

# NETZSCH

Proven Excellence.



## Laser Flash Apparatur LFA 457 *MicroFlash*®

Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit  
Methode, Technik, Applikationen

Analyzing & Testing

# Temperaturleitfähigkeit/Wärmeleitfähigkeit

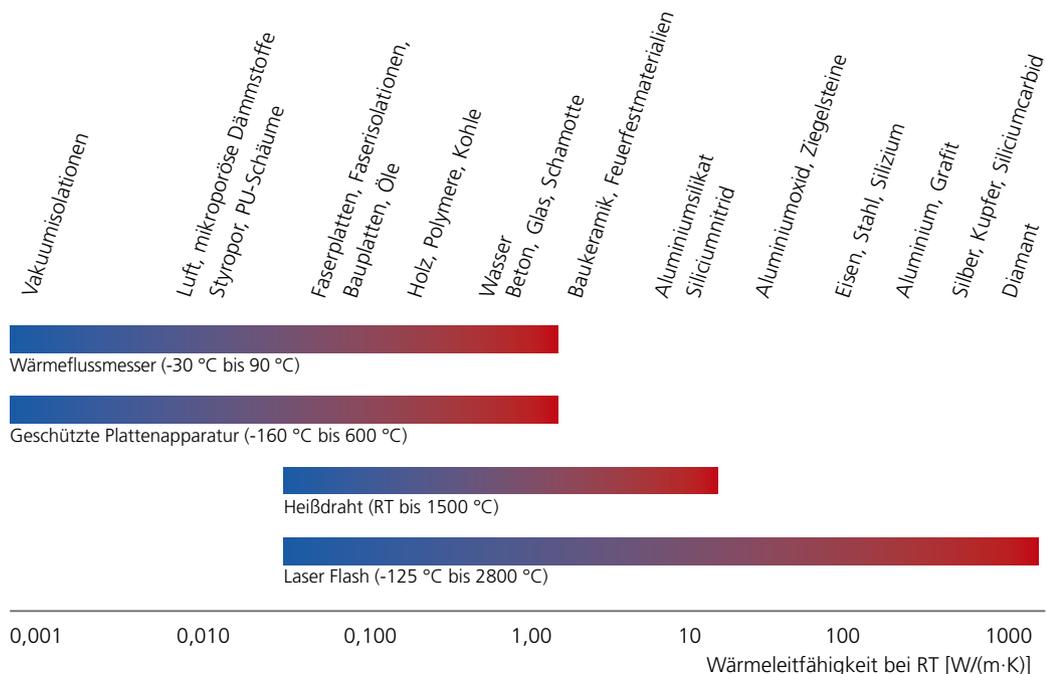
## DIE FLASH-METHODE

### Wieviel Wärme wird übertragen und wie schnell?

Die thermische Charakterisierung von hochleitfähigen Materialien bei tiefsten und mittleren Temperaturen – oder von Keramiken und feuerfesten Materialien bei höchsten Temperaturen – spielt eine große Rolle bei den heutzutage hohen Anforderungen an die verschiedenen Analysemethoden. Viele Herausforderungen lassen sich nur mit genauer Kenntnis der beiden fundamentalen thermischen Eigenschaften, Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit, bewältigen. Eine präzise, zuverlässige und elegante Lösung bietet die Flash-Methode, mit der sich typische Fragen zu Wärmetransportprozessen beantworten lassen, wie z. B.:

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

In den vergangenen drei Jahrzehnten hat NETZSCH den Weg in diese Technologie vorangetrieben. Unser Anwendungsspektrum erstreckt sich über einen Temperaturbereich von  $-125\text{ °C}$  bis  $2800\text{ °C}$ . Durch Fortschritt und Qualität aus Tradition konnten wir mit der LFA 457 *MicroFlash*® erneut Maßstäbe setzen.



Die Laser Flash (LFA)-Technik ist eine schnelle, zerstörungsfreie und kontaktlose Methode zur Bestimmung von Temperaturleitfähigkeit und spezifischer Wärmekapazität. Die Vorderseite einer planparallelen Probe wird durch einen kurzen Energieimpuls erwärmt. 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 thermophysikalischen Eigenschaften mit dem Dichtewert, kann die Wärmeleitfähigkeit wie folgt berechnet werden:

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

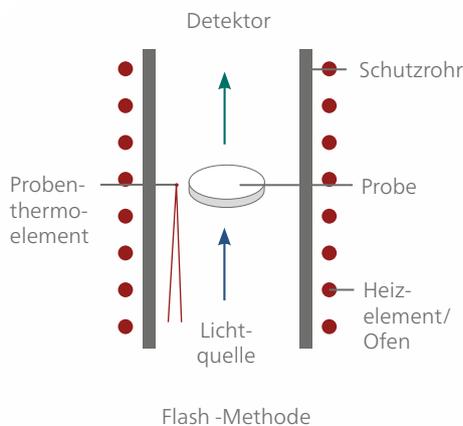
mit

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]

$a$  = Temperaturleitfähigkeit [mm<sup>2</sup>/s]

$c_p$  = spezifische Wärmekapazität [J/(g·K)]

$\rho$  = Raumdichte [g/cm<sup>3</sup>].



Dieser Satz an thermophysikalischen Eigenschaften bildet die Basis für die Entwicklung neuer Materialien, für die Prozessoptimierung und dient für numerische Simulationen.

Mit LFA-Daten lassen sich folgende Eigenschaften entweder direkt oder durch Berechnung bestimmen:

- Temperaturleitfähigkeit (a)
- Spezifische Wärmekapazität ( $c_p$ )
- Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) – durch Berechnung
- Effusivität (Wärmeeindringkoeffizient)  $e$  – durch Berechnung
- k-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) – durch Berechnung

Die Laser Flash-Methode ist eine absolute Testmethode zur Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit und erfordert daher keine Kalibrierung. Die bei einer gegebenen Temperatur stattfindenden Tests benötigen im Allgemeinen nur wenige Sekunden; Messungen über den gesamten Temperaturbereich können innerhalb weniger Stunden (typischerweise drei Tests pro Tag; morgens, nachmittags und über Nacht) durchgeführt werden.

