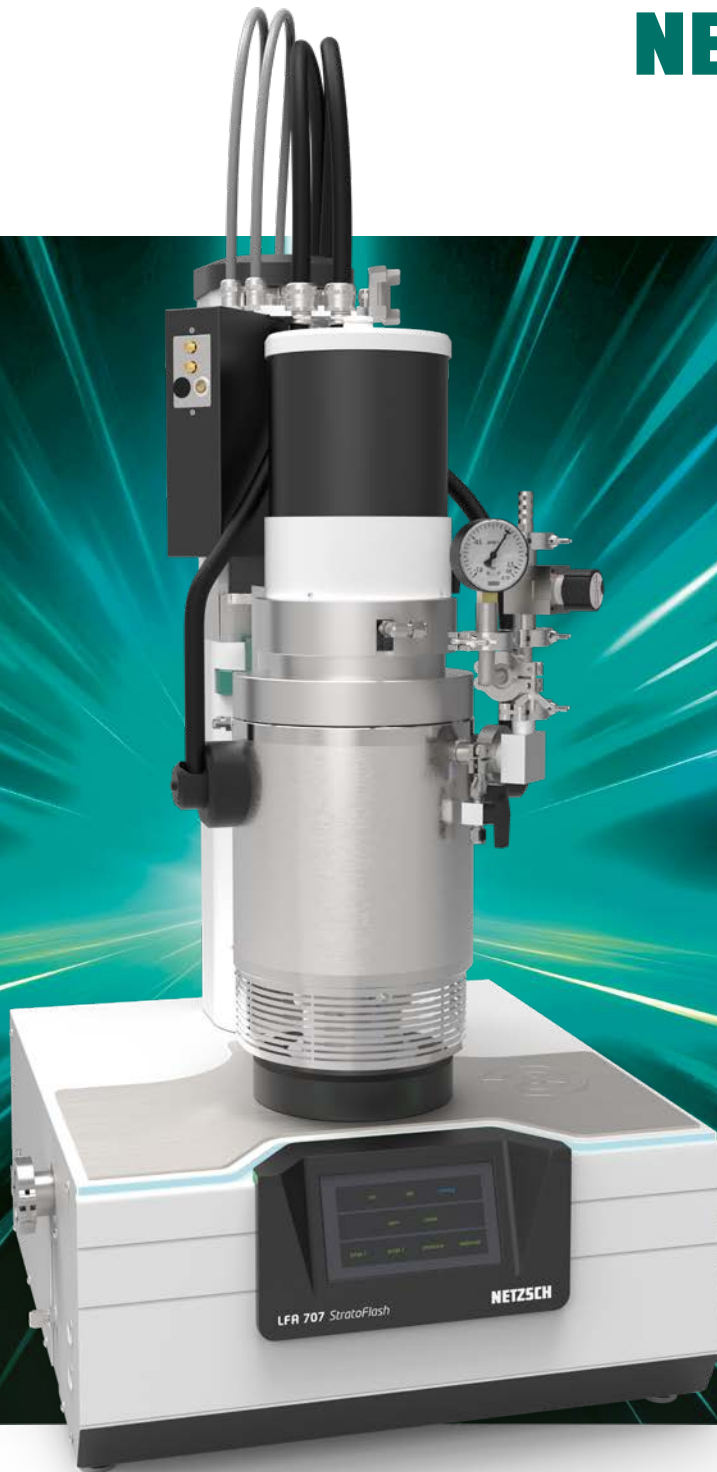


NETZSCH

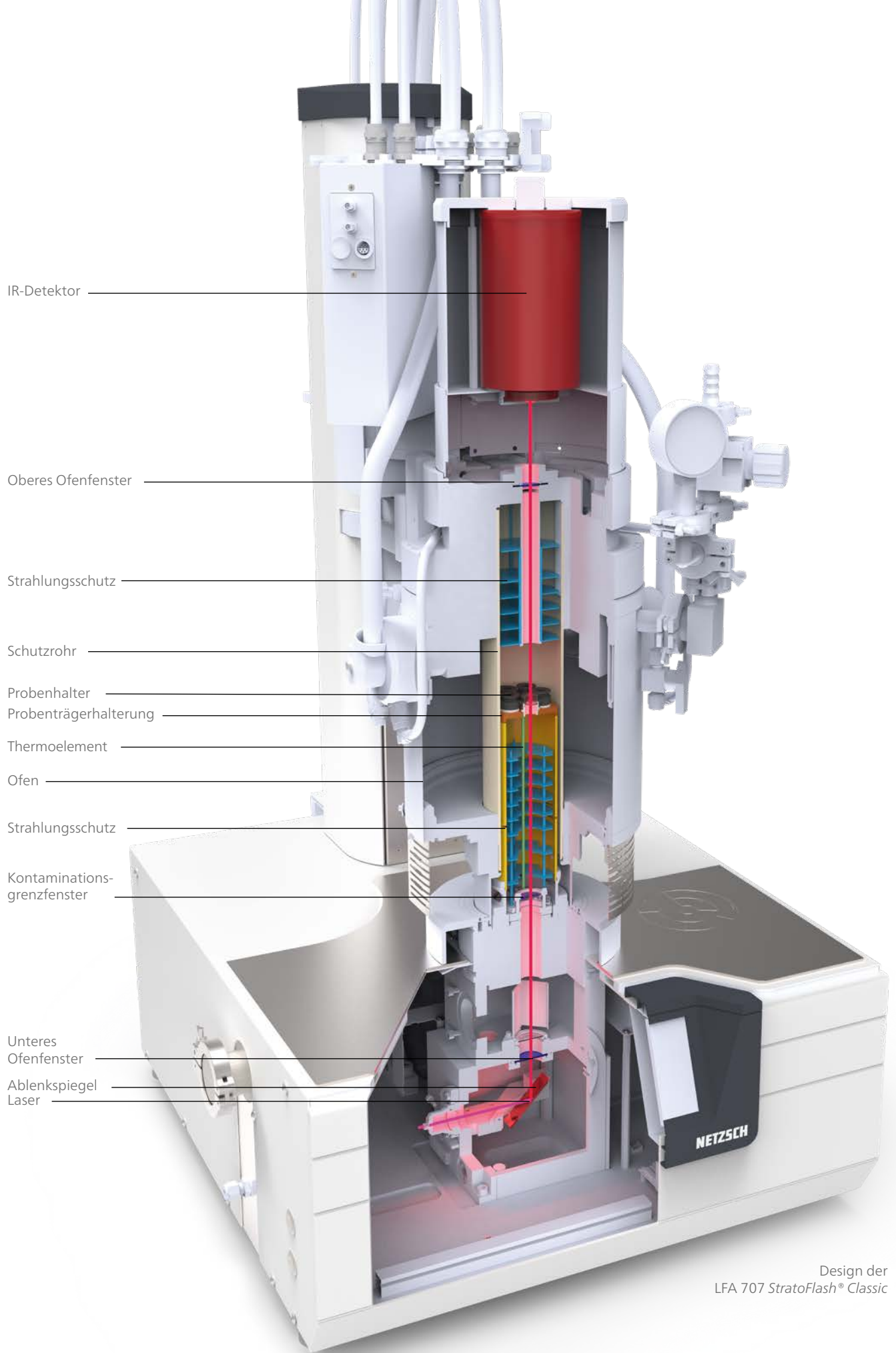
Proven Excellence.



Laser Flash-Apparatur **LFA 707 StratoFlash® Classic**

Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit zwischen RT und 1600 °C
Methode, Techniken und Applikationen

Analyzing & Testing



IR-Detektor

Oberes Ofenfenster

Strahlungsschutz

Schutzrohr

Probenhalter

Probenträgerhalterung

Thermoelement

Ofen

Strahlungsschutz

Kontaminationsgrenzfenster

Unteres Ofenfenster

Ablenkspiegel
Laser

Design der
LFA 707 StratoFlash® Classic

LFA 707 StratoFlash® Classic

Temperaturleitfähigkeitsmessungen mit Laserpräzision

Maximale Effizienz

- **Der automatische Probenwechsler** erhöht den Probendurchsatz, indem er die gleichzeitige Messung von bis zu fünf Proben ermöglicht.
- Mit **ultraschneller Datenerfassung** können präzise, hochausflösende Messkurven mit außergewöhnlicher Genauigkeit erfasst werden.

Große Vielseitigkeit

- Zur Auswahl stehen über **30 Probenhalter** in verschiedenen Größen und Ausführungen. Sonderprobenhalter für unterschiedlichste Anwendungen passen sich nahtlos an jede Applikation an.

