

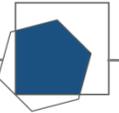
# SMUTI®

## Monitoring der Festigkeitsentwicklung von Spritzbeton mit Thermographie

Dr. Hermann Weiher  
Dr. Katrin Runtemund



**matrices engineering GmbH, München**



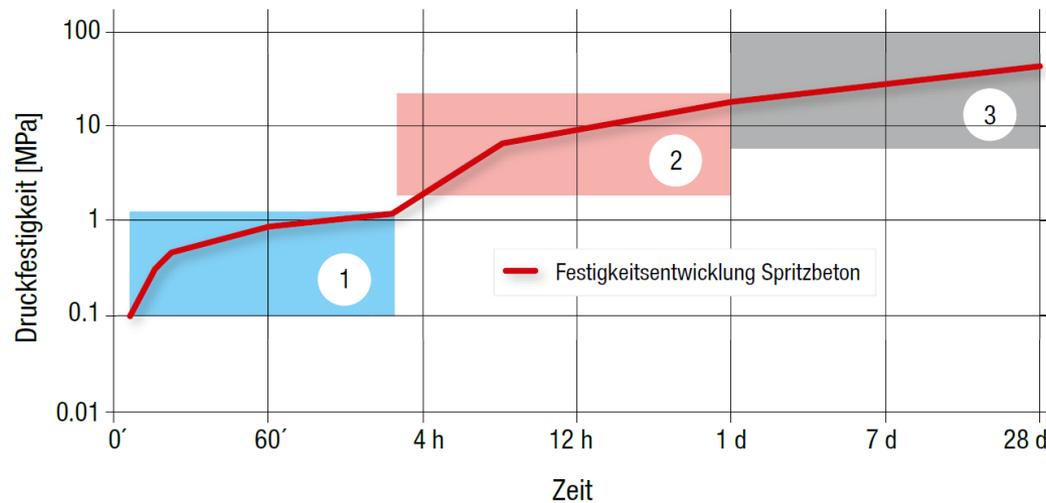
# Tunnelbau in Spritzbetonbauweise

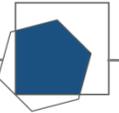




# Prüfverfahren

Entwicklung der		Methode	Instrument	Festigkeit	Zeit
1	Frühfestigkeit	Nadeleindringen	Penetrometer	Bis zu 1,5 MPa	0 – 3 h
2	Frühfestigkeit	Gewindebolzen	Hilti DX 450-SCT	1 – 20 MPa	3 – 24 h
3	Endfestigkeit	Kernbohrungen	Druckfestigkeitstestmaschine	5 – 100 MPa	1 – 28 d





# Prüfverfahren

Nadel Penetrometer, Bolzensetzmethode (Hilti), Bohrkerne

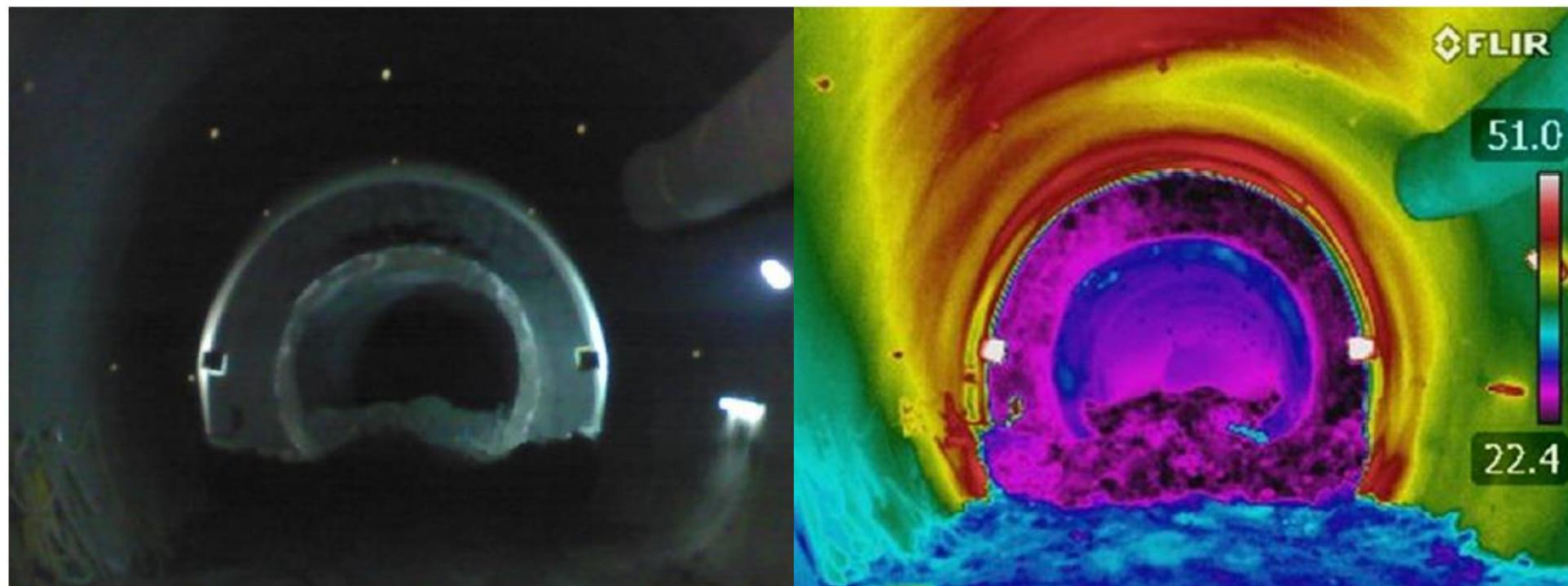
- nur lokale Festigkeitsprüfung
- Hohe Streuung bei Frühfestigkeit
- z.T. nur an Mustern mit unterschiedl. Randbedingungen