Die LFA 457 *MicroFlash*® basiert auf nationalen und internationalen Normen, wie z. B. ASTM E1461, DIN EN 821-2, DIN 30905, ISO 22007-4 und ISO 18755.

# Wärmeleitfähigkeit

# Temperaturleitfähigkeit

# Effusivität

# Spezifische Wärmekapazität

# k-Wert

*Laser Flash – Eine effiziente Methode zur Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften*

# LFA 457 *MicroFlash*®

Fortschritt in der  
Laser Flash-Technologie

Dieses Tischgerät mit kleiner  
Stellfläche bietet  
beispiellose Flexibilität!



**Made in Germany**

## Temperaturabhängige Tests in einem großen Temperaturbereich

Zwei vom Anwender austauschbare Öfen sind erhältlich, die mittels motorisierter Hubvorrichtung bewegbar sind. Der Tieftemperatur-ofen ist mit einer geregelten Flüssigstickstoffkühlung für Messungen zwischen -125 °C und 500 °C ausgestattet, während der luftgekühlte Hochtemperaturofen Messungen zwischen Raumtemperatur und 1100 °C ermöglicht.

## Größter Messbereich

Die LFA-Technik lässt sich an Materialien mit Temperaturleitfähigkeiten zwischen 0,01 mm<sup>2</sup>/s und 1000 mm<sup>2</sup>/s (Wärmeleitfähigkeiten zwischen 0,1 W/(m·K) und 2000 W/(m·K)) anwenden.

## Auswechselbare Detektoren für zukünftige Applikationen

Der Standard-InSb (Indium Antimonid)-Detektor bietet die beste Leistungsfähigkeit bei hohen Temperaturen. Für den niedrigeren Temperaturbereich zwischen -125 °C und 500 °C ist der hochempfindliche MCT (Quecksilber-Cadmium-Tellurid)-IR-Detektor erhältlich.

## Hohe Genauigkeit und Wiederholbarkeit

Messungen an Standardmaterialien belegen die Genauigkeit der Temperaturleitfähigkeit von ± 3%; die spezifische Wärmekapazität kann mit einer Genauigkeit von ±5 % für die meisten Materialien bestimmt werden.

TIEFTEMPERATUROFEN  
VERSCHIEDENE PROBENHALTER

VAKUUMDICHTER OFEN AUS  
NICHT-PORÖSEM MATERIAL

IN-PLANE TESTS

BESTIMMUNG DER  
SPEZIFISCHEN  
WÄRMEKAPAZITÄT

PATENTIERTES  
PULSE MAPPING

LASERKLASSE 1

0,3 MS LASER-  
PULSBREITE

GROSSER TEMPERATUR-  
BEREICH

VARIABLE  
LASERENERGIE

INTEGRIERTER LASER

SOFTWARE-GESTEUERTE  
REDUZIERUNG DER  
LASERENERGIE

OPTIK ZUR AUTOMATISCHEN  
ANPASSUNG DER  
LASERSTRAHLBREITE

EINZIGARTIGE KORREKTUR- UND  
BERECHNUNGSMODELLE

# Zukunftsweisende Technologie

## Optimale Laserleistung kombiniert mit hochempfind- lichem Detektorsystem

Das in der Apparatur integrierte Lasersystem benötigt keine externen Lichtleiter. Aufgrund der geringen Distanz zwischen Probe und Detektor lässt sich die Laserleistung auf ein Minimum reduzieren. Für die meisten Applikationen sind 5 bis 8 J ausreichend (ein Temperaturanstieg von nur einigen mK!). Dank des Detektors kann eine Überhitzung der Proben während der Messung ausgeschlossen und das Risiko von abplatzenden Probenbeschichtungen und Probenbeschädigungen auf ein Minimum reduziert werden.

## Schnelle Temperatur- stabilisierung in reiner Probenkammer

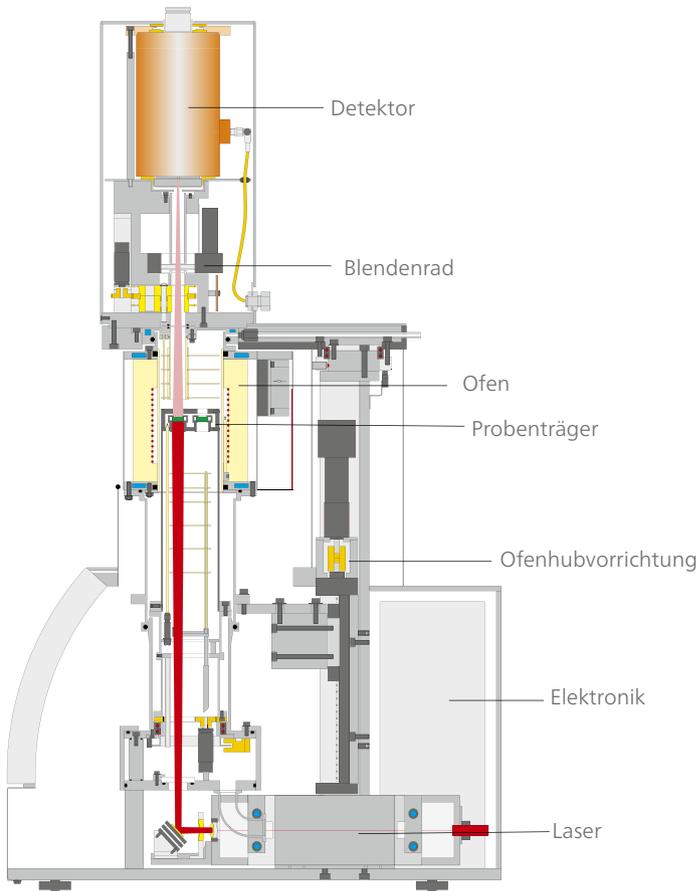
Die thermische Masse des Tief- sowie des Hochtemperaturofens ist geringer als die von anderen konventionellen Wärmeleitfähigkeitsprüfern, was eine schnelle Temperaturstabilisierung und kurze Messzeiten erlaubt. Die thermische Stabilität wird über Proben-temperatur und Detektorsignal überwacht. Die Testkammer besteht aus nicht-porösem Material (Quarzglas- oder Edelstahlschutzrohr), um eine reine Testatmosphäre sicherzustellen.

