



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Schriftenreihe
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden
Heft 43



Manfred Curbach, Heinz Opitz,
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

9. SYMPOSIUM EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN VON BAUKONSTRUKTIONEN



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Manfred Curbach, Heinz Opitz,
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

**9. SYMPOSIUM
EXPERIMENTELLE
UNTERSUCHUNGEN
VON BAUKONSTRUKTIONEN**

Schriftenreihe
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden
Heft 43

Herausgeber der Reihe

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
apl. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Graf
Prof. Dr.-Ing. Peer Haller
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske
Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine
Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller
Prof. Dr.-Ing. Bernd W. Zastrau

Institut für Massivbau
Technische Universität Dresden

D - 01062 Dresden

Tel.: 49 351 / 4 63-3 65 68
Fax: 49 351 / 4 63-3 72 89

Redaktion: Silke Scheerer
Korrekturen: Angela Heller
Gestaltung: Ulrich van Stipriaan
Titelfoto: Sabine Wellner, bearbeitet von Sven Hofmann

Diese Publikation gibt es auch Open Access auf www.qucosa.de.

Redaktionsschluss: 31. August 2017

Druck: addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz
Veröffentlicht: Dresden, 21. September 2017

ISSN 1613-6934

Inhalt

Vorwort <i>Silke Scheerer, Torsten Hampel</i>	5
Willy Gehler als Protagonist der experimentellen Bauwerksuntersuchung <i>Oliver Steinbock</i>	7
Das Potenzial thermo-mechanischer Messungen für die Werkstoffcharakterisierung <i>Volker Wetzke, Franziska Pannasch</i>	23
Detektierung von Betonschäden an schwer zugänglichen Bauwerken mittels Thermografie <i>Helena Eisenkrein-Kreusch, Florian Bavendiek</i>	39
Messtechnische Bewertung des Zustandes des spannungsrissskorrosionsgefährdeten Spannstahles des U-Bahnhofs Poccistraße in München <i>Hermann Weiher, Katrin Runtemund, Christian Glomp</i>	49
Baubegleitende Zustandsüberwachung von Brücken <i>Max Käding, Marc Wenner, Steffen Marx</i>	63
Messtechnische und teilweise fotooptische Erfassung von Formänderungen an ertüchtigtem und nicht ertüchtigtem Bruchsteinmauerwerk unter Labor- und Praxisbedingungen <i>Sabine Koch, Axel Dominik, Jessica Klinkner, Clara-Maria Nocker, Domenika Baroness von Krüedener, Pascale Dominik</i>	75
Untersuchungen im Rahmen der geplanten Ertüchtigung zweier Pfeiler des St.-Marien-Doms Zwickau <i>Michael Kühn, Peter Schöps</i>	93
Bewertung der Restlebensdauer von Spannbetonbrücken durch Koppelfugenmonitoring an Praxisbeispielen <i>Dirk Sperling, Hauke Schmidt</i>	113
Ludwig-Erhard-Anlage Frankfurt a. M. – Belastungsversuche zum Nachweis der Tragfähigkeit historischer Rippendecken <i>Peter Braun, Gunter Hahn, Gerd Kappahn, Edyta Wünsch</i>	123
Durchführung von Belastungsversuchen an einbetonierten Ankerschienen in Spannbetonbindern <i>Marco Tschötschel, Bente Ebsen</i>	135
Der Löwenhof in Dortmund – Experimentelle Statik zum Erhalt historischer Eisenbetondecken <i>Martin Gersiek, Marc Gutermann, Friedhelm Löschmann, Marcus Patrias</i>	143

Sportstätten mit weitgespannten Hallendächern – Sicherstellung der Tragfähigkeit unter Schneelast durch bauwerksdiagnostische Untersuchungen, Nachrechnung, Belastungsuntersuchung und Monitoring <i>Robert Herold, Elke Reuschel, Peter Bauer</i>	157
Belastungsversuche an einer historischen Eisenbahn-Gewölbebrücke <i>Gregor Schacht, Jens Piehler, Erik Meichsner, Steffen Marx</i>	169
Erweiterte Strukturabbildung von Brücken mit adaptiven mathematischen Modellen zur Lösung aktueller noch ungelöster Probleme <i>Klaus Brandes, Petra Kubowitz, Werner Daum, Detlef Hofmann, Frank Basedau</i>	183
Messtechnische Bewertung der dynamischen Tragfähigkeitsreserven eines Probenbühnenbodens der Semperoper Dresden <i>Tino Kühn, Marcus Hering, Heiko Wachtel, Sabine Wellner</i>	189
Untersuchungen des Otto-Mohr-Laboratoriums an historischer Bausubstanz in und um Dresden <i>Sabine Wellner, Silke Scheerer, Torsten Hampel</i>	207
Übersicht KID-Hefte	215

