

Infrarot-Thermographie in der technischen Bauwerksanalyse

Engführung historischer und technischer Bauforschung



Abb. 1: VarioCAM [Luib 2018].

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

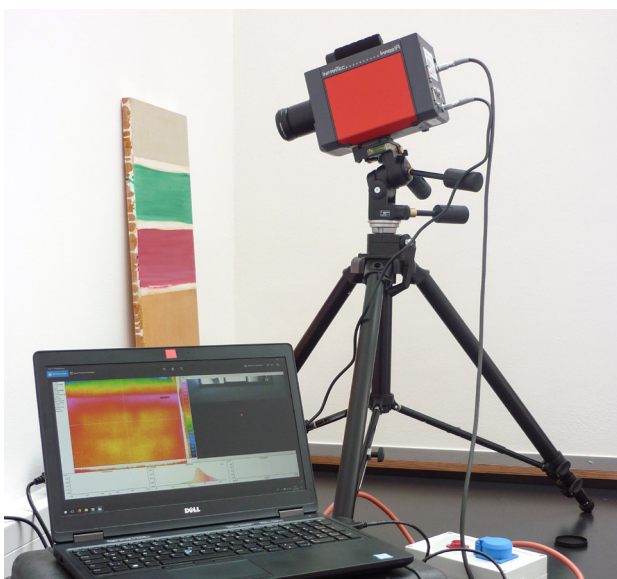


Abb. 2: ImageIR [Luib 2018].

Infrarot-Thermokameras dokumentieren berührungslos die Oberflächentemperaturen von Objekten, indem sie die Intensität der objektspezifischen elektromagnetischen Strahlung im Infrarotbereich darstellen. Diese für das menschliche Auge nicht mehr im sichtbaren Spektralbereich liegende Strahlung wird als Thermogramm in sichtbare Falschfarbendarstellungen umgewandelt, aus denen sich die gemessenen Temperaturdifferenzen auslesen lassen. Entsprechend können diese sogenannten Thermogramme unter Umständen Objekteigenschaften darstellen, die im Bereich des sichtbaren Lichtes und daher für das menschliche Auge verborgen bleiben.

Infrarot-Thermographie als zerstörungsfreie Untersuchungsmethode (NDT)

Der Einsatz von Infrarot erfolgt berührungslos, es ist kein Kontakt zum Messobjekt nötig. Dies ermöglicht Messungen an sehr empfindlichen sowie an schwer erreichbaren oder unzugänglichen Objekten. Aufnahmen sind – ähnlich der Fotografie – in Abhängigkeit von der Auflösung der Thermogramme auch über weite Distanzen möglich. Vor allem aber bleiben die Messungen vollkommen zerstörungsfrei, es müssen weder Proben entnommen werden, noch kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen Messobjekt und Messgerät. Auch Material- bzw. Oberflächenveränderungen infolge der Messprozesse sind auszuschließen.

Die Infrarot-Thermographie ist ein bildgebendes NDT-Verfahren, das die gemessenen Daten unmittelbar und als flächenhafte Temperaturinformation in unterschiedlichen Darstellungsmöglichkeiten ausgeben kann. Diese Visualisierungen sind jederzeit reproduzierbar und können bereits vor Ort während der Messung ausgewertet werden. Wichtig ist auch die Geschwindigkeit des Messverfahrens. Thermographie-Kameras arbeiten innerhalb sehr kurzer Mess- und Ansprechzeiten, die Thermogramme sind ähnlich wie in der Digital-Photographie sofort auswertbar, Sequenz-Aufnahmen können in Echtzeit eingesehen werden.

Zum Einsatz kommt dieses NDT-Verfahren vor allem in der Materialprüfung, der industriellen Fertigung und der Energietechnik.

