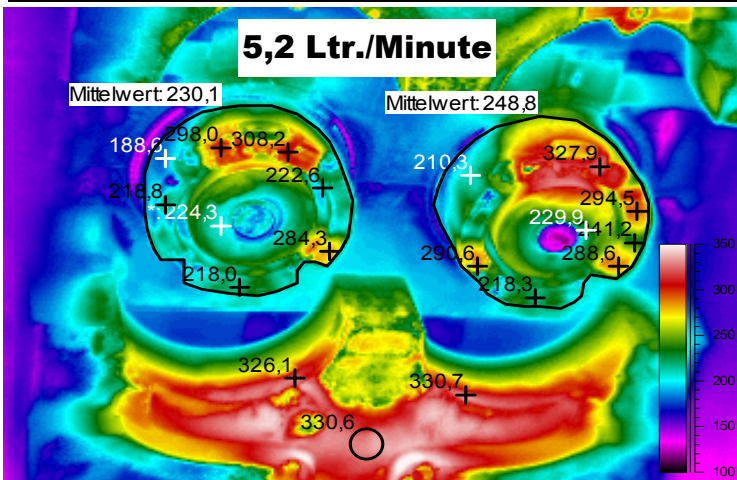
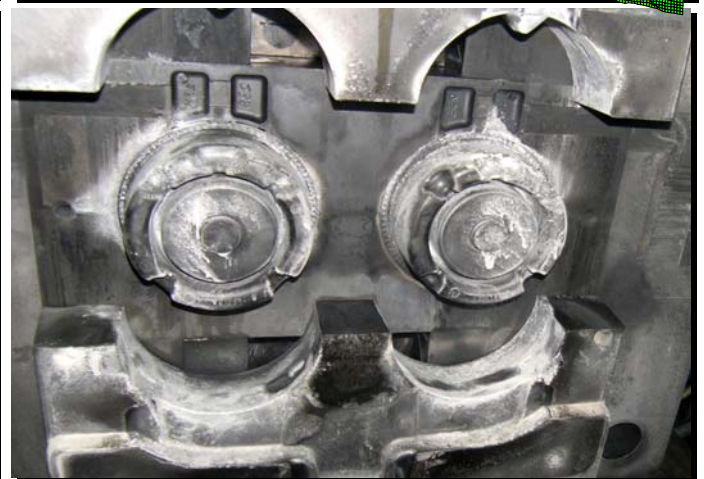
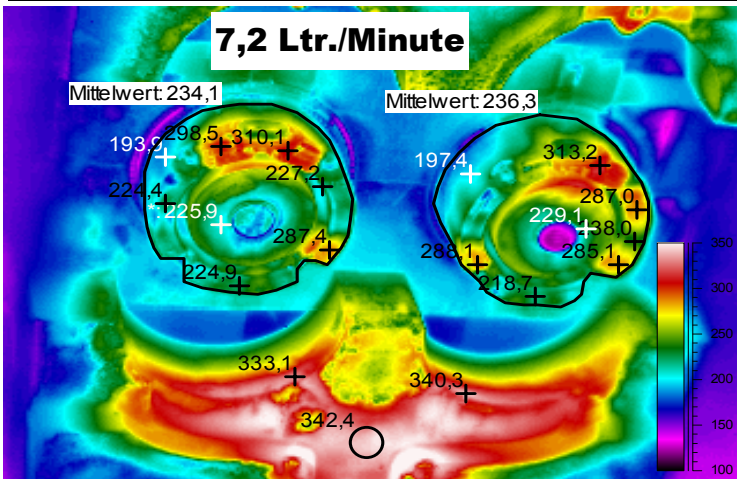
