



Thermisches Infrarot in der historischen Bauforschung

Der Einsatz von IR-Thermographie zur Befunderfassung und -einordnung

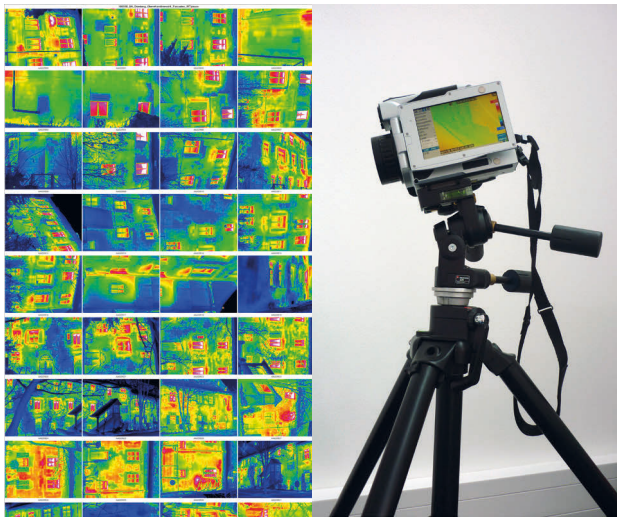


Abb. 1: Aufnahmen-Panel einer thermographischen Untersuchungen an einem Bauforschungsobjekt und die hierfür genutzte Infrarot-Kamera [Luib 2019].

Im Zuge der Zusammenführung historischer und technischer Bauforschung werden am KDWT seit 2017 die Einsatzmöglichkeiten von zerstörungsfreien, bildgebenden Infrarot-Technologien für die bauforscherische Befunderfassung evaluiert. Im Vordergrund stehen dabei die Entwicklung einer kombinierten Untersuchungsmethodik aus IR-Thermographie und bauwerksspezifischer Untersuchungsroutine.

Inhalt und Ziele

Infrarot-Thermographie (IRT) wird schon seit mehreren Jahrzehnten zur Untersuchung von Gebäuden genutzt. Vor allem im Hinblick auf die energetische Bewertung von sowohl historischer als auch moderner Bausubstanz spielen thermographische Aufnahmen eine zunehmend wichtigere Rolle im Baubereich. Infrarot-Thermographie bietet als eigenständige Untersuchungsmethode jedoch weit mehr Potential als die bloße energetische beziehungsweise wärmespezifische Analyse und Dokumentation. IR-Kameras als radiometrische Messinstrumente dokumentieren und visualisieren ein breites Spektrum elektromagnetischer Strahlung sowohl qualitativ als auch quantitativ. Sie können also nicht nur Wärmeenergie darstellen, sondern wellenlängenabhängig die (bau)materialspezifischen, strahlungsbedingten Phänomene Reflexion, Absorption und Transmission dokumentieren. Aufgrund des unterschiedlichen Reaktionsverhaltens verschiedener Baustoffe lassen sich damit Rückschlüsse auf Konstruktion und Materialgefüge, aber auch Anomalien und Schäden ableiten.

Daraus ergeben sich vielseitige Anwendungsmöglichkeiten zur Klärung von Fragestellungen im Bereich historischer Gebäude. Ziel der technischen Bauwerksanalyse ist die Evaluation dieser Einsatzmöglichkeiten in der historischen Bauforschung und deren Adaption für spezifische Untersuchungskontexte. Langfristig werden daraus dann Standards für bauhistorische Untersuchungen abgeleitet.

