NETZSCH

Proven Excellence.

Light-Flash-Apparatur LFA 467 *HyperFlash*®-Serie

Methode, Technik, Applikationen zu Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit

Analyzing & Testing

DIE FLASH-METHODE

Wärmeleitfähigkeit/Temperaturleitfähigkeit

Wieviel Wärme wird übertragen und wie schnell?

Forschung und angewandte Technik haben ein fortwährendes Interesse daran, die besten thermischen Charakterisierungsmethoden sowohl für hochleitende Materialien bei tiefsten und gemäßigten Temperaturen als auch für Keramiken und Feuerfestmaterialien bei höchsten Temperaturen zu nutzen. Viele Herausforderungen in der Entwicklung solcher Materialien können nur mit genauer Kenntnis der beiden fundamentalen thermischen Eigenschaften, Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit, bewältigt werden. Eine präzise, zuverlässige und elegante Lösung bietet die Flash-Methode, mit der sich typische Fragestellungen, die während Wärmetransportprozessen auftreten, beantworten lassen:

- Wie schnell erstarrt ein Aluminiumblock?
- Wie schnell heizen sich die keramischen Komponenten eines Katalysators auf?
- Wie groß ist der Temperaturgradient in einem keramischen Bremssystem während des Betriebs?
- Welches Wärmetauschermaterial zur thermischen Kontrolle eines Prozessors ist optimal?

In den vergangenen zwei Jahrzehnten legte NETZSCH einen seiner Schwerpunkte auf diese Technologie im Anwendungsbereich von -125 °C bis 2800 °C. Durch unsere intensive Entwicklungsarbeit in der Laser-Flash-Technik ist es uns gelungen, den Forderungen unserer Kunden zuvorzukommen. Durch Fortschritt und Qualität aus Tradition konnten wir mit der LFA 467 *HyperFlash*® und LFA 467 *HT HyperFlash*® wieder neue Maßstäbe setzen.

Light Flash

Eine effiziente Methode zur Bestimmung der thermophysikalischen Eigenschaften

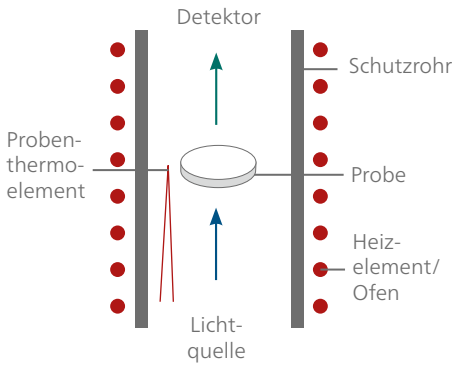
Ein kurzer Energieimpuls heizt die Vorderseite einer planparallelen Probe auf. Der Infrarotdetektor erfasst den damit verbundenen Temperaturanstieg auf der Probenrückseite, aus dem sich die Temperaturleitfähigkeit – und bei Verwendung einer Referenzprobe – auch die spezifische Wärmekapazität errechnen lassen. Verknüpft man diese beiden thermophysikalischen Eigenschaften mit der Dichte des Probenmaterials, berechnet sich die Wärmeleitfähigkeit wie folgt:

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

mit
λ = Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]
a = Temperaturleitfähigkeit [mm^2/s]
c_p = spezifische Wärmekapazität [J/(g·K)]
ρ = Dichte [g/cm^3].

Die LFA-Methode stellt eine schnelle, zerstörungsfreie, kontaktlose und absolute Methode dar. Eine LFA-Messung ist die Basis für

- einen kompletten Satz an thermophysikalischen Eigenschaften wie Temperaturleitfähigkeit (a), spezifische Wärmekapazität (c_p) und Wärmeleitfähigkeit (λ) als Eingangsdaten für numerische Simulationen
- die Materialoptimierung gemäß der gewünschten thermischen Leistung.



Flash -Methode

LFA 467 *HyperFlash*®

DEFINIERTE ATMOSPHÄREN

Drei integrierte Fritten oder optional erhältliche Massendurchflussregler für Schutz- und Spülgase kontrollieren die Spülgasströme. Alle Gasregler erlauben den Betrieb in oxidierender, inerter, dynamischer oder statischer Atmosphäre. Der Einsatz einer Vakuumpumpe ermöglicht Messungen unter reduziertem Druck.

INTELLIGENTER GERÄTEAUFBAU UND BLITZLICHTQUELLE

Die LFA 467 *HyperFlash*® ist ein vertikales Systems mit der Blitzlichtquelle im unteren, der Probe im mittleren und dem Detektor im oberen Gehäuseteil. Als Blitzlichtquelle wird eine Xenonlampe verwendet. Die variable Pulsenergie ist softwaregesteuert, wobei ein optionales Filterrad zur weiteren Feinabstimmung herangezogen werden kann. Die Pulsbreite kann zwischen 10 µs und 1500 µs variiert werden.

HÖCHSTER PROBENDURCHSATZ – **16** PROBEN SIMULTAN MESSEN

Die LFA 467 *HyperFlash*® ist mit einem integrierten Probenwechsler für bis zu 16 Proben ausgestattet. Die Aufnahme für vier Probenhalter (mit jeweils bis zu vier Proben) kann für runde und quadratische Proben verwendet werden. Durch den großvolumigen Flüssigstickstofftank (IR-Detektor) werden Unterbrechungen innerhalb von Messserien vermieden.

EIN OFEN – GROSSER TEMPERATURBEREICH

Mit ein und demselben Geräteaufbau lassen sich Messungen von -100 °C (z. B. unterhalb der Glasübergangstemperatur von Gummimaterialien) bis 500 °C realisieren, ohne den Ofen oder Detektor wechseln zu müssen. Hohe Heizraten von bis zu 50 K/min und die Ankopplungsmöglichkeit an verschiedene Kühlsysteme verkürzen die Messzeiten unter Aufrechterhaltung der ausgezeichneten thermischen Stabilität deutlich.

KÜHLUNG – 100 % FLEXIBILITÄT

Die optionalen Flüssigstickstoffkühlsysteme erlauben Temperaturen von -100 °C. Sie können zeitgleich mit laufendem Evakuiersystem (unterhalb Atmosphärendruck) betrieben werden. Für Messungen zwischen 0 °C und 500 °C steht ein Druckluftsystem zur Verfügung.

Einzigartiges Konzept

BEISPIELLOSE FEATURES

LFA 467 *HT HyperFlash*®

JETZT 1250 °C MITTELS XENON-LAMPE

Die LFA 467 *HT HyperFlash*® ist die weltweit erste Xenon-Flash-Apparatur bis über 1250 °C. Sie basiert auf der bereits etablierten *HyperFlash*®-Technologie und erfordert durch die innovative Lichtquelle keine Einstufung in eine Laserklasse. Die lange Lebensdauer der Xenon-Lampe steht für kosteneffiziente Messungen über viele Jahre ohne Bedarf an weiteren Verschleißmaterialien.

GRÖSSTER TEMPERATUR-BEREICH BEI KLEINSTEM PLATZBEDARF

Die LFA 467 *HT HyperFlash*® ist das erste LFA-System auf Basis einer Blitzlichtquelle, mit dem sich Temperaturen bis über 1250 °C erzielen lassen. Ein einziger Ofen mit integriertem Probenwechsler deckt den gesamten Temperaturbereich unter Beibehaltung der für die LFA 467 *HyperFlash*®-Serie bekannten kleinen Stellfläche ab. Selbst bei diesen hohen Temperaturen hält ein effizienter interner Wasserkühlkreislauf die Temperatur der umgebenden Komponenten im sicheren Bereich und reduziert dadurch auch den Flüssigstickstoffverbrauch des IR-Detektors.

BIS ÜBER 1250 °C

VAKUUMDICHTER OFEN – KEINE OXIDATION DURCH DEFINIERTE ATMOSPHÄREN

Für definierte Atmosphären sorgt die interne Pumpvorrichtung durch die Möglichkeit einer automatischen Evakuierung vor jeder Messung. Verbindungen für externe Pumpvorrichtungen sind erhältlich. Der vakuumdichte Platinofen erlaubt Heizraten von bis zu 50 K/min.

MINIROHR-OFEN FÜR UNERREICHTE TEST-GESCHWINDIGKEITEN

Durch den Hochgeschwindigkeitsofen ist ein effektiver Probendurchsatz über den gesamten Temperaturbereich möglich. Jede der vier Probenpositionen ist mit einem eigenen Thermoelement ausgestattet, was kurze Stabilisationszeiten zur Folge hat. Innerhalb einer Stunde können zehn Temperaturstufen bis 1250 °C gemessen werden. Der ASC ist auf Probengeometrien von 12,7 mm (rund) und 10 mm (rund und quadratisch) ausgelegt.

Die Lösung für dünne Filme – Hohe Datenerfassung

Die Datenerfassungsrate der LFA 467 *HyperFlash*®-Serie wurde auf 2 MHz erhöht. Diese Rate ist sowohl für den IR-Detektor als auch für den Energieimpuls getrennt verfügbar. Nur dadurch lassen sich Messungen an hoch leitenden und/oder dünnen Materialien, die kurze Testzeiten benötigen, zuverlässig durchführen.