Im Gebäudebereich wird Infrarot-Thermographie überwiegend zur Klärung bauphysikalischer

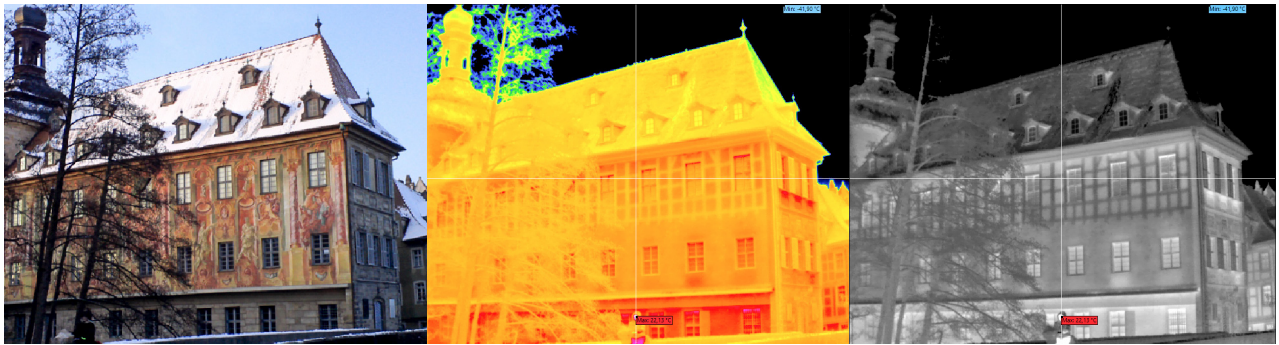


Abb. 3: Thermogramm einer Fassade mit Farbfassung; Fachwerk im Obergeschoss deutlich ablesbar [Luib 2018].

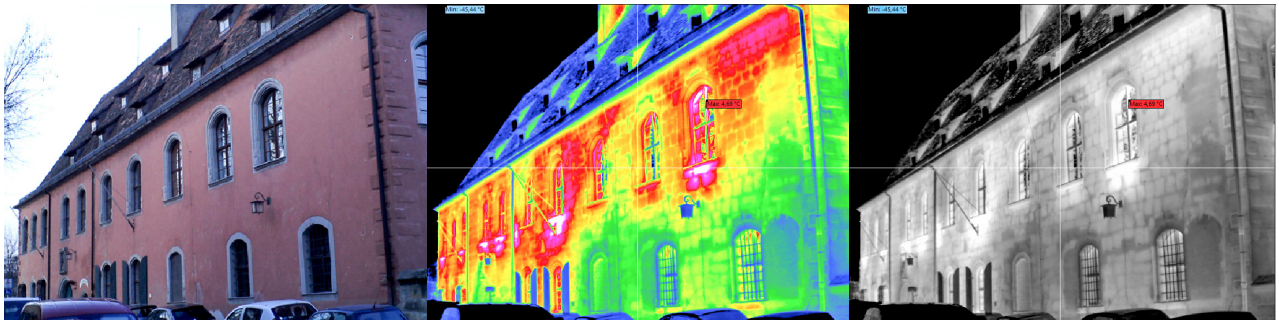


Abb. 4: Thermogramm einer verputzten Außenwand; Mauerwerksstruktur, zugesetzten Öffnungen und Bau- fügen werden ohne Eingriffe in die Substanz unterhalb des Putzes sichtbar [Luib 2018].

Fragestellungen eingesetzt. Die Lokalisierung und Evaluierung von Wärmeverlusten über Fassaden und Dächer, konstruktionsspezifische Wärmebrücken oder auch Zustand und Leistungsfähigkeit der Wärmedämmungen stehen oft im Fokus solcher Untersuchungen.

Weiterhin eignet sich die IRT gut zur Visualisierung der Feuchteverteilung in Bauteilen und zur Lokalisierung potentieller Schimmel- und Feuchteschäden. Vor allem in der Schadensdokumentation und der Vorbereitung von energetischen Sanierungsmaßnahmen hat sich die IRT als zerstörungsfreies Prüfverfahren bewährt.

Einsatzmöglichkeiten in der Bauforschung

In weitaus geringerem Maß als in der Bauphysik wurde die IRT bisher zur Untersuchung historischer Gebäude genutzt. Das Prinzip der Visuali-

sierung elektromagnetischer Strahlung im Infrarotbereich eignet sich neben der grundlegenden Ablesbarkeit der Oberflächenwärmeverhältnisse aber durchaus zur Untersuchung weiterer Materialparameter. In Abhängigkeit der spezifischen Oberflächentemperatur können Aussagen über Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeicherkapazität, Materialbeschaffenheit und Bauteilaufbau abgeleitet werden. Thermogramme bieten die Möglichkeit, Schlussfolgerungen über die Anordnung von einzelnen Bauteilen und ihren Anschlüssen sowie ganzer Konstruktionen zu ziehen, da das Wärmeverhalten an Material- und Bauteilübergängen im Vergleich zum Bauteilinneren oft variiert.