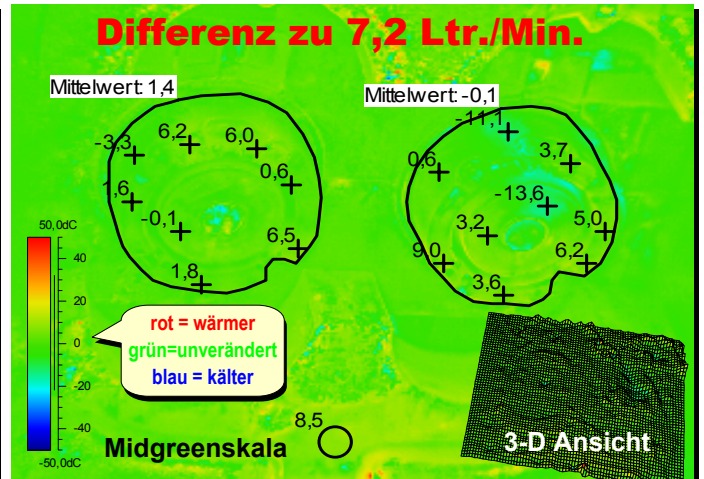
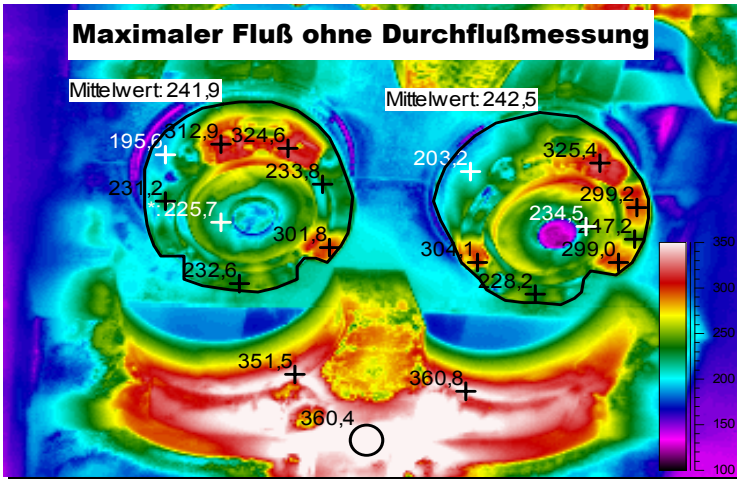
Feste Form nach Entnahme geschwärzt