Dies ist umso mehr von Bedeutung, als die historische Bauforschung sich im Sinne einer „Building Archaeology“ mit historischen Bauwerken als Primärquellen befasst. Die Untersuchungen finden in aller Regel direkt am beziehungsweise im Objekt statt. Dementsprechend liegt der Untersuchungsfokus - anders als bei baustoffspezifischen

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Stefan Breitling
 Bearbeitung: Anna Luib M.A.
 Laufzeit: seit 2017
 Finanzierung: KDWT-Eigenmittel

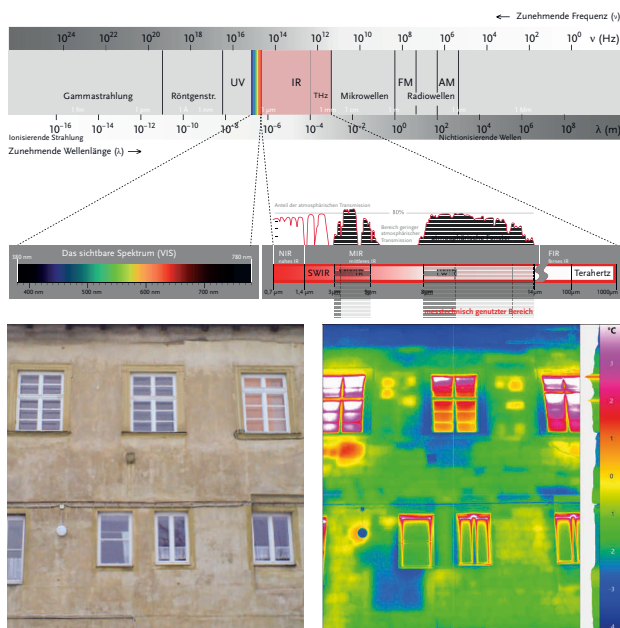


Abb. 2: Elektromagnetisches Spektrum; Fassadenvergleich im sichtbaren Licht (VIS, 380-780 nm) und in langwelligem Infrarot (LWIR, 8000-14.000 nm) [Luib 2020].