## Laser – Definierte Pulsenergie für optimale Pulse

Der Nd:Glas-Laser weist eine maximale Pulsenergie von 18 J und eine einheitliche Pulsbreite über die gesamte Pulsform von 0,3 ms auf. Dies ist gekennzeichnet durch steile und definierte Peaks ohne nennenswertes Abflachen. Die Leistung wird durch die Software geregelt und lässt sich einfach an die gewünschte Applikation anpassen. Der Laser ist mit einem durchdachten System verriegelt, das die Auslösung eines Schusses erst bei völlig geschlossenem System zulässt (Laserklasse 1).

## Laserstrahlauflösung

Die integrierte Vergrößerungsmöglichkeit des Laserstrahls ermöglicht eine homogene Ausleuchtung von Proben mit unterschiedlichen Größen zwischen 6 mm und 25,4 mm.



LFA 457 MicroFlash® – 1100 °C-Version

## Patentiertes\* Pulsmapping für finite Pulskorrektur und verbesserte $c_p$ -Bestimmung

Die Erfassung des realen Laserpulses ist bei jeder individuellen Messung erlaubt. Die mathematische Beschreibung des realen Laserpulses und Berücksichtigung aller Berechnungsmodelle ebnet den Weg für Untersuchungen an dünnen Folien und Materialien mit höchsten Leitfähigkeiten. Zusätzlich wird die reale Pulsenergie bei der Berechnung der spezifischen Wärmekapazität zur Erhöhung der Genauigkeit berücksichtigt.

\* Patent-Nr.: US 7,038,209 B2 von 9/2003;  
DE 1024241 von 9/2002.

## Zwei austauschbare Detektorsysteme – Eine lohnende Investition

Mit beiden Detektoren (MCT und InSb) können Proben problemlos gemessen werden, die hochleitend, inhomogen oder in einem Container eingeschlossen sind. Probleme aufgrund eingebetteter Thermoelemente, punktueller Temperaturbestimmung oder Kontaktreaktionen zwischen Probe und Detektor (Sensor) treten nicht mehr auf. Die IR-Detektorsysteme können mit einem Flüssigstickstoff-Nachfüllsystem einschl. 35-l-Dewar ausgestattet werden und sind innerhalb weniger Minuten vom Anwender austauschbar.

*Eine ausgeklügelte LFA – vom Design bis zur Handhabung*

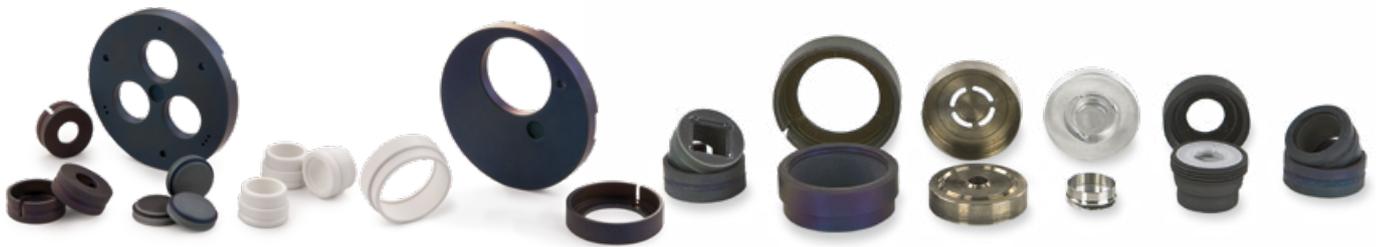
# ZUBEHÖR

## Automatischer Probenwechsler

Der integrierte motorisierte Probenwechsler erlaubt Messungen von bis zu drei Proben gleichzeitig. Die Probenträger sind auf einem robusten Probenträgerrohr angebracht, das sich während des Probenwechsels dreht. Für große Probenabmessungen kann das System mit einer Trägerplatte für eine Probe bis zu einem Durchmesser von 25,4 mm ausgestattet werden.

## Probenträger

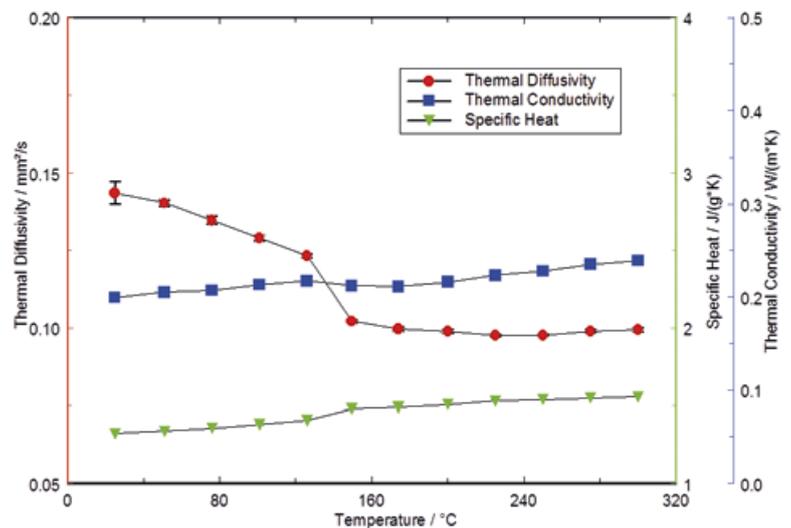
Unterschiedliche Probenträger für runde oder quadratische Festkörper zwischen 6 mm und 25,4 mm sind erhältlich einschließlich Probenträger für spezielle Geometrien, Inplane-Messungen sowie Messungen unter Druck. Auch für Lamine, Pasten, Fasern, Flüssigkeiten und für Proben, die während der Aufheizung bröckeln oder schrumpfen, finden Sie den geeigneten Probenhalter in unserem Zubehörprogramm.



## Polycarbonat (PC) – LFA-Test im flüssigen Bereich

Optimierung des Formgebungsprozesses von PC mittels Finite-Element-Simulationen setzt die Kenntnis der thermophysikalischen Eigenschaften voraus. Oberhalb der Glasübergangstemperatur ( $> 140\text{ °C}$ ) wird auch ein Probenträger für geschmolzene Materialien benötigt. Die Wärmeleitfähigkeit wird aus Dichte, Temperaturleitfähigkeit und spezifischer Wärmekapazität berechnet. Der leichte Anstieg mit zunehmender Temperatur ist typisch für ein 100% amorphes Material.