Detektierung von Betonschäden an schwer zugänglichen Bauwerken mittels Thermografie

Helena Eisenkrein-Kreksch¹, Florian Bavendiek²

Zusammenfassung: An schwer zugänglichen Bauwerken ist eine Mängel- bzw. Schadensfeststellung an den Betonbauteilen nur unter großem Aufwand möglich. Zu diesen Bauwerken zählen z. B. Hochhäuser mit Betonfassade, Kühltürme und hohe Industriebauwerke aus Beton sowie abwassergefüllte Klärbecken. Um eine verlässliche Aussage über den Umfang und die Menge der Betonschäden infolge z. B. Carbonatisierung des Betons und damit verbundener Bewehrungskorrosion zu treffen, bedarf es häufig einer handnahen Untersuchung des Bauteils, die eine Hammer-Tast-Methode und somit eine örtliche Detektierung der Schadstellen erlaubt. Dies ist jedoch aufgrund der schweren Zugänglichkeit nicht immer möglich, auch wenn ein begrenzter Zugang, wie durch Befahranlagen oder Hubbühnen, geschaffen wird.

Dieser Beitrag zeigt eine unterstützende Methode, die am IBOS zur Anwendung kommt, um eine Untersuchung und Mengenbestimmung der Schadstellen an schwer zugänglichen Bauteilen durchzuführen.

Summary: Detection of concrete damage on hard-to-reach structures using thermography. The assessment of defects and damages on concrete parts of buildings with difficult access is only possible by doing great expenses. Important members of this group of constructions are e.g. skyscrapers with concrete facades, cooling towers, high industrial concrete buildings and clarification tanks. However, concrete damages e.g. caused by carbonation and the subsequently following corrosion of the reinforcement needs to be investigated closely by using the hammer-test-method to localize damaged spots. Additionally, reliable statements of kind and dimension of concrete defects demand an extensive investigation. Unfortunately, the previously mentioned difficult access limits the investigation area even when special lifts or lifting platforms were used.

This paper describes an assistant method, which is used by the IBOS to investigate the dimensions of damaged areas of building parts with difficult access.

1 Einleitung

Die Detektierung von Schadstellen im Beton, infolge von Bewehrungskorrosion oder ähnlichen betonzerstörenden Ursachen, findet im Allgemeinen handnah mit Hilfe der Hammer-Tast-Methode statt. Für diese Prüfung ist es notwendig, dass ein Bauwerksprüfer an alle Schadstellen herantreten kann, um diese zu untersuchen und zu katalogisieren. Grundsätzlich kann aber

¹ Dipl.-Ing., IBOS GmbH, Institut für Betontechnologie und Oberflächenschutzsysteme, Bochum

² M. Sc., IBOS GmbH, Institut für Betontechnologie und Oberflächenschutzsysteme, Bochum

aufgrund der Bauwerksgeometrie nicht jede Stelle am Bauwerk erreicht werden, so dass eine stichprobenartige Untersuchung der Oberfläche stattfindet.

Aufgrund der stichprobenartigen Untersuchung kann daher der Schadensumfang, gerade an schwer zugänglichen Betonbauwerken, nur geschätzt oder hochgerechnet werden, wodurch für den Bauherren weitere Unsicherheiten bei den Kosten der möglichen Instandsetzungsarbeiten entstehen.

Die Detektierung von Betonschäden an schwer zugänglichen Bauwerken mittels Thermografie dient der Unterstützung der Ermittlung des IST-Zustandes und als flächendeckendes Hilfsmittel bei der Mengenermittlung der Schadstellen.

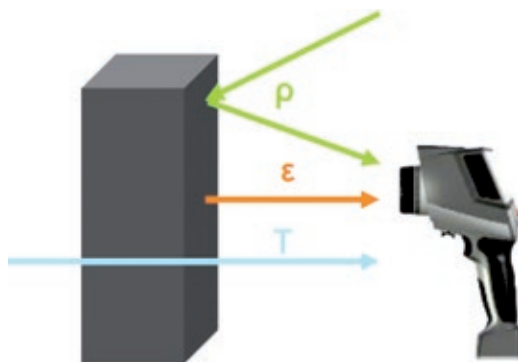
2 Grundlagen der Thermografie

2.1 Allgemeines

Jede Bauteiloberfläche sendet infrarote Strahlung (IR-Strahlung) aus, die vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden kann. Im elektromagnetischen Spektrum befindet sich die IR-Strahlung vor der Terahertzstrahlung und hinter den Bereichen des sichtbaren Lichtes. Der Bereich der IR-Strahlung setzt sich aus dem nahen Infrarot (NIR), dem mittleren Infrarot (MIR) und dem fernen Infrarot (FIR) zusammen [1].