... es könnte bessere Lösungsmöglichkeiten geben



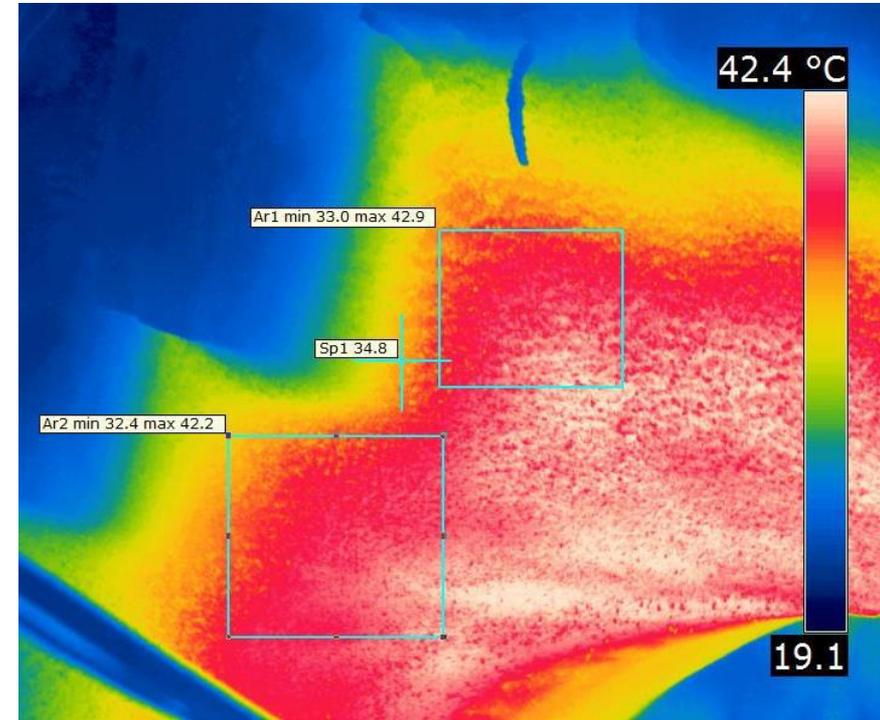


# Die neue Methode: Festigkeitsmonitoring durch Thermografie





# Die neue Methode: Festigkeitsmonitoring durch Thermografie





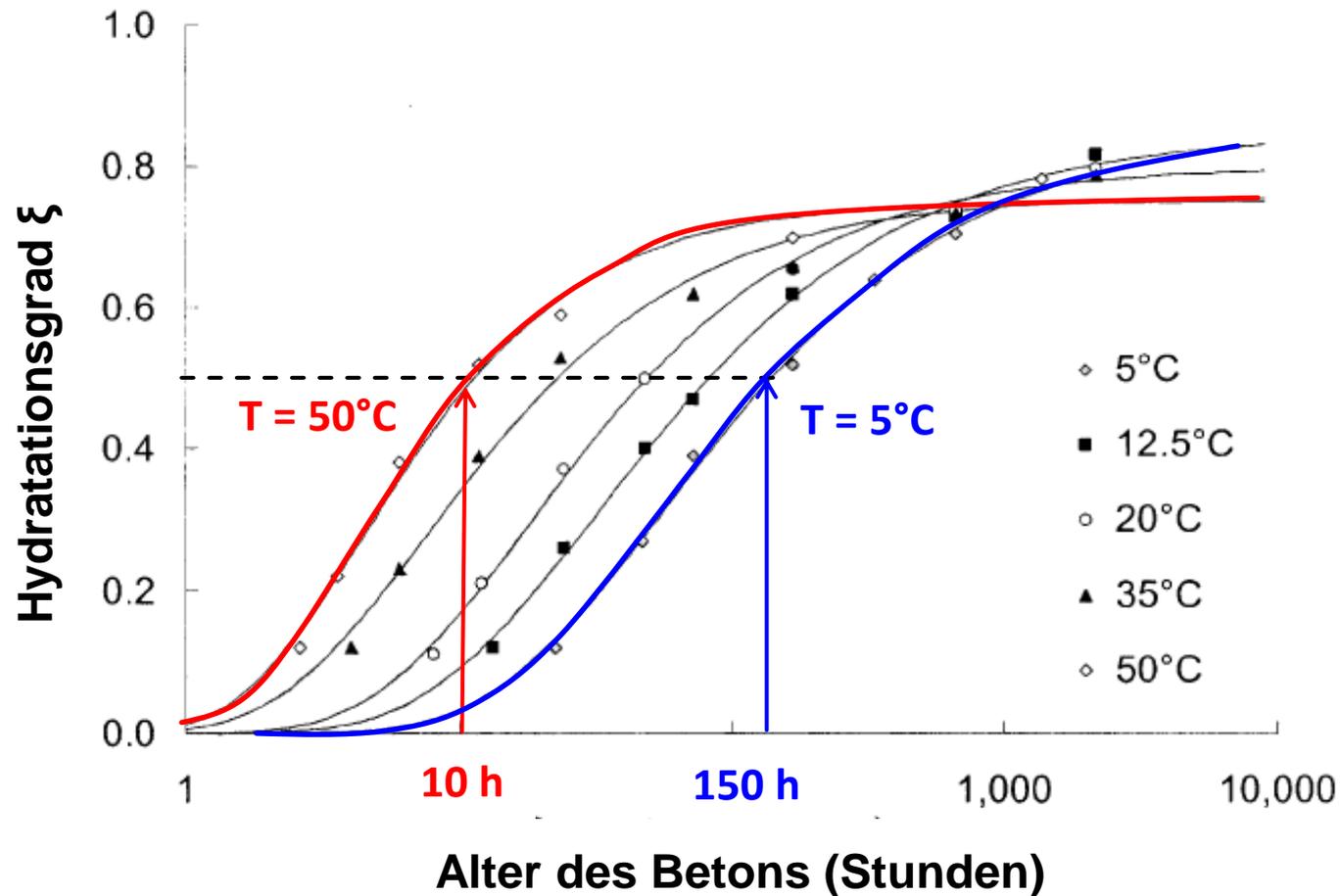
## Vorteile

- **Globale Festigkeitsprüfung**
- **Berührungsfrei**
- **Direkt am Bauwerk (keine Verfälschungen durch Muster)**
  