Dünne und hochleitende Materialien erfordern extrem schnelle Abtastraten

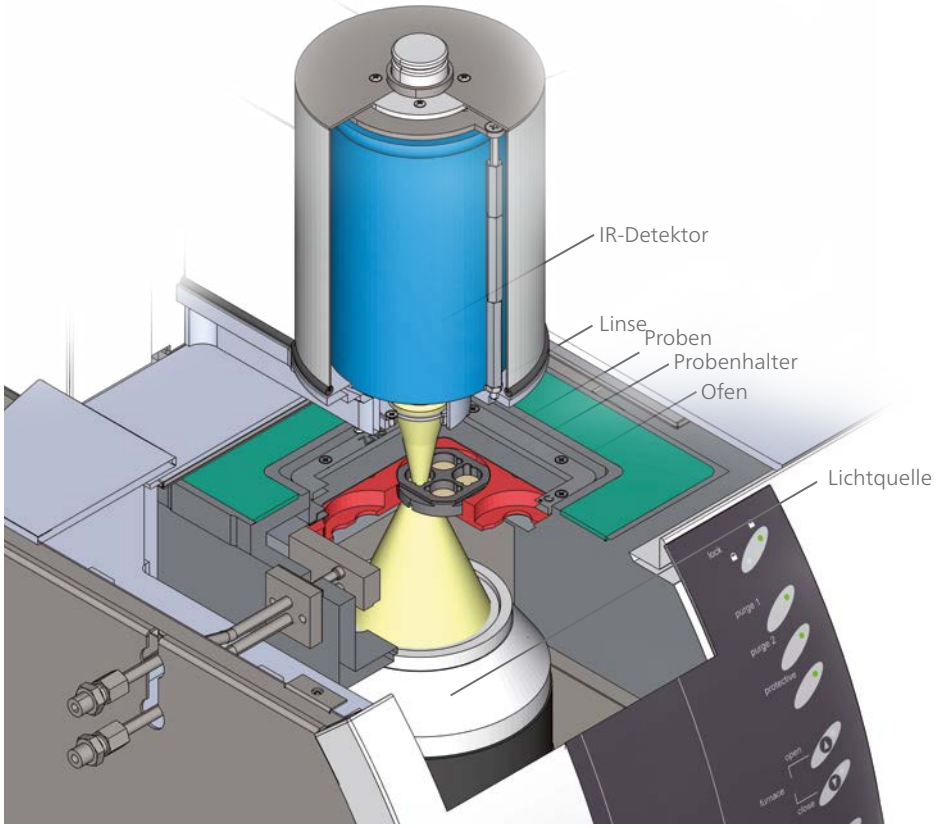
Für die Untersuchung von Metall- oder Polymerfolien (30 µm) können geeignete Pulsparameter über vordefinierte Templates gewählt werden. Die patentierte Pulskorrektur berücksichtigt den Effekt des zeitlichen Energieeintrags in die Probe (Patent-Nr.: US7038209 B2; US20040079886; DE10242741).

LFA 467 *HyperFlash*®-Serie

VORSTOSS IN NEUE DIMENSIONEN

ZoomOptics

FÜR PRÄZISE MESSERGEBNISSE



Definierte Sicht auf die Probenoberfläche und vereinfachte Handhabung

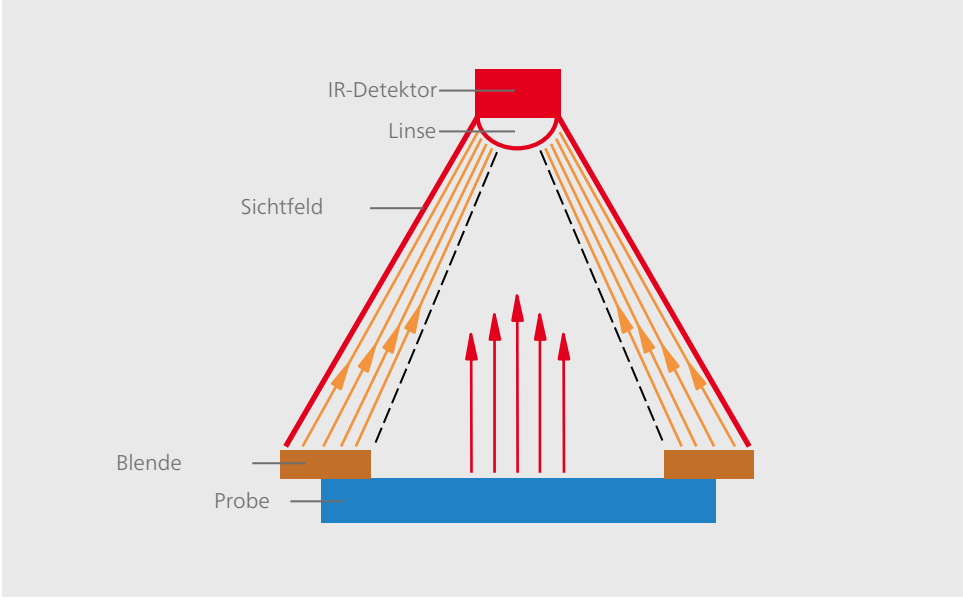
Zwischen Detektor und Probe optimiert eine mittels Software verfahrbare Linse das Sichtfeld des Detektors. Signalverfälschungen, die auf die unmittelbare Probenumgebung (z. B. Masken oder Blenden) zurückzuführen sind, sind somit ausgeschlossen – was einen deutlichen Anstieg der Genauigkeit der Messergebnisse zur Folge hat.

Dieses Feature erweist sich besonders vorteilhaft bei Systemen für unterschiedliche Probendurchmesser. Das Linsensystem trägt darüber hinaus zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei, wodurch die Blitzleistung und damit die Erwärmung der Probe deutlich reduziert werden können. Dies verhindert, dass der Detektor seinen linearen Ansprechbereich überschreitet.

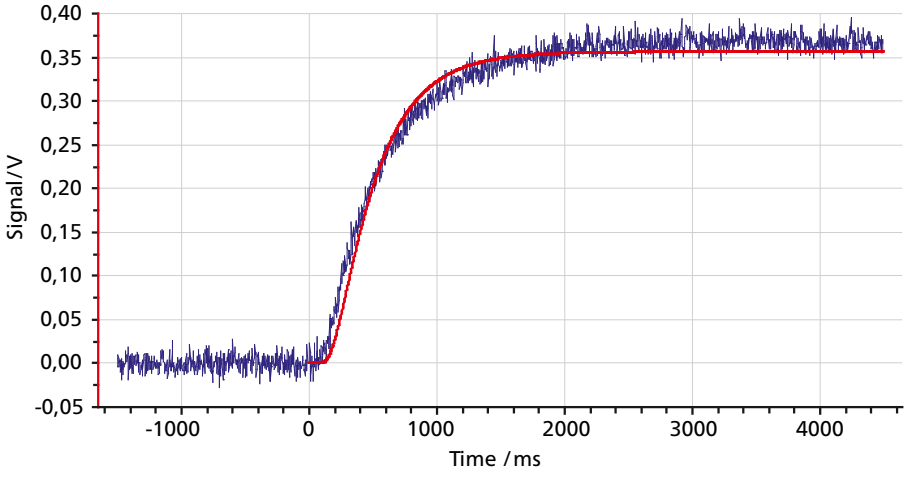
OPTIMIERTES

Ohne *ZoomOptics*: Verfälschungen durch Umgebungseinflüsse

Bei herkömmlichen LFA-Systemen ist das Sichtfeld fixiert und breit genug, um Proben mit großem Durchmesser abzubilden. Bei der Untersuchung von Proben mit kleinerem Durchmesser müssen üblicherweise Zusatzblenden verwendet werden, um Umgebungseinflüsse zu minimieren. Dies führt zur beträchtlichen Verformung des Detektorsignals, das soweit führen kann, dass der IR-Detektor nicht nur den Temperaturverlust der Probe, sondern auch jegliche Fluktuationen der Zusatzblende aufzeichnet. Folglich zeigt der Anstieg des Detektorsignals entweder einen kontinuierlichen ansteigenden Trend oder, wie unten gezeigt, eine ausgeprägte Abflachphase.

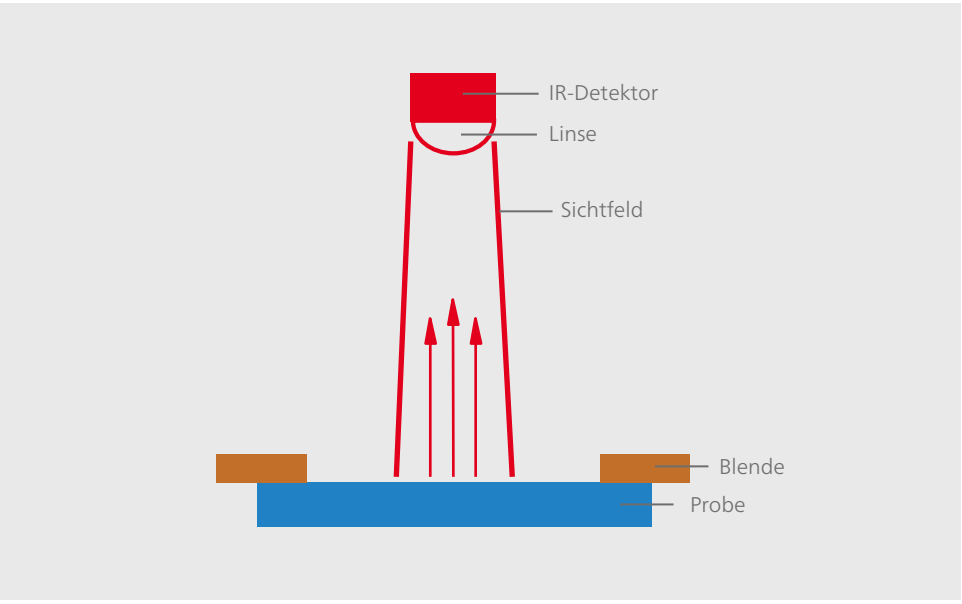


Sichtfeld in Standard-LFA-Systemen



Standard-LFA-Messungen ohne *ZoomOptics* zeigen im Detektorsignal Verfälschungen durch die Umgebung