Einfache Wartung

- Der einfachen Zugang zu den Ofenfenstern ermöglicht die **einfache Reinigung und Wartung** des Geräts – so arbeitet Ihr Gerät stets mit optimaler Leistung.

Entwickelt für Ihre Anforderungen

- **Variabler Energieauftrag** – analysieren Sie eine Vielzahl von Materialien – von dicken Polymeren bis hin zu äußerst dünnen Metallen wie Kupfer
- **Inhouse entwickelte Software sowie speziell für dieses Produkt entwickelter Laser**
- **Hochentwickelte Berechnungsmodelle** – bessere Performance und zuverlässigere Ergebnisse
- **Anpassbare Heizrate** und abgestimmte Zeitintervalle

Verbessern Sie Prozess- und Produktsicherheit durch präzise Laserimpulse

- **Hochgenaue c_p -Bestimmung** anhand der Vergleichsmethode
- **Pulsformerkennung und Finite Puls Correction**, essenziell für die Messung hochleitfähiger Metalle wie Silber und Kupfer
- **Erfasst schnelle Reaktion** effizient – Messen Sie ultraschnell reagierende und energieempfindliche Proben mit einer minimalen Pulsbreite von 50 μ s

Die LFA 707 StratoFlash® Classic

Universeller, kompakter Laser Flash-Analysator
für die Metall, Glas- und Keramikindustrie

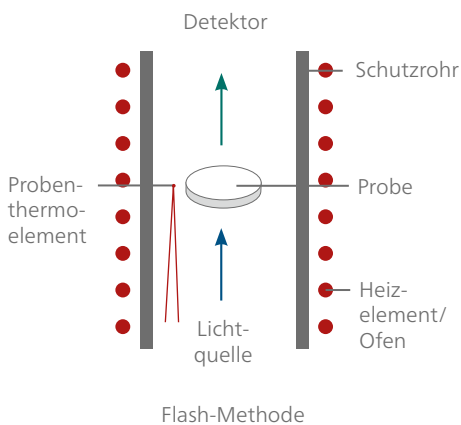
Die Laser Flash-Analyse (LFA) ist eine schnelle, präzise, zerstörungsfreie und kontaktlose Methode zur Messung der thermophysikalischen Eigenschaften von Materialien wie beispielsweise Keramiken, Metallen, Polymeren und Verbundwerkstoffen in einem breiten Temperaturbereich. Sie liefert wichtige Daten zur Temperaturleitfähigkeit und zur spezifischen Wärmekapazität, die für die Charakterisierung der Wärmeleitfähigkeit essenziell sind. Dies ist für Anwendungen in den Bereichen Isolierung, Wärmetauscher, Elektronik Kühlung und Hochtemperatur-Prozesssteuerung unerlässlich.

Temperaturleitfähigkeit/ Wärmeleitfähigkeit

Wesentliche Vorteile

- Schnelle und präzise Charakterisierung der thermischen Eigenschaften
- Hochtemperaturmessungen bis 1600 °C
- Außergewöhnliche Messgenauigkeit durch monochromatischen, kohärenten und kollimierten Strahl
- Große Auswahl an Probengeometrien (zwischen 6 und 25,4 mm)
- Zerstörungsfreies Prüfen und gleichzeitige Erhaltung der Probe für weitere Verwendungen oder Analysen
- Vielseitig einsetzbar für verschiedene Materialien: Festkörper, Flüssigkeiten, Pasten, Pulver und Verbundwerkstoffe, einschließlich anisotroper und mehrschichtiger Strukturen
- Einfach zu verwendende, hochentwickelte Berechnungsmodelle für eine präzise Kurvenanpassung und optimale Ergebnisse

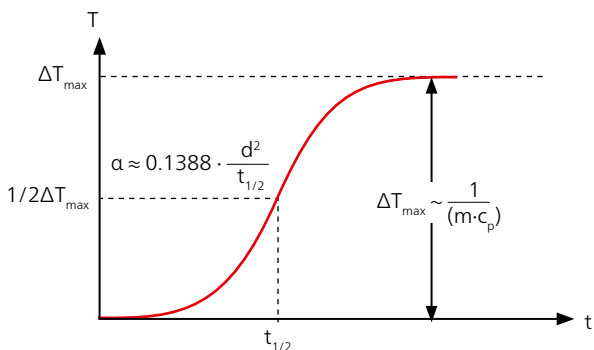




Prinzip

Eine dünne, planparallele Probe wird auf einem Probenträger befestigt und in einem Ofen platziert. Sobald die Probe die vorgegebene Temperatur erreicht hat, wird ein kurzer Laserimpuls auf ihre Vorderseite gegeben. Durch diesen Wärmeimpuls diffundiert die thermische Energie durch die Probe, was zu einem zeitabhängigen Temperaturanstieg auf deren Rückseite führt. Diese Temperaturänderung wird von einem Infrarotdetektor aufgezeichnet.

Die Temperaturleitfähigkeit des Materials lässt sich durch Analyse der Temperaturreaktion des Detectorsignals berechnen. Darüber hinaus lässt sich die spezifische Wärmekapazität der Probe mithilfe einer Referenzprobe ermitteln. Aus den gemessenen thermischen Eigenschaften in Kombination mit der Probendichte lässt sich anschließend die Wärmeleitfähigkeit λ berechnen.



Schematische Darstellung eines LFA-Signals

Temperaturleitfähigkeit

$$\lambda(T) = \alpha(T) \cdot c_p(T) \cdot \rho(T)$$

mit
 λ = Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]
 α = Temperaturleitfähigkeit [mm²/s]
 c_p = spezifische Wärmekapazität [J/(g·K)]
 ρ = Dichte [g/cm³].

Die Temperaturleitfähigkeit (α) einer Probe kann anhand ihrer Dicke (d) und der Zeit ($t_{1/2}$) die bestrahlte Rückseite benötigt, um die Hälfte ihres maximalen Temperaturanstiegs zu erreichen, schnell geschätzt werden. Zur genauen Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit führt die *Proteus*[®]-Software eine gründliche Analyse des Thermogramms unter Verwendung weiterführender LFA-Modelle durch.

Probenhalter für Standard- und spezielle Applikationen



Probenhalteraufbau für runde Proben
(ähnliches Set für quadratische Proben)



Spezieller Probenhalter
für Metallschmelzen und Laminat



Standard-Probenhalter für quadratische und runde Proben und
unterschiedliche Dimensionen (erhältlich in Al_2O_3 und Grafit)

Über 30 Probenhalter für unterschiedliche Proben und Probengeometrien

Die Probenhalter sind aus Grafit und Aluminiumoxid (Al_2O_3) gefertigt und eignen sich für feste, runde oder quadratische Proben mit einem Durchmesser von 6 mm bis 25,4 mm bzw. Kantenlängen von 10 mm oder 20 mm. Dazu gehören Probenhalter für In-Plane-Messungen und Druckprobenhalter für Pulverproben und spezielle Geometrien. Probenhalter für die Prüfung von Laminaten, Pasten, Flüssigkeiten, Fasern sowie von Proben, die beim Aufheizen zerbröckeln oder schrumpfen, runden das breite Angebot ab.

Einfach zu handhabendes Probenhaltersystem

Die Probe befindet sich in einer horizontal stabilen und genau definierten Position. Sobald der Ofen angehoben wurde, sind alle Proben direkt zugänglich und können einfach eingesetzt oder entnommen werden. Ein Probenträgerrohr, das in einer metallischen Einstellhülse montiert ist, trägt die Probenträgerhalterung, den Probenhalter und die Kappe. Der Probenhalter wird direkt in die runden Öffnungen der Probenträgerhalterung eingesetzt.