Zwischen der Intensität der ausgesandten IR-Strahlung und der Temperatur der Bauteiloberfläche besteht ein direkter Zusammenhang. Eine Infrarotkamera (umgangssprachlich Wärmebildkamera) misst die empfangene IR-Strahlung und berechnet, unter Berücksichtigung von objektspezifischen Randbedingungen, die jeweilige Temperatur der untersuchten Oberfläche.

Unter Berücksichtigung des Kirchhoffschen Strahlungsgesetzes erfassen IR-Kameras den emittierten Strahlungsgrad ϵ der Bauteiloberfläche, den Reflexionsgrad ρ von Umgebungstrahlung und den Transmissionsgrad τ von Strahlung durch ein Messobjekt (Bild 1). Die Summe aus den drei Bestandteilen der IR-Strahlung wird stets als 1 (= 100 %) angegeben.



Betonbauteiloberflächen sind opake Messobjekte, wodurch sich das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz noch weiter vereinfachen lässt zu der Leistungsbilanz, [2]:

$$\epsilon_M + \rho_M = 1$$

Der Emissionsgrad ϵ ist ein Maß für die Fähigkeit einer Oberfläche, IR-Strahlung auszusenden, und hängt von der Oberflächenbeschaffenheit, dem Material und von der Temperatur des Objektes ab.

Bild 1: Darstellung des Emissions-Transmissions-Reflexionsverlaufes
Grafik: [3]

Der maximale Emissionsgrad $\epsilon = 1$ (Idealzustand) tritt in der Realität nie auf, da jeder reale Körper Strahlung zusätzlich reflektiert. Um den Einfluss des Reflexionsgrades ρ der Umgebungstrahlung zu minimieren, ist es nötig, verschiedene Eigenschaften der Oberfläche vor der Messung zu untersuchen.

Die Randbedingungen, wie etwa die Berücksichtigung des Emissionsgrades der Bauteiloberfläche und die Kompensation der Reflexionstemperatur, werden dazu direkt am Bauteil ermittelt und als manuell einstellbare Größe in die Kamera eingegeben. Als Anhaltswerte für den Emissionsgrad von Betonoberflächen finden sich in der Fachliteratur Angaben von 0,90 bis 0,95, wobei dem die In-situ-Ermittlung des Emissionsgrades stets vorzuziehen ist. Im für Bauwerke normalen Temperaturbereich zwischen -20 °C und 70 °C weisen viele Baustoffe und insbesondere Betone einen nahezu konstanten Emissionsgrad für langwellige Wärmestrahlung auf.

Bei der Außenthermografie spielt die Messumgebung eine essentielle Rolle. Neben der Umgebungstemperatur gibt es noch weitere mögliche Störquellen, die eine Messung beeinflussen. Bei wechselnder Sonneneinstrahlung variiert auch gleichzeitig der Reflexionsgrad der Oberfläche und muss entsprechend mehrfach neu eingestellt werden. Ferner heizen sich Bauteiloberflächen in der Sonne durch Absorption der Sonnenstrahlung auf und je nach Dauer der Bestrahlung und Dicke des Bauteils beeinflusst dies die Oberflächentemperatur auch noch Stunden nach dem Energieeintrag.

2.2 Aktive Thermografie

Bei der aktiven Thermografie [4] wird die Oberfläche bewusst einem zeitlichen und/oder räumlich veränderlichen Wärmefluss ausgesetzt, um die Wärmeströme und Wärmequellen sowohl an der Oberfläche als auch im Inneren des Bauteils zu beeinflussen. Aufgrund unterschiedlicher Erwärmungen bzw. Abkühlungen sind dadurch Fehlstellen und Fremdkörper leichter zu detektieren, wenn diese eine geringere Wärmeeindringzahl e als das umgebende Material besitzen.

2.3 Passive Thermografie

Bei der passiven Thermografie werden die Wärmeströme und Wärmequellen an der Oberfläche und im Bauteilinneren nur durch die Funktion des Bauteils und seines natürlichen Umfeldes bestimmt. Der Großteil der gemeinen Bauthermografie basiert auf diesem Verfahren, z. B. Detektion von Wärmebrücken im Zuge der energetischen Sanierung.