SICHTFELD
ZoomOptics



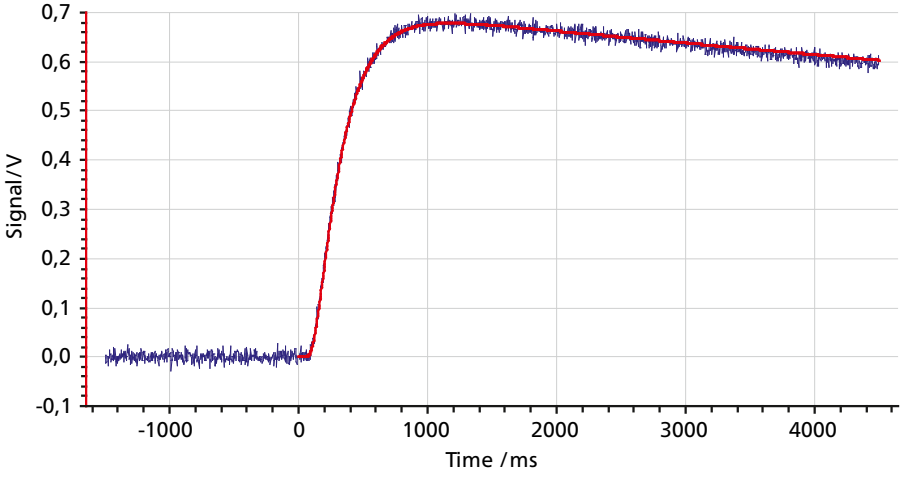
Sichtfeld bei Anwendung von *ZoomOptics*; keine Einflüsse durch die Umgebung

Mit *ZoomOptics*: keine Verfälschungen durch Umgebungseinflüsse

Durch Verwendung der *ZoomOptics*-Funktion der LFA 467 *HyperFlash*® ist sichergestellt, dass das IR-Signal ausschließlich auf die Probenoberfläche und nicht auf die Probe umgebenden Komponenten zurückzuführen ist. Dadurch können sowohl große als auch kleine Proben mit optimalem Abtastbereich untersucht werden.

Im Gegensatz zur vorherigen Konfiguration wurde die Linse verschoben, um ein angemessenes Sichtfeld zu realisieren. Nennenswerte Effekte, generiert durch die Blende, treten nicht mehr auf.

Erwartungsgemäß entspricht der Temperaturanstieg des Detektorsignals jetzt dem theoretischen Modell und liefert korrekte Temperaturleitfähigkeitswerte (siehe Bild unten). Zusätzlich wurde das Signal-Rausch-Verhältnis bei gleicher Blitzleistung verbessert.



Mit *ZoomOptics* zeigt das Messsignal keine durch die Umgebung verursachten Verfälschungen

LFA 467 *HyperFlash*® – Probenhalter für spezielle Applikationen

Für Flüssigkeiten (inkl. Polymer-schmelzen)

In-plane-Probenhalter

Für nicht transparente Flüssigkeiten

Für lamellare Proben

Druck-Probenhalter für kompressible Proben und Pulver

Flexibel & Effizient

Zwei Detektoren – Berührungsloses Abtasten

Es sind zwei vom Anwender leicht austauschbare Detektoren erhältlich. Der Standard-Indium-Antimonid (InSb)-Detektor kann zwischen Raumtemperatur und 500 °C (LFA 467 *HyperFlash*®) bzw. 1250 °C (LFA 467 *HT HyperFlash*®) eingesetzt werden, während der optional erhältliche Quecksilber-Cadmium-Tellurid (MCT)-Detektor Messungen von -100 °C bis 500 °C in der LFA 467 *HyperFlash*® erlaubt. Beide Detektoren können mit einem zeitsparenden Nachfüllsystem für Flüssigstickstoff ausgestattet werden, dass auch bei multiplen Temperaturschritten viele Probentests bequem, ohne weiteres Eingreifen des Bedieners, zulässt. Die LFA 467 *HyperFlash*®-Serie ist so konzipiert, dass auch Tieftemperaturmessungen auf berührungsloser Infrarot-Technologie basieren. Kontaktprobleme oder Reaktionen mit der Probe sind somit ausgeschlossen.

Probendimensionen

In jede der Probenhalter-Positionen der Grundplatte (für runde und quadratische Proben) der LFA 467 *HyperFlash*® können bis zu vier Proben mit einem maximalen Durchmesser von 12,7 mm eingesetzt werden.
Für Messungen an großen Proben sind Einsätze erhältlich, die einen Probendurchmesser von bis zu 25,4 mm erlauben. Abhängig von den Probeneigenschaften kann die Dicke zwischen 0,01 mm und 6 mm variieren.

Für die LFA 467 *HT HyperFlash*® sind Probendimensionen von max. 12,7 mm (rund) und 10 mm (quadratisch/rund) möglich.

Unbegrenzte Möglichkeiten

PROBENHALTER

Ausgeklügeltes Zubehör für spezifische Applikationen

Zusätzlich zu den Standardprobenhaltern für runde oder quadratische Festkörper sind für die LFA 467 *HyperFlash*® weitere spezielle Probenhalter für spezifische Applikationen erhältlich:

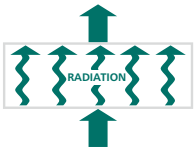
- Polymerschmelzen und Flüssigkeiten
- Harze während der Aushärtung
- Pasten und Pulver
- Fasern
- Laminate
- In-Plane

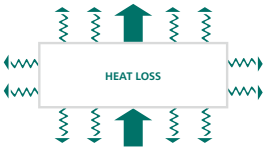
Für die LFA 467 *HT HyperFlash*® sind auch Probenhalter für Flüssigkeiten, Pasten, Polymerschmelzen und Harze erhältlich. Darüber hinaus ermöglichen spezielle Probenhalter auch Messungen an flüssigen und pulverförmigen Metallproben.

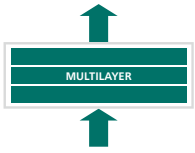
Einen permanenten Kontakt zwischen Probe und Tiegel über den gesamten Temperaturbereich – selbst unterhalb des Gefrierpunktes – garantiert der Probencontainer für Flüssigkeiten (z. B. für Polymerschmelzen), bei dem die Wärmeübertragung entlang der Containerwand minimiert ist.
Ein kostengünstiger Probenhalter, speziell für Messungen an Harzen während der Aushärtung, ist ebenso erhältlich wie besondere Probenhalter für Messungen in der In-Plane-Richtung oder unter mechanischem Druck. Kundenspezifische Probenhalter sind auf Anfrage lieferbar.

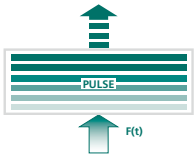
Software *Proteus*®

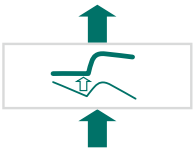
Intelligente Bedienung mit nur einem Klick







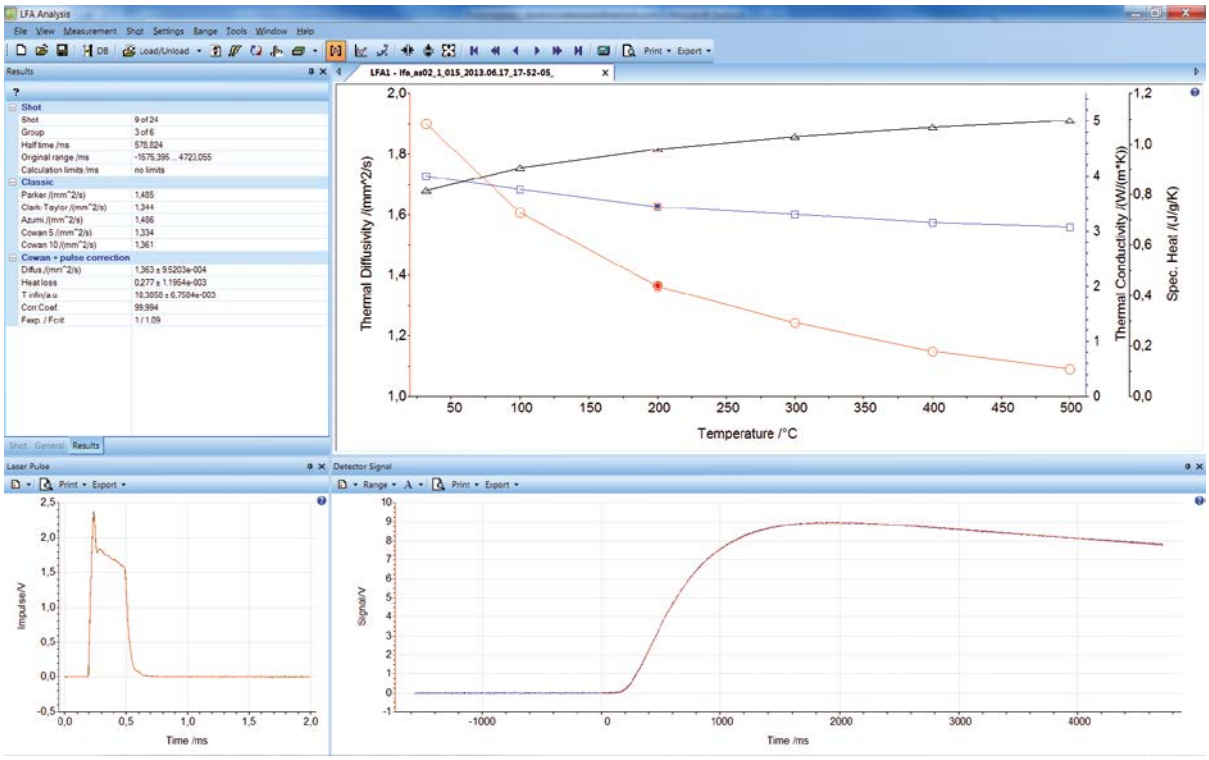




Die *Proteus*®-Software Software besticht durch die Kombination von einfacher Menüführung und automatisierten Routinen. Sie ist ein Werkzeug, das selbst bei komplizierten Analysen eine einfache und übersichtliche Bedienung zulässt.

Die *Proteus*®-Software wird mit einer Gerätelizenz geliefert und kann selbstverständlich auch auf weiteren Rechnersystemen installiert werden.