- Besseres Verständnis für die Frühfestigkeitsentwicklung des jungen Beton
- Detektion von Kältestellen (z.B. Wasser)
- Wirksamkeit von Beschleunigern überprüfbar

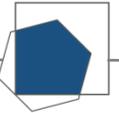
**→ Sicherheit      → Schneller Vortrieb      → Qualität**



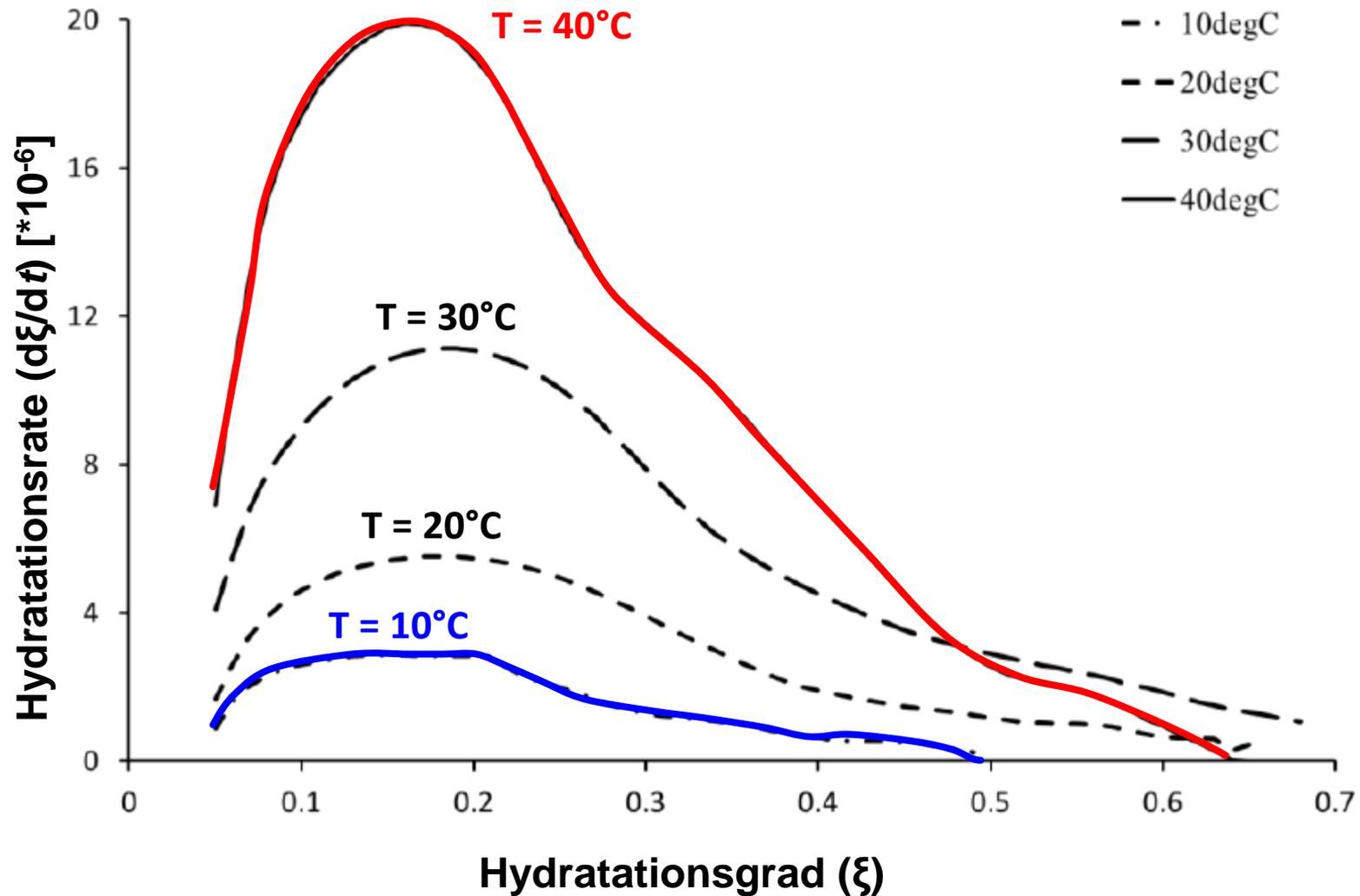
# Temperaturabhängigkeit der Festigkeitsentwicklung



\*Kjellsen & Detwiler (1993)