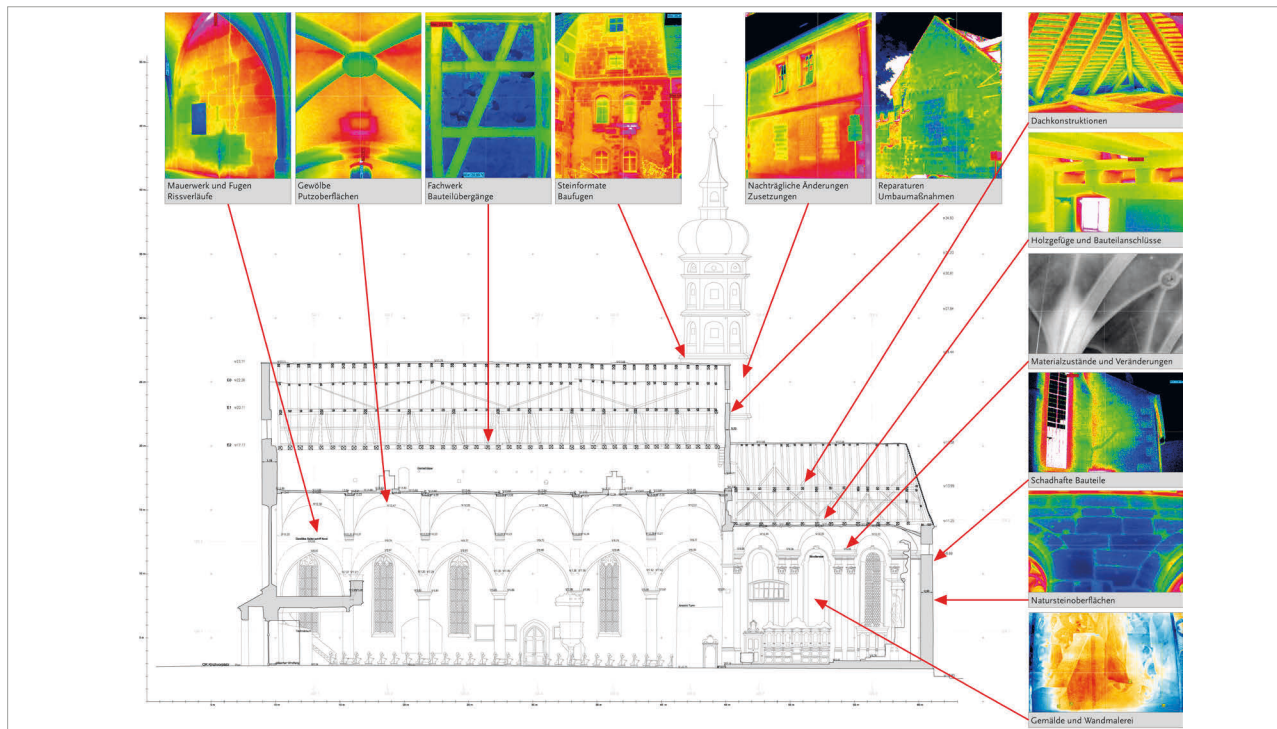


Abb. 3: Einsatzmöglichkeiten von IR-Thermographie für bauforscherische Fragestellungen. Die Anwendung der IR-Technik wird dabei immer in Abhängigkeit von Bauteil Aufbau, Materialität, Position im Gesamtgefüge und thermodynamischem Verhalten auf die spezifischen Messsituationen angepasst. [Luib, 2019].

Laboruntersuchungen - auf Bauteilen als Materialverbänden und Konstruktionseinheiten. Entsprechend flexibel müssen die Untersuchungsansätze auf vielfältige und teilweise variierende Umgebungsbedingungen anpassbar sein.

Methode

Über ihre materialspezifische Wärmeleitfähigkeit bzw. Wärmespeicherkapazität lassen sich auch historische Baustoffen präzise beschreiben und voneinander abgrenzen. Holz reagiert im infraroten Wellenlängenspektrum anders als Naturstein, Ziegel oder Kalkputz. Durchfeuchteter Naturstein zeigt ein anderes thermisches Verhalten als trockener Naturstein. Bei bekanntem IR-Verhalten können die Baustoffe historischer Bauwerke kontaktlos in-situ detektiert werden. Die Untersuchung im IR-Spektrum liefert dabei Informationen, die über die Ergebnisse optischer Verfahren hinausgehen und diese entscheidend ergänzen können. Die bekanntesten Beispiele hierfür sind IR-bezogene Darstellungen von Gefügestrukturen unter Putz. Fachwerk, Mauerwerksverbände, Steinformate oder nachträglich zugesetzte Öffnungen unter verputzten Oberflächen werden im infraroten Bereich aufgrund ihres unterschiedlichen thermischen Reaktionsverhaltens deutlich unterscheidbar dargestellt. Allgemein lassen sich so verdeckte Strukturen in Wänden, Decken- und

Fußbodenaufbauten bei entsprechenden Umgebungsbedingungen darstellen und in ihrer Lage und konstruktiven Einbindung in das bauliche Gesamtgefüge verorten. Gleiches gilt für Materialveränderungen und Schadensphänomene wie Risse, Hohlstellen, Ablösungen und Durchfeuchtungen. Durch Anomalien im thermischen Verhalten veränderter oder geschädigter Bauteile sind diese radiometrisch von intakten Umgebungsflächen unterscheidbar.

Im Zuge der Zusammenführung historischer und technischer Bauforschung am KDWT erfolgt die Arbeit mit Infrarot-Thermographie in drei Phasen: In einer ersten Projektphase wurde der Einsatz von IR-Thermographie als Mess- und Visualisierungsmethode zunächst an einer breit gefächerten Auswahl von historischen Gebäuden und Bauteilen getestet, unter anderem an Außen- und Innenwänden, Gewölben, Dächern, Boden- und Deckenaufbauten, Kellern, Sockelzonen, Mauerwerksverbänden, Natursteinoberflächen, Putzschichten, Fassadenverkleidungen, etc. Ergänzend wurden die Untersuchungen bei veränderten Umgebungsbedingungen teilweise mehrfach wiederholt.