Allgemeine Software-Merkmale
Mehrfenstertechnik zur übersichtlichen Darstellungen
Drag-and-drop-Softwarefunktionen
Vergleichende Analyse von bis zu 32 Schuss-Serien aus der gleichen Datenbank
Laden von Schuss-Serien mit Vorschau auf Parameter und Temperaturprogramm
Wizard zur Ermittlung des besten Auswertemodells
Definition einer beliebigen Anzahl von Temperaturstufen sowie Anzahl der Schüsse je Stufe
Bestimmung der spezifischen Wärme mit der Vergleichsmethode inkl. c_p-Grafik
Integrierte Datenbank
Bestimmung des Kontaktwiderstands in Mehrschichtsystemen
Messkurvendarstellung in der Grafik mit bis zu 3 skalierbaren Y-Achsen
Schnelle Zoomfunktion für X- und Y-Ausschnittswahl
Einblenden der Messwerte als Tool-Tip beim Bewegen der Maus über die Messpunkte
Darstellung der Temperaturleitfähigkeitskurve in Abhängigkeit der Temperatur oder Zeit
Kombinierte Darstellung von Rohdaten und theoretischem Modell



Spezielle Software-Merkmale

Standardmodelle einschließlich
- modifiziertes Cape-Lehman-Modell (unter Berücksichtigung des multidimensionalen Wärmeverlusts und nicht-linearer Regression)
- Strahlungskorrektur für transparente und transluzente Proben

Alle Standardmodelle erlauben die Kombination von Wärmeverlust, Pulskorrektur und verschiedenen Basislinientypen. Alle Parameter sind frei wählbar; R^2-Fit und Residuals zur Berechnung der Anpassungsgüte.

Adiabatisch

Cowan

2-/3-Schichtmodelle (Analyse durch nicht-lineare Regression und Berücksichtigung des Wärmeverlusts)

Exakte Pulslängenkorrektur, patentiertes Pulsmapping (Patent-Nr.: US7038209B2; US20040079886; DE10242741)

Wärmeverlustkorrektur

Basislinienkorrektur

In-plane

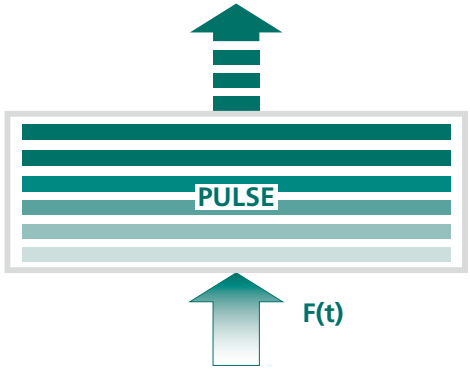
Mittelung multipler Schüsse

Approximation von Schüssen als Kurve über verschiedene mathematische Funktionen (Polynome, Splines usw.)

Klassische Modelle wie Parker, Cowan 5, Cowan 10, Azumi, Clark-Taylor

Berechnungsmodelle, Korrekturen und mathematische Operationen

Unerreichte Pulskorrektur für dünne und hoch- leitende Materialien

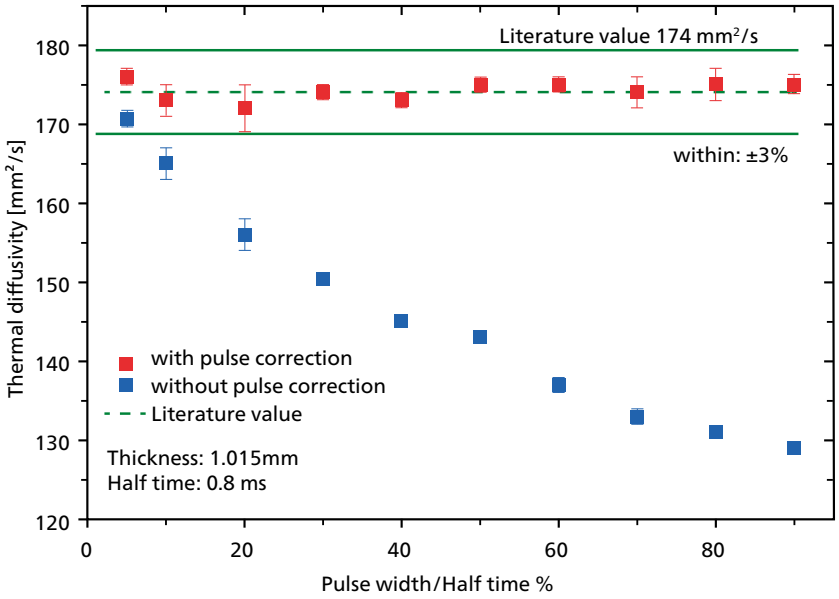


Finite Pulskorrektur

Das einzigartige Pulsmapping (Patent-Nr. US7038209, US20040079886, DE10242741) ermöglicht eine finite Pulskorrektur sowie eine verbesserte Bestimmung von Temperaturleitfähigkeit und c_p. Diese Korrektur ist in der Standardsoftware der LFA *HyperFlash*®-Serie bereits enthalten.

Es berücksichtigt die Erfassung des realen Laserpulses in jeder individuellen Messung und dessen mathematische Beschreibung.

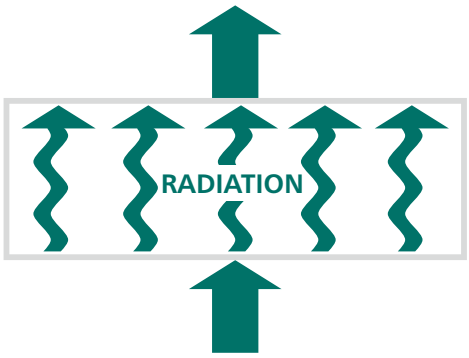
Dieses Software-Feature ist entscheidend für dünne und schnell leitende Proben.



LFA 467 *HyperFlash*®: Vergleichende Messungen an einer Silberplatte mit und ohne Pulskorrektur belegen deren Einfluss auf die Temperaturleitfähigkeits-ergebnisse

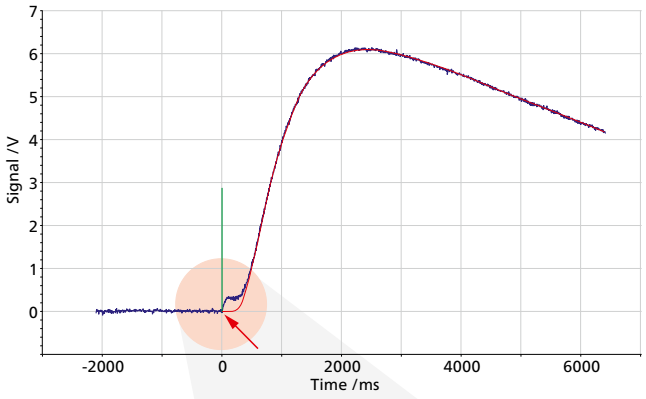
Der Einfluss der Pulskorrektur ist am Beispiel einer Messung an einer 1,015 mm-dicken Silber-platte bei 25 °C veranschaulicht. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass präzise Messergebnisse (innerhalb ± 3 % des Literaturwerts) nur durch Verwendung einer intelli-genten Pulskorrektur erreicht werden können.

Perfekte Behandlung transluzenter Proben

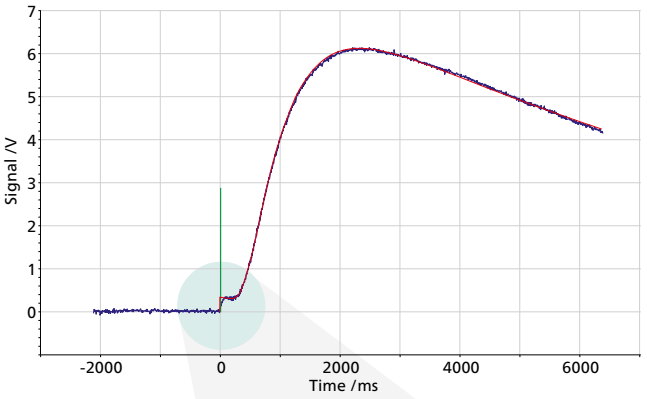


Das Transparent-Modell

Das Transparent-Modell (Patentnr. DE102015118856, JP6382912, ZL2016109515017, US10180358) ist eine Strahlungskorrektur und basiert auf erweiterten mathematischen Routinen unter Berücksichtigung des ballistischen Wärmetransports durch Strahlung.
Bei transluzenten Proben führt der Lichtimpuls sofort zu einem unmittelbaren Temperaturanstieg auf der Probenrückseite. Konventionelle Modelle können diesen anfänglichen Temperaturanstieg jedoch nicht korrekt beschreiben. Erst durch Verwendung eines speziellen Modells zur Strahlungskorrektur kann eine korrekte Anpassung (rote Kurve) des Detektorsignals (blaue Kurve) erzielt werden. Die Messung an einer Glaskeramik zeigt die Effektivität des Strahlungsmodells. Die verbesserte Anpassung resultiert in einem deutlich geringen Temperaturleitfähigkeitswert (0,877 mm^2/s, rechter Plot) im Vergleich mit der auf einem konventionellen Modell beruhenden schlechteren Anpassung (0,974 mm^2/s, linker Plot). Hohe Messfehler werden somit vermieden.