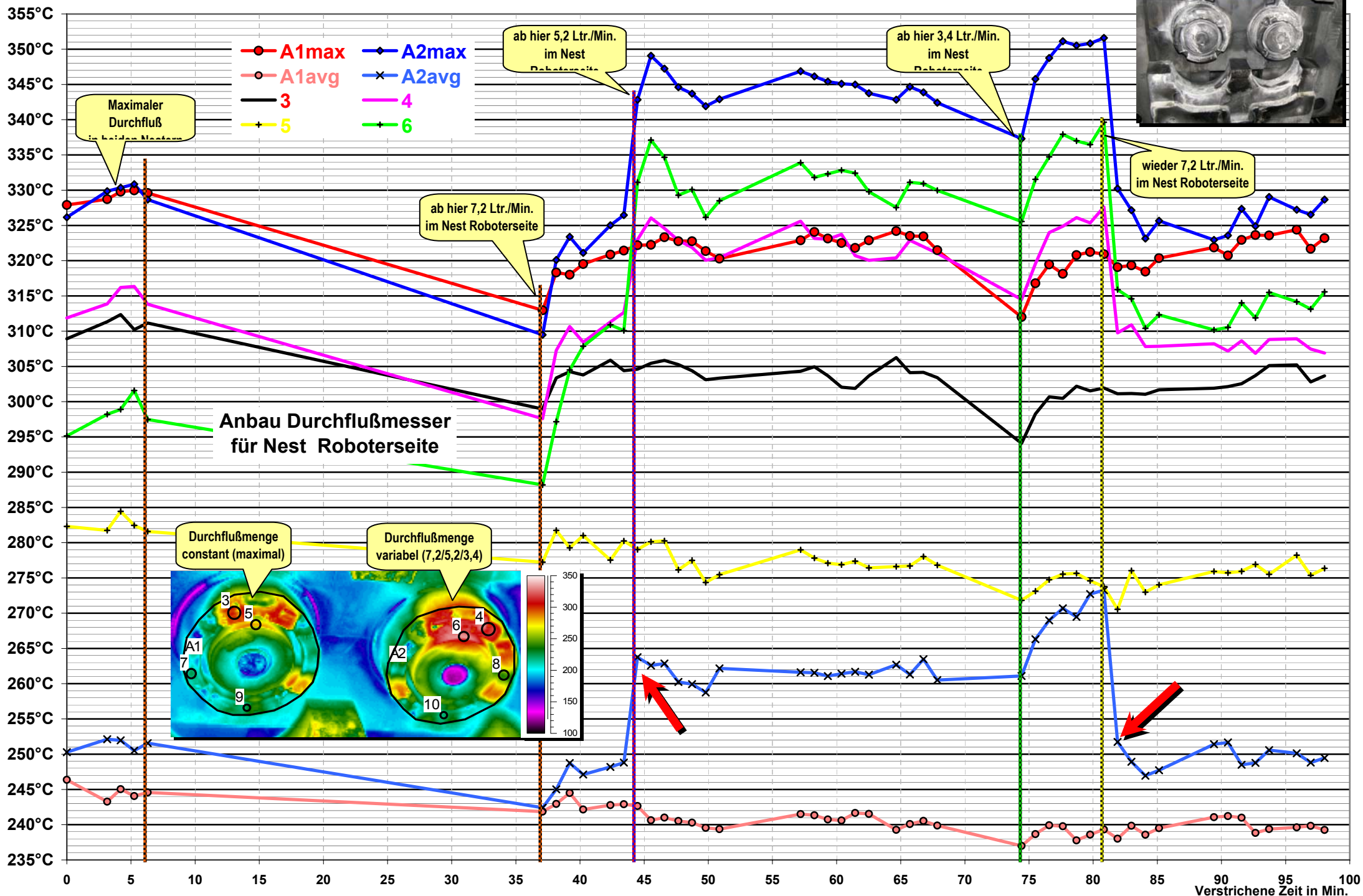
Durch die Schwärzung wird der Emissionsgrad der Oberfläche homogenisiert. Dadurch sind Reflexionen/ Winkelabhängigkeit fast vernachlässigbar. Es dauerte hier sehr lange, bis damit begonnen werden konnte. Wegen der intensiven Kühlung entspr. die gezeigten Temperaturen der beweglichen Form nicht dem Niveau des lfd. Betriebes (siehe hierzu jew. das kleine Bild).