Die differenzierenden Messergebnisse wurden in der zweiten Projektphase vergleichend ausgewertet und kategorisiert. Zum einen konnte damit die Bedeutung von Umgebungseinflüssen bei

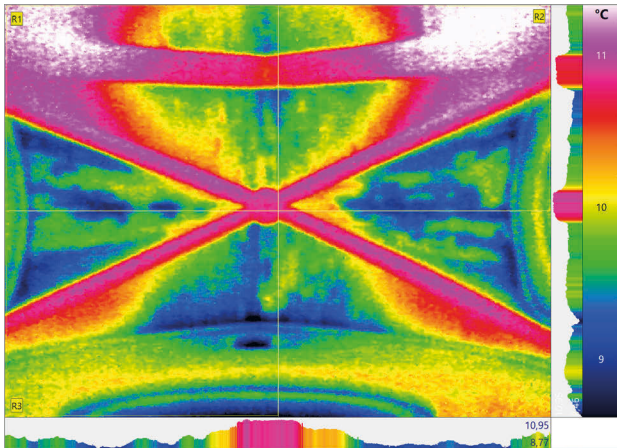


Abb. 4: Thermographische Untersuchung von Gewölbekappen; hier Falschfarbendarstellung zur Visualisierung der lokalen Temperaturverläufe [Luib / Nöbauer 2018].

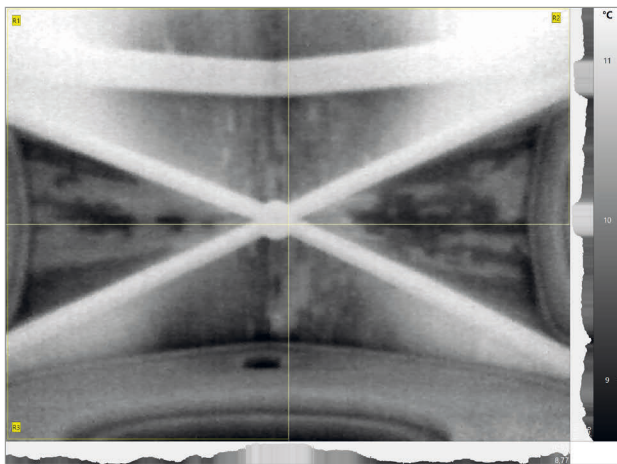


Abb. 5: Thermographische Untersuchung von Gewölbekappen; die kontrastreichere Graustufendarstellung verdeutlicht Mauerwerksgefüge und Materialwechsel in den Wölbflächen [Luib / Nöbauer 2018].

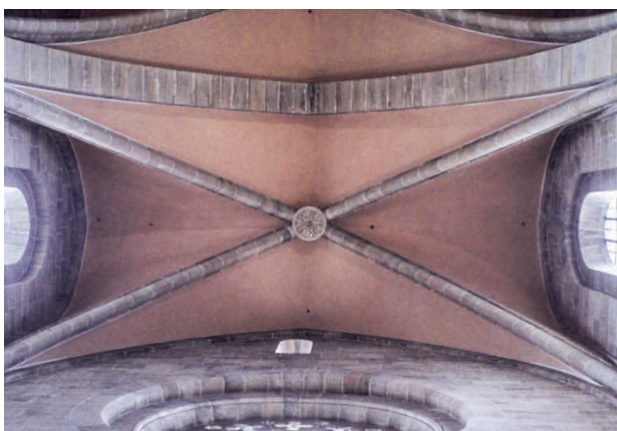


Abb. 6: Zusätzliche Objektdokumentation im sichtbaren elektromagnetischen Spektrum als Teil der vollständigen IR-Auswertung und gleichzeitig Grundlage für weitere bauforscherische Befundkartierungen [Luib / Nöbauer 2018].

