



Flir-Wärmebildtechnik hilft dabei, verborgene Texte in den antiken Herculaneum-Papyri sichtbar zu machen

Die Wärmebildtechnik von Flir unterstützt Forscher in Italien dabei, verborgene Texte in den Herculaneum-Papyri zu entschlüsseln – einer einzigartigen Sammlung antiker Manuskripte, die beim Ausbruch des Vesuvs im Jahr 79 n. Chr. verkohlt wurden.



Die Wärmebildtechnik von Flir unterstützt Forscher in Italien dabei, verborgene Texte in den Herculaneum-Papyri zu entschlüsseln – einer einzigartigen Sammlung antiker Manuskripte, die beim Ausbruch des Vesuvs im Jahr 79 n. Chr. verkohlt wurden. Mithilfe der gepulsten Thermografie, die den schnellen analogen Lock-in-Eingangsport mit 2,775 MHz nutzt, über den die fortschrittlichen Wärmebildkameras von Flir verfügen, können Wissenschaftler Schriftzüge sichtbar machen, die zuvor mit bloßem Auge nicht erkennbar waren. Gleichzeitig gewinnen sie neue Erkenntnisse über die fragile innere Struktur der Dokumente. Sämtliche Abbildungen stammen aus S. Ceccarelli et al., SciRep 15, 34466 (2025).

Das bedeutende Projekt wird von Forschern des Institute of Heritage Science geleitet, das zum Nationalen Forschungsrat Italiens (CNR) gehört. Ziel ist es, zerstörungsfreie Methoden zur Untersuchung und Erhaltung der einzigen erhaltenen Bibliothek der antiken griechisch-römischen Welt zu entwickeln.

Die Schriftrollen wurden im 18. Jahrhundert bei Ausgrabungen in der Villa dei Papiri in Herculaneum entdeckt. Sie überstanden den Vulkanausbruch dank einer Verkohlung durch extreme Hitze sowie ihrer Einbettung in vulkanisches Material. Dieser außergewöhnliche Erhaltungsprozess bewahrte zwar die Manuskripte, stellte Historiker und Restauratoren jedoch vor erhebliche Herausforderungen beim Lesen und Erhalten der Dokumente.

Viele der Papyri wurden bereits vor Jahrhunderten mechanisch entrollt und auf Trägermaterialien montiert. Die daraus entstandenen Fragmente sind jedoch äußerst empfindlich, häufig stark geschichtet und in vielen Fällen nahezu unlesbar.

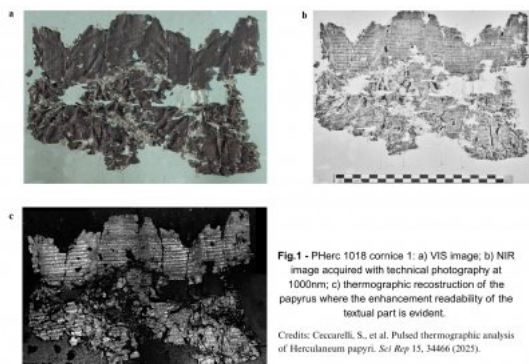
Konventionelle Bildgebung stößt an ihre Grenzen

Eine der größten Herausforderungen besteht darin, dass sowohl das verkohlte Papyrussubstrat als auch die Tinte schwarz sind. Dadurch ist eine Unterscheidung mit herkömmlichen Bildgebungsverfahren äußerst schwierig, da der Kontrast im sichtbaren Spektralbereich verloren geht. Andere, anspruchsvollere Verfahren wie die Röntgenbildgebung können funktionieren, insbesondere in Kombination mit künstlicher Intelligenz,

sind jedoch komplexer und kostenintensiver. Zudem müssen die Papyri dafür in spezialisierte Labore transportiert werden.

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, setzten die Restauratoren auf die gepulste Thermografie – ein Verfahren, das kontrollierte Lichtanregung mit hochauflösender thermischer Bildgebung kombiniert. Dabei wird das Papyrusmaterial mit einem kurzen Lichtimpuls bestrahlt und die daraus resultierende thermische Reaktion über die Zeit aufgezeichnet.

Oberflächennahe Schriftzüge werden bereits in den ersten Infrarotbildern nach der Anregung sichtbar, da die Tinte das Licht anders absorbiert als das umgebende Papyrusmaterial. Während sich die Wärme in den folgenden Sekunden durch die Probe ausbreitet, treten tiefere Strukturen und verborgene Merkmale hervor. Dieses zeitabhängige thermische Verhalten ermöglicht es den Forschern, Schrift von Substratmaterial zu unterscheiden.



Fortschrittliche Wärmebildtechnik

Im Zentrum des Projekts steht der Einsatz von Wärmebildkameras der Flir X-Serie. Durch die Kombination aus hochauflösender, schneller Infrarotbildgebung und erweiterten thermischen Analysefunktionen eignen sich die Kameras ideal für wissenschaftliche Forschungsumgebungen, in denen Präzision und Datenintegrität von entscheidender Bedeutung sind.