Die Detektierung von Betonschäden an schwer zugänglichen Bauwerken mittels Thermografie basiert ebenfalls auf der passiven Thermografie. Je nach Lage und Nutzung des Bauwerkes muss jedoch unter Umständen von außen ein semi-passiver Wärmestrom, z. B. Sonnenenergie, aufgebracht werden, um die Messung durchzuführen.

An Bauwerken, bei denen die äußere Oberfläche durch die Nutzung aufgeheizt wird, ist ein zusätzlicher Wärmefluss nicht nötig. Als Beispiele sind hier Naturzugkühltürme und Rohre zu nennen, deren äußere Oberflächen durch den Wärmehalt der Nutzung aufgeheizt werden. An Bauwerken, bei denen die äußere Oberfläche nicht durch die Nutzung aufgeheizt wird, ist

eine gewisse Sonneneinstrahlung erforderlich. Als Beispiele sind hier Brücken, Betonfassaden, Industriebauwerke aus Beton sowie abwassergefüllte Klärbecken zu nennen.

Bei Bauwerken, an denen der semi-passive Wärmestrom aufgrund der Sonneneinstrahlung nötig wird, ist Folgendes hinsichtlich des Prüfzeitpunktes zu beachten: Während die ideale Prüfbedingung bei der gemeinen Bauthermografie ein bewölkter Himmel in den frühen Morgenstunden ist, sollten bei der hier beschriebenen Methode die sonnenbeschienenen Oberflächen vorliegen und die Messung entweder am Morgen nach Sonnenaufgang während der Aufheizphase oder am Abend nach Sonnenuntergang bei der Abkühlphase durchgeführt werden.

3 Anwendungsbeispiele

Am Institut für Betontechnologie und Oberflächenschutz werden die Betonschäden an schwer zugänglichen Bauwerken mittels Thermografie begleitend zu den üblichen betontechnologischen Untersuchungen detektiert. Die Thermografie ist dabei stets als weiteres Hilfsmittel, insbesondere zur Mengenermittlung der geschädigten Bereiche, zu sehen und benötigt für jedes Bauwerk eine individuelle Verifizierung durch stichprobenartige, handnahe Prüfungen. Die Kamera beinhaltet einen Sensor, der es ermöglicht, Temperaturabweichungen der Betonoberfläche im Bereich von 30 mK festzustellen. Mit der speziellen Software lassen sich die geschädigten Bereiche darstellen.

Im Folgenden werden drei verschiedene Untersuchungen beschrieben, bei denen die Methode praktisch ausgeführt worden ist.

3.1 Untersuchung der Schalenaußenseite eines Naturzugkühlturms in Rostock

Im Frühjahr 2015 wurde durch die Betreiber des Kraftwerks Rostock ein sichtbarer Riss am Naturzugkühlturm im unteren Schalenbereich festgestellt. Zur Ursachenfeststellung sollte die Schale von einem 30-m-Hubsteiger aus, erstmalig handnah, angeschaut werden.

Bei der handnahen Untersuchung stellte sich heraus, dass der Riss durch die Abspaltung des Betons infolge Bewehrungskorrosion entstanden ist. Zusätzlich wurde festgestellt, dass die