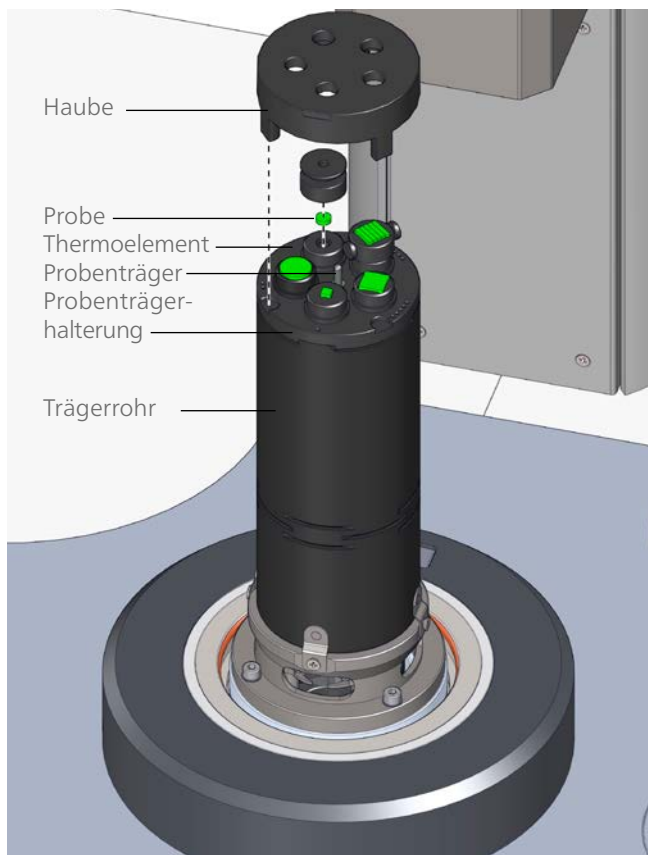
Probenhalterzinken für minimierten Kontakt

Der Probenhalter fixiert und zentriert die Probe mithilfe kleiner Zinken. Diese Konstruktion minimiert den Kontakt zwischen Probe und Halter, reduziert den Wärmeverlust und ermöglicht eine gleichmäßige Laserbestrahlung der gesamten Probensoberfläche. Der Innendurchmesser des Probenhalters fungiert als Begrenzungsblende unterhalb der Probe und passt sich dieser perfekt an.



Integrierter Probenplatzierungsbereich

Die obere Abdeckung des Geräts wird häufig zur Vorbereitung oder Lagerung von Proben genutzt. Sie ist mit optisch deutlich erkennbaren Bereichen versehen, die den Probenpositionen im Ofen entsprechen. Dies vereinfacht die Probenidentifizierung und -vorbereitung, reduziert Verzögerungen und ist besonders nützlich, wenn mehrere Personen das Gerät nutzen.



Automatischer Probenwechsler für drei oder fünf Proben

Die LFA 707 *StratoFlash*® Classic ist mit einem automatischen Probenwechsler ausgestattet. Damit können mehrere Proben unter identischen Bedingungen analysiert werden. Dies erhöht den Probendurchsatz für Forschung & Entwicklung sowie für die Qualitätskontrolle erheblich.

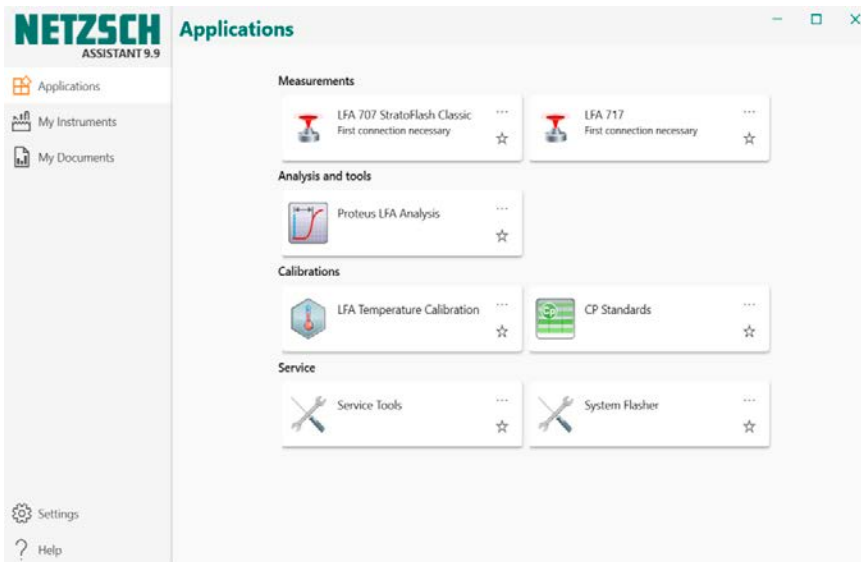
Referenzmaterialien

Eine Reihe verschiedener Referenzmaterialien ist in unterschiedlichen Formen und Durchmessern erhältlich. Es stehen sowohl einzelne Referenzmaterialien als auch Sets zur Verfügung. Jeder Materialklasse liegt ein Zertifikat bei.

Probenhaltersystem

Proteus®-Software

Schnell zu Ergebnissen kommen – ein kurzer Überblick



NETZSCH Assistent – alle Geräte und Applikationen auf einen Blick

Die neue NETZSCH LFA-Software kombiniert höchste Automatisierung mit maximaler Flexibilität. Dank ihrer modernen Benutzeroberfläche, der leistungsstarken 64-Bit-Architektur und der SQL-Datenbank überzeugt sie mit kurzen Ladezeiten, geringen Speicheranforderungen und intuitiver Bedienung.

Der NETZSCH Assistent

Die neueste Softwaregeneration führt den NETZSCH Assistenten ein. Dieses Tool bietet einen klaren Überblick über die angeschlossenen Geräte und die verfügbaren Softwarefunktionen und gewährleistet so von Anfang an einen reibungslosen und effizienten Arbeitsablauf.

Vorteile der Software

Separate Mess- und Analysesoftware, sodass die Analyse unabhängig vom Gerät durchgeführt werden kann.

- Moderne Benutzeroberfläche mit intuitiver Navigation
- Leistungsstarke SQL-Datenbank für schnelle Verarbeitung
- Kompatibel mit historischen NETZSCH LFA-Daten
- Weiterführende Berechnungsmodelle
- Hohe Flexibilität durch Kombination aus Automatisierung und manueller Steuerung
- Automatisierte Auswertung der Messung
- Export in gängige Formate für eine nahtlose Weiterverarbeitung

Dezentrales Datenmanagement

Dank der datenbankgestützten Speicherung von Messungen und Auswertungen können Teams von verschiedenen Computern und Standorten aus auf Projekte zugreifen, diese analysieren und weiterbearbeiten. Dies ermöglicht eine nahtlose Zusammenarbeit, verbessert die Rückverfolgbarkeit und stellt sicher, dass alle Beteiligten stets mit den aktuellsten Daten arbeiten.

Messsoftware

Merkmale der Messsoftware

Vollautomatische Optimierung von Verstärkungs- und Messzeit

Umfassende Anweisungen zu Live-Geräten und Sicherheitsstatus

Visualisierung von Puls- und Detektorsignalen während der Messung

Erste Einschätzung der Temperaturleitfähigkeit während der Messung

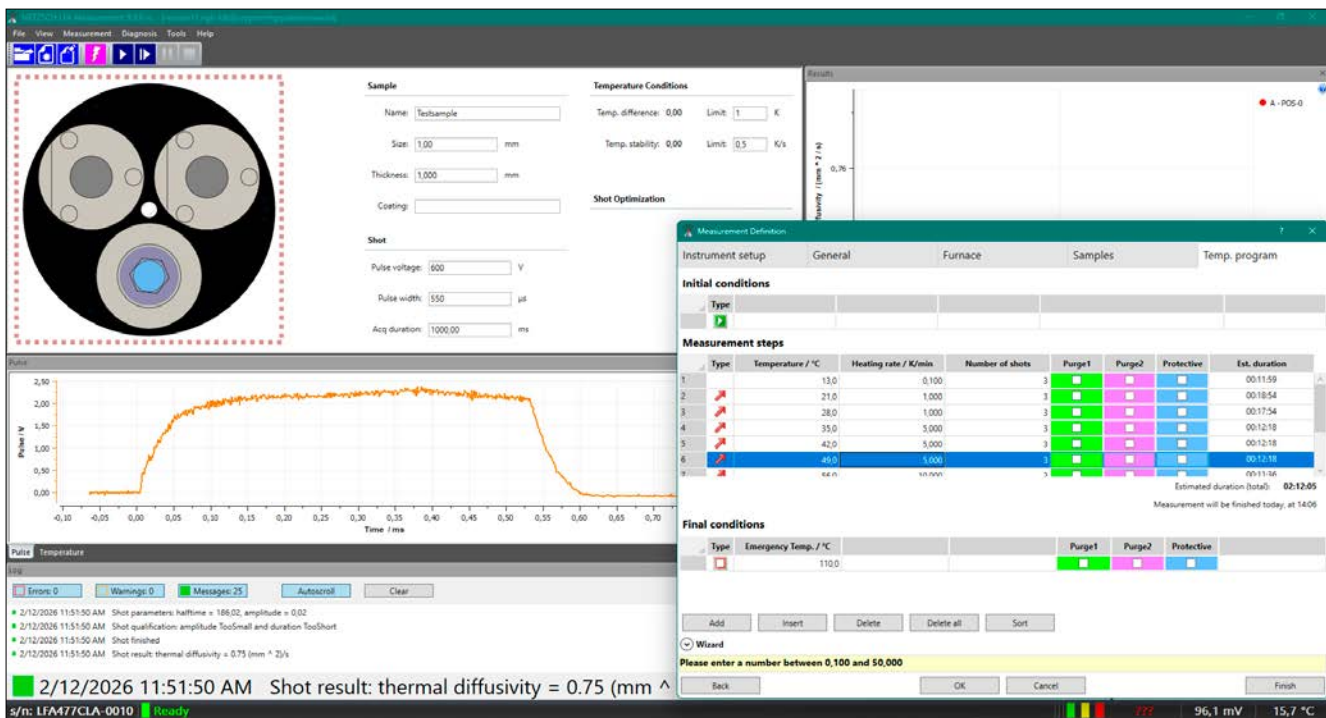
Definition einer beliebigen Anzahl von Temperaturstufen und der Anzahl der Schüsse pro Stufe