Der Glasübergang ist deutlich in den Kurven für die spezifische Wärmekapazität und Temperaturleitfähigkeitskurven zu sehen. In den Wärmeleitfähigkeitsergebnissen ist dieser Übergang 2. Ordnung nicht zu sehen.



## LFA 457 MicroFlash®

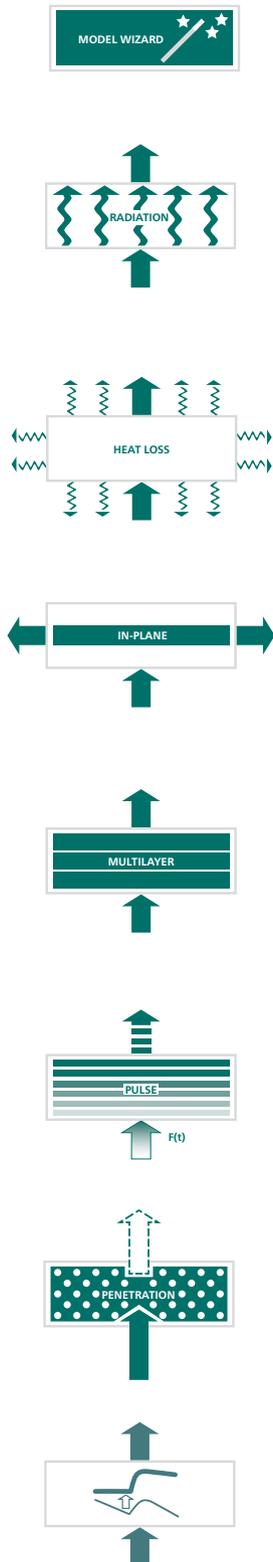
Öfen/Temperaturbereich	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ -125 °C bis 500 °C (Heliumatmosphäre empfohlen)</li> <li>▪ RT bis 1100 °C</li> </ul> <p>→ Ein Gerät mit zwei leicht auswechselbaren Öfen und Detektoren</p>
Lasere	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nd:Glas</li> <li>▪ Laserklasse 1</li> <li>▪ Wellenlänge 1054 nm</li> <li>▪ Energie bis 18 J/Puls (variabel, softwaregesteuert)</li> <li>▪ Pulsbreite 0,3 ms</li> <li>▪ Patentiertes Pulsmapping (US7038209, DE10242741), für finite Pulskorrektur</li> <li>▪ Automatische Aufweitungsoptik für Anpassung des Laserspots (für große Proben)</li> </ul>
Sensoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MCT (-125 °C bis 500 °C, empfohlen), LN<sub>2</sub>-gekühlt, optional LN<sub>2</sub>-Nachfüllsystem</li> <li>▪ InSb (RT bis 1100 °C), optional LN<sub>2</sub>-Nachfüllsystem</li> </ul>
Messbereich	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperaturleitfähigkeit: 0,01 mm<sup>2</sup>/s bis 1000 mm<sup>2</sup>/s</li> <li>▪ Wärmeleitfähigkeit: 0,1 W/(m·K) bis 2000 W/(m·K)</li> </ul>
Genauigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperaturleitfähigkeit: ± 3 % (für die meisten Materialien)</li> <li>▪ Spezifische Wärmekapazität: ± 5 % (für die meisten Materialien)</li> </ul>
Wiederholbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperaturleitfähigkeit: ± 2 % (für die meisten Materialien)</li> <li>▪ Spezifische Wärmekapazität: ± 3 % (für die meisten Materialien)</li> </ul>
Messatmosphären	Inert, oxidierend oder Vakuum (<10 <sup>-2</sup> mbar)
Automatischer Probenwechsler	Bis zu drei Proben gleichzeitig
Probengeometrien/-formen*	<p>∅: 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12,7 mm, 25,4 mm; 0,1 mm bis 6 mm Dicke</p> <p>□: 6 mm x 6mm; 8 mm x 8 mm, 10 mm x 10 mm; 0,1 mm bis 6 mm Dicke</p>
Referenzmaterialien	Verschiedene Sets und individuelle Referenzmaterialien in unterschiedlichen Dimensionen und Formen
Software	Verschiedene Berechnungs- und Korrekturmodelle, Modell-Wizard, Anzeige von Detektorsignal und Modellanpassung, Datenexport
Anschlüsse und Betriebsmittel	110/230 V, 50/60 Hz, 16 A (zusätzlicher Netzanschluss für Ofenleistungseinheit), Wasser: 1 Liter/Woche, LN <sub>2</sub> : 2 Liter/Tag
Geräteabmessungen	Breite: 570 mm, Tiefe: 550 mm, Höhe: 880 mm

\* 12,7 mm empfohlen; weitere Probenhalter auf Anfrage

# Technische Daten

# Software *Proteus*®

Intelligente Bedienung mit nur einem Klick



Die *Proteus*®-Software läuft unter den Betriebssystemen Windows® XP Professional oder Windows® 7 32-/64-bit Professional, Enterprise oder Ultimate. Durch die Kombination von einfacher Menüführung und automatisierten Routinen wurde ein Werkzeug geschaffen, 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

Mehrfensterertechnik zur übersichtlichen Darstellung

Drag-and-drop-Softwarefunktionen

Datenbankorientierte Speicherung von Schuss-Serien

Schnelle Exportroutinen aller geladenen Messungen

Laden von Schuss-Serien mit Vorschau auf Parameter und Temperaturprogramm

Wizard zur Ermittlung des besten Auswertemodells

Vergleichende Analyse von bis zu 32 Schuss-Serien der gleichen Datenbank

Möglichkeit der Schussmittelung bei gleichem Temperaturniveau

Definition einer beliebigen Anzahl von Temperaturstufen sowie Anzahl der Schüsse je Stufe

Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität 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

