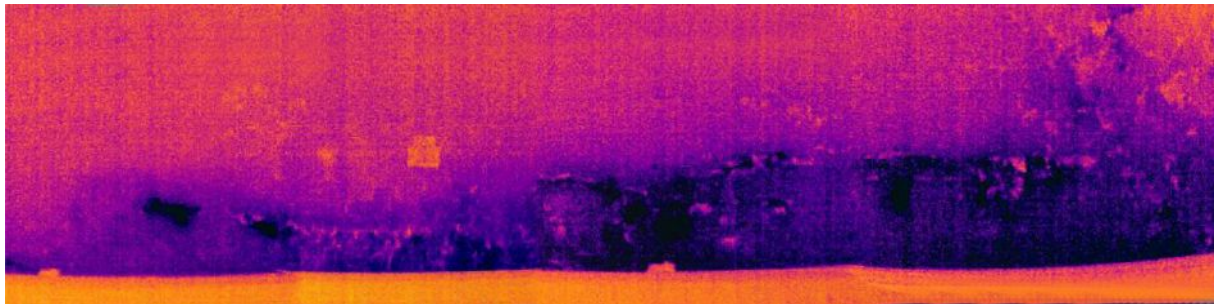




Datum: 10.11.2006

Beispielhafte  
**Thermografische Untersuchung  
von Wänden und Decken  
im Tunnel der U-Bahnlinie 7**  
bei km 110,6 +27 bis +50  
Einfahrt Hpu (Gleis 2)



Auftraggeber: JAS Architekturbüro  
Dipl.-Ing. Architekt  
Jules-Verne-Straße 18  
14089 Berlin

kostenlos für  
Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)  
Anstalt des öffentlichen Rechts  
U-Bahn Anlagen

Dieser Bericht umfasst 17 Seiten mit 15 Fotos, 1 Skizze.

Die Veröffentlichung oder Vervielfältigung des vorliegenden Berichts, auch auszugsweise, bedarf der Genehmigung des Sachverständigen.



## Inhaltsverzeichnis

	beginnend mit Seite
1. Ziel der Untersuchung.....	3
2. Theorie und Versuchsaufbau .....	4
3. Thermografische Aufnahmen und Gegenüberstellung mit Aufnahmen des sichtbaren Lichts .....	7
4. Auswertung und Verifikation.....	14
5. Zusammenfassung.....	16



## 1. Ziel der Untersuchung

Für die Erstellung der Planung zur Sanierung von Schäden an Wänden und Decken der Tunnelbauwerke der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) ist eine genaue Kenntnis der Schadenssituation für die Definition des entsprechenden Sanierungsumfanges von entscheidender Bedeutung.

Erfahrungsgemäß ergeben sich erst während den Bauarbeiten zur Sanierung zusätzliche Erkenntnisse, die Umplanungen während der Bauphase notwendig machen.

Nur bei detaillierter Kenntnis des Schadensumfanges kann in der Planungsphase der für die Sanierung notwendige Kostenrahmen genauer abgeschätzt und der Umplanungsaufwand reduziert werden.

Theoretisch müssten thermografische Untersuchungen mittels einer Infrarot-Wärmebildkamera zusätzliche Erkenntnisse bringen, wenn diese während der Planungsphase eingesetzt wird.

Dies begründet sich in der Hoffnung, dass Feuchtestellen und Hohlstellen mithilfe der Infrarot-Wärmebildkamera sichtbar gemacht werden können.

Ziel dieser Untersuchung ist es, dies zu verifizieren.



## 2. Theorie und Versuchsaufbau

Die in ersten Kapitel geäußerte Hoffnung, dass feuchte Stellen und Hohlstellen mithilfe einer Infrarot-Wärmebildkamera sichtbar gemacht werden können, begründet sich auf folgende theoretische Grundlage:

„Wenn Wasser verdunstet, entsteht Verdunstungskälte.“

Die Theorie geht davon aus, dass es sich bei den Bauteilen Wand und Decke um örtlich begrenzt relativ homogene Bauteile handelt, die sich beim Temperatenausgleich zwischen Innenlufttemperatur und Erdreichtemperatur in sich gleichmäßig verhalten.