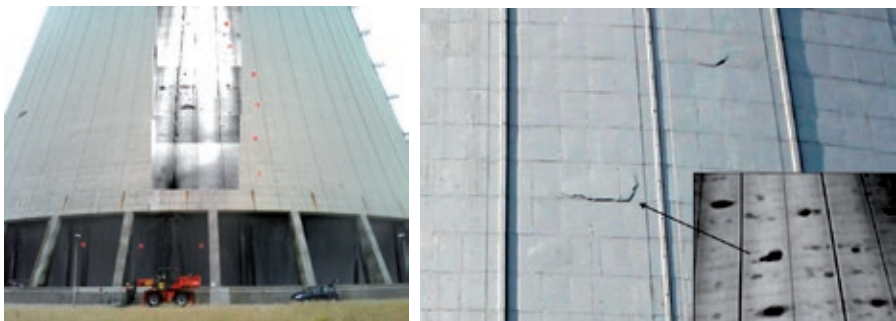


Bild 2: Thermografische Darstellung der Hohllagen, sichtbare und verdeckte

Fotos: Florian Bavendiek

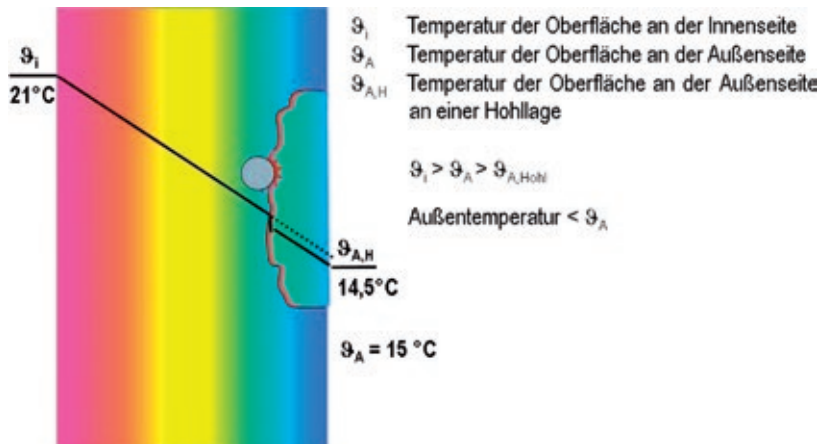


Bild 3: Temperaturverlauf in der Schale bei einer infolge Bewehrungskorrosion entstandenen Hohlraumstruktur
Grafik: Helena Eisenkrein-Kreksch

Bewehrung starke Erscheinungen der chloridinduzierten Korrosion aufweist. Bei Abnehmen der Betonabplatzung wurde ferner festgestellt, dass der Bruch im Beton nicht das übliche Aussehen aufwies, sondern dass der Beton schollenartig auseinanderfiel.

Während dieser Untersuchung wurden zum Forschungszweck auch Thermografieaufnahmen der Betonschale durchgeführt, um eventuellen Schäden des Betons sichtbar darzustellen. Diese Aufnahmen der Kühlturmschale zeigten jedoch den tatsächlichen Umfang der Hohlraumstruktur, der augenscheinlich nicht erkennbar war. In Bild 2 ist exemplarisch die Schale fotografisch und in Überlagerung mit einer Thermografieaufnahme dargestellt. Die dunkleren Punkte des thermografischen Bildes stellen die Hohlraumstruktur dar.

Die Betriebstemperatur im Inneren des Kühlturms betrug im Mittel 20°C bei einer Außentemperatur von 10°C . Das ermöglichte einen Temperaturfluss von innen nach außen. Am Untersuchungstag lag die Außentemperatur bei 10°C .

Entsteht infolge der Stahlkorrosion ein Luftspalt im Beton, weil die Bewehrung aufgrund der Korrosion um ein Vielfaches an Volumen zunimmt, kann der Temperaturfluss nicht mehr linear verlaufen. Bild 3 zeigt den Temperaturverlauf im Falle eines geringen Betonspaltes, der sich an der Schalenoberfläche nur in Form von nicht sichtbaren Hohlraumstrukturen abzeichnet. Diese Hohlraumstruktur kann nur mit der Hammer-Tast-Methode detektiert werden, bei welcher mittels eines Hammers die Betonoberfläche abgeraschelt wird und die Hohlraumstellen einen anderen Klang ergeben als der intakte Beton.

Der Temperaturgradient der Betonschale bei einem Kühlturm ist linear, da er nicht von Wärmedämmung oder Doppelschaligkeit der Wand unterbrochen wird. Aus diesem Grund können die Oberflächenimperfectionen jeglicher Art, die eine Temperaturveränderung verursachen, dargestellt werden. Diese Temperaturdifferenz an der Oberfläche kann von der Infrarotka-

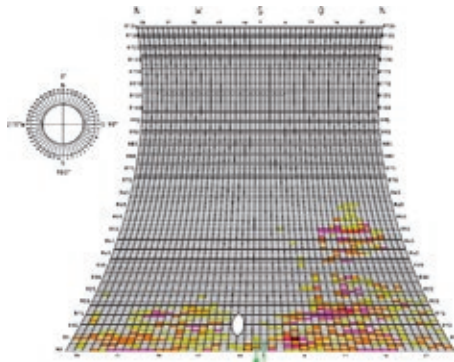


Bild 4: Farbige Darstellung der Schadensmenge, oberer Bereich hohllagenfrei
Grafik: Florian Bavendiek

mera aufgenommen werden. Dabei muss der Reflexionsgrad ρ des Bauwerkes auf ein Minimum begrenzt werden, was bei einem kühlen, strahlungsarmen Tag und der Sonne abgewandten Himmelsrichtung der Bauwerksseite der Fall ist.