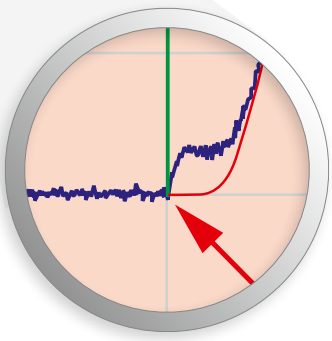


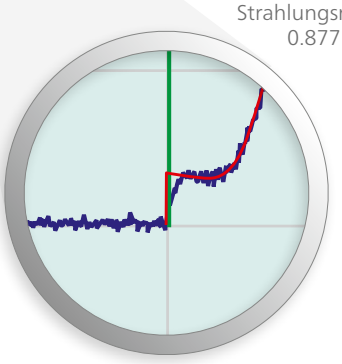
Konventionelles Wärmeverlust-modell (Standard): 0,974 mm^2/s



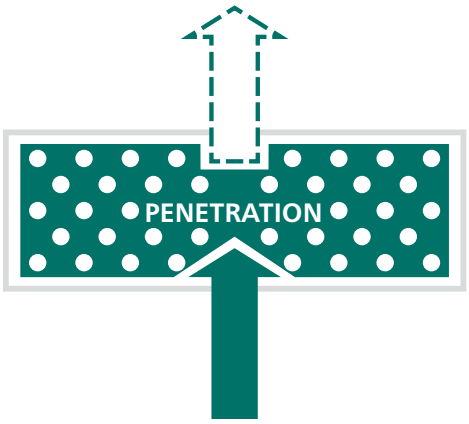
blau: Detektorsignal
rot: Modellanpassung
grün: Pulssignal

Strahlungsmodell: 0.877 mm^2/s



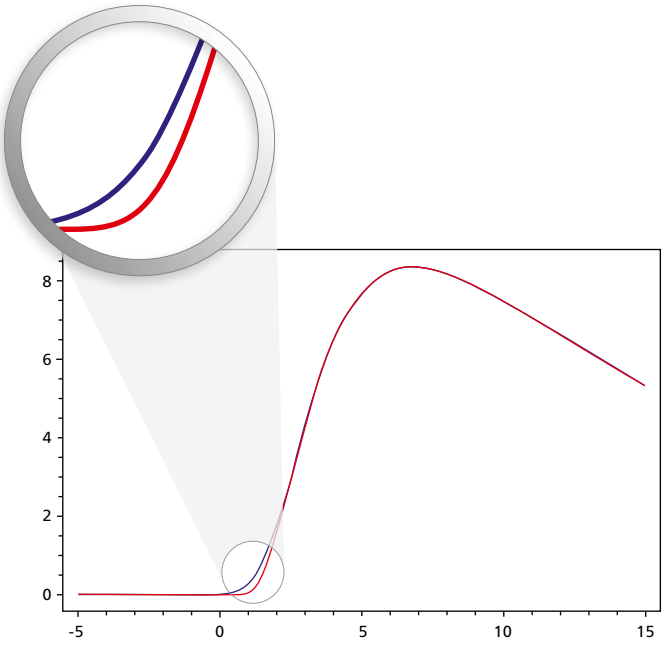


Neues Modell, speziell für poröse und raue Materialien

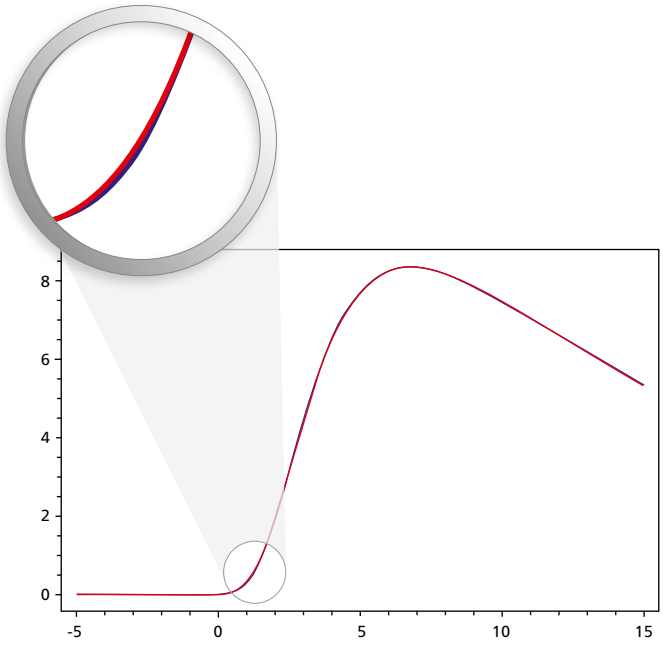


Eindringen des Laserstrahls

Das Standard-Flash-Modell (Parker et al.) setzt voraus, dass die Pulsenergie von der Probenvorderseite vollkommen absorbiert wird, dann in Form einer thermischen Welle durch die Probendicke wandert, bevor sie auf der gegenüberliegenden Seite ankommt.
Bei leicht porösen Materialien oder solchen mit rauer Oberfläche ist die Absorption der Pulsenergie jedoch nicht länger auf die Vorderseite begrenzt, sondern breitet sich als dünne Schicht in der Probendicke aus. Die Adsorptions-schicht kann als freie Weglänge der Photonen im Material berücksichtigt werden Dies hat eine exponentiell abfallende anfängliche Temperaturverteilung innerhalb der Probe zur Folge.



Laserschuss ohne Eindringung: 0,753mm²/s

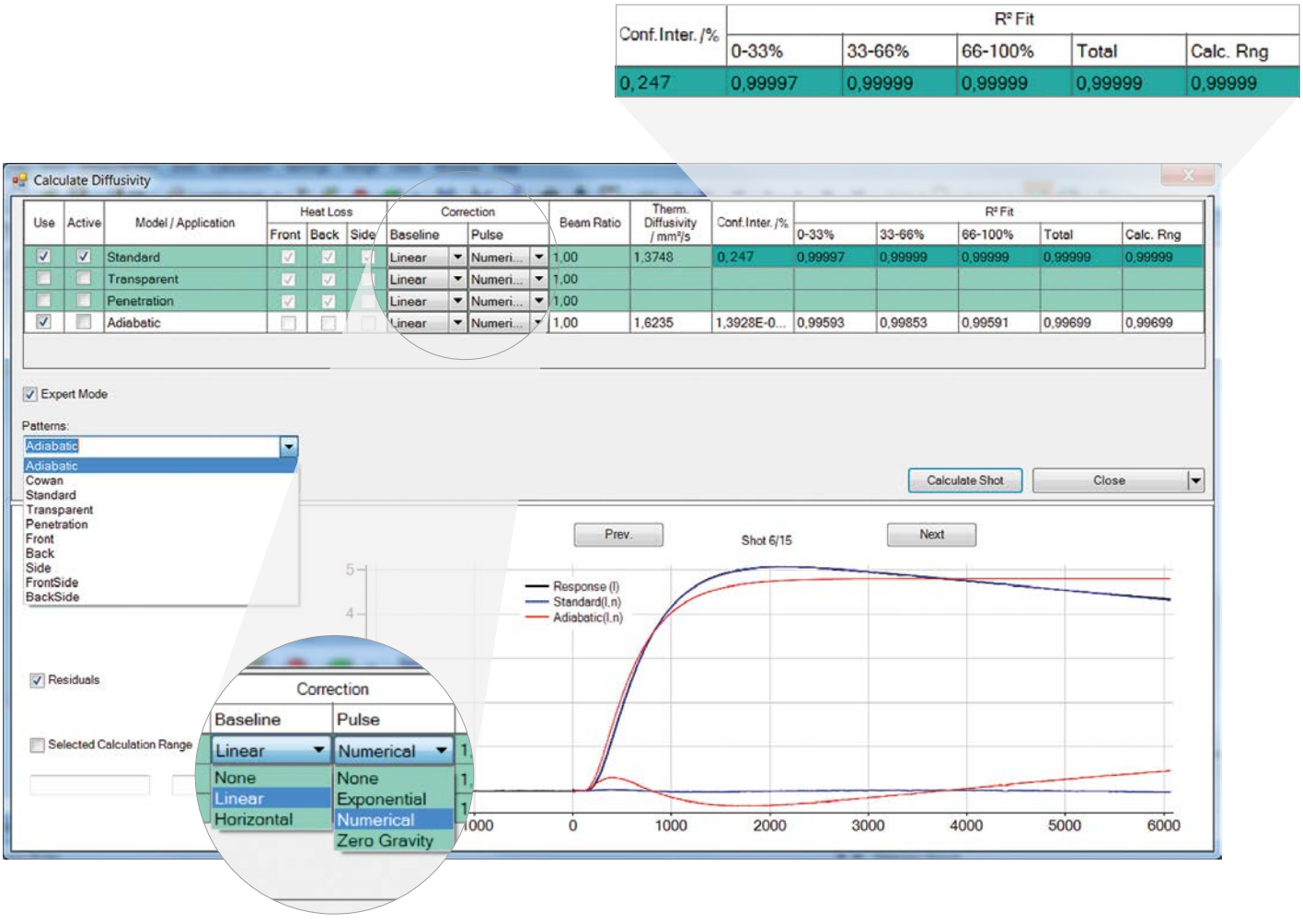


Laserschuss mit Eindringung: 0,626mm²/s

Modell-Wizard
stets zu Ihren Diensten

Beste Anpassung für beste Ergebnisse

Die Anwendung implementierter umfangreicher Korrekturmodelle und mathematischer Operationen wird durch den bereits in der LFA *Proteus*®-Software integrierten intelligenten Modell-Wizard vereinfacht. Der leistungsfähige Modell-Wizard ermittelt automatisch die beste Modellanpassung. Die auf dem gewählten Modell basierenden Daten werden im Display zusammen mit den vom Modell-Wizard berechneten Parameter-abweichungen angezeigt.