Visualisierung der Probenposition im Ofen

Temperaturkalibrierung für maximale Genauigkeit über den gesamten Temperaturbereich

Definiertes Temperaturprogramm mit anpassbaren Heizraten

Intuitive Messdefinition auf moderner, anwenderfreundlicher Benutzeroberfläche



Grafische Benutzeroberfläche der Messsoftware während der Messdefinition

Analysesoftware

Merkmale der Analysesoftware

Simultane Analyse mehrerer Messungen innerhalb einer Datenbank

Option für die Auswertung von Daten früherer LFA-Generationen

Berechnung der spezifischen Wärmekapazität (c_p) mithilfe der Vergleichsmethode

Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit durch Import von c_p - und Ausdehnungsdaten

Anzeige von Puls- und Detektorsignalen sowie der entsprechenden Kurvenanpassung

Gleichzeitige Anzeige mehrerer Messgrößen wie Temperaturleitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität in Abhängigkeit von der Temperatur

Mittelung mehrerer Schüsse bei gleicher Temperatur

Beschreibung der Temperaturabhängigkeit der thermischen Eigenschaften unter Verwendung gängiger mathematischer Funktionen (Polynome, Splines, 1/T)

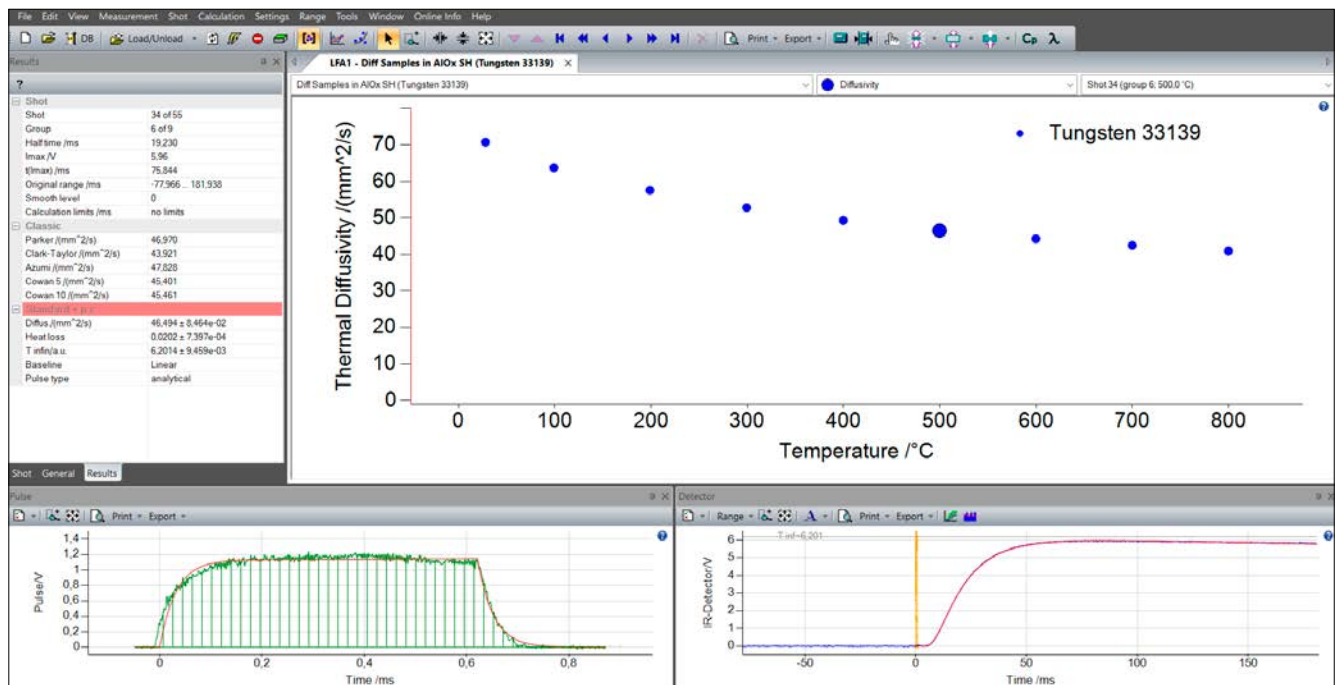
Visuelle Verarbeitung mit erweiterter Glättungsfunktion des Detektorsignals

Anzeige aller relevanten Schussparameter und -ergebnisse in einem erweiterten Infogitter

“Goodness-of-Fit” -Berechnung zur Auswahl des besten Berechnungsmodells

Exportfunktionen in gängige Formate wie csv

Zoomfunktion für präzise Datenanalyse

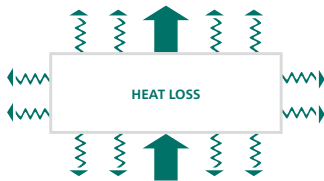


Grafische Benutzeroberfläche zur Analyse der Messergebnisse

Berechnungsmodelle, Korrekturen und mathematische Operationen

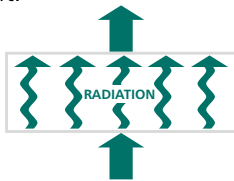
Standard-Modell

Für opake, homogene und isotrope Proben ist das sogenannte verbesserte Cape-Lehman-Modell die All-in-one-Lösung für ca. 90 % aller LFA-Anwendungen. Das Standardmodell berücksichtigt den zweidimensionalen Wärmeverlust (z-Achse und radial) sowie den beleuchteten Bereich und den Detektionsbereich.



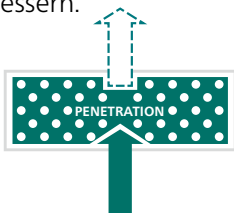
Transparent-Modell

Bei transparenten, optisch dünnen und diathermischen Materialien mit undurchsichtigen Begrenzungen kommt es zu einem direkten Strahlungswärmeübergang zwischen Vorder- und Rückseite der Probe. Aufgrund der geringen optischen Dicke findet neben der Wärmeübertragung auch eine Wärmeübertragung durch Strahlung statt. Dies führt zu einem sofortigen Anstieg der Temperaturkurve. Das Transparent-Modell berücksichtigt diese Effekte bei der Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit.



Penetrationsmodell

Bei porösen Materialien erstreckt sich die Absorption des Energieimpulses über eine dünne Schicht in die Probendicke hinein und beschränkt sich nicht mehr auf die Vorderseite. Das Penetrationsmodell berücksichtigt dies, um die Ergebnisse zur Temperaturleitfähigkeit solcher Proben zu verbessern.

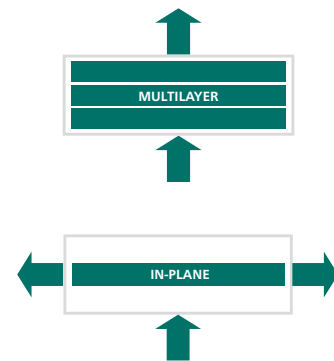


Sondermodelle

Für spezielle Anwendungen stehen dem Anwender 2- und 3-Schicht-Modelle sowie In-Plane-Wärmeflussmodelle (orthotrop und isotrop) zur Verfügung. Diese Modelle decken ein breites Spektrum an Geometrien und richtungsanisotropen Zusammensetzungen der Probe ab und machen die LFA-Analysesoftware damit komplett.