Bildsubtraktion spez. zur Darstellung von Veränderungen

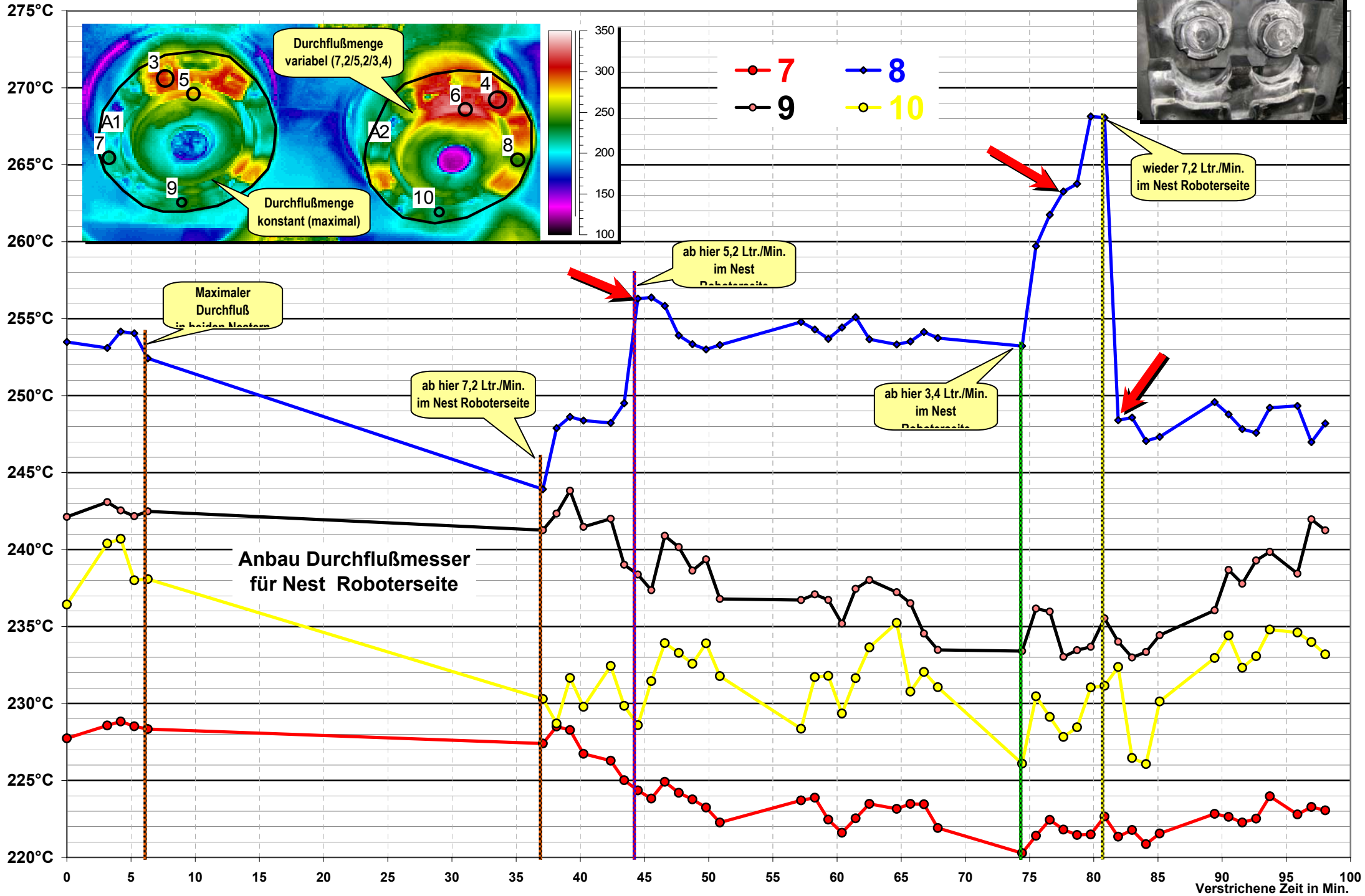
Variation der Durchflußmenge Nest Roboterseite