Stellen, an denen diese Homogenität gestört ist, zeigen ein auf die Stelle begrenztes unterschiedliches Wärmeverhalten.

- Feuchte Stellen besitzen aufgrund der Verdunstungskälte eine geringere Oberflächentemperatur bezogen auf die Umgebung.
- Hohlstellen besitzen aufgrund der schnelleren Abtrocknung und der damit verbundenen geringeren Verdunstungskälte eine höhere Oberflächentemperatur bezogen auf die Umgebung.
- Einbauteile (Halfenschienen, Kabel, Schilder u.a.) haben aufgrund des vom Beton abweichenden Emissionsgrads eine unterschiedliche Infrarot-Abstrahlung, was von der Wärmebildkamera als unterschiedliche Temperatur dargestellt wird.

Um diese Theorie zu verifizieren, wurde die  
Schadstelle bei km 110,6 +27 bis +50  
(Einfahrt Hpu - Gleis 2) ausgewählt.



Bild 1 (Schadstelle bei km 110,6 +27 bis +50  
(Einfahrt Hpu - Gleis 2) unbehandelt

Wie das Schadbild erkennen lässt, zeigt die Wand  
großflächige, auch alte Durchfeuchtungen  
(Aussinterungen).

Diese Bereiche stellen sich haptisch vor Ort so  
unterschiedlich dar, dass sich Stellen innerhalb des  
geschädigten Bereiches nass anfühlen, während  
andere Stellen offensichtlich trocken sind.

Diese große Schadstelle eignet sich aus dem  
beschriebenen Grund gut, um mit der Infrarot-  
Wärmebildkamera aufgenommen zu werden.



Nach der Theorie müssten sich feuchte Stellen kälter darstellen als Trockene, auch wenn dies im sichtbaren Bereich nicht unterscheidbar ist.

Nach Aufnahme des Bereiches mit der Infrarot-Wärmebildkamera wird an exemplarischen Stellen mit Hilfe eines Feuchtemessgerätes der Feuchtegehalt bestimmt.

- Die Ergebnisse der thermografischen Untersuchung und die Untersuchungen mittels des Feuchtemessgerätes werden nebeneinander gestellt und bewertet. Sollten sich die Ergebnisse decken kann davon ausgegangen werden, dass **feuchte Stellen** mit Hilfe der Infrarot-Wärmebildkamera **als kältere Bereiche** dargestellt werden.

Nach Aufnahme des Bereiches mit der Infrarot-Wärmebildkamera werden durch Abklopfen des Gesamtbereichs die Hohlstellen bestimmt.

- Beim Abklopfen der Schadstellen festgestellte Hohlstellen und die Ergebnisse der thermografischen Untersuchung werden nebeneinander gestellt und bewertet. Sollten sich die Ergebnisse decken kann davon ausgegangen werden, dass **Hohlstellen** mit Hilfe der Infrarot-Wärmebildkamera **als wärmere Bereiche** dargestellt werden.

3. Thermografische Aufnahmen und  
Gegenüberstellung mit Aufnahmen des sichtbaren  
Lichts

Die Wand wurde als Ganzes in Einzelbildern  
thermografiert.