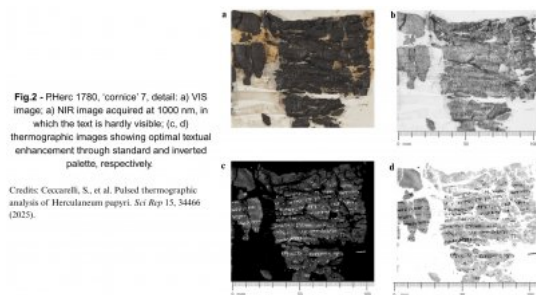
Die im mittleren Infrarotbereich arbeitenden Kameras der Flir X-Serie ermöglichten es den Forschern, schnelle thermische Ereignisse mit außergewöhnlicher Empfindlichkeit zu erfassen. Dadurch wurden selbst geringste Temperaturunterschiede zwischen beschriebenen und unbeschriebenen Bereichen der Papyri während der Analyse mittels gepulster Thermografie sichtbar. Die X-Serie verfügt über einen schnellen analogen Lock-in-Eingangsport für externe Referenzsignale, der thermische Hochgeschwindigkeitsanalysen mit einer Abtastrate von 2,775 MHz ermöglicht. Diese Funktion erlaubt die Erkennung äußerst schwacher Signale und minimaler Temperaturunterschiede in Materialien.

Für die kontrollierte Anregung nutzten die Forscher zwei Blitzlampen, wobei der Temperaturanstieg innerhalb der Papyri auf lediglich 2–3 °C begrenzt wurde – deutlich unterhalb jeder als kritisch eingestuften Belastung für das antike Material. Spezielle Filtersysteme verhinderten zudem UV-Bestrahlung und minimierten unerwünschte Infrarotreflexionen.

Nach Angaben des Projektteams erwiesen sich insbesondere die hohe Empfindlichkeit, die räumliche Auflösung und die erweiterten Aufzeichnungsfunktionen der Flir X-Serie als entscheidend für die Erkennung feinsten thermischer Kontraste und die Sicherstellung einer hohen Bildqualität während des gesamten Erfassungsprozesses.

Die Möglichkeit, thermische Daten kontinuierlich und ohne Bildverluste zu streamen und aufzuzeichnen, unterstützte darüber hinaus die detaillierte Nachbearbeitung und Analyse mit der Software Flir Research Studio.

Bemerkenswert ist zudem, dass das Verfahren vollständig berührungslos und zerstörungsfrei arbeitet – eine zentrale Voraussetzung bei der Untersuchung empfindlicher Kulturgüter, die weder physisch manipuliert noch von ihren historischen Trägern entfernt werden können.



Mehr als nur Textrekonstruktion

Während das Hauptziel des Projekts in der Sichtbarmachung verborgener Texte besteht, liefert die gepulste Thermografie auch wertvolle strukturelle Informationen für Restaurierungsexperten.

Wenn sich die Wärme über längere Zeiträume durch das Papyrusmaterial ausbreitet, werden im thermischen Datensatz Merkmale wie Faserstrukturen, überlappende Schichten und Haftstellen zwischen Papyrus und Trägerplatte sichtbar. Diese Informationen helfen Restauratoren dabei, den physischen Zustand der Manuskripte besser zu verstehen und Bereiche mit möglicher Ablösung oder Materialschädigung zu identifizieren.

Die Möglichkeit, sowohl die Schrift als auch die Struktur des Substrats aus demselben thermischen Datensatz zu analysieren, bietet erhebliche Vorteile für Restaurierungsmaßnahmen und langfristige Erhaltungsstrategien. Besonders wertvoll ist die Methode in Bereichen, in denen die Manuskripte mehrere komprimierte Schichten enthalten, die während historischer Entrollungsprozesse entstanden sind. Dort blieben innere Bereiche miteinander verbunden, anstatt sich sauber voneinander zu lösen, wodurch komplexe Strukturen entstanden, die sich mit traditionellen Bildgebungsverfahren nur schwer analysieren lassen.

Die Forscher weisen außerdem darauf hin, dass einige konkurrierende Technologien größere und schwerere Geräte erfordern, strengere Anforderungen an die Positionierung stellen oder bei der Untersuchung geschichteter Materialien eine geringere Bildqualität liefern können.

Potenzial für die Zukunft

Eine der verbleibenden Herausforderungen besteht darin, Texte auf der Rückseite der Papyri oder in stark geschichteten Bereichen zu identifizieren, in die nur begrenzt Anregungslicht eindringen kann. Zwar lassen sich thermische Informationen aus tieferen Schichten grundsätzlich erfassen, doch werden die Signale mit zunehmender Tiefe schwächer und unschärfer, da sich die Wärme im Material verteilt.

Um diese Einschränkungen zu überwinden, untersucht das CNR-Team derzeit KI-basierte Auswertungsverfahren. KI-gestützte Analysen könnten die Unterscheidung zwischen Tinte und Papyrussubstrat weiter verbessern, die Lesbarkeit erhöhen und die zukünftige Interpretation der Texte unterstützen.

Unabhängig von den weiteren Entwicklungen ist das Forschungsteam überzeugt, dass die gepulste Thermografie künftig eine immer wichtigere ergänzende Rolle neben anderen fortschrittlichen Methoden der Kulturerbeforschung spielen wird. Das Projekt zeigt eindrucksvoll die wachsende Bedeutung der Wärmebildtechnik von Flir für wissenschaftliche Forschung und Konservierung. Durch die Kombination aus hochschneller thermischer Datenerfassung und fortschrittlichen Analyseverfahren können Forscher heute einige der empfindlichsten historischen Artefakte der Welt auf eine Weise untersuchen, die bislang nicht möglich war.