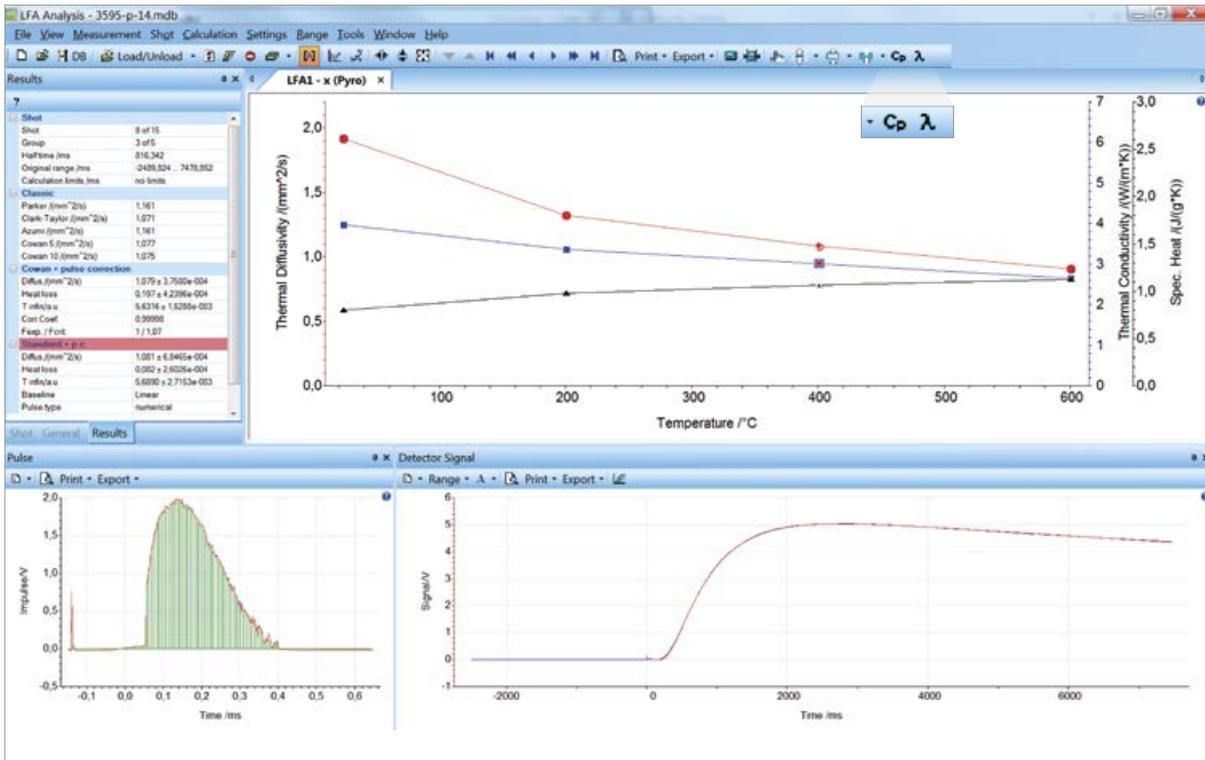
Schnelle Zoomfunktion für X- und Y-Ausschnittswahl

Darstellung der Temperaturanstiegskurve, theoretische Modellkurve

Einblenden der Messwerte als Tool-Tip beim Bewegen der Maus über die Messpunkte

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
- Penetration

Alle Standardmodelle erlauben die Kombination von Wärmeverlust, Pulskorrektur und verschiedenen Basislinientypen. Alle Parameter sind frei wählbar; R<sup>2</sup>-Fit und Residuen 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; DE1024241)

Wärmeverlustkorrektur

Basislinienkorrektur

In-plane

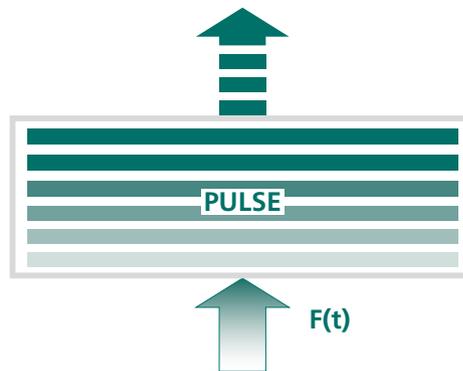
Mittelung multipler Schüsse

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

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

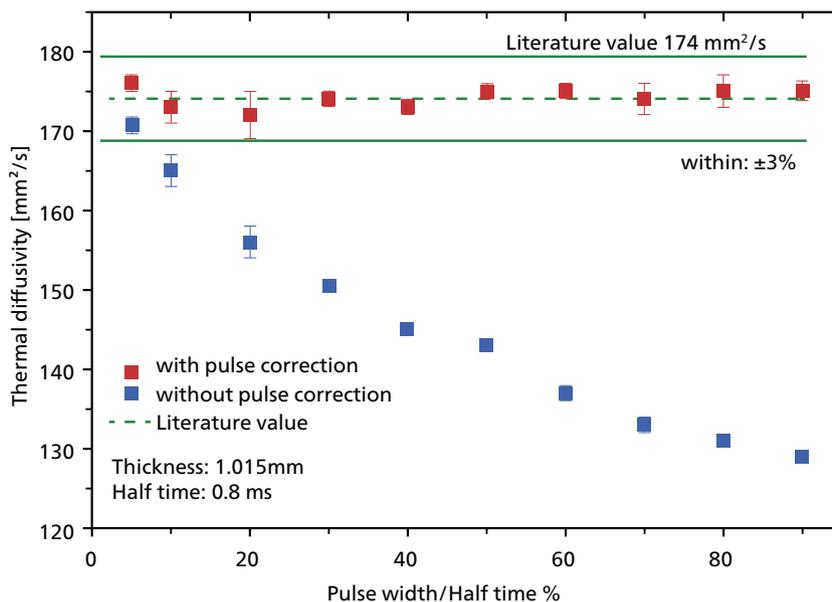
Berechnungsmodelle,  
Korrekturen und  
mathematische  
Operationen

# Softwaremodelle, Korrekturen



## Unerreichte Pulskorrektur für dünne und hochleitende Materialien

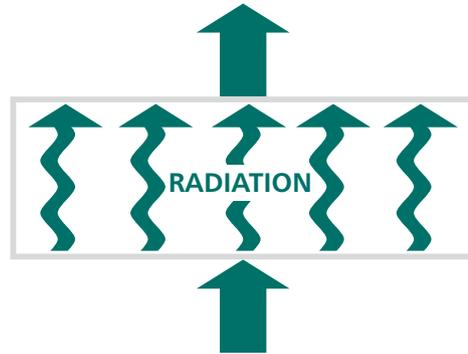
Pulsmapping (Patent-Nr. US7038209, US20040079886, DE10242741) ermöglicht eine finite Pulskorrektur sowie eine verbesserte Bestimmung von Temperaturleitfähigkeit und  $c_p$ . Es berücksichtigt die Erfassung des echten Laserpulses bei jeder individuellen Messung und dessen mathematische Beschreibung durch Überprüfung aller in der Software enthaltenen Berechnungsmodelle.