typischen Messsituationen in situ abgeschätzt werden. Weiterhin bilden die erhobenen Messergebnisse die Grundlage für eine langfristige Standardisierung von bauforscherischen IR-Messungen und deren systematischer Auswertung. Ebenso wurden Messfehler, atmosphärische und klimatisch bedingte Störeinflüsse und Überlagerungen der Messergebnisse evaluiert und beispielhaft in die Untersuchungsstandards mit aufgenommen. In einer dritten Projektphase wird nun die Einbindung von IR-Thermographie in den Kanon bauforscherischer Methodik erweitert. Dabei soll die Thermographie nicht mehr nur als bloße Voruntersuchungsmaßnahme eingesetzt werden oder ausschließlich zur Lokalisierung und Visualisierung bauhistorisch relevanter Details, wie beispielsweise von Baufugen oder nachträglichen Zusetzungen, dienen. Vielmehr soll in der dritten Projektphase verstärkt die Kombination aus Thermographie und bauforscherischen Befundungsverfahren angewandt werden. Im Bereich stratigraphischer Zusammenhänge und der befundgestützten Erstellung chronologischer Bauphasenabfolgen können durch IR visualisierte Befunde bauliche Abhängigkeiten klären. Thermographie trägt so zur Erschließung komplexer Objekte der Baudenkmalpflege bei.

Im Hinblick auf den Aufbau einer Schlüsselbefundsammlung kann die Untersuchung mit thermalem Infrarot wichtige Leitbefunde ermitteln und deren baulichen Kontext visualisieren.

Weiteres Anknüpfungspotential besteht außerdem in der Einbindung thermographischer Daten in den Bereich des befundorientierten digitalen Modellbaus und übergeordnete Heritage-BIM-Systeme.

Gesellschaftliche Relevanz und Nutzung der Ergebnisse

Parallel zur methodischen Vertiefung wird kontinuierlich der aktuelle Forschungsstand zu Infrarot-Thermographie dokumentiert und in einer eigenen Fachliteratursammlung referenziert. Durch die simultane Aufarbeitung des aktuellen Forschungsstandes können Forschungsschwerpunkte differenziert und künftige Forschungsdesiderate abgeglichen werden.

In der bauforscherischen Praxis fördert die differenzierte Adaption der Einsatzmöglichkeiten von thermalem Infrarot die Etablierung von Untersuchungsstandards. Als zerstörungsfreie, berührungslose und sehr zeiteffiziente Methode kann die Thermographie auch in verschiedenen Stadien der Denkmaldokumentation, Sanierungsplanung, -vorbereitung und