Weitere Informationen

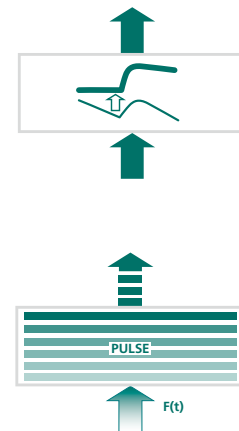


Korrekturen

Für eine optimale Anpassung und beste Ergebnisse sind alle Modelle standardmäßig mit einer Lichtimpuls- und einer Basislinienkorrektur ausgestattet. Der Anwender kann diese Korrekturen der Messsignale jedoch deaktivieren. Zusätzlich wird bei allen Modellen der Wärmeverlust berücksichtigt.



Weitere Informationen



Applikationen

Metalle

Thermophysikalische Eigenschaften von Edelstahl

Für die Konstruktion und Simulation thermisch beanspruchter Bauteile, insbesondere solcher aus metallischen Werkstoffen wie austenitischem Edelstahl 1.4301 (X5CrNi18-10), ist das Verständnis der temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit unerlässlich. Dieses Wissen beeinflusst die Abkühlrate und Erstarrung und somit die Mikrostruktur sowie die mechanischen Eigenschaften. Ein genaues Verständnis der Wärmeleitung kann Defekte, Verformungen und Materialschäden verhindern und somit die Prozessqualität sicherstellen.

Abbildung 1 zeigt die thermophysikalischen Eigenschaften einer Edelstahlprobe. Sowohl die Temperaturleitfähigkeit als auch die Wärmeleitfähigkeit nehmen mit steigender Temperatur stetig zu. Danach wird ein lokales Minimum sichtbar, das den Beginn bzw. das vollständige Schmelzen der Probe anzeigt. Dies wird durch DSC-Messungen bestätigt, die einen Peak in der scheinbaren spezifischen Wärmekapazität beim Schmelzen zeigen. Zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit wurde der energetische Effekt des Schmelzens interpoliert, um die tatsächliche spezifische Wärmekapazität zu ermitteln.

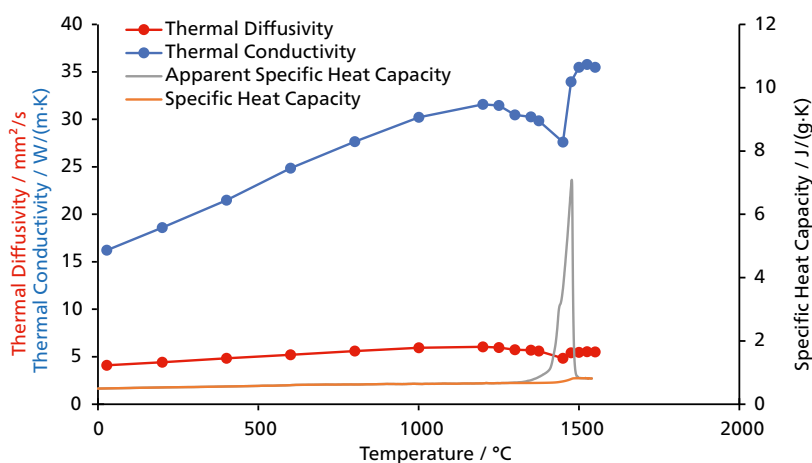
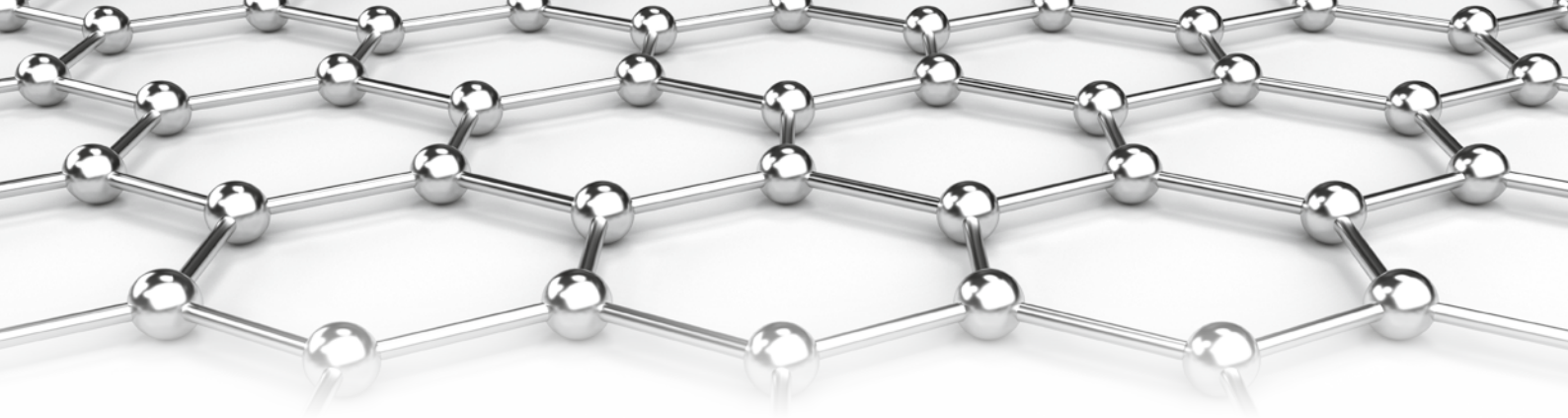


Abb. 1: Thermophysikalische Eigenschaften von Edelstahl 1.4301, RT bis 1550 °C. Spezifische Wärmekapazität gemessen mit der DSC 500 Pegasus®.

Probe:	Austenitischer Edelstahl 1.4301
Probengröße:	Ø 10,34 mm; ↓ 1,41 mm; planparallele Oberflächen
Probenhalter:	Saphir für Metallschmelzen
Temperaturbereich:	RT bis 1550 °C
Atmosphäre:	Argon
Heizrate:	Variabel bis 20 K/min
Modell:	Standard



Reines Eisen

Reines Eisen wird in industriellen Anwendungen eingesetzt, beispielsweise bei der Herstellung elektromagnetischer Komponenten, bei denen der Wärmeübergang eine entscheidende Rolle spielt. Mithilfe der Laser-Flash-Analyse (LFA) lässt sich seine Wärmeleitfähigkeit exakt bestimmen. Dies bildet eine verlässliche Grundlage für die Konstruktion und Simulation industrieller Prozesse.

Abbildung 2 zeigt das typische Verhalten der Wärmeleitfähigkeit und der spezifischen Wärmekapazität während des Curie-Übergangs bei etwa 770 °C. In diesem Bereich zeigt die Wärmeleitfähigkeit jedoch keine signifikante Wirkung. Nach dem Curie-Übergang verhalten sich Wärmeleitfähigkeit und Diffusionsfähigkeit ähnlich. In der Schmelze nehmen sie aufgrund der Auflösung der Gitterstruktur während des Phasenübergangs bei Temperaturen über 1525 °C ab. Diese Eigenschaften nehmen in der Schmelze aufgrund der Auflösung der Gitterstruktur während des Phasenübergangs bei > 1525 °C (wenn keine Wärmeübertragung von Phononen in der Schmelze stattfindet) ab. Der Curie-Übergang ist sowohl in der Wärmeleitfähigkeit als auch in der spezifischen Wärmekapazität deutlich sichtbar. Die Wärmeleitfähigkeit zeigt in diesem Bereich jedoch keine Auswirkungen.

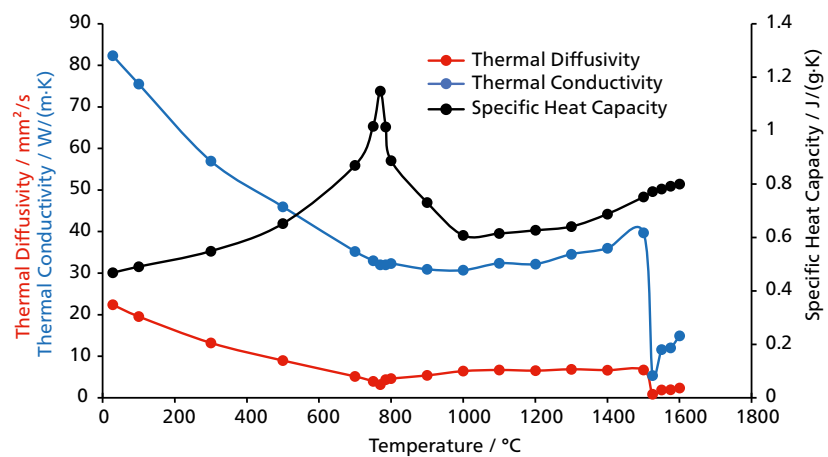


Abb. 2: Thermophysikalische Eigenschaften von reinem Eisen

Proben:	Reines Eisen
Probengröße:	Ø 10,39 mm; Dicke ~ 1,4 mm; planparallele Oberflächen
Probenhalter:	Saphir für Metallprüfungen
Temperaturbereich:	RT bis 1600 °C
Atmosphäre:	Argon
Heizrate:	Variabel bis 20 K/min
Modell:	Standard

Tests an Metallen in flüssiger Phase

Dünnen Proben mit hoher Wärmeleitfähigkeit

Um dünne, hochleitfähige Proben genau zu messen, ist ein hochempfindliches System erforderlich, das kurze Pulsbreiten, eine schnelle Datenerfassung und eine moderne Datenauswertung ermöglicht. Die größte Herausforderung ist die extrem kurze Messzeit, die niedrige Pulsbreiten und hohe Abtastraten erfordert.