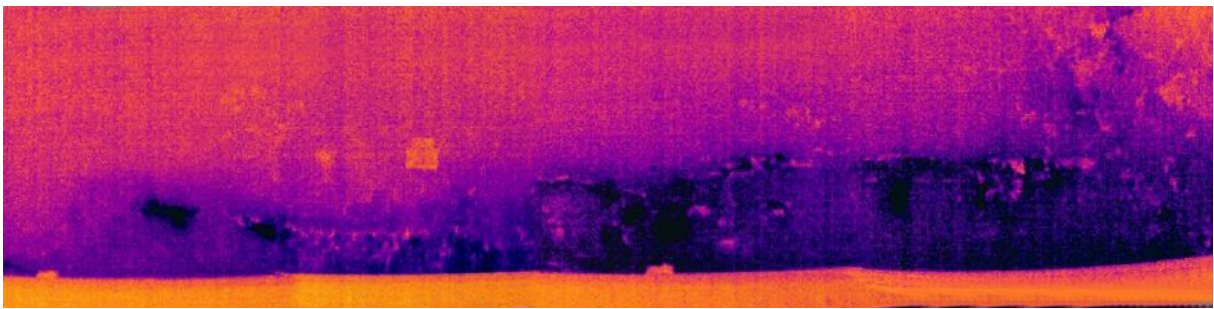


Bild 2 Schadstelle bei km 110,6 +27 bis +50  
als aus Einzelbilder zusammengesetztes Thermografiebild

Deutlich sind kältere Bereiche von wärmeren  
Bereichen zu unterscheiden.  
Hierbei wurden thermografisch ermittelte  
Temperaturunterschiede auf der Oberfläche von  
ca. 1,5 K bis 2 K (23,4°C bis 21,6°C) festgestellt.

Im Nachfolgenden werden die thermografischen  
Einzelbilder den Aufnahmen des sichtbaren Bereiches  
(Fotografie) gegenübergestellt.

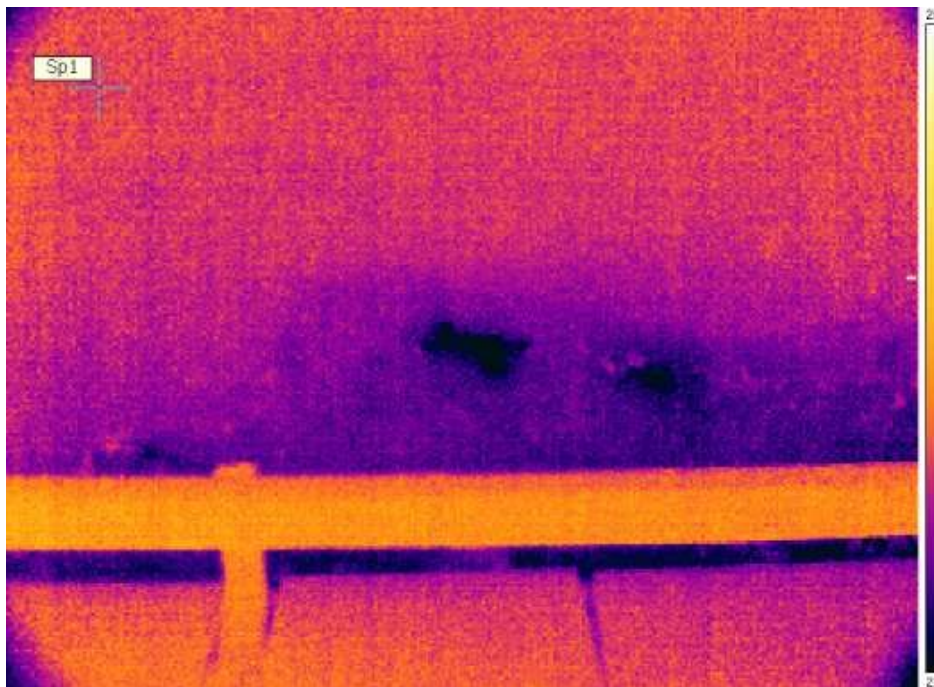


Bild 3 Teilbereich Schadstelle als Thermografie  
Der dunklere (blaue) Bereich zeigt die kälteren Stellen.  
Deutlich sind zwei besonders kalte Stelle zu sehen.  
Es ist anzunehmen, dass diese Stellen von extremer Nässe herrühren.