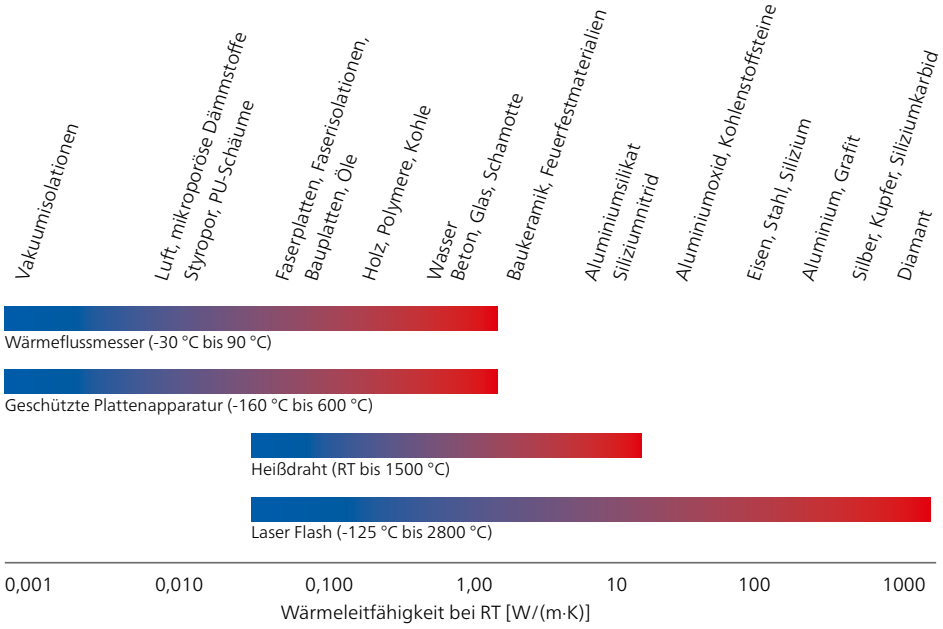
Technische Daten

	LFA 467 *HyperFlash*®	LFA 467 *HT HyperFlash*®
Temperaturbereich	-100 °C ... 500 °C Raumtemperatur-Version erhältlich	Raumtemperatur ... 1250 °C (Ofentemperatur 1500 °C)
Heizrate (max.)	50 K/min	50 K/min
Kühlvorrichtung des Ofens	Externer Kühler (RT… 500 °C), Optional: ▪ Flüssigstickstoffkühlung (-100 … 500 °C) ▪ Druckluftkühlung (0 °C … 500 °C)	Externer Kühler
Temperaturleitfähigkeit	0,01 mm^2/s ... 2000 mm^2/s	0,01 mm^2/s ... 2000 mm^2/s
Wärmeleitfähigkeit	0,1 W/(m·K) ... 4000 W/(m·K)	0,1 W/(m·K) ... 4000 W/(m·K)
Genauigkeit	▪ Temperaturleitfähigkeit[1]: ± 3 % ▪ Spezifische Wärmekapazität[2]: ± 5 %	▪ Temperaturleitfähigkeit[1]: ± 3 % ▪ Spezifische Wärmekapazität[2]: ± 5 %
Wiederholbarkeit	▪ Temperaturleitfähigkeit[1]: ± 2 % ▪ Spezifische Wärmekapazität[2]: ± 3 %	▪ Temperaturleitfähigkeit[1]: ± 2 % ▪ Spezifische Wärmekapazität[2]: ± 3 %
Xenon-Blitzlampe	▪ Pulsenergie[3]: bis zu 10 Joule/Puls (variabel), softwaregesteuert ▪ Pulsbreite[4]: 10 bis 1500 µs	▪ Pulsenergie[3] bis zu 10 Joule/Puls (variabel), softwaregesteuert ▪ Pulsbreite[4]: 10 bis 1500 µs
ZoomOptics	Patentiert (EP2693205, DE102012106955), optimiertes Sichtfeld (optional, erfordert keine Blende)	Patentiert (EP2693205, DE102012106955), optimiertes Sichtfeld (optional, erfordert keine Blende)
Pulsmapping	Patentiertes Pulsmapping (US7038209, DE10242741), für finite Pulskorrektur und verbesserte c_p-Bestimmung	Patentiertes Pulsmapping (US7038209, DE10242741), für finite Pulskorrektur und verbesserte c_p-Bestimmung
IR-Detektoren	▪ InSb: RT ... 500 °C ▪ MCT: -100 °C ... 500 °C ▪ Detektor-Wiederbefüllungssystem (optional)	▪ InSb: RT ... 1250 °C ▪ Detektor-Wiederbefüllungssystem (optional)
Atmosphäre	Inert, oxidierend, statisch und dynamisch	Inert, oxidierend, statisch und dynamisch
Vakuum	< 150 mbar	10^{-4} mbar (mit Turbopumpe)
Datenerfassung	2 MHz ▪ Minimale Messzeit (10 Halbzeiten) bis 1 ms → für hoch leitende und/oder dünne Proben (z. B. Al, Cu -Platten, dünne Filme usw.) ▪ Maximale Messzeit bis 120 s → für gering leitende und/oder dicke Proben (z. B. Polymere, Feuerfestmaterialien usw.)	2 MHz ▪ Minimale Messzeit (10 Halbzeiten) bis 1 ms → für hoch leitende und/oder dünne Proben (z. B. Al, Cu -Platten, dünne Filme usw.) ▪ Maximale Messzeit bis 120 s → für gering leitende und/oder dicke Proben (z. B. Polymere, Feuerfestmaterialien usw.)
Gassteuerung	Fritten oder optional MFC; Messungen unter reduziertem Druck möglich	MFC + interne Pumpe
Probenhalter	▪ Runde und quadratische Proben ▪ Flüssigkeiten, Pasten, Harze, Pulver, Fasern, Laminate, anisotrope Proben ▪ Tests unter mechanischem Druck	▪ Runde und quadratische Proben ▪ Flüssigkeiten, Pasten, Harze, Pulver, lamellare Proben ▪ Tests unter mechanischem Druck
Integrierter automatischer Probenwechsler	4 Einsätze für bis zu jeweils 4 Proben: ▪ 4x $Ø_{max.}$ 25,4 mm ▪ 16x bis zu $Ø_{max.}$ 12,7 mm ▪ 16x bis zu $□_{max.}$ 10 mm	4 Einsätze für jeweils 1 Probe: ▪ Ø12,7 mm ▪ □ 10 mm ▪ Ø 10 mm

1 Die Genauigkeit der Temperaturleitfähigkeit beträgt bis zu ± 1,5 % und die Wiederholbarkeit bis zu ±1 %, basierend auf 900 Tests an Cu- (hohe Leitfähigkeit) und Pyrex- (geringe Leitfähigkeit) Proben (Durchmesser: 12,7 mm, Dicke 2,0 mm) mit mindestens 3 verschiedenen Geräten bei Raumtemperatur.
2 Die Genauigkeit der spezifischen Wärmekapazität beträgt bis zu ± 4 % und die Wiederholbarkeit bis zu ± 2 %. Bedingungen: 4 unterschiedliche Referenzmaterialien, 550 Schüsse, 5 Schüsse gemittelt, RT, empfohlene Probenabmessungen, empfohlene Schussparameter.
3 Die Pulsenergie ist auf 10 J begrenzt, um Probenüberhitzung und Nichtlinearitätseffekte (Detektorsignal nicht proportional zu Temperaturänderungen) zu vermeiden. Nur die Kombination von geringer Pulsenergie und hoher Detektorempfindlichkeit führt zu präzisen Ergebnissen.
4 Einstellbar in Schritten von 1 µs.

APPLIKATIONEN

Das untenstehende Schema gibt einen Überblick über den Wärmleitfähigkeitsbereich vieler Materialgruppen. Die Flash-Methode deckt nicht nur den größten Wärmeleitfähigkeitsbereich, sondern auch den breitesten Temperaturbereich ab.

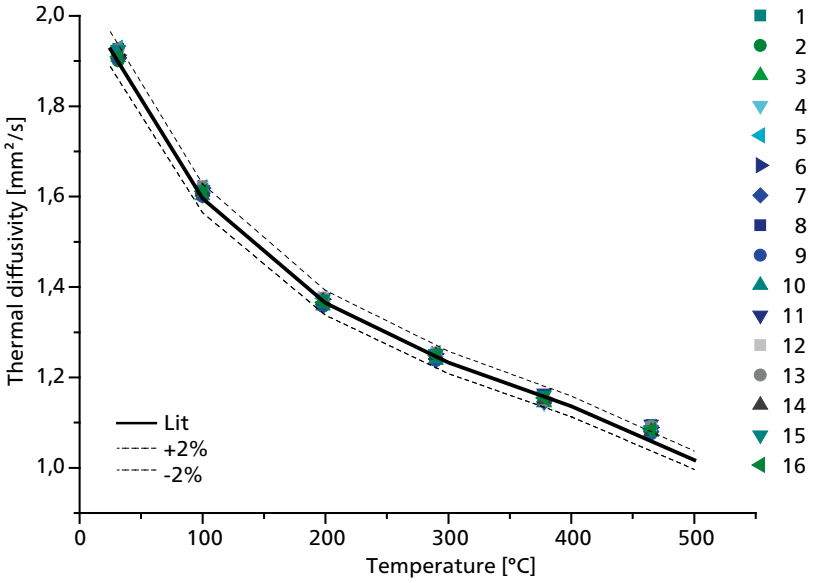


Für anspruchsvolle

Maximale Effizienz durch hohen Probendurchsatz

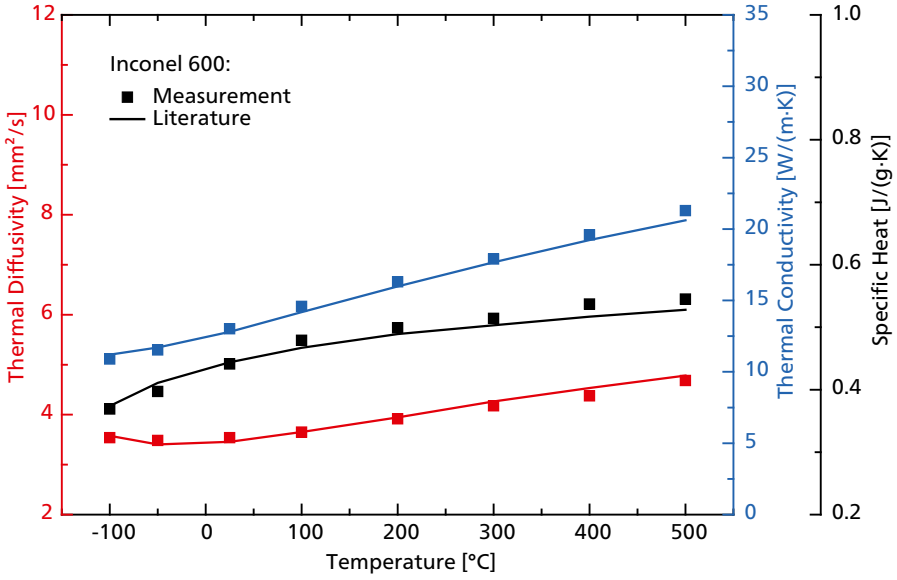
Der Aufbau des automatischen Probenwechslers sorgt für jede der 16 Proben für eine optimale Position über den gesamten Temperaturbereich. Die Messzeit lässt sich erheblich verkürzen, da Aufheizung und Abkühlung zur gleichen Zeit stattfinden.