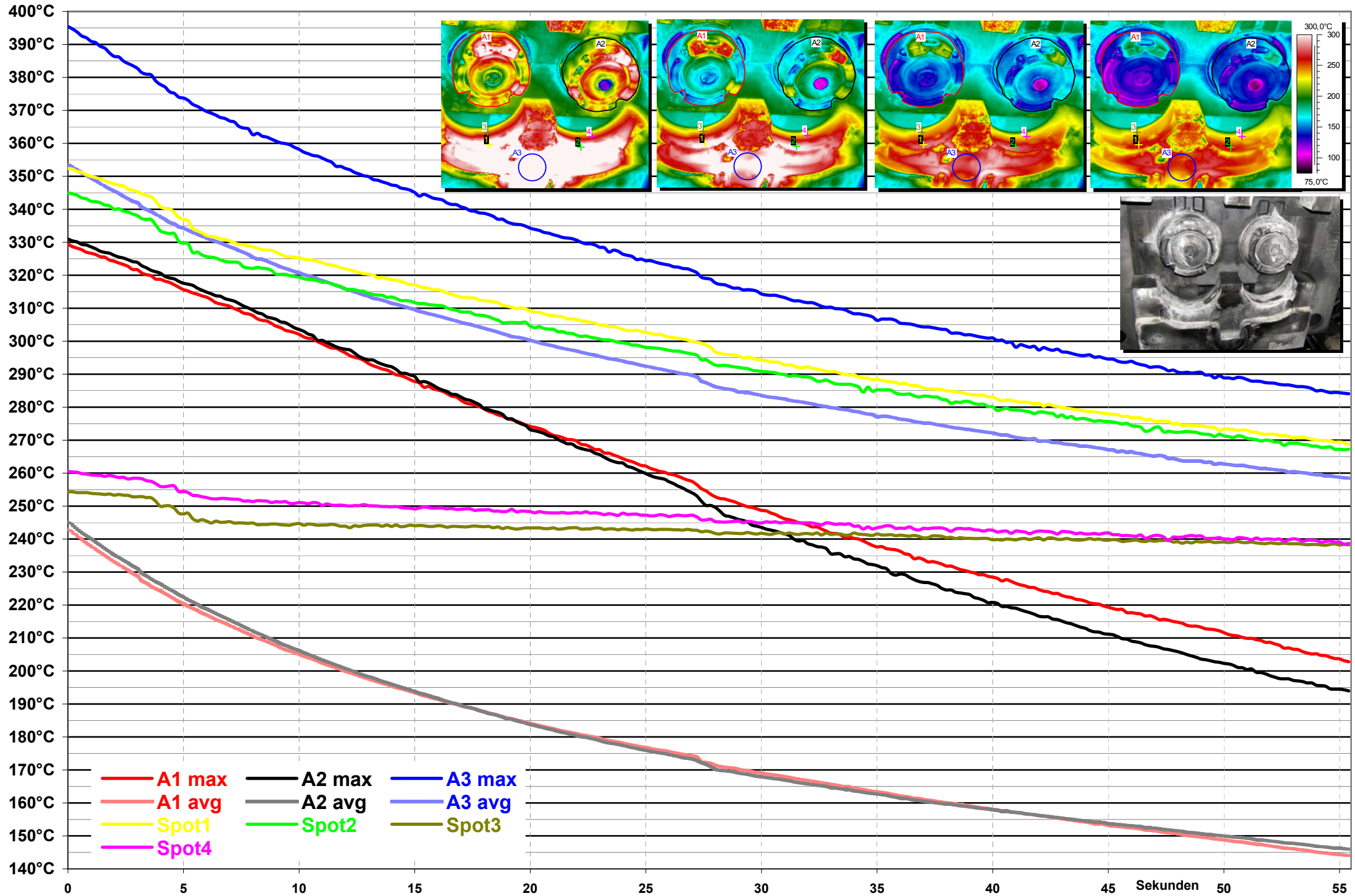
Bewegliche Form nach Entnahme ➤ Manipulation Durchflußmenge