Bild 4 Teilbereich Schadstelle als Fotografie

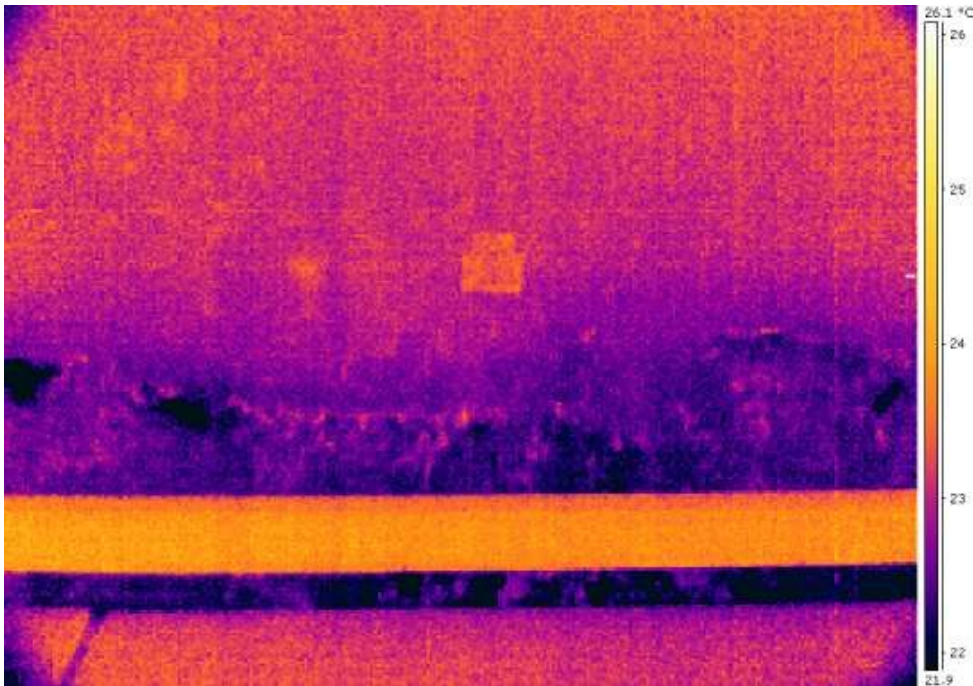


Bild 5 Teilbereich Schadstelle als Thermografie  
Der helle Fleck in der Mitte stellt die beiden Schilder dar.  
Links davon sind hellere (wärmere) Stellen zu erkennen, diese  
könnten auf Hohlstellen hindeuten.