Alle Hohllagen auf der Schalenaußenseite wurden im Laufe der Untersuchung detektiert und in einer Schalenabwicklung, farblich abgestuft nach der prozentualen Menge in m^2 der Schäden, pro Feld dargestellt. Es zeigte sich eine Abhängigkeit der Schadensbildung von der Windrichtung und Beanspruchung des Kühlturms mit Regenwasser. In Bild 4 sind die Schäden in einer Schalenabwicklung dargestellt. Der farbige Verlauf von gelb nach dunkelrot zeigt die Flächengröße in jedem Feld,

gestaffelt nach 20 % der Schädigungshöhe. Dabei bedeutet z. B. der hellgelbe Ton eine Schädigung zwischen 5 % und 25 % und der dunkelrote Ton eine Schädigung zwischen 80 % und 100 %.

So konnte ein Zusammenhang zwischen der Beaufschlagung mit Regenwasser, die auf der gesamten Schale bis zur Taille erfolgt, und dem starken Wind, der auf der West-Seite das nach unten rieselnde Kühlwasser aus der Tasse bis zum Ring 60 hochwirbelt, festgestellt werden. Diese Feststellung wurde während der Untersuchungen verifiziert, da bei trockenem Wetter mit viel Wind die Schale im Bereich Nord-Ost dennoch feucht bis nass beaufschlagt wurde.

3.2 Untersuchung der Schalenaußenseite eines Naturzugkühlturms in einem Kernkraftwerk

Im Jahr 2009 wurde die Schalenaußenseite eines 140 m hohen Naturzugkühlturms entlang einer Steigleiter augenscheinlich und betontechnologisch untersucht. Im näheren Umfeld der Steigleiter wurden zahlreiche kleinere Betonabplatzungen festgestellt, die im Zusammenhang mit der fortgeschrittenen Carbonatisierung des Betons und als Folge dessen einer Stahlkorrosion stehen.

Zur Feststellung und späteren Verifizierung der Schäden wurde an der Meridianbahn 8 mit der ALIMAG eine Befahrung und Begutachtung des handnahen Bereiches durchgeführt. Dabei wurden einige Betonausbrüche infolge Bewehrungskorrosion festgestellt. Die Hohllagen und Betonabplatzungen haben eine Größe von ca. $0,01 \text{ m}^2$ und liegen über der nah an der Betonoberfläche liegenden korrodierten Bewehrung, häufig in Form von herausstehenden Bewehrungsbügeln, vor.

Die Aufnahmen der Thermografie von den oben beschriebenen Bereichen wurden am Computer ausgewertet und bewertet (Bild 5). Die gelben (helleren) Bereiche zeigen eine höhere

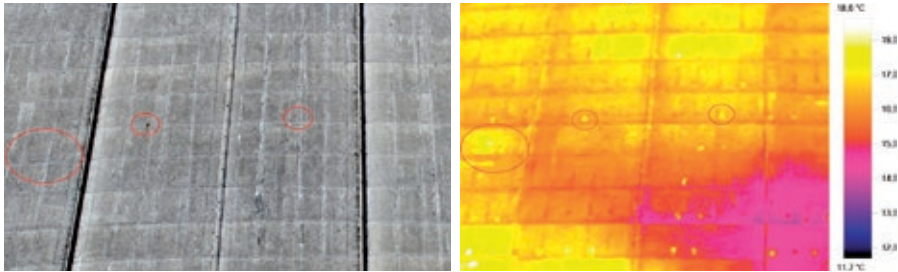


Bild 5: Exemplarische Auswertung an geschädigter Meridianbahn 1

Foto und Grafik: Helena Eisenkrein-Kreksch

Temperatur der Schale an. Diese Bereiche sind, wie beschrieben, ca. 0,01 m² groß und sind hauptsächlich auf die Betonimperfectionen in der oberflächennahe Zone zurückzuführen.

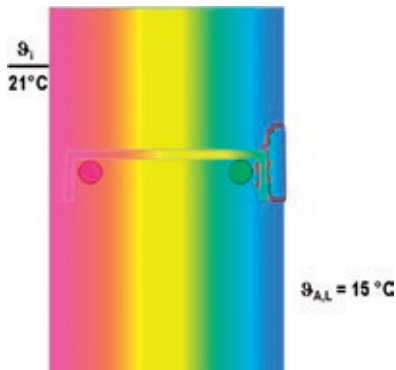


Bild 6: Temperaturverlauf in den Bügeln und Auftreten von Abplatzungen an der Schalenaußenseite

Grafik: Helena Eisenkrein-Kreksch

Im rechten Teil von Bild 5 sind kleinflächige Betonhohlstellen und eine größere Hohlstelle (runde Markierungen) mittels Thermografie erkennbar. Die Bewehrungsstäbe sind hier deutlich sichtbar. Die Betonoberfläche zeigt jedoch noch keine sichtbaren Imperfectionen. Das heißt, dass die Bereiche nur Hohlstellen zeigen und noch keine Betonabplatzungen vorliegen.