Ein gängiges Beispiel hierfür ist Kupfer, das in der Regel eine Dicke von 0,3 bis mehreren Millimetern aufweist. Es wird häufig als Wärmeverteiler, Substrat oder Kühlplatte in Leistungselektronik und Batteriesystemen eingesetzt, da dort eine effiziente Wärmeableitung und eine kompakte Bauweise unerlässlich sind.

Die LFA 707 *StratoFlash® Classic* erfüllt diese Anforderungen durch einstellbare Pulsbreiten und Spannungen, die eine optimierte Energiezufuhr ermöglichen. Ihre Datenerfassungsrate von 2 MHz gewährleistet auch bei sehr kurzen Messzeiten eine ausreichende Anzahl von Datenpunkten. Messungen der Wärmeleitfähigkeit von Kupferproben mit einer Dicke von 0,32 bis 4 mm ergaben Ergebnisse, die innerhalb von $\pm 2,5\%$ des Literaturwerts von $117 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei Raumtemperatur lagen. Die Pulslängen lagen zwischen $100 \mu\text{s}$ und $600 \mu\text{s}$ und die Halbwertszeiten ($t_{1/2}$) variierten zwischen $0,21 \text{ ms}$ und 24 ms .

Neben einer kontrollierten Energiezufuhr ist eine genaue Datenauswertung, insbesondere eine robuste Pulskorrektur, für sehr kurze Messzeiten unerlässlich. Ohne Pulskorrektur nehmen die Fehler bei dünneren Proben aufgrund von Pulsüberlagerungen erheblich zu.

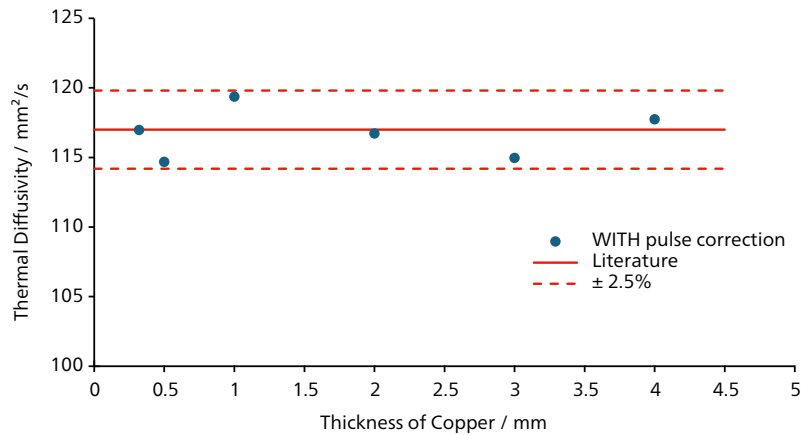


Abb. 1: Wärmeleitfähigkeit von Kupfer mit unterschiedlichen Dicken bei Raumtemperatur im Vergleich zu Literaturwerten

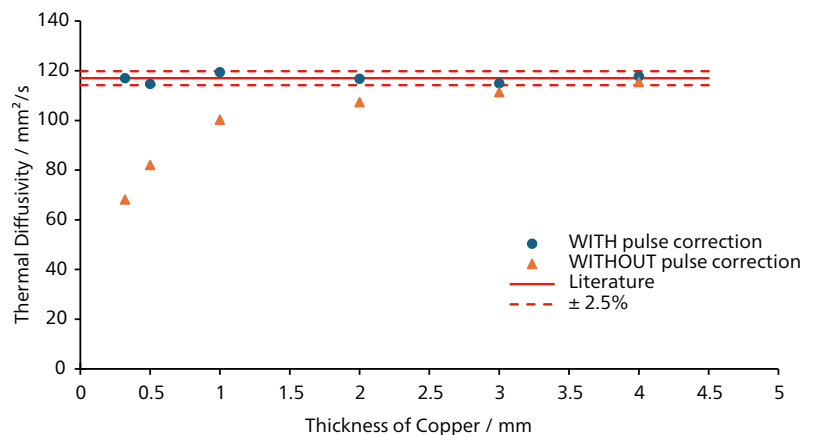
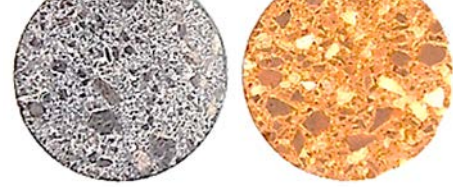


Abb. 2: Wärmeleitfähigkeit von Kupfer, ausgewertet mit und ohne Pulskorrektur

Probe:	Reines Kupfer (Cu)
Probengröße:	Ø 12,7 mm. † 0,32 mm - 4,0 mm
Probenhalter:	Grafit
Probenhaltergröße:	12,7 mm
Temperaturbereich:	RT
Atmosphäre:	Argon
Modell:	Standard

Feuerfestmaterialien



Repräsentative Proben für inhomogene Materialien

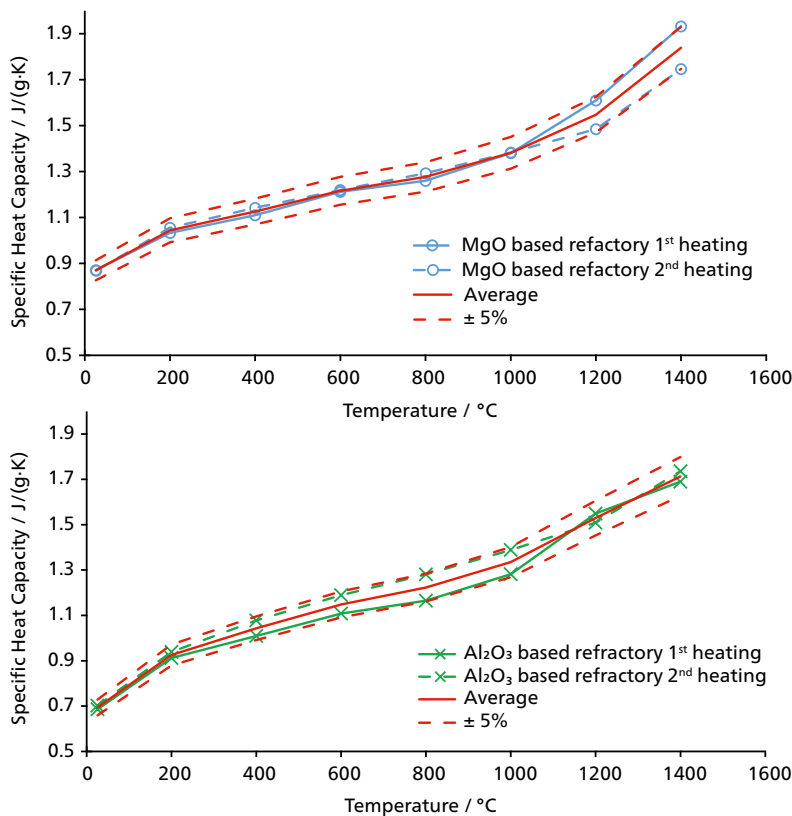


Abb. 3: Spezifische Wärmekapazität zweier Feuerfestmaterialien während der ersten und zweiten Aufheizzyklen

Probe:	Feuerfestmaterial
Probengröße:	25,4 mm; \updownarrow ~ 3 mm; planparallele Oberflächen
Probenhalter:	Grafit
Probenhaltergröße:	25,4 mm
Temperaturbereich:	RT bis 1400 °C
Atmosphäre:	Argon
Heizrate:	Variabel bis 20 K/min
Modell:	Standard

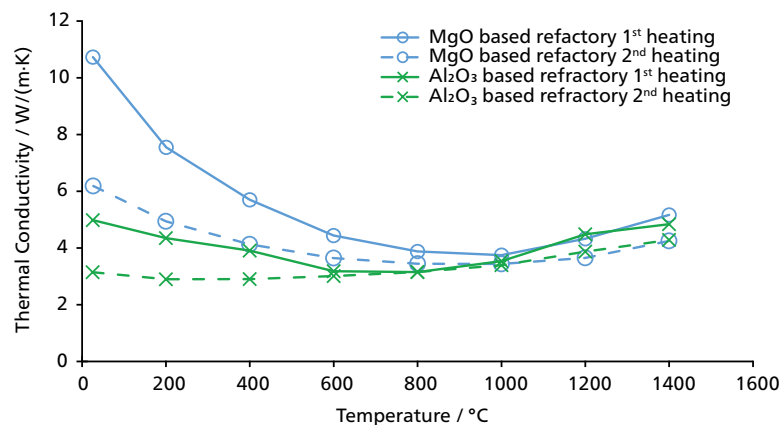


Abb. 4: Wärmeleitfähigkeit von zwei Feuerfestmaterialien während der ersten und zweiten Aufheizzyklen

Feuerfestmaterialien sind inhomogene Verbundwerkstoffe, die für Hochtemperaturanwendungen unverzichtbar sind. Um ihre Wärmeleitfähigkeit genau zu bestimmen, sind große, repräsentative Proben erforderlich. Diese können mit der LFA 707 *StratoFlash® Classic* bei hohen Temperaturen und einem Durchmesser von bis zu 25,4 mm untersucht werden.