Bild 6 Teilbereich Schadstelle als Fotografie

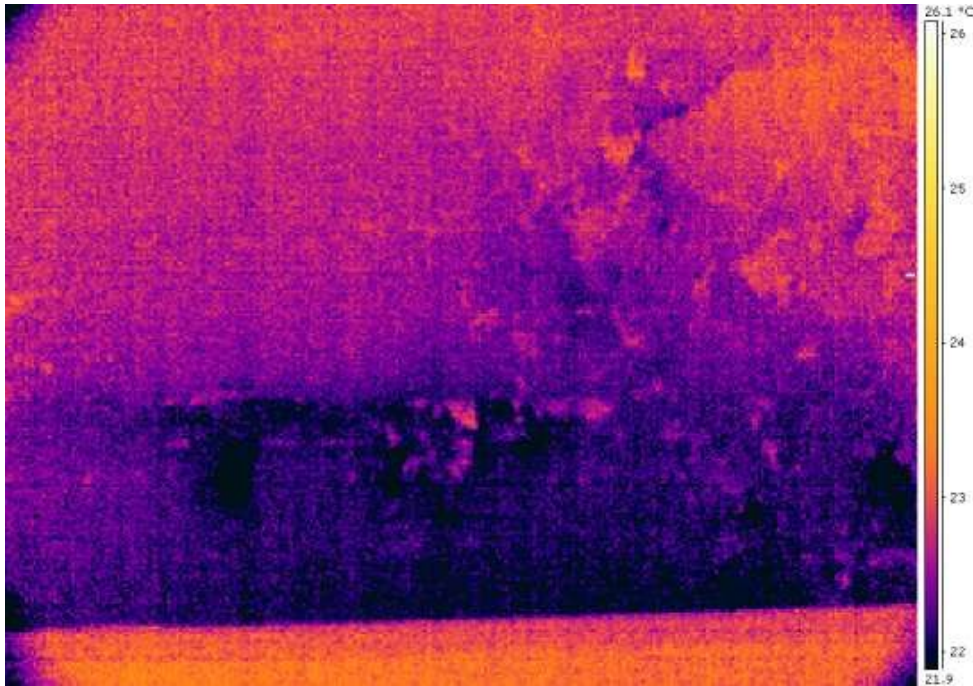


Bild 7 Teilbereich Schadstelle als Thermografie  
Neben dem kalten Bereich in der Mitte des Bildes sind rechts oben großflächig wärmere Bereiche zu erkennen.



Bild 8 Teilbereich Schadstelle als Fotografie

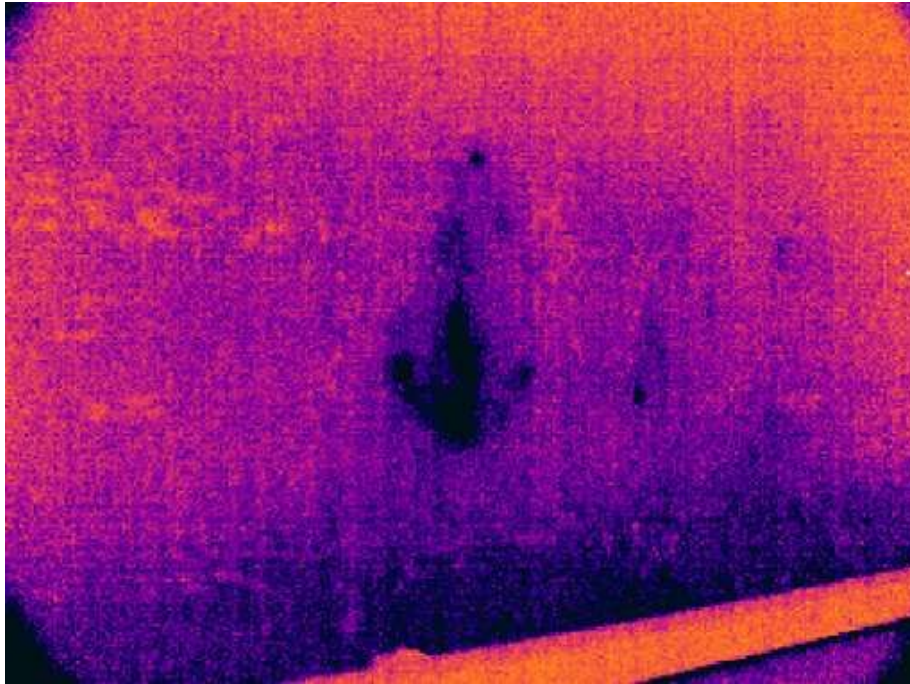


Bild 9 Teilbereich Schadstelle als Thermografie  
In einem insgesamt etwas kälteren Bereich befindet sich ein tropfenförmiger, besonders kalter Bereich.