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

Vergleichende Messungen an einer Silberscheibe mit und ohne Pulskorrektur belegen deren Einfluss auf die Temperaturleitfähigkeitsergebnisse

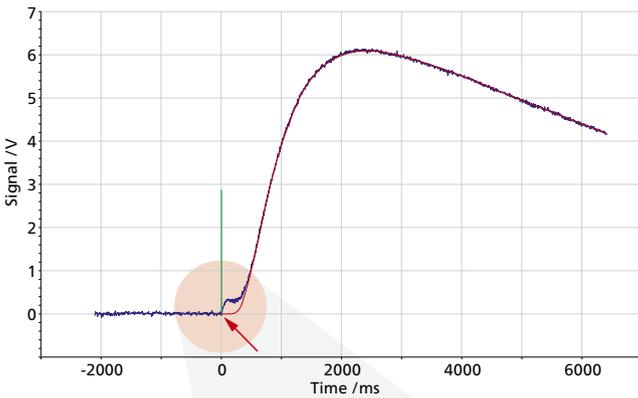
# und Messassistent



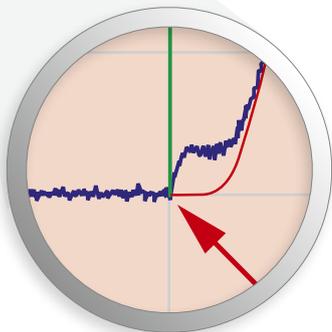
## Perfekte Behandlung transluzenter Proben – Das Transparent-Modell

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.

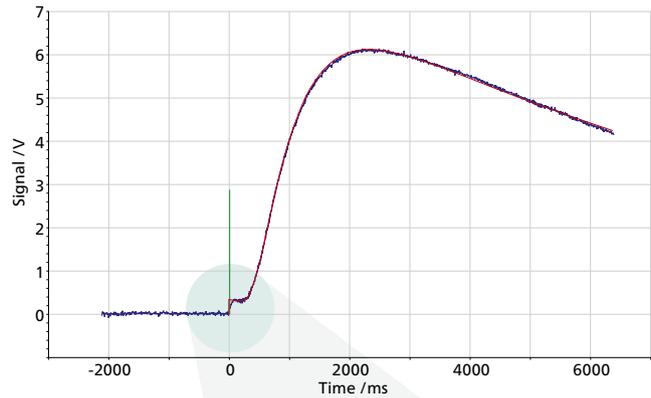
Die Messung an einer Glaskeramik zeigt die Effektivität des Strahlungsmodells. Die verbesserte Anpassung resultiert in einem deutlich geringeren Temperaturleitfähigkeitswert ( $0,877 \text{ mm}^2/\text{s}$ , rechter Plot) im Vergleich mit der auf einem konventionellen Modell beruhenden schlechteren Anpassung ( $0,974 \text{ mm}^2/\text{s}$ , linker Plot). Hohe Messfehler werden somit vermieden.



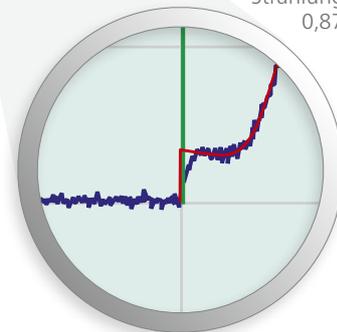
Konventionelles  
Wärmeverlust-  
modell  
(Standard):  
 $0,974 \text{ mm}^2/\text{s}$