Sobald ein Temperaturgefälle zwischen Bauteilvorder- und -rückseite bzw. -anschluss besteht, kann das Verhalten der Wärmeströme mithilfe einer Thermo-Kamera auf den Bauteiloberflächen

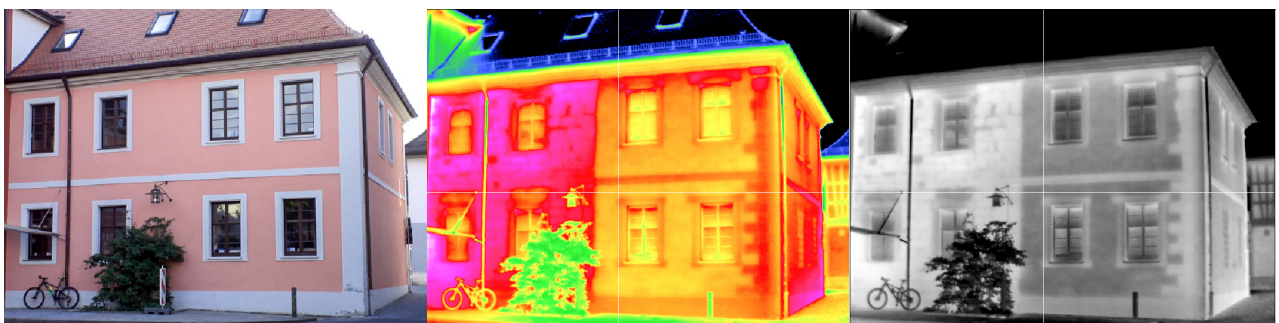


Abb. 5: Thermogramm eines verputzten Anbaus; Baufugen und Materialwechsel zeigen deutlich unterschiedliche Wärmeverhalten [Luib 2018].

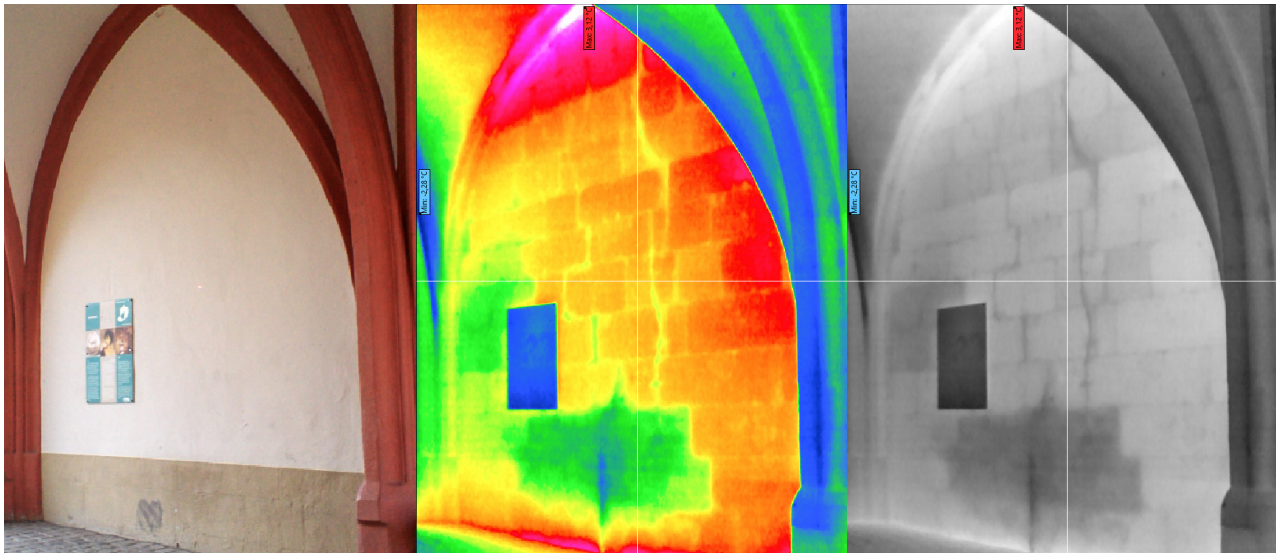


Abb. 6: Thermogramm einer Schildmauer mit anschließendem Gewölbe; Rissbilder und Natursteinvarietäten sind deutlich ablesbar [Luib 2018].

abgelesen werden. Typischerweise entstehen diese Umgebungsbedingungen im Winter bei geringen Außentemperaturen und vergleichsweise warmen, beheizten Innenräumen oder auch bei intensiver, im Tagesverlauf variierender solarer Bestrahlung von Fassaden. Gibt es keine bauteil-internen Temperaturdifferenzen, beispielsweise bei gleichmäßiger Temperaturverteilung im Innenbereich, kann ein Temperaturgefälle erzeugt werden, indem die zu untersuchenden Objekte einseitig thermisch angeregt werden.