Bild 10 Teilbereich Schadstelle als Fotografie

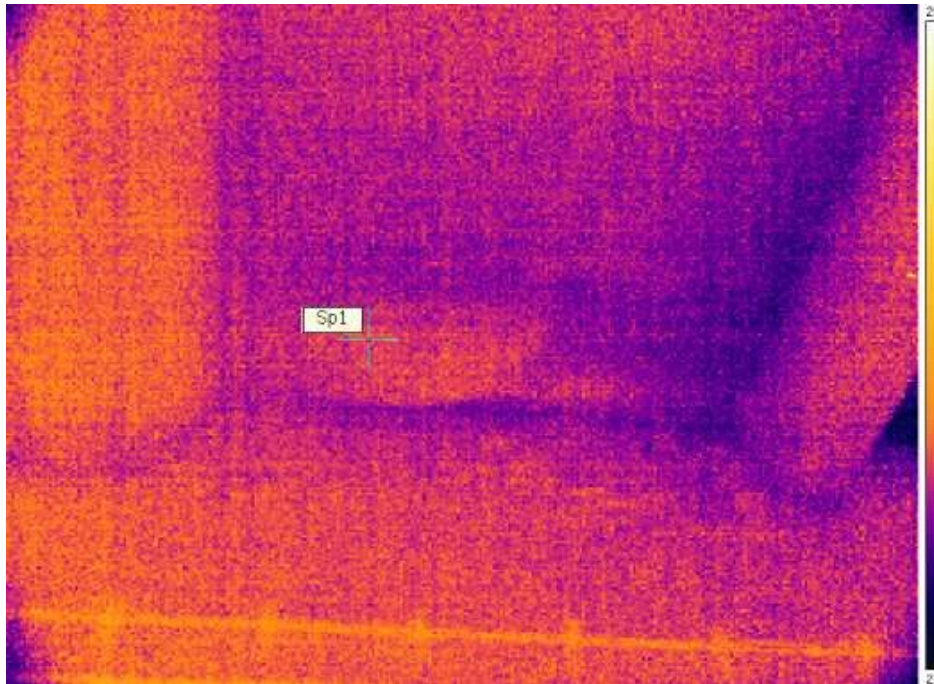


Bild 11 Teilbereich Schadstelle als Thermografie  
Im Deckenbereich ist deutlich eine wärmere Stelle zu erkennen.  
Der blaue Bereich in der Nähe des Unterzuges lässt sich aus  
unterschiedlicher Geometrie und Kombination der Bauteile  
erklären.



Bild 12 Teilbereich Schadstelle als Fotografie

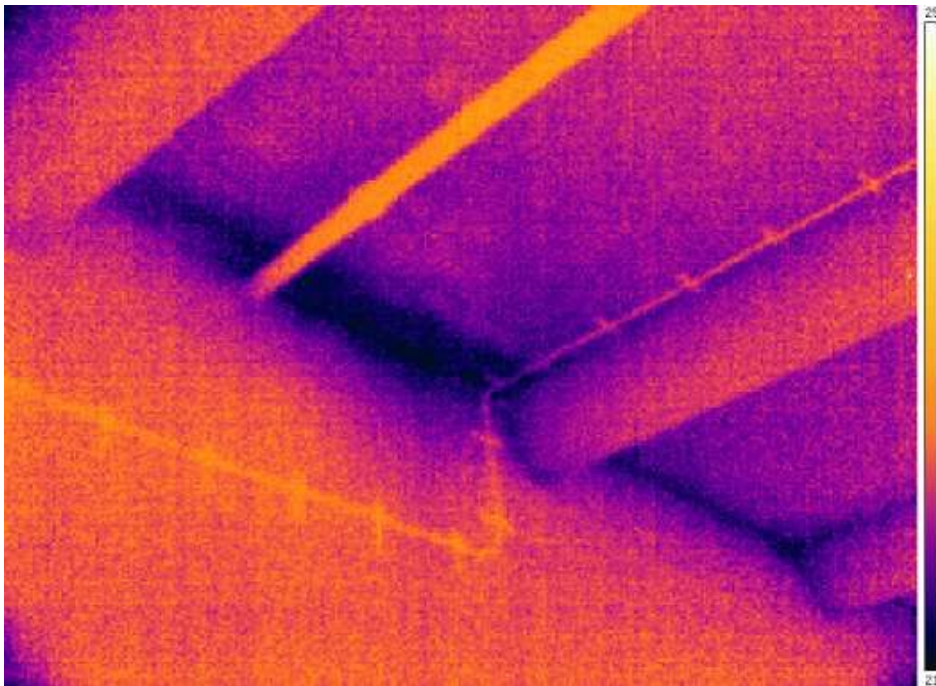


Bild 13 Teilbereich Schadstelle als Thermografie  
Der stark dunkle Bereich lässt auf eine Durchfeuchtung schließen. Die hellen Striche stellen Abwasserleitung und Kabel dar.



