

Großproben-Laser-Flash-Analyse (LFA)

Die Großproben-Laser-Flash-Analyse (LFA) bestimmt die Temperaturleitfähigkeit dichter, grobkeramischer und feuerfester Materialien bis 1600 °C und ermöglicht so die präzise Berechnung der Wärmeleitfähigkeit für die Optimierung von Rezepturen, Prozessen und Anwendungen.



Abbildung 1: Großproben-Laser-Analyse-Anlage (LFA) der Forschungsgemeinschaft Feuerfest e. V. Sie wurde im Haus gemeinsam mit Partnern entwickelt.

Mit dem spezialisierten Laser-Flash-Verfahren für große Prüfkörper (Durchmesser 36–50 mm, Höhe 6–13 mm) analysieren wir das thermische Verhalten Ihrer Materialien unter realitätsnahen Bedingungen. Das Verfahren nutzt:

- Hochenergie-Laserimpulse (CO₂-Laser, 10,6 µm Wellenlänge) für den Wärmeeintrag auf der Basisfläche – ohne Beschichtung, dank der hohen IR-Absorption der meisten Keramiken.
- Inverse Finite-Elemente-Methode (iFEM) zur 3D-Simulation der Temperaturleitung und des Wärmeübergangskoeffizienten unter Berücksichtigung der Probendimensionen und der Laser-Pulsdauer.
- Präzise Pyrometer-Messung des Temperaturverlaufs auf der Rückseite des Prüfkörpers im langwelligen IR-Bereich.

Diese speziell entwickelte LFA ermöglicht die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit dichter, grobkeramischer Werkstoffe oder Materialien mit heterogenem Gefüge (z. B. Feuerbetone, dichte Steine).

Dies ermöglicht Ihnen:

- Basierend auf der gemessenen Temperaturleitfähigkeit, bekannter Rohdichte und spezifischer Wärmekapazität die Wärmeleitfähigkeit zu berechnen
- Das thermische Verhalten von Zustellungen zu berechnen,
- Benchmarking und Anpassung von Rezepturen sowie Herstellungsverfahren für bessere thermische Eigenschaften vorzunehmen
- Temperaturgradienten in Anwendungen (z. B. Stahl-, Glas-, Zementindustrie) präzise steuern zu können
- Materialentwicklung/optimierung hinsichtlich Energieeinsparungen oder maximalen Außentemperaturen von Anlagen

Problemstellung

Sie benötigen präzise thermische Kennwerte für Ihre feuerfesten Materialien, um Prozesse zu optimieren oder Schadensfälle zu vermeiden jedoch scheitern herkömmliche Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit oft an:

- Nicht repräsentativen (zu kleinen Proben)
- Nicht ausreichendem Temperaturbereich der Messverfahren (nicht über 1250 °C)

Gerne besprechen wir im Vorfeld Ihre Erwartungen und entwickeln individuelle Lösungswege für Ihr Projekt.

Lösungsansatz der FGF

Die Forschungsgemeinschaft Feuerfest e.V. (FGF) hat das Großproben-Laser-Flash-Verfahren (LFA) gemeinsam mit Partnern entwickelt, um die Temperaturleitfähigkeit auch bei grobkeramischen und heterogenen Materialien präzise zu bestimmen. Somit eignet sich dieses Verfahren ideal für Feuerfestmaterial.

Unser Ansatz zeichnet sich aus durch:

- Großformatige Prüfkörper (Durchmesser 36–50 mm, Höhe 6–13 mm), die das tatsächliche Gefüge Ihres Materials repräsentieren.
- Keine Beschichtung nötig: Dank CO₂-Laser (10,6 µm Wellenlänge) und langwelligem Pyrometer wird die Temperaturleitung ohne Oberflächenbeschichtung gemessen.
- Inverse Finite-Elemente-Methode (iFEM): Berücksichtigt Pulsdauer, 3D-Temperaturleitung, Wärmeabstrahlung und Probendimensionen für eine realistische Simulation des gemessenen Temperaturverlaufs.
- Messungen bis 1600 °C (Luft) oder 1200 °C (Argon) – ideal für Hochtemperatur-Anwendungen.

Wir bieten eine einzigartige Kombination aus Großproben-LFA und iFEM-Simulation für präzise, reproduzierbare Ergebnisse auch bei Probenformaten und Temperaturen, die mit herkömmlichen Methoden nicht analysierbar sind.