Mithilfe dieser individuell steuerbaren Anregungsmöglichkeit lässt sich die Infrarot-Thermographie für eine Vielzahl bauforscherischer Fragestellungen einsetzen. Vor allem im Bereich der zerstörungsfreien Voruntersuchungen, bei Fassadendokumentationen, Konstruktions- und Gefügeanalysen, Baufugen und -anschlüssen oder auch im Fall nachträglich veränderter Bauteile kann die IRT zur Klärung beitragen. Darüber hinaus eignet sich das Verfahren zur Schadensanalyse und -dokumentation. Risse und Hohlstellen, Materialdegenerationen, Oberflächenveränderungen und Feuchte können unter entsprechenden Umgebungsbedingungen in Thermogrammen dargestellt werden.

Vor allem in der Kombination mit anderen, sich ergänzenden, möglichst zerstörungsfreien Analysemethoden können so bauforscherische und denkmalpflegerische aber auch archäologische oder restaurierungswissenschaftliche Fragestellungen umfassend untersucht und geklärt werden. Allerdings gibt es noch keine flächendeckend dargestellten oder umfassend einsehbaren Evaluationen dieses zerstörungsfreien Prüfverfahrens in

der Bauforschung. Auch allgemeingültige Erfahrungswerte und daraus ableitbare Standards sind kaum verfügbar.

Forschungsansatz

Im Bereich der technischen Bauwerksanalyse werden am KDWT die Möglichkeiten und Rahmenbedingungen für den Einsatz von Infrarot-Thermographie in Bauforschung, Restaurierungs- und Denkmalwissenschaften untersucht. Die IRT bietet als zerstörungsfreies Untersuchungs- und Dokumentationsverfahren ein großes Potenzial für die Bamberger Denkmalwissenschaften. Dieses wird im Kontext der bestehenden Bauforschungsmethodik evaluiert. In Erweiterung hierzu gilt es, befundorientierte Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Untersuchungsverfahren mit der IRT auszuloten.

Methode und Einbindung

Zunächst wurde die Bandbreite der untersuchten und dokumentierbaren Objekte und Fragestellungen ausgelotet, von überblicksartigen Voruntersuchungen bis hin zu detaillierten Objektanalysen. Dies umfasst einerseits die Aufarbeitung des aktuellen Forschungsstandes im Bereich der Infrarot-Thermographie in der Bauforschung und andererseits die Entwicklung eines eigenen Analyseprofils. Darauf aufbauend werden aktuell verschiedene Bearbeitungstiefen und Detailgrade von Untersuchungsvarianten getestet. Zunächst wird vor allem objektspezifisch untersucht, mit zunehmenden Erfahrungswerten sollen auch objektunabhängige Untersuchungsstandards entwickelt werden. Parallel findet eine Evaluation

der Rahmenbedingungen von IRT in der Bauforschung statt, die unter anderem die Machbarkeit, das Verhältnis von Aufwand zu Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse und das Potential thermographischer Messwerte darlegt. Ergänzend zu dieser Standortbestimmung von Thermographie in der technischen Bauwerksanalyse werden die Einsatzmöglichkeiten in angrenzenden Fachgebieten wie den Restaurierungswissenschaften, der Denkmaltechnologie und Archäologie erprobt. Darüber hinaus wird eine weitere wichtige Aufgabe darin bestehen, die Einbindung von IRT in die Methodik zerstörungsfreier Prüfverfahren zu testen und vielversprechende Synergieeffekte von Untersuchungs- und Dokumentationstechniken herauszuarbeiten.