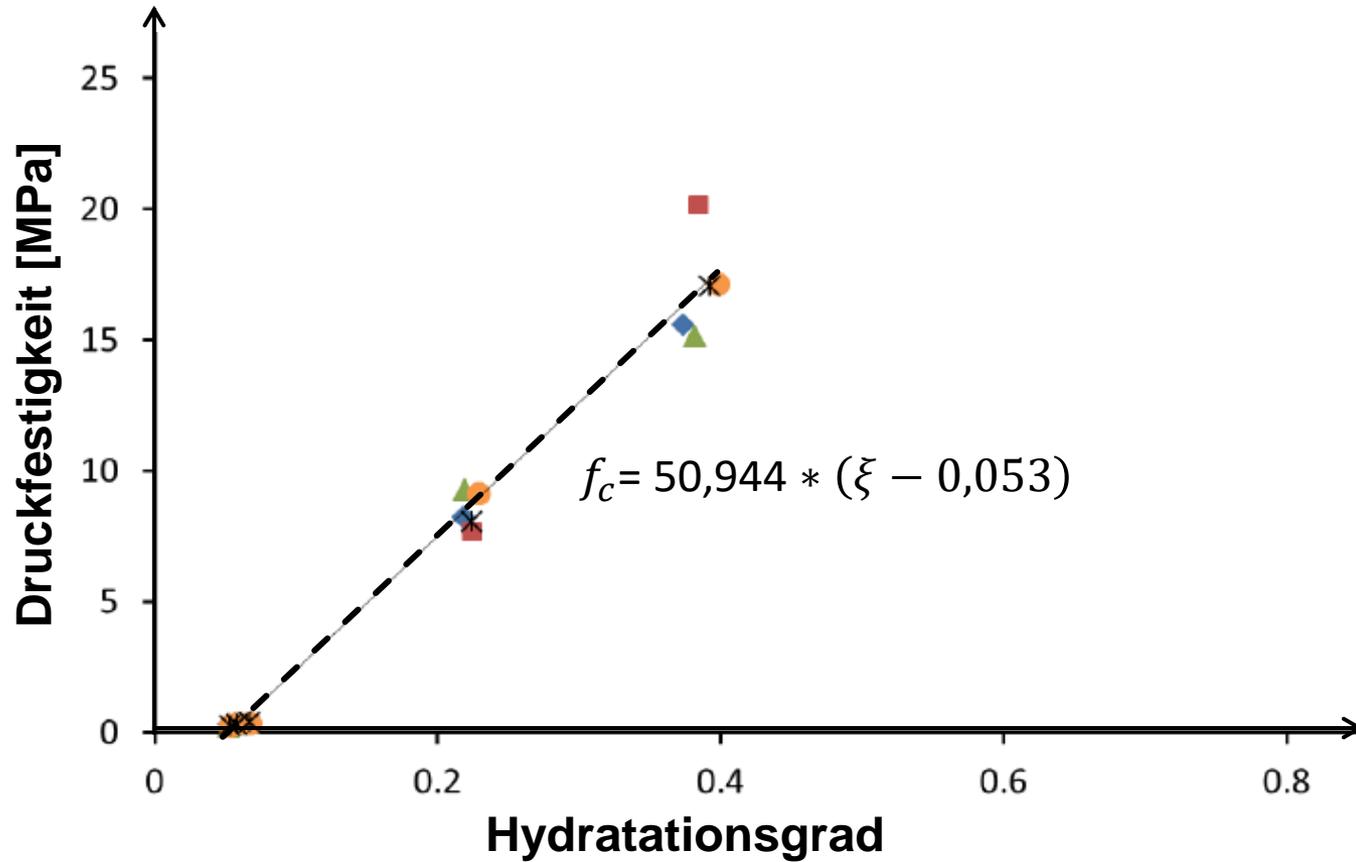


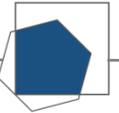
# Temperaturabhängigkeit der Hydratationsrate





# Druckfestigkeit vs. Hydratationsgrad



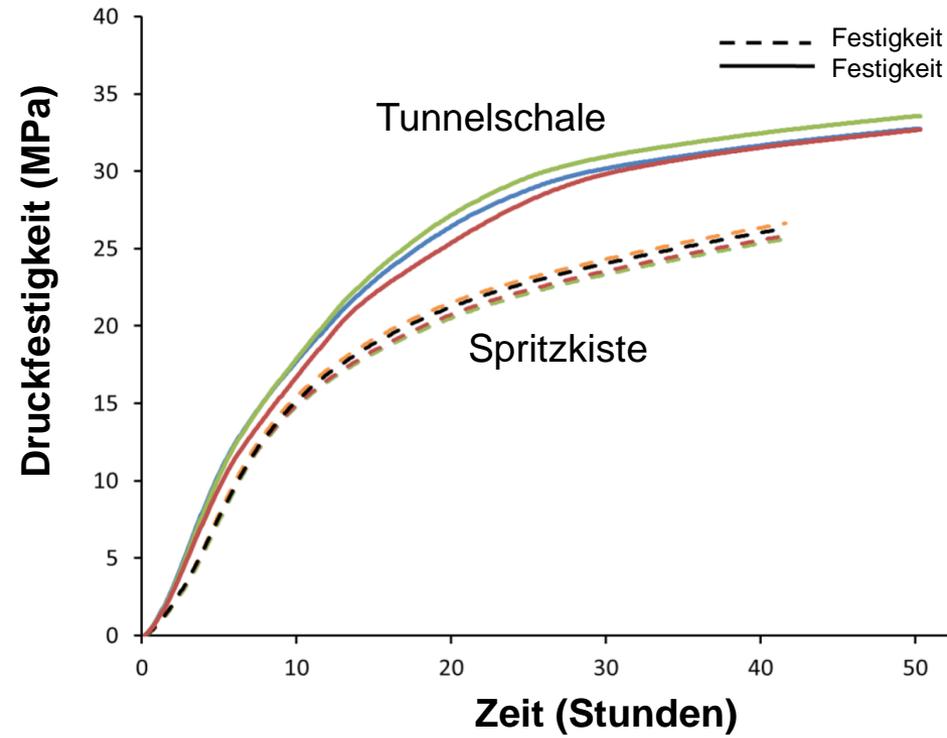
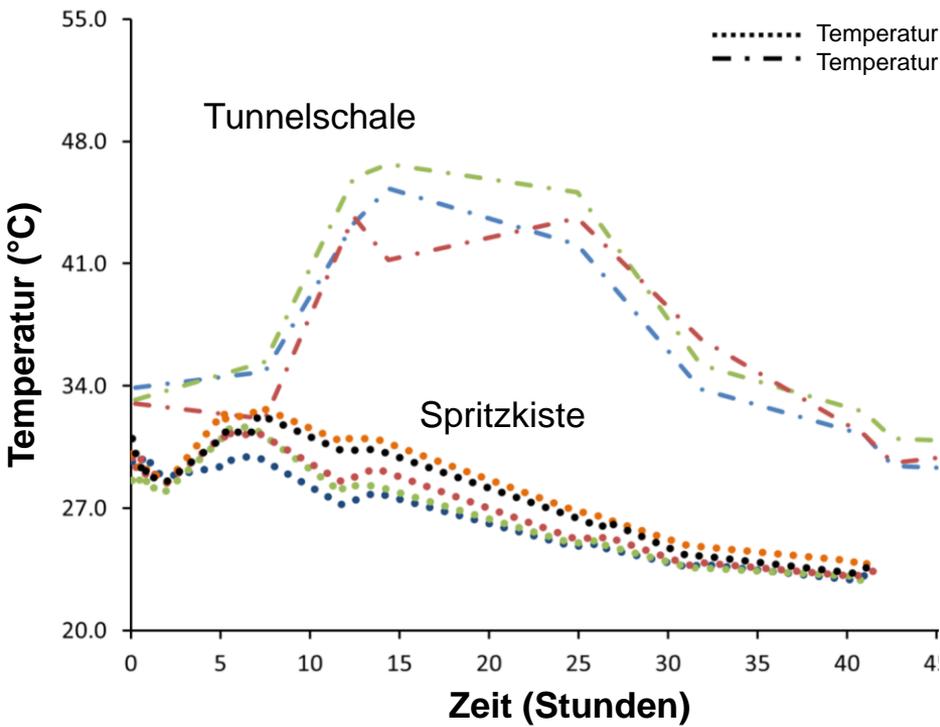