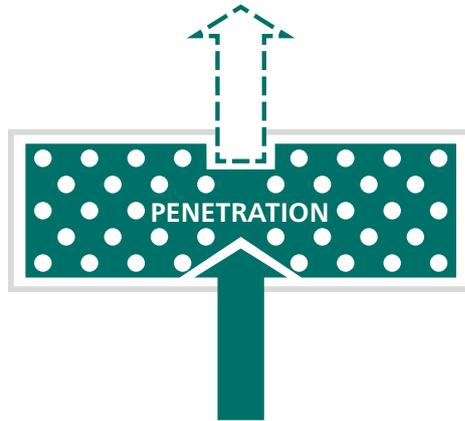


blau: Detektorsignal  
rot: Modellanpassung  
grün: Pulssignal



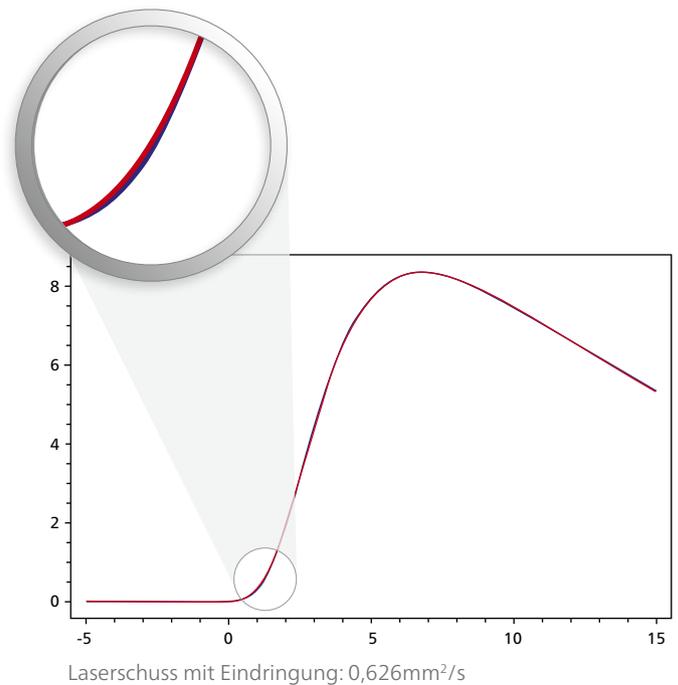
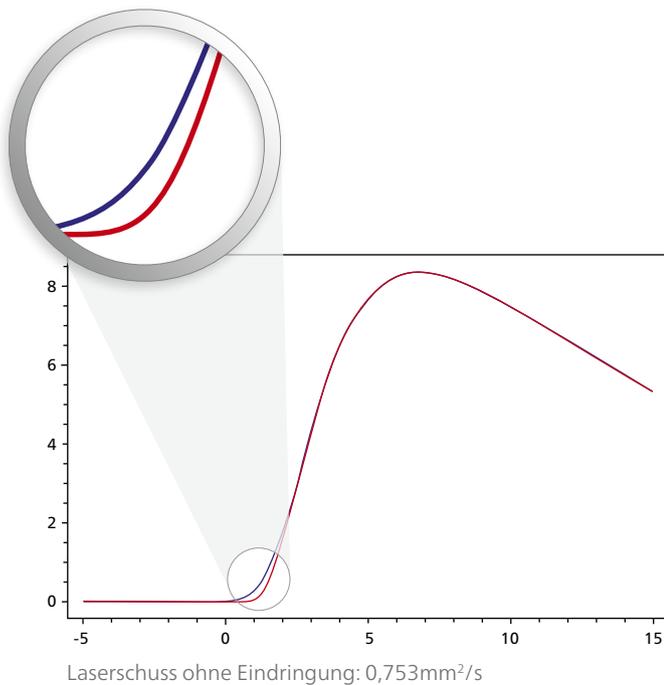
Strahlungsmodell:  
 $0,877 \text{ mm}^2/\text{s}$





## Penetrationsmodell für poröse Materialien oder Materialien mit rauer Oberfläche

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 Absorptionsschicht kann als freie Weglänge der Photonen im Material berücksichtigt werden. Dies hat eine exponentiell abfallende anfängliche Temperaturverteilung innerhalb der Probe zur Folge.

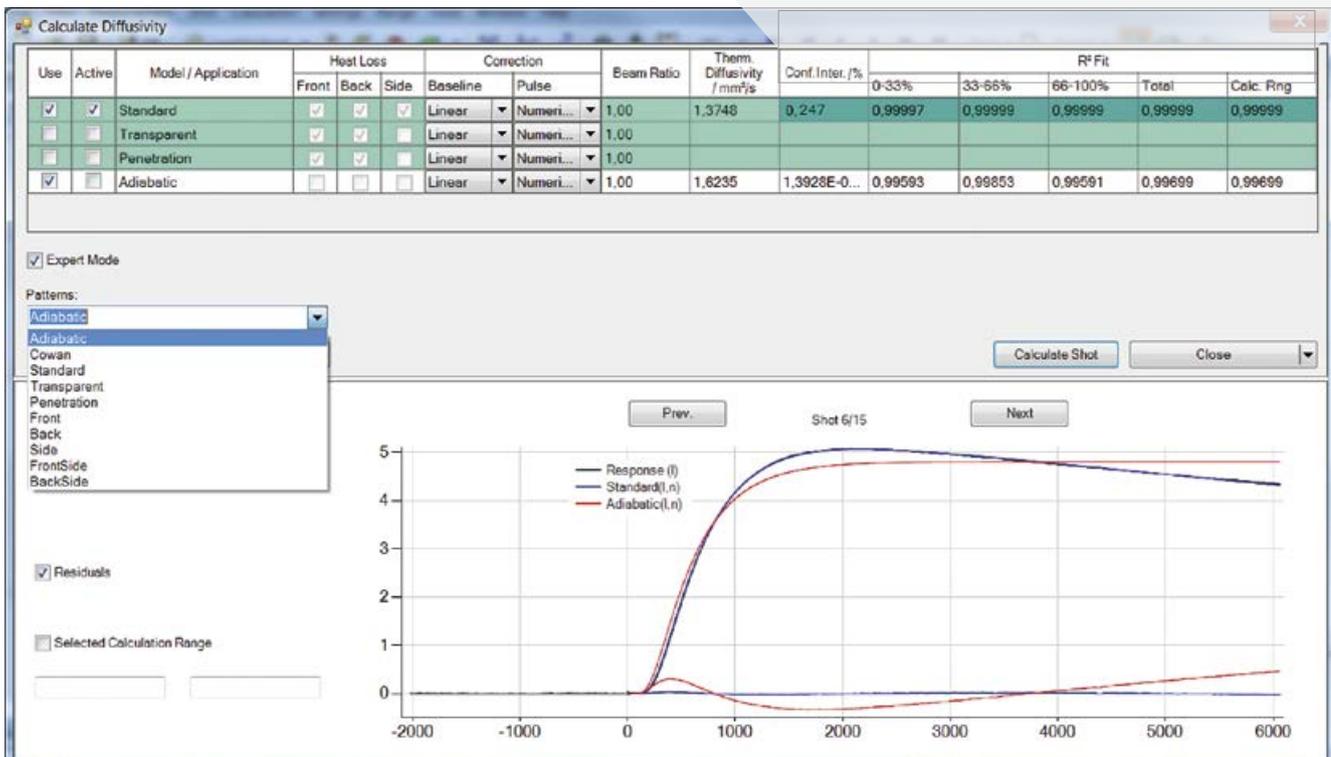




## Modell-Wizard – Beste Anpassung für beste Ergebnisse

Die Anwendung umfangreicher Korrekturmodelle und mathematischer Operationen wird durch den bereits in der LFA *Proteus*<sup>®</sup>-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 Parameterabweichungen angezeigt. Im Beispiel liegt die Modellanpassung für das Standard-Modell (2-D) nahezu deckungsgleich über der Detektorkurve, während für das adiabatische Modell aufgrund der fehlenden Wärmeverlustkorrektur große Abweichungen erkennbar sind.