Vorgehensweise

1. **Abstimmung der Prüfparameter.** Gemeinsam mit Ihnen klären wir: Materialbeschaffenheit und Probenvorbereitung, Temperaturbereich der Messung (bis 1600 °C in Luft oder 1200 °C unter Argon), Anzahl der Temperaturstufen und Messpunkte, Spezifische Anforderungen (z. B. Fokus auf kritische Temperaturbereiche).
2. **Probenanforderungen:** Für jede Untersuchung benötigen wir **planparallele Scheiben** mit: Durchmesser: 36–50 mm (empfohlen: 45 mm), Höhe: 6–13 mm (Verhältnis D:H ca. 4), maximale Planparallelitätsabweichung: 0,1 mm. (Die Proben können auf Wunsch bei uns hergestellt werden). **Menge:** Mindestens 1 Prüfkörper pro Material (*Hinweis:* Bei Materialien mit besonders großen Gefügebestandteilen und bei extrem heterogenen Materialien empfehlen wir mehrere Prüfkörper für statistisch abgesicherte Ergebnisse.). **Zusätzliche Daten:** Rohdichte (ρ) des Materials, Spezifische Wärmekapazität (c_p) (kann durch FGF aus Literaturwerten berechnet werden, falls die quantitative Phasenzusammensetzung des Probenmaterials bekannt ist).
3. **Prüfkörperherstellung:** Wir stellen die benötigten Prüfkörper aus Ihren Materialien her oder Sie stellen sie uns zur Verfügung.
4. **Messdurchführung:** Der Prüfkörper wird im Ofen auf die gewünschte Temperatur aufgeheizt. Laserimpulse erwärmen die Basisfläche des unbeschichteten Prüfkörpers. Ein Pyrometer misst den zeitlichen Temperaturverlauf auf der Rückseite des Prüfkörpers. Pro Temperaturstufe werden 3–7 Laserimpulse abgegeben und die Ergebnisse gemittelt.
5. **Ergebnisaufbereitung:** Die gemessenen Temperaturverläufe werden von Ausreißern befreit und es werden Driftkorrekturen (z. B. durch Ofenheizung) angewendet. Über eine inverse Finite-Elemente-Methode (iFEM) wird der gemessene Temperaturverlauf iterativ simuliert. Bei Übereinstimmung von Simulation und Messung sind Temperaturleitfähigkeit (a) und Wärmeübergangskoeffizient bekannt. Die Wärmeleitfähigkeit (λ) wird berechnet, sofern Rohdichte (ρ) und Wärmekapazität (c_p) vorliegen: $\lambda = a \times c_p \times \rho$.
6. **Ergebnisaufbereitung:** Grafische Darstellungen der Temperaturleitfähigkeit (a) und der Wärmeleitfähigkeit (λ) über den Temperaturbereich, statistische Auswertung (Mittelwerte, Standardabweichungen).

Ergebnisse

Sie erhalten einen detaillierten Bericht mit:

Grafische Darstellungen der Temperaturleitfähigkeit (a) und ggf. der Wärmeleitfähigkeit (λ) über den Temperaturbereich, statistische Auswertung (Mittelwerte, Standardabweichungen).

Praktischer Nutzen für den Kunden

Die Analyse hilft Ihnen:

- Die Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit ist eine der wichtigsten physikalischen Eigenschaften feuerfester Erzeugnisse. Über die Rohdichte und die Wärmekapazität definieren sie maßgeblich den Wärmehaushalt von Anlagen für Hochtemperatur-Prozesse: Energieverbrauch, Wärmeverluste an die Umgebung, Außentemperaturen
- Bei der Entwicklung neuer feuerfester Erzeugnisse oder einer Veränderung der Rezepturen müssen diese thermophysikalischen Eigenschaften neu gemessen werden. Meist ist der Gefügebau feuerfester Erzeugnisse zu komplex, um ihre temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit auf Basis theoretischer Modelle zu berechnen.

Ihr nächster Schritt

Kontaktieren Sie uns für eine individuelle Beratung oder ein unverbindliches Angebot

 Simmat@fg-feuerfest.de  02624 9433182 |  [Forschungsgemeinschaft Feuerfest e.V.](https://www.fg-feuerfest.de)

Ergänzende Dienstleistungen

Für eine umfassende Materialanalyse empfehlen wir Ihnen ergänzend:

- Kontinuierliche Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit feuerfester Erzeugnisse nach der Methode Monotones Aufheizen (MMH) mit gleichzeitiger Thermoanalyse (ablaufende Phasenumwandlungen, Versinterung)
- Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit feuerfester Erzeugnisse nach Heißdraht-Paralleldraht-Methode (ISO 8894-1/2) und ASTM C201 (Kalorimeter-Verfahren) (Unser Partner ist das Deutsches Institut für Feuerfest und Keramik DIFK)
- Bestimmung weiterer Materialeigenschaften feuerfester Erzeugnisse nach nationalen und internationalen Normen (Unser Partner ist das Deutsches Institut für Feuerfest und Keramik DIFK)