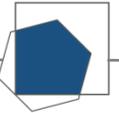
## Ablauf Thermografisches Verfahren\*

- Bestimmung der Hydratationswärmeentwicklung für den verwendeten Beton mit isothermischer Kalorimetrie
  - Kalibrierung der Beziehung Festigkeit zu Hydratationsgrad durch Messungen Vorort
  - Ermittlung der Temperaturentwicklung der Spritzbetonschale durch Thermographie
  - Ermittlung der Festigkeit auf Basis des erfassten Temperaturverlaufs durch Remote-Zugriff zum Server/Software
- \* Patentierter Ansatz (Dr. B. Jones, Inbye Engineering Ltd)

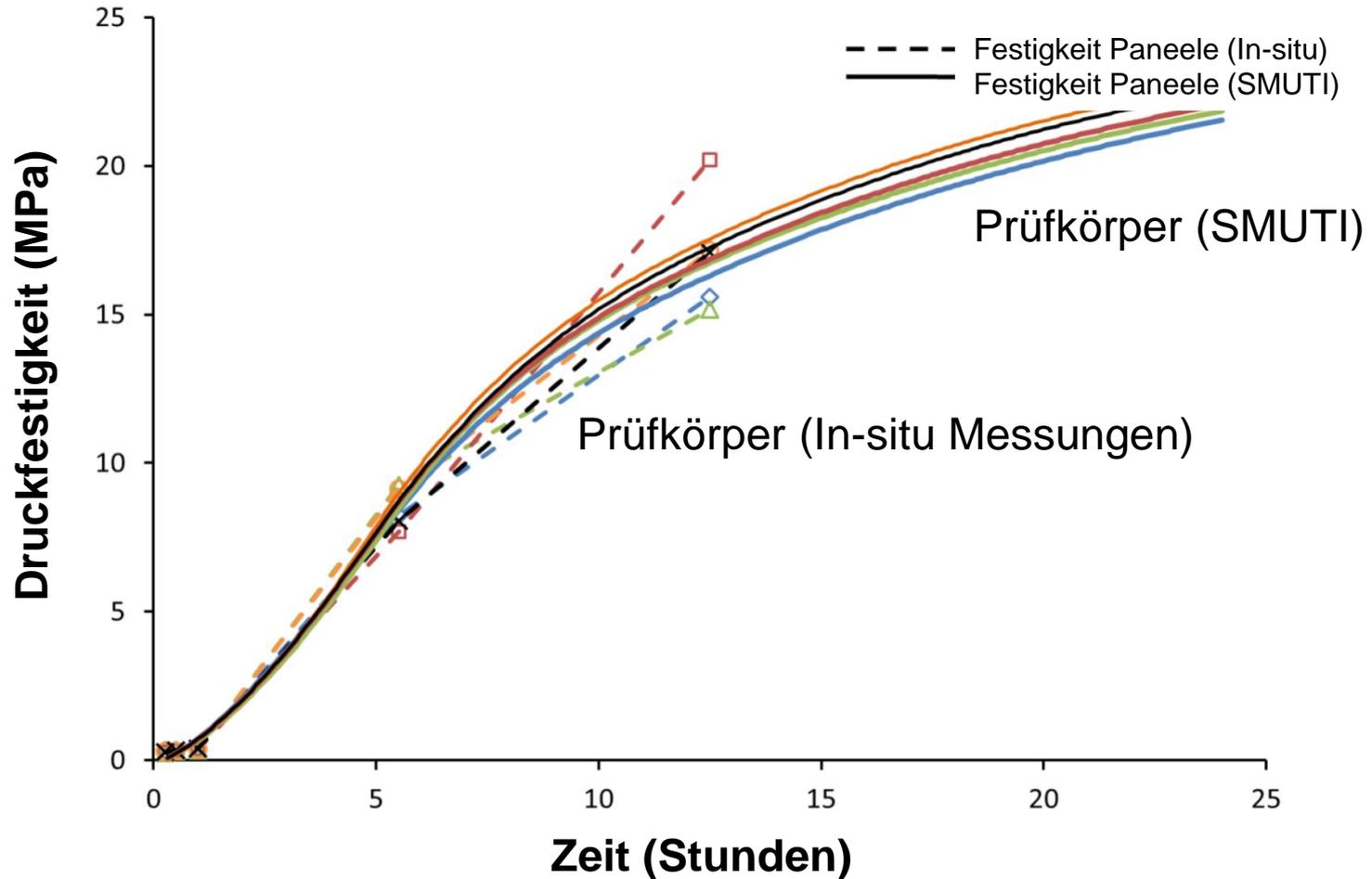


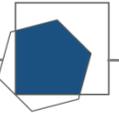
# Temperaturentwicklung → Festigkeit



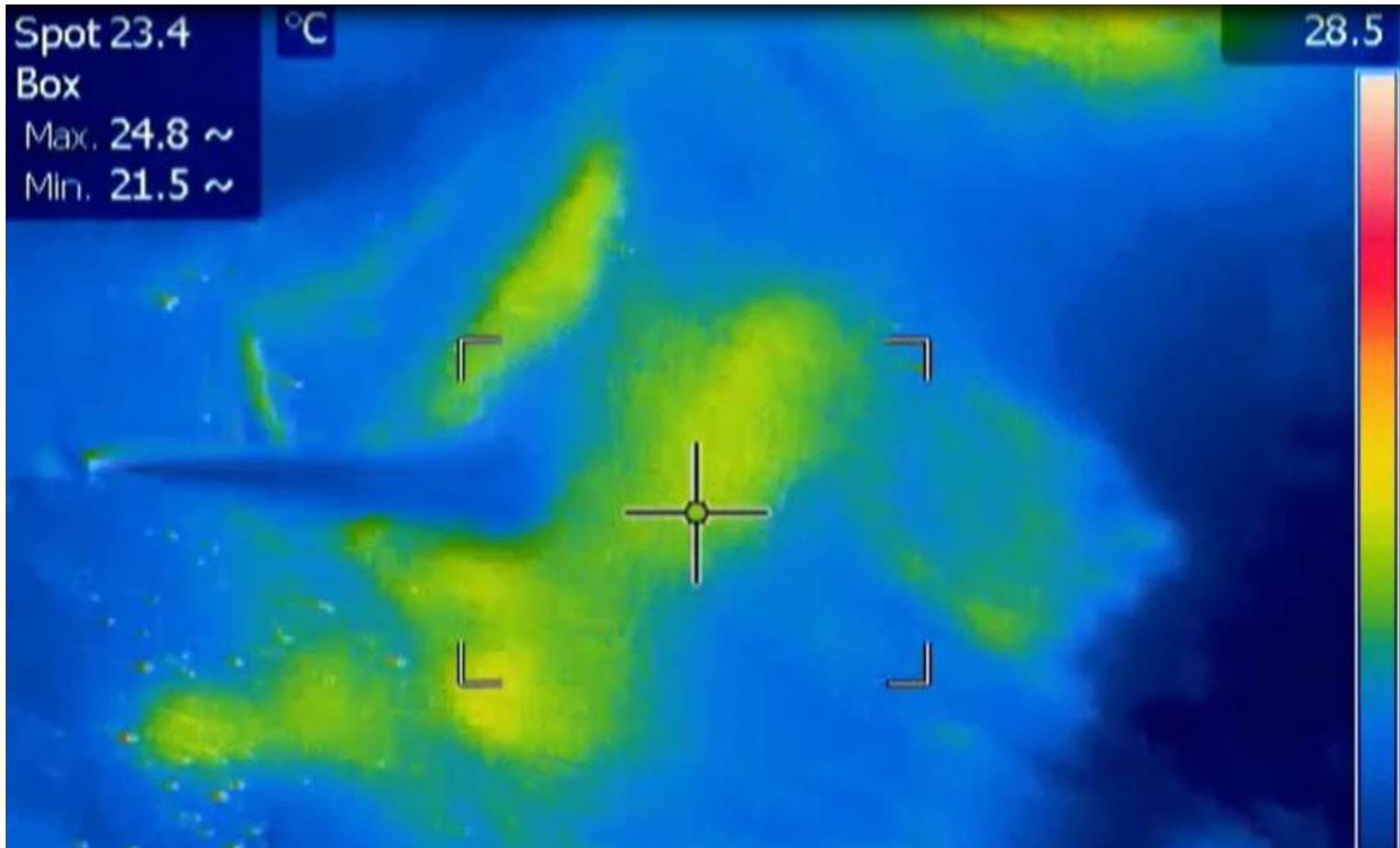


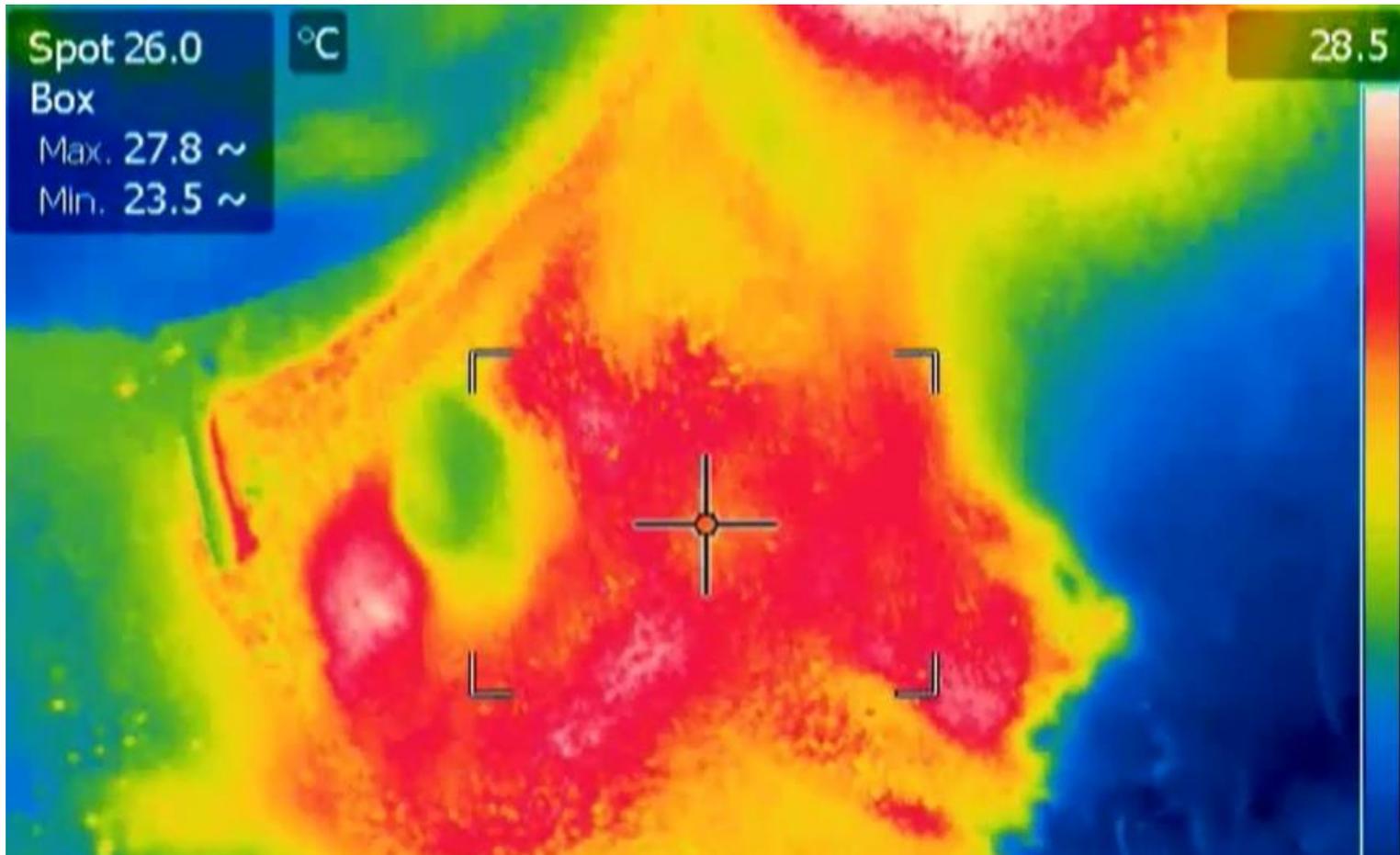
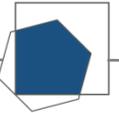
# Vergleich ermittelte Druckfestigkeit mit in-situ Versuchen