Bewegliche Form nach Entnahme ➤ Manipulation Durchflußmenge

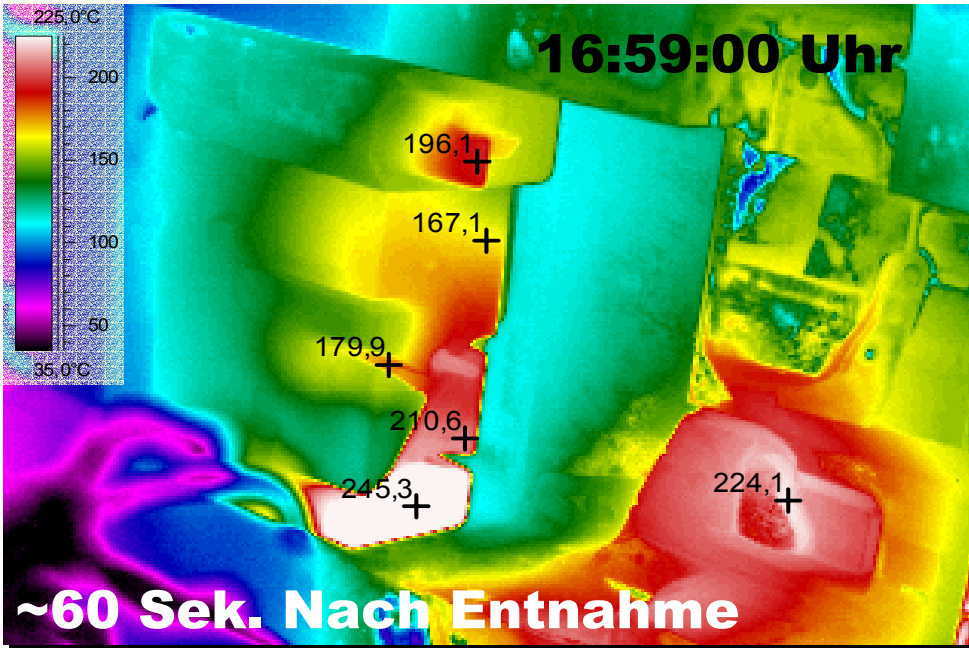


Bewegliche Form nach Entnahme ➤ Wirkung der Wasserkühlung

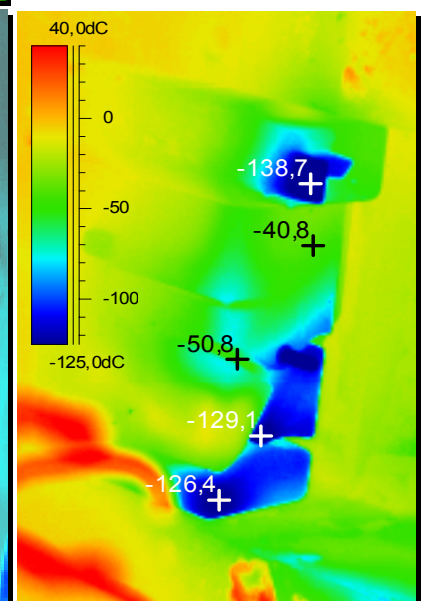
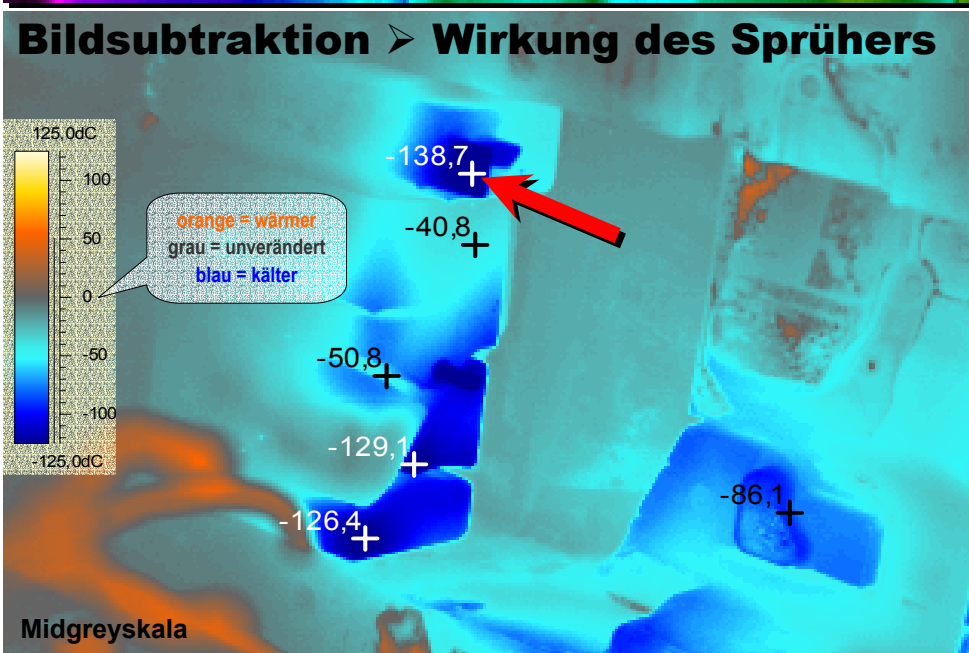