Die Ursache dieser Imperfectionen lag in den zu nah an der Oberfläche liegenden Bewehrungsbügeln, die eine höhere Temperatur aufwiesen als der umliegende Beton. Bild 6 zeigt die Ursache dieser Darstellung. Auf der Grundlage dieses Befundes ist davon auszugehen, dass über kurz oder lang bei allen Bereichen mit den nah an der Oberfläche liegenden Bügeln Abplatzungen auftreten können.

3.3 Untersuchung der Nachklärbecken eines Klärwerks

Die Betontrennwände der Belebungs- und Nachklärbecken in einem Klärwerk wurden an einigen Stellen exemplarisch untersucht. Die Untersuchung erforderte ein Ablassen des Wassers und die Außerbetriebnahme des Beckens. An den oberen, aus dem Wasser ragenden Betonabschnitten wurden einige Schäden infolge Betonabplatzung festgestellt. Leider konnten nicht alle Becken untersucht werden, da eine teilweise Stilllegung des Klärwerkes nicht möglich ist.

Die schwere Zugänglichkeit der Beckenränder veranlasste die Betreiber, die Untersuchung dieser auf Betonschäden mittels Thermographiemethode durchführen zu lassen. Mit entspre-

chenden Einträgen in die Grundrisse der Becken konnte eine detaillierte Schadenskartierung mit entsprechender Mengenermittlung erfolgen.

Für die Durchführung der Prüfung wurden sonnige Tage ausgewählt, um die passive Thermographie mit der Zu- und Abwärme des Betons aufgrund der Sonneneinstrahlung zu nutzen. An den gesamten ca. 1,0–1,5 m aus dem Wasser ragenden Betonbauteilen der Belebungs- und Nachklärbecken mit jeweiligen Kanälen wurden während des Betriebes mittels Infrarotkamera Aufnahmen der Betonoberfläche durchgeführt. Es wurden insgesamt ca. 24.000 lfd. M. der Betonoberfläche untersucht.

Im Gegensatz zum o. g. Kühlturmbeispiel erfahren die zu prüfenden Betonbauteile keine rückwärtige Erwärmung durch die Nutzung. Die physikalischen Grundlagen müssen daher auf speziell diesen Fall angepasst werden. Entsteht infolge der Stahlkorrosion ein Luftspalt im Beton weil die Bewehrung aufgrund der Korrosion um ein Vielfaches an Volumen zunimmt, verläuft der Temperaturfluss nicht mehr linear. Bild 7 zeigt den Temperaturverlauf im Falle eines geringen Betonspaltes, der sich an der Betonoberfläche nur in Form von nicht sichtbaren Hohllagen abzeichnet. Während der Aufheizphase, wenn die Sonne auf das Bauteil scheint, nimmt der Beton die Wärmestrahlung auf, was mit einer Erhöhung der Bauteiltemperatur einhergeht. Der lose Beton mit geringer Dicke erwärmt sich entsprechend schneller und stellt sich somit wärmer dar als die restliche Oberfläche.

Bild 8 zeigt exemplarisch einen Bereich der Betontrennwand, die keine sichtbaren Schäden aufweist, außer einiger farblicher und struktureller Imperfektionen der Oberfläche. Das Wärmebild zeigt, dass an dieser Stelle bereits großflächige Ablösungen des Betongefüges vorhanden sind. Diese Hohllagen könnten sonst nur mit der Hammer-Tast-Methode detektiert werden.

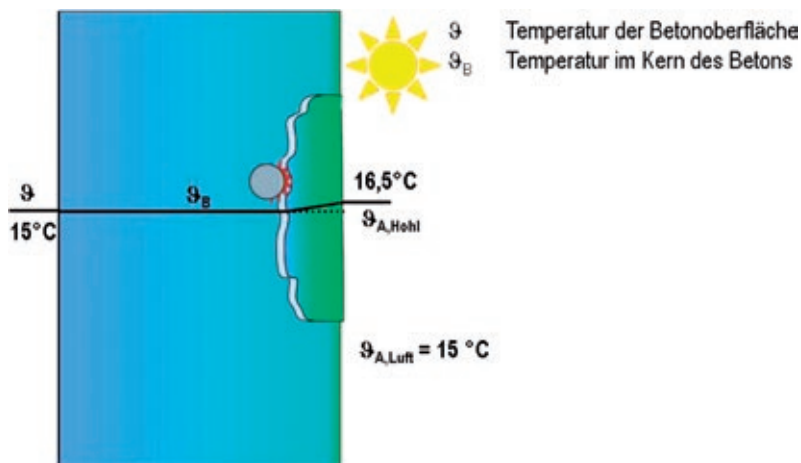


Bild 7: Temperaturverlauf im Beton bei einer infolge Bewehrungskorrosion entstandenen Hohllage in der Aufwärmphase