Die vorläufigen Ergebnisse der schwerpunktmäßigen Untersuchung von Fassaden und Wandaufbauten zeigen vielversprechende Ergebnisse: Mauerwerksstrukturen, Fachwerk, Baufugen, zugesetzte Wandöffnungen, nachträgliche Veränderungen, An- und Umbauten können in den Thermogrammen deutlich visualisiert werden (Abb. 3–6). Schäden wie Risse, klaffende Fugen, durchfeuchtete Bauteile oder Materialdegeneration lassen sich bei geeigneten Umgebungsbedingungen ebenfalls gut abbilden – allerdings immer unter Vorbehalt einer ergänzenden bauforscherischen Bestätigung der Befundinterpretation. Gleiches gilt für die durchgeführten Detailuntersuchungen einzelner Konstruktionen und Bauteile.

Projektziel

Ziel der Evaluation von thermographischen Untersuchungen am KDWT ist es, Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung von Infrarot-Thermographie im Bereich der Bauforschung, den Restaurierungswissenschaften und der digitalen Objekterfassung und Analyse auszuloten und in einen entsprechenden wissenschaftlichen Kontext zu setzen. Damit soll zum einen der Methodenkanon zur zerstörungsfreien Erfassung, Analyse und Erschließung komplexer Objekte der Bau- und Kunstdenkmalpflege erweitert werden. Andererseits zielen diese Untersuchungen darauf ab, digitale Darstellungs- und Dokumentationsmethoden weiterzuentwickeln und neue Kombinationsverfahren zu testen. Dabei soll es nicht nur bei konventionellen Fragestellungen zur Schadensanalyse bzw. Monitoring-Möglichkeiten bleiben, sondern vor allem auch um die Einschätzung und wissenschaftlich fundierte Darstellung technischer Gebäudeparameter und Bauwerksqualitäten im Allgemeinen gehen.

Gerätetechnik

Das KDWT verfügt über zwei Thermokameras für unterschiedliche Wellenlängenbereiche. Diese Kombination aus verschiedenen Kamerasystemen garantiert ein breites Einsatzspektrum im Bereich der Bauforschungs-Thermographie. Die ImageIR 8380 ist eine Infrarot-Thermokamera mit gekühltem InSb-Detektor und integriertem Stirling-Rotationskühler. Sie ist mit einem 12mm Objektiv ausgestattet, das vor allem für die Aufnahme in Innenräumen besonders geeignet ist. Die Temperaturveränderungen an Baustoffen, Bauteilen, Fassungen und Malereien schwanken wenig und erfordern daher eine besonders gute Temperaturlösung des Sensors bei ausreichend großem Detektorformat. Messungen und Untersuchungen mit der ImageIR können in Echtzeit am mitgelieferten Notebook mit zugehöriger Software verfolgt und geprüft werden. Eine Verarbeitung der Aufnahmen während der Datenaufnahme ist möglich. Auch kann so schnell und mit wenig Aufwand ein Überblick über mögliche Befunde dargestellt werden.

Während die ImageIR den mittleren Spektralbereich (MWIR 2,0–5,7 μm) abdeckt, ergänzt die zweite Thermographiekamera VarioCAM diesen um den langwelligen Bereich von 7,5–14 μm und erweitert so das Infrarot-Messspektrum der am KDWT verfügbaren Geräte. Das ungekühlte Mikrobolometer-System der VarioCAM hat den Vorteil einer wesentlich leichteren, kompakteren Bauweise, ist dank Akku-Betrieb überall einsetzbar und lässt sich auch in komplexen oder schwer zugänglichen Messsituationen uneingeschränkt nutzen. Mit diesen Voraussetzungen kann sie hervorragend sowohl für Voruntersuchungen ganzer Anlagen und Gebäude eingesetzt werden als auch für zeiteffiziente, überblicksartige Darstellungen der Ist-Zustände historischer Objekte. Über das integrierte Display können die Messobjekte unmittelbar eingesehen und geprüft werden, ohne auf einen externen Bildschirm angewiesen zu sein. Voruntersuchungen und unklare Befunde können spezifisch angepasst und vorläufig ausgewertet werden. Lücken, Fehlstellen oder Messfehler können schnell erkannt und direkt im Rahmen der Untersuchungen ergänzt und vervollständigt werden. Der Einsatz von Thermographie ermöglicht so eine stringente Zusammenführung historischer und technischer Bauforschung und bietet vor allem in der Bauwerksanalyse ein unschätzbares Potential zerstörungsfreier Prüf- und Visualisierungsmethoden.

(Anna Luib)