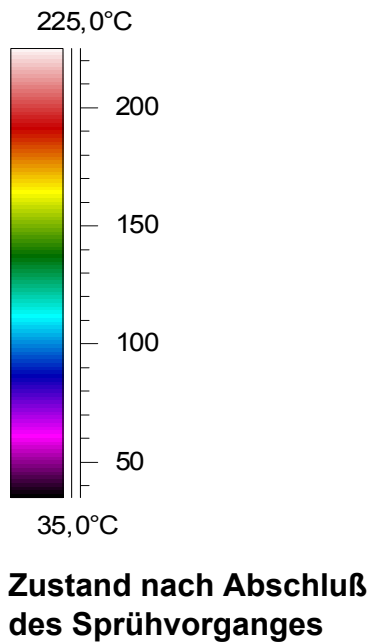
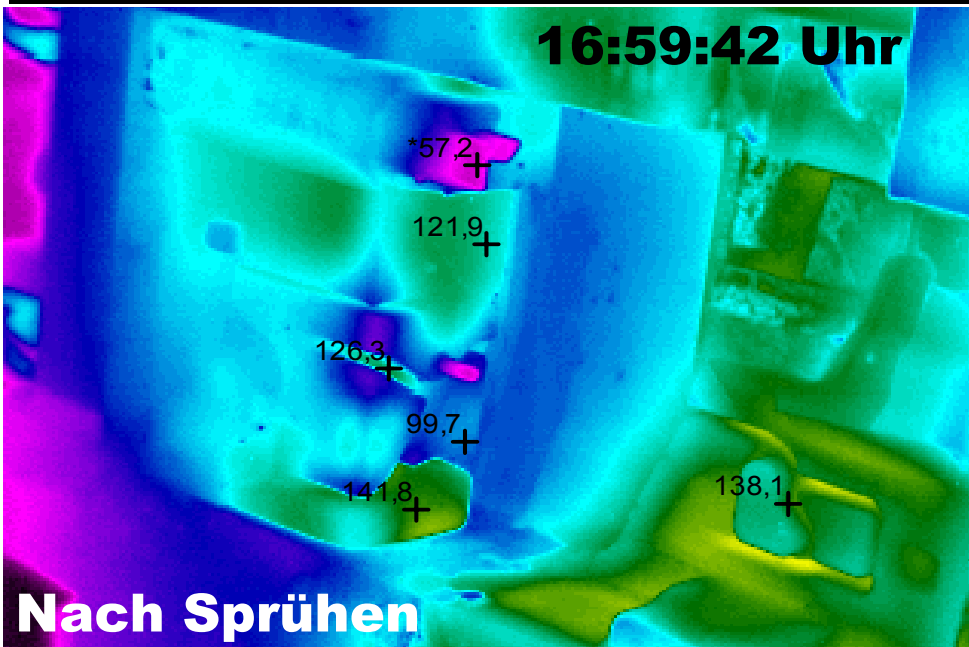


Bedienseite

Wirkung des Sprühvorganges (Form schwarz)



Schieber ~60 Sek. nach Entnahme geschwärzt



Differenz beider IR-Bilder

Bedien-/Roboterseite nach Entnahme