	Conf. Inter. /%	R <sup>2</sup> Fit				
		0-33%	33-66%	66-100%	Total	Calc. Rng
Standard	0,247	0,99997	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999
Adiabatic	1,3928E-0...	0,99593	0,99853	0,99591	0,99699	0,99699



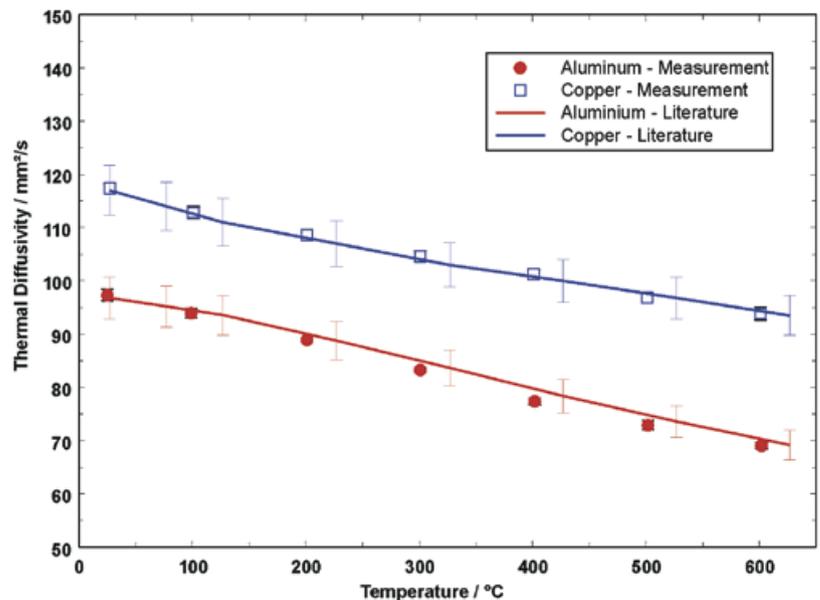
# Top Performance

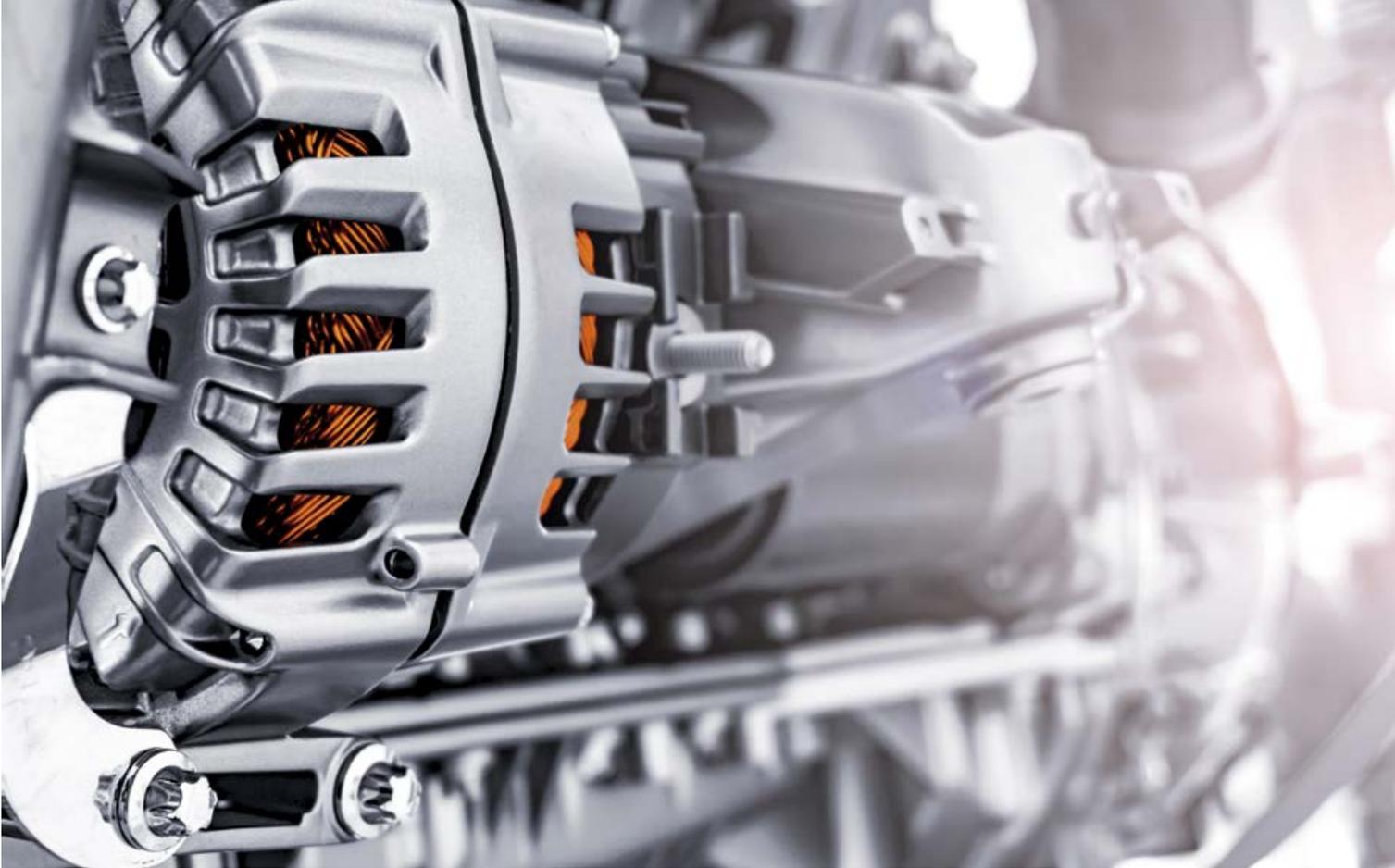
Reinmetalle und Edelstahl lassen sich ausgezeichnet zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit einer Laser Flash-Apparatur bis in den hohen Temperaturbereich nutzen.

## Kupfer und Aluminium

In diesem Plot sind die Temperaturleitfähigkeitsergebnisse von reinem Kupfer (99,999 %) und reinem Aluminium (99,9 %) zwischen Raumtemperatur und 600 °C dargestellt. Die Ergebnisse wurden mit Literaturdaten aus der TPRC-Datenbank (Linien) verglichen.