Der hohe Probendurchsatz der LFA 467 *HyperFlash*® erlaubt ein effizientes Arbeiten und minimiert die Arbeitszeit für Ihre Aufgabenstellungen in Forschung und/oder Qualitätssicherung.

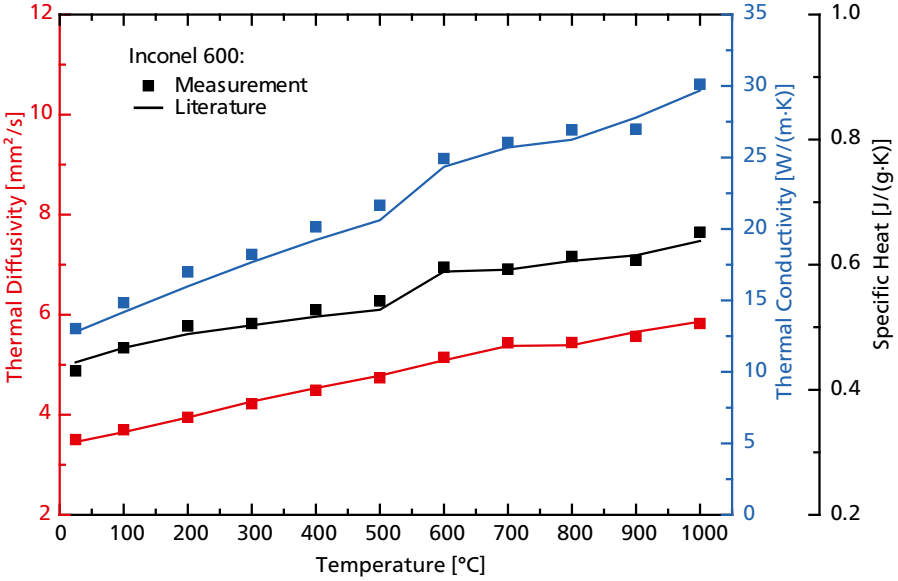


LFA 467 *HyperFlash*®: Messergebnisse an 16 Pyroceram-Proben (Dicke: 2,5 mm, Ø 12,7 mm) zwischen Raumtemperatur und 500 °C, erhalten in einem Probendurchlauf. Die Auswertung der Temperaturleitfähigkeit zeigt, dass die maximalen Abweichungen im Bereich von ±2 % von den Literaturdaten liegen.

Applikationen



LFA 467 *HyperFlash*®: Eine einzige Messanordnung ist ausreichend, um Temperaturleitfähigkeitsmessungen im Temperaturbereich von -100 °C bis 500 °C durchzuführen. Die Literaturdaten sind mit durchgezogenen Linien dargestellt.



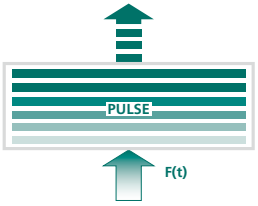
LFA 467 *HT HyperFlash*®: Die Messung zwischen RT und 1000 °C dient zur Bestimmung der Temperaturleifähigkeit (rot), der Wärmeleitfähigkeit (blau) und der spezifischen Wärmekapazität (schwarz); die Literaturdaten sind mit durchgezogenen Linien dargestellt.

Höchste Genauigkeit über den gesamten Temperaturbereich

Die beiden Abbildungen zeigen die Temperaturleitfähigkeit (rote Symbole), die Wärmeleitfähigkeit (blaue Symbole) und die spezifische Wärmekapazität (schwarze Symbole) von Inconel 600 (Referenzmaterial) über den gesamten Temperaturbereich der LFA 467 *HyperFlash*® (oben) und der LFA 467 HT *HyperFlash*® (unten).

Für alle bestimmten Eigenschaften kann die Genauigkeit mit < ± 3 % angegeben werden, wobei die Streuung generell kleiner als ± 3 % ist.

Dünne und hochleitfähige Materialien

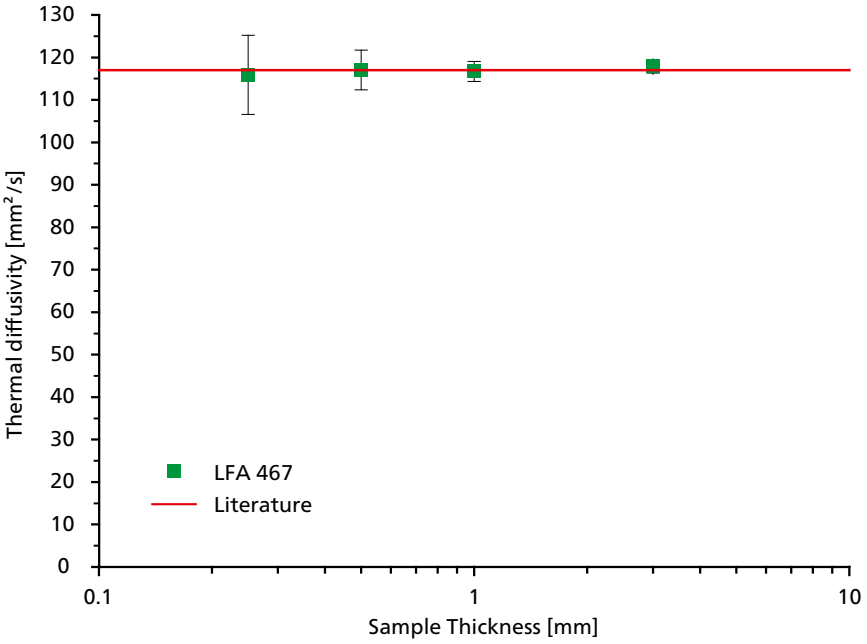


Kupfer

Dieses Beispiel belegt anhand von Messungen an Kupferproben, dass Materialien mit hohen Temperaturleitfähigkeitswerten präzise gemessen werden können. Zusätzlich zeigt dieser Plot, dass sogar Messungen an hochleitfähigen Proben mit sehr geringen Dicken (hier 0,25 mm) Ergebnisse mit hoher Genauigkeit erzielen.

Voraussetzung für solche Messungen ist eine schnelle Datenerfassungsrate von 2 MHz und eine geringe Pulsbreite von 20 µs.

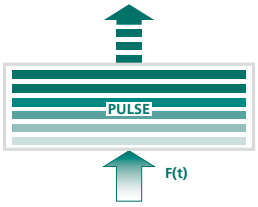
Daneben spielt eine sorgfältige Probenvorbereitung und eine äußerst präzise Ermittlung der Dicke eine erhebliche Rolle, um die mit Verringerung der Dicke steigende Unsicherheit der Messergebnisse minimal zu halten.



LFA 467 *HyperFlash*®: Die Temperaturleitfähigkeitswerte für die Kupferproben sind in guter Übereinstimmung mit den Literaturdaten, unabhängig von der Probendicke.

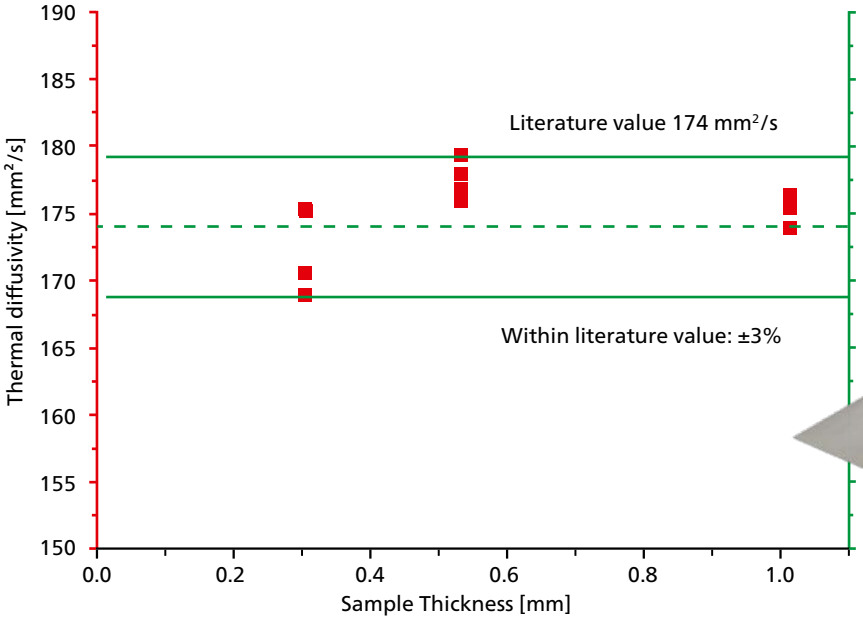
Hohe Datenerfassungsrate und geringe Pulsbreite

VORAUSSETZUNG FÜR MESSUNGEN AN DÜNNEN FILMEN

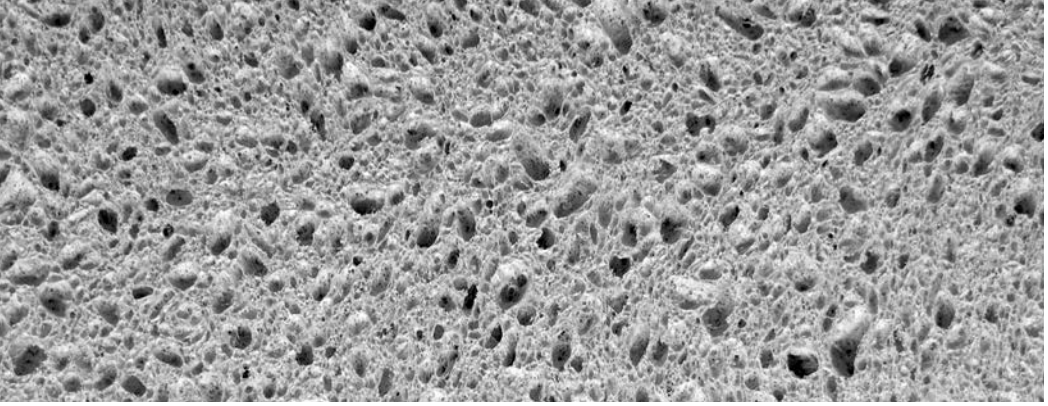


Silber

Die Temperaturleitfähigkeit wurde in Abhängigkeit von der Dicke der Silberprobe bestimmt. Die Ergebnisse für die unterschiedlichen Dicken liegen alle innerhalb einer Spanne von ± 3 % zum Literaturwert für Silber bei 300 K, selbst bei einer Dicke von nur 0,3 mm.