Bild 14 Teilbereich Schadstelle als Fotografie



#### 4. Auswertung und Verifikation

Durch Abklopfen konnte bestätigt werden, dass es sich bei den beschriebenen wärmeren Stellen tatsächlich um Hohlstellen handelt.

Um die Vermutung zu verifizieren, dass sich feuchte Stellen je kälter darstellen, je feuchter sie sind, wurden folgende Messpunkte definiert.

An diesen Messpunkten wurden jeweils zwei nebeneinander liegende ca. 10 cm tiefe Bohrungen in einem Abstand von 10 cm eingebracht.

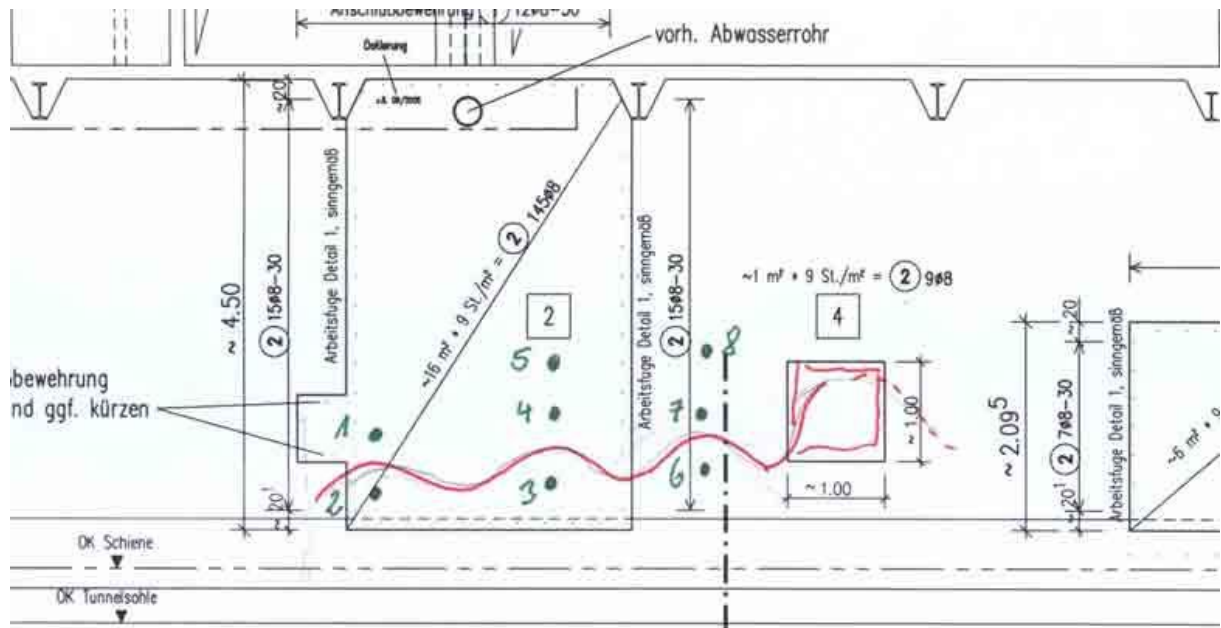
Mithilfe des Messgerätes GANN Hydromette M 4050 und angeschlossenen Elektroden M6 mit isoliertem Schaft je Bohrung wurde nach dem Widerstandsmessverfahren in ca. 10 cm jeweils eine Messung vorgenommen (Code-Tabelle 383 Beton B15).