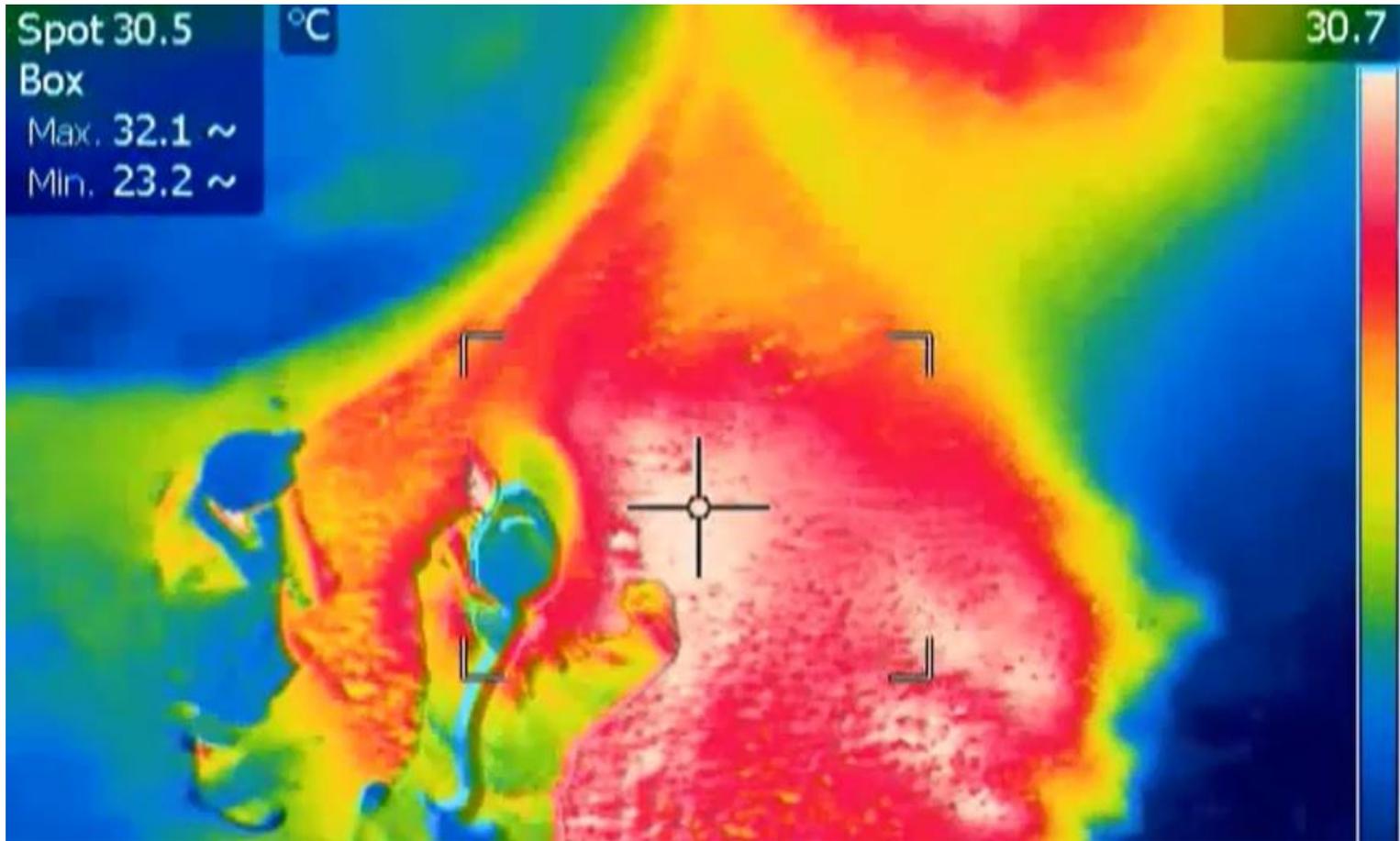


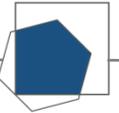


# Fallstudie - Beschleuniger









# Bond Street Station, London (GB)

Ausführung: Inbye Engineering Ltd – Kunde: Costain

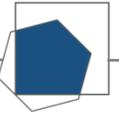




# Bond Street Station, London (GB)

Ausführung: Inbye Engineering Ltd – Kunde: Costain





# Tunnel Oberau (D)

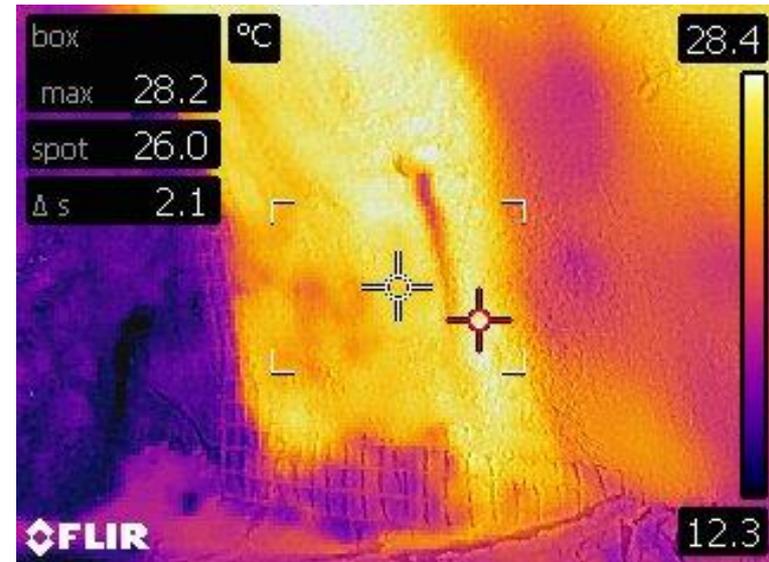
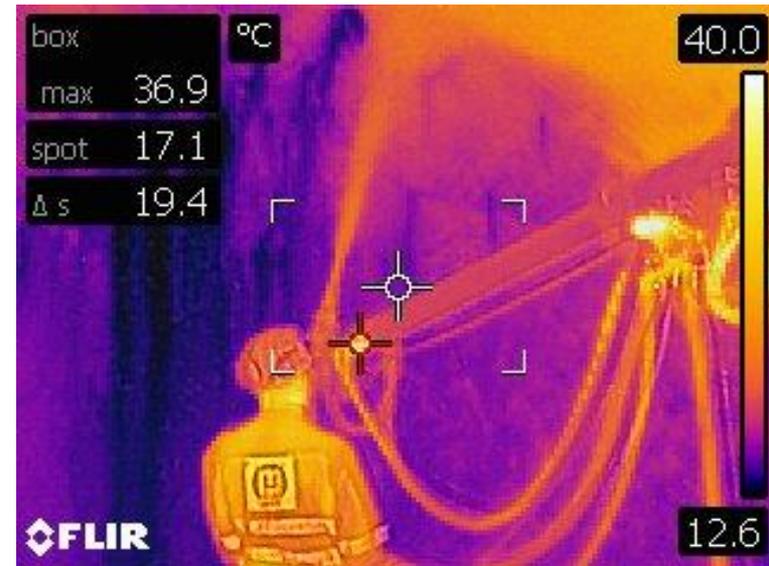