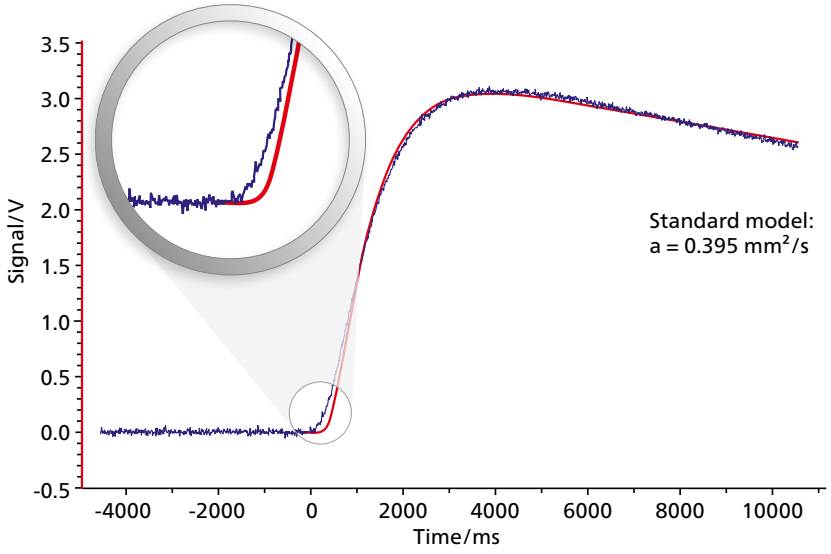
LFA 467 *HyperFlash*®: Die Temperaturleitfähigkeitswerte der Silberproben unterschiedlicher Dicke sind in guter Übereinstimmung mit den Literaturdaten.



Poröse Materialien

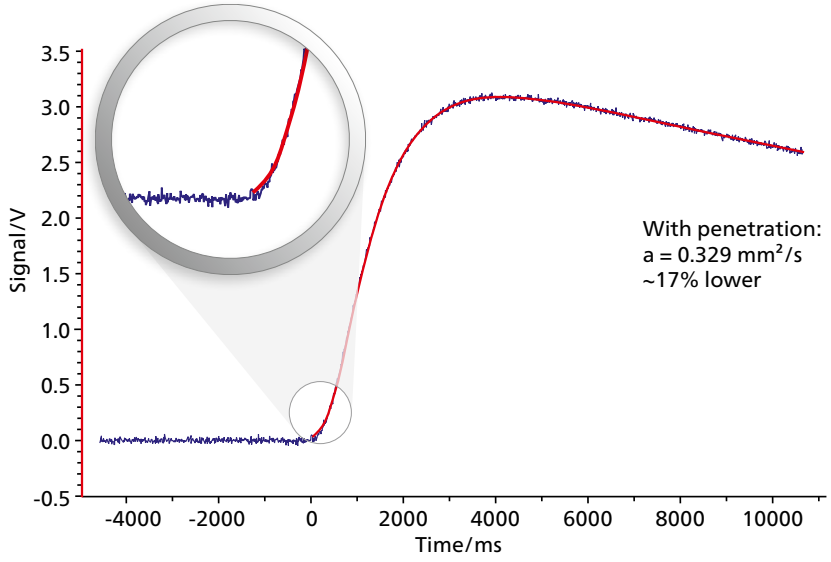
EINDRINGUNG FÜR BESTE MODELLANPASSUNG

In Standard-LFA-Messungen wird die Pulsenergie vollkommen auf der Probenvorderseite absorbiert. Dadurch entsteht eine thermische Welle, die die Probendicke durchwandert, bevor sie die gegenüberliegende Seite erreicht. Bei porösen Materialien ist die Absorption der Pulsenergie jedoch nicht länger auf die Vorderseite beschränkt – sie dringt als dünne Schicht in die Probendicke ein. Das Modell für poröse Materialien berücksichtigt den Eindringeffekt und die daraus resultierende abklingende Temperaturverteilung.



Gefüllte Polymerscheibe

Die Berechnung der Temperaturleitfähigkeit einer gefüllten Polymerscheibe mit Löchern basiert auf dem Standard- (oberer Plot) und dem Eindringmodell (unterer Plot). Bei Anwendung des Eindringmodells errechnet sich die Temperaturleitfähigkeit zu 0.329 mm²/s und liegt damit um ca. 17% niedriger im Vergleich zu dem Ergebnis basierend auf dem Standardmodell. Eine Messung des gleichen Materials ohne Löcher bestätigt die Richtigkeit des Ergebnisses.



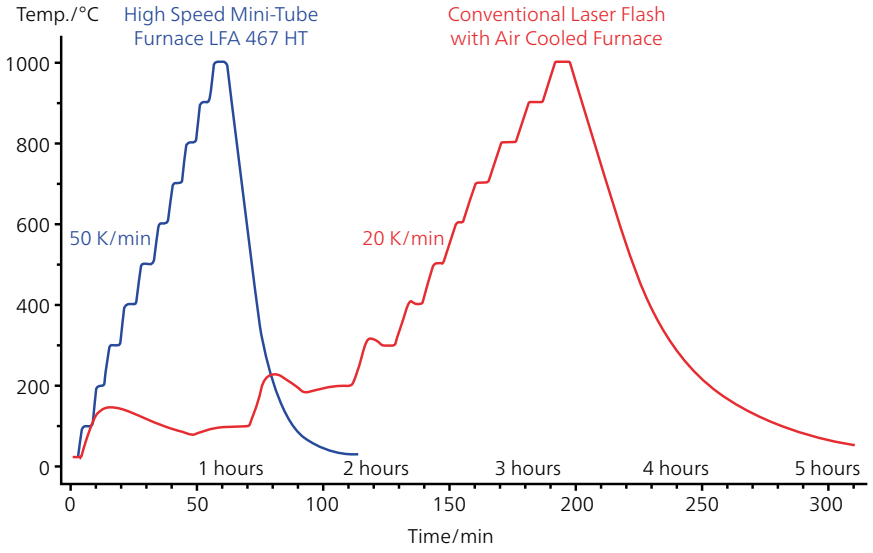
Einmaliges Stabilisierungsverhalten bei hohen Temperaturen

KÜRZESTE MESSZEITEN UND HOHER PROBENDURCHSATZ

Ein hoher Probendurchsatz ist gefordert, wenn konventionelle LFA-Systeme mit umfangreichen Anwendungen zum Einsatz kommen sollen. Dies kann in erster Linie durch Verwendung eines automatischen Probenträgers, eines schnellen Ofens oder eine Kombination von beidem umgesetzt werden. Die LFA 467 *HT HyperFlash®* bietet diese Kombination: Vier individuelle, schnell ansprechende Minirohröfen (für insgesamt 4 Proben) mit geringer thermischer Masse und ausgezeichnetem Stabilisierungsverhalten.

Das Design bietet eine homogene Temperaturverteilung über alle Proben hinweg und beeinflusst damit positiv die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität. Diese Kombination garantiert nicht nur einen erhöhten Probendurchsatz, sondern ist auch Voraussetzung für kurze Messzeiten.

In dieser Abbildung ist der Verlauf der Probentemperatur über der Zeit für zwei Laserflash-Systeme dargestellt. Gemessen wurde eine Referenzprobe von Raumtemperatur bis 1000 °C in 100 K-Schritten. Die Messzeit betrug nur etwa ein Drittel für die LFA 467 *HT* im Vergleich zu einer herkömmlichen Laserflash-Apparatur mit luftgekühltem Ofen.



Verlauf der Probentemperatur bei LFA-Messungen mit Mini-Rohrofen (LFA 467 *HT*) und Ofen mit Standard-Luftkühlung

Die NETZSCH Gruppe ist ein inhabergeführtes, international tätiges Technologieunternehmen mit Hauptsitz in Deutschland. Die Geschäftsbereiche Analysieren & Prüfen, Mahlen & Dispergieren sowie Pumpen & Systeme stehen für individuelle Lösungen auf höchstem Niveau. Mehr als 4.000 Mitarbeiter in 36 Ländern und ein weltweites Vertriebs- und Servicenetz gewährleisten Kundennähe und kompetenten Service.

Dabei ist unser Leistungsanspruch hoch. Wir versprechen unseren Kunden Proven Excellence – herausragende Leistungen in allen Bereichen. Dass wir das können, beweisen wir immer wieder 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

NETZSCH®

www.netzsch.com

NGB · LFA 467 *HyperFlash*®-Serie · DE · 0923 · Technische Änderungen vorbehalten.