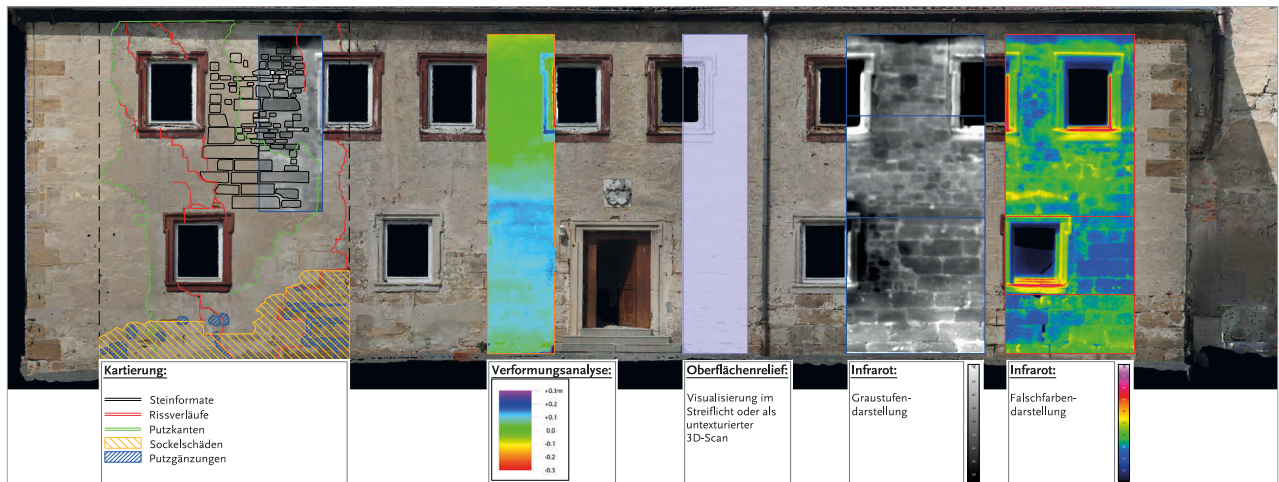


Abb. 7: Einbindung von thermalem Infrarot in den Untersuchungskanon der Bauforschung; hier Fassaden- und Außenwandanalyse (v.l.n.r.): Kartierung von Steinformaten, Rissverläufen, Putzkanten, Ergänzungen, Schäden und Reparaturstellen; Verformungsanalyse durch einen Regelflächenvergleich (Abweichung von idealer Fassadenebene); Oberflächenrelief in Streiflichtaufnahmen oder texturfreien 3D-Darstellungen und Infrarotthermographie zur ergänzenden Detektion optisch nicht erkennbarer bzw. exakt beschreibbarer Materialeigenschaften [Luib 2020].

-ausführung den jeweiligen Ist-Zustand dokumentieren sowie Fragen zu Konstruktion, Bauteilübergängen oder Schäden klären.

Darüber hinaus können im Sinne eines mittel- und langfristigen Denkmalmonitorings historische Gebäude radiometrisch wiederholt dokumentiert und analysiert werden. Die begleitende thermale Untersuchung kann beispielsweise Vor- und Nachzustand von baulichen Veränderung abgleichen, Materialdegradationen verfolgen oder die angemessene Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen prüfen.

Bamberger Kompetenzen

Das Profil der Bamberger Bauforschung beinhaltet unter anderem die Etablierung von Qualitätsstandards für die Baudokumentation, insbesondere auch durch den fachlich evaluierten Einsatz moderner Technologien. (Vgl. dazu: *Baudokumentation am KDWT*, Berichte des KDWT 1, S. 48–51). Im Mittelpunkt steht deren konkrete Anwendung im Hinblick auf spezifische bauforscherische Fragestellungen. In Abgrenzung zur rein technologischen Evaluation, bei der das Hauptaugenmerk auf der Optimierung der Technik liegt, konzentriert sich die historische Bauforschung in Bamberg auf eine Adaption und kontinuierliche Evaluation der von ihr angewandten Technologien im Hinblick auf übergeordnete Befundungsverfahren und trägt damit zur Optimierung der fachspezifischen Methodik bei. Als sachzeugnisorientierte Disziplin implementiert die Bamberger Bauforschung neue technologische Ansätze immer zielgerichtet und abgestimmt auf die konkreten Fragestellungen zur Erforschung der historischen Objekte als primäre bauhistorische Quelle.

Die Infrarot-Thermographie als multidisziplinäre Untersuchungstechnologie steht beispielhaft für eine solche Adaption methodischer Ansätze aus angrenzenden Fachbereichen: Ursprünglich überwiegend für die energetische Untersuchung von Neubauten angewandt, wächst die Bedeutung thermographischer Untersuchungen im bauforscherischen Kontext. Die Resultate der auf historische Bausubstanz angepassten IR-Thermographie liefern kontaktlos, zerstörungsfrei und effizient entscheidende Beiträge zur Klärung bauforscherischer Fragestellungen.

(Anna Luib)

LUIB, Anna: *Infrared Thermal Imaging as a Non-Destructive Investigation Method for Building Archaeological Purposes*, in: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W15, 695–702, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-695-2019>, 2019.

LUIB, Anna: *Infrared Thermal Imaging as a Non-Destructive Investigation Method for Building Archaeological Purposes*. ICOMOS/ISPRS, 27th International CIPA-Symposium, Avila 01.09.–05.09.2017.

LUIB, Anna: *Infrarot-Thermographie in der Bauforschung und Bauwerksdokumentation - Aktuelle Projekte und Untersuchungsergebnisse*, Werkstattgespräch des IADK, Otto-Friedrich-Universität Bamberg 01.02.2019.