Die Messergebnisse liefern Werte Gewichtsprozent von Wasser in Beton (Gew.%), wobei folgende Richtwerte gelten können:

normal	1,1-1,3 % (Ausgleichsfeuchte)
feucht	1,6-2,2 %
nass	>2,6 %

Um den Bezug zu den Farbwerten der thermografischen Ausnahmen herzustellen, wurde versuchsweise eine analoge farbliche Belegung der Messwerte gemäß folgendem Muster vorgenommen:

<b>normal</b>	<b>1,1-1,5 %</b>
<b>feucht</b>	<b>1,6-2,5 %</b>
<b>nass</b>	<b>&gt;2,6 %</b>



Skizze mit Eintragung der signifikanten Kalt-Warm-Grenze (rot) und den Messpunkten (je zwei Bohrungen) Nr. 1 bis 8

Es ergab sich folgendes Bild der Messergebnisse:

	<b>5</b>	<b>1,3%</b>	<b>8</b>	<b>1,1%</b>
<b>1</b>	<b>1,5%</b>	<b>4</b>	<b>2,2%</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>&gt;2,6%</b>	<b>3</b>	<b>&gt;2,6%</b>	<b>6</b>

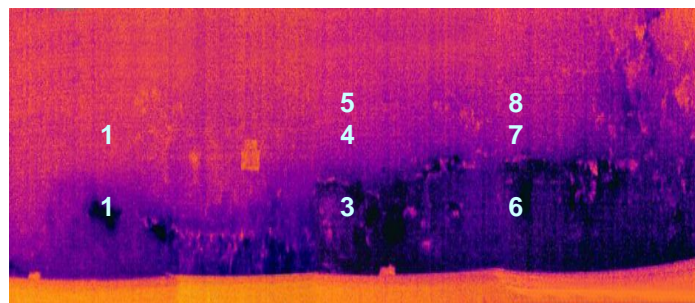


Bild 15 (seitlich gestaucht)  
 Stauchung wurde vorgenommen, um Vergleichbarkeit mit der Skizze herzustellen

Der einzelne, abweichend erhöhte Wert (Nr. 4 - 2,2%) kann ursächlich aus Verbindung mit elektrischer Messmethode und naher Bewehrung resultieren. Um Fehler auszuschließen wurden die nahen Ersatzpunkte Nr.5 und Nr. 8 zusätzlich gewählt.



Grundsätzlich kann gesagt werden, dass sich die Ergebnisse der Messung mit den Farben des entsprechendem Infrarot-Wärmebildes decken.

## 5. Zusammenfassung

Das vorliegende praktische Untersuchungsergebnis bestätigt die formulierte theoretische Erwartung.

- Bei thermografischen Aufnahmen unter ähnlichen, wie geschilderten Rahmenbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass **feuchte Stellen** mit Hilfe der Infrarot-Wärmebildkamera **als kältere Bereiche** dargestellt werden.
- Bei thermografischen Aufnahmen unter ähnlichen, wie geschilderten Rahmenbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass **Hohlstellen** mit Hilfe der Infrarot-Wärmebildkamera **als wärmere Bereiche** dargestellt werden.

Hierbei ist zu beachten, dass

- . jede thermografische Untersuchung relativ ist, das heißt, dass nur Vergleichswerte wie „wärmer“ oder „kälter“ zur Beurteilung geliefert werden.
- . eine unbewertete Übernahme der angezeigten Werte als wahre Oberflächentemperaturwerte unzulässig ist.
- . unterschiedliche Materialien eventuell unterschiedliche Emissionsgrade habe, was bedeutet, dass nur Werte gleicher Materialien verglichen werden können.



Wenn die vorgenannten Hinweise beachtet werden,  
ist die thermografische Untersuchung der Wände und  
Decken in den Tunnelbauwerken eine wertvolle  
zusätzliche Informationsquelle, um zu helfen,

- . Schäden zu lokalisieren und
- . den Schädigungsgrad zum Zeitpunkt der  
Untersuchung besser bestimmen zu können.

Die thermografische Untersuchung der Wände und  
Decken in den Tunnelbauwerken ist ein wertvolles  
Hilfsmittel während der Planungsphase.

Dipl.-Ing. Architekt Jörg-Andreas Sausel