Grafik: Helena Eisenkrein-Kreksch

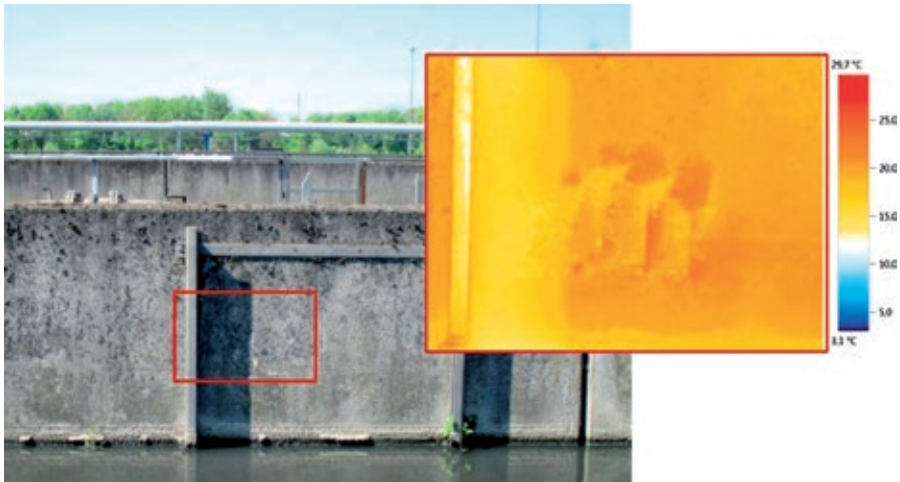


Bild 8: Gegenüberstellung der WBK und des Echtbildes (roter Kasten)

Foto und Grafik: Helena Eisenkrein-Kreksch

Mit Hilfe der Thermografie konnten auf einer Fläche von 24.000 m² ca. 75 m² Hohllagen und Betonausbrüche detektiert werden, die dann mit Lage und Bezeichnung in die Ausschreibung aufgenommen werden konnten.

4 Fazit

Die Verifizierung zwischen den mit Hilfe der Thermografie detektierten Betonschadstellen und den vor Ort in handnaher Untersuchung vorgefundenen Hohllagen zeigen eine deutliche Übereinstimmung auf. Bereiche, in denen durch Thermografie Schäden sichtbar gemacht werden konnten, zeigen bei einer handnahen Bauwerksuntersuchung anschließend auch tatsächlich vorhandene Hohllagen auf. Die handnahe Untersuchung einiger exemplarischer Bereiche des Bauwerks ist jedoch zwingend erforderlich, um die richtigen Schlüsse für die Ergebnisse der Thermografiemessung ziehen zu können.

Gerade an Bauteilen, die nur schwer zugänglich sind, ergibt sich ein großes Potential für weitere Forschungen auf dem Gebiet der Schadstellendetektion, um die Genauigkeit der Fehlstellenart und der tatsächlichen Schädigung des Bauwerks darstellen und auswerten zu können.

Im Hinblick auf die Mengenermittlung von Schadstellen dient die Thermografie bereits jetzt als günstiges Hilfsmittel bei großflächigen und schwer zugänglichen Betonbauwerken. Die Thermografie ist aber stets als begleitendes Hilfsmittel zu verstehen und ersetzt nicht die Notwendigkeit einer handnahen Prüfung durch den sachkundigen Bauwerksprüfer.

Literatur

- [1] DIN 54190-1:2004-08: Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Teil 1: Allgemeine Grundlagen.
- [2] Fouad, N. A.; Richter, T.: Leitfaden Thermografie im Bauwesen. 4. Aufl., Fraunhofer IRB, 2012.
- [3] Testo AG: Thermografie, Theorie – Praxis. Vortragsunterlagen, Thermografietag am 24.8.2012 in Dresden.
- [4] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP, Hrsg.): Merkblatt über das aktive Thermografieverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen. Merkblatt B 05, 04/2013.