In diesem Beispiel wurde die spezifische Wärmekapazität mit der LFA nach der Vergleichsmethode bestimmt. Hierzu wurde eine repräsentative Probengröße gewählt. Abbildungen 3 und 4 zeigen die Ergebnisse für die spezifische Wärmekapazität und die Wärmeleitfähigkeit, die jeweils mit zwei Aufheizzyklen gemessen wurden. Im Gegensatz zur Wärmeleitfähigkeit ändert sich die spezifische Wärmekapazität beim zweiten Aufheizzyklus nicht wesentlich. Dies deutet darauf hin, dass die Proben bis 1400 °C thermisch stabil sind und keine wesentlichen Änderungen in ihrer chemischen Zusammensetzung aufweisen.

Die Wärmeleitfähigkeit zeigt hingegen bei beiden Materialien erhebliche Unterschiede zwischen erstem und zweitem Aufheizzyklus. Diese Unterschiede, die wahrscheinlich auf Änderungen in der Probenstruktur zurückzuführen sind, müssen bei der Erstellung von Hochtemperaturanwendungen berücksichtigt werden.

Keramik

Keramikfaserverbundwerkstoffe

In der modernen Hochtemperaturtechnik besteht ein steigender Bedarf an Materialien, die extremen thermischen Belastungen standhalten. Keramikfaserverbundwerkstoffe werden vor allem zum thermischen Schutz kritischer Bauteile eingesetzt, beispielsweise als Auskleidung in Brennkammern oder als Strukturbauteile in der Prozessindustrie.

Aufgrund ihrer geschichteten Faserstruktur weisen diese Materialien Anisotropie auf. Die Kenntnis über den Wärmetransport in Abhängigkeit zur Faserorientierung ist daher für die Herstellung von Hochtemperaturkomponenten von entscheidender Bedeutung.

Die Untersuchung dieser Eigenschaften mittels Laser-Flash-Analyse (LFA) bis zu einer Temperatur von 1100 °C spiegelt somit die reale Betriebsumgebung wider. Die Unterschiede in der resultierenden Wärmeleitfähigkeit sind deutlich sichtbar. Bei Raumtemperatur sind die in Faserrichtung gemessenen Werte etwa 16 % höher als die senkrecht zur Faser gemessenen Werte. Mit steigender Temperatur verringert sich dieser Unterschied auf etwa 13 %.

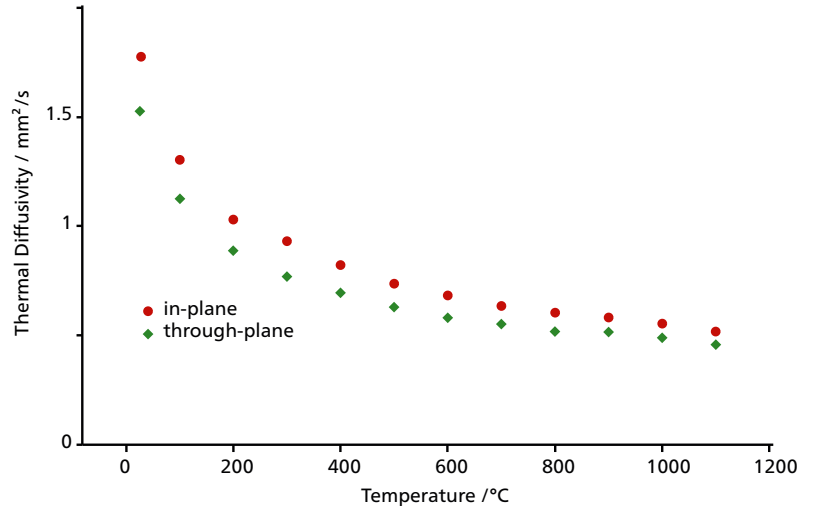


Abb.1: Thermophysikalische Eigenschaften eines anisotropen Materials, RT bis ca. 1100 °C, Vergleich von In-plane und Through plane

Probe:	Keramikfaserverbundwerkstoff
Probengröße:	Ø 12,5 mm, \updownarrow 0,50 mm
Probenhalter:	Standard (Through-plane-Richtung), Laminat (In-plane-Richtung)
Probenhaltergröße:	Through-plane; Ø 12,64 mm; \updownarrow ~ 2,03 mm; in-plane; □ 10 mm; \updownarrow ~ 2.30 mm; planparallele Oberflächen
Temperaturbereich:	RT bis 1100 °C
Atmosphäre:	Argon
Heizrate:	Variabel bis 20 K/min
Modell:	Penetration

Genauere Analyse transparenter und transluzenter Materialien

Aluminiumoxid (Al_2O_3) ist ein wichtiger Keramikwerkstoff, der für seine außergewöhnliche Härte, chemische Trägheit sowie thermische und mechanische Stabilität bekannt ist. Aufgrund dieser Eigenschaften wird Aluminiumoxid häufig für Strukturkomponenten, Schneidwerkzeuge, verschleißfeste Beschichtungen, elektronische Substrate, Katalysatorträger, biomedizinische Geräte und Energiespeichertechnologien eingesetzt.

Obwohl polykristallines Aluminiumoxid undurchsichtig erscheint, ist es im Infrarotbereich durchscheinend. Dies beeinflusst die Detektorantwort während LFA-Messungen. Daher benötigen Aluminiumoxidproben eine geeignete Oberflächenbeschichtung, um sowohl Vorder- als auch Rückseite für Infrarotstrahlung undurchlässig zu machen. Die analysierten Proben wurden ausschließlich mit Gafitspray beschichtet. Die Qualität der erhaltenen Detektorsignale zeigt jedoch, dass die LFA 707 *StratoFlash® Classic* in der Lage ist, diese Art von Proben ohne zusätzliche Beschichtungen zu charakterisieren.

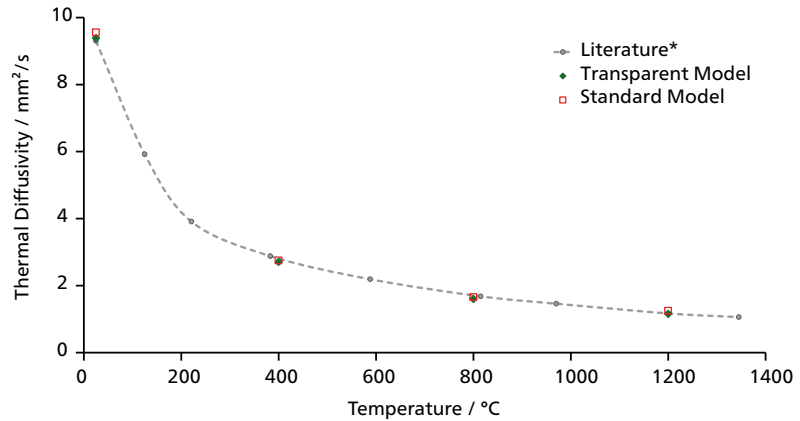


Abb. 2: Temperaturleitfähigkeit von Aluminiumoxid zwischen Raumtemperatur und 1200 °C. Die Analyse erfolgte mit dem Transparent-Modell.