Ausführung: matrices engineering GmbH – Kunde: Marti (ARGE Tunnel Oberau)

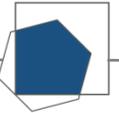




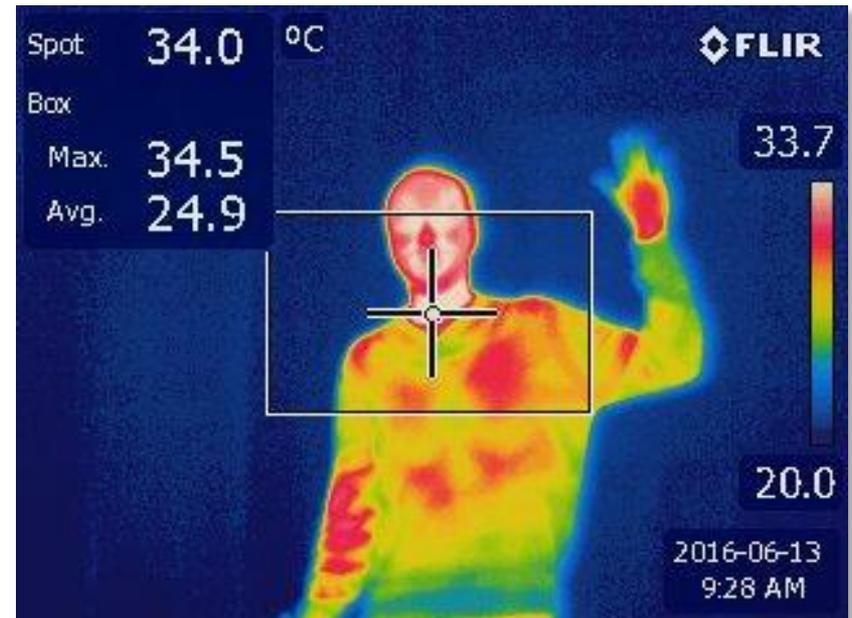
# Tunnel Oberau (D)

Ausführung: matrices engineering GmbH – Kunde: Marti





**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



Dr. Hermann Weiher

[weiher@matrices-engineering.com](mailto:weiher@matrices-engineering.com)

+49 89 890 65 98 -06

matrices engineering GmbH, Nymphenburger Str. 20a, 80335 München