Probe:	Al_2O_3
Probengröße:	Ø 12,5 mm, Φ 0,50 mm
Probenhalter:	Grafit
Probenhaltergröße:	Ø 12,7 mm
Temperaturbereich:	25 °C bis 1200 °C
Atmosphäre:	Argon
Heizrate:	Variabel bis 20 K/min
Modell:	Standard und Transparent

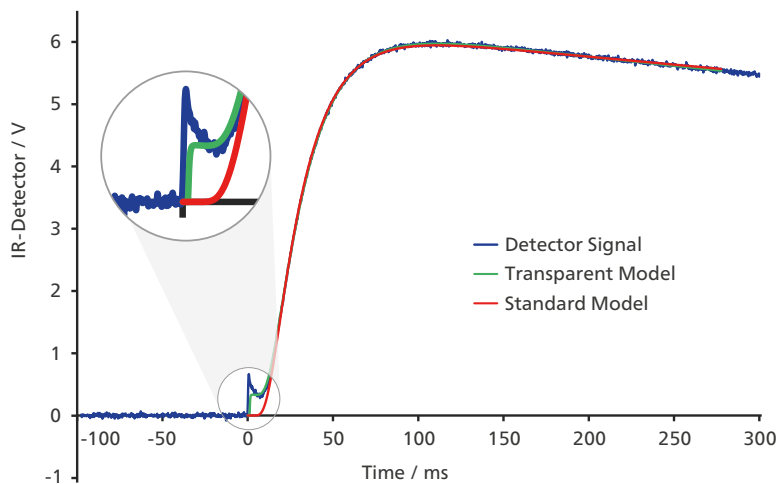


Abb. 3: Vergleich der Analyse mit dem bei 1200 °C erhaltenen Detektorsignal, ausgewertet mit dem Standard- und dem Transparent-Modell.

Bei Raumtemperatur kann das Standardmodell von Cape-Lehman das Detektorsignal angemessen anpassen. Bei hohen Temperaturen führt die Strahlungswärmeübertragung innerhalb der durchsichtigen Keramik jedoch zu einer Strahlungsstufe im Signal. Dies erfordert die Verwendung des Transparent-Modells, um das Detektorsignal genau anzupassen. Abbildung 3 verdeutlicht, wie wichtig die Auswahl des geeigneten Anpassungsmodells ist. Die folgende Tabelle zeigt, dass die Wahl des richtigen Modells für zuverlässige LFA-Messungen an Aluminiumoxid über einen breiten Temperaturbereich unerlässlich ist.

Tab. 1: Ergebnisse für Al_2O_3 bei 1200 °C mit unterschiedlichen Modellen

Modell	Temperaturleitfähigkeit	Goodness of Fit	Abweichung vom Literaturwert*
Standard	1,274	0,984	+8,88 %
Transparent	1,175	0,991	+0,43 %

LFA 707 StratoFlash® Classic

Temperaturbereich	RT bis 1600 °C
Heizraten	0,01 K/min bis 50 K/min
Lasersystem	<p>Gepulstes Nd: Glas</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Wellenlänge: 1054 nm ■ Softwaregesteuerte Pulsbreite und Spannung zwischen < 0,05 ms und 1,5 ms in Stufen von 0,01 ms ■ Anpassbare Energie: 0,25 - 25 Joules/Pulse ■ Patentiertes Pulsmapping für Finite Pulse Correction (Patentnr.: US20040079886)
Automatischer Probenwechsler (ASC)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Probenträgerhalterung für 3 Einsätze für Proben ≤25,4 mm ■ Probenträgerhalterung für 5 Einsätze für Proben ≤12,7 mm
Sensoren	InSb (RT bis 1600 °C), optionales LN ₂ -Nachfüllsystem einschl. 35-Liter-Dewar
Messbereich	<ul style="list-style-type: none"> ■ Temperaturleitfähigkeit: 0,01 mm²/s bis 2000 mm²/s ■ Wärmeleitfähigkeit: 0,1 W/(m·K) bis 4000 W/(m·K)
Genauigkeit*	<ul style="list-style-type: none"> ■ Temperaturleitfähigkeit: ± 2,5 % ■ Spezifische Wärmekapazität: ± 5 %
Wiederholbarkeit**	<ul style="list-style-type: none"> ■ Temperaturleitfähigkeit: ± 1 % ■ Spezifische Wärmekapazität: ± 3 %
Messatmosphären	Inert oder Vakuum (<2x 10 ⁻⁵ mbar; Turbomolekularpumpe)
Probendimensionen und -formen***	<p>Ø: 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12,7 mm, 20 mm, 25,4 mm; Dicke: 0,1 mm bis 6 mm</p> <p>□: 10 mm x 10 mm, 20 mm x 20 mm; Dicke: 0,1 mm bis 6 mm</p>
Probenhaltermaterial:	Al ₂ O ₃ , Graphit
Spezielle Probenhaltersysteme	<ul style="list-style-type: none"> ■ Polymerschmelzen/niederviskose Flüssigkeiten (inkl. niederviskose Materialien wie Wasser) ■ Probenhalter, speziell für Tests an Harzen während der Aushärtung ■ Pasten, Pulver, Fasern ■ Lamine ■ In-plane ■ Mechanischer Druck
Referenzmaterialien	Unterschiedliche Sets und individuelle Referenzmaterialien in unterschiedlichen Größen und Formen
Software einschl. Berechnungs- und Korrekturmodelle	Jedes Modell kann mit 4 unterschiedlichen Basislinienkorrekturen (einschl. Basislinienverschiebung) und mit/ohne Puls Korrektur kombiniert werden; Anzeige von Detektorsignal und Modellanpassung, Datenexport; verschiedene spezielle und erweiterte Modelle
Anzeige von Detektorsignal und Modellanpassung	<ul style="list-style-type: none"> ■ Qualitätscheck der Modellanpassung (gleicher Plot) ■ Automatische Speicherung beider Kurven für jeden Schuss

* Abweichung des gemessenen Werts vom "echten Wert" (Literaturwert) gemäß der Validierung mit Referenzmaterialien

** Abweichung mit demselben Anwender und Gerät über eine kurze Zeit gemäß der Validierung mit Referenzmaterialien

*** Weitere Probenhalter auf Anfrage

Technische Daten



LFA in einer Glovebox (originalgetreue Nachbildung)

LFA für spezielle Anwendungen

Für Anwendungen, die spezielle Atmosphären (z. B. O₂- oder H₂O-frei) oder eine spezielle Handhabung von Materialien (z. B. Strahlung oder Kernmaterial) erfordern, bietet NETZSCH die bewährte LFA-Glovebox-Version weiterhin an. Diese vakuumdichte LFA-Version kann in einer Glovebox mit leichtem Unter- oder Überdruck verwendet werden.

Alternativ kann die LFA auch in einer Hot Cell platziert werden. In diesen Fällen befindet sich die Elektronik der LFA in einem separaten Gehäuse, was eine einfache Handhabung mit Handschuhen oder Manipulatoren ermöglicht. Durchführungen ermöglichen den Anschluss von Kabeln, der Wasser- und Gasversorgung, der Vakuumpumpe usw.

Wenden Sie sich an Ihren NETZSCH-Vertriebsmitarbeiter, um die Anpassung der LFA-Glovebox-Version für Ihre Anwendung zu besprechen.

Die inhabergeführte NETZSCH Gruppe ist ein weltweit führendes Technologieunternehmen, das sich auf den Maschinen-, Anlagen- und Gerätebau spezialisiert hat.

Unter der Führung der Erich NETZSCH B.V. & Co. Holding KG besteht das Unternehmen aus den drei Geschäftsbereichen Analysieren & Prüfen, Mahlen & Dispergieren sowie Pumpen & Systeme, die branchen- und produktorientiert ausgerichtet sind. Ein weltweites Vertriebs- und Servicenetz gewährleistet Kundennähe und kompetenten Service seit 1873.

NETZSCH Technologie ist weltweit führend im Bereich der Thermischen Charakterisierung von annähernd allen Werkstoffen. Wir bieten Komplettlösungen für die Thermische Analyse, die Kalorimetrie (adiabatische und Reaktionskalorimetrie), die Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften, die Rheologie und die Brandprüfung. Basierend auf mehr als 60 Jahren Applikationserfahrung, einer breiten Produktpalette auf dem neuesten Stand der Technik und umfassenden Serviceleistungen erarbeiten wir für Sie Lösungen und Gerätekonfigurationen, die Ihren täglichen Anforderungen mehr als gerecht werden.

Proven Excellence.■

NETZSCH-Gerätebau GmbH
Wittelsbacherstraße 42
95100 Selb, Deutschland
Tel.: +49 9287 881-0
Fax: +49 9287 881-505
at@netzsch.com
<https://analyzing-testing.netzsch.com>



NETZSCH®

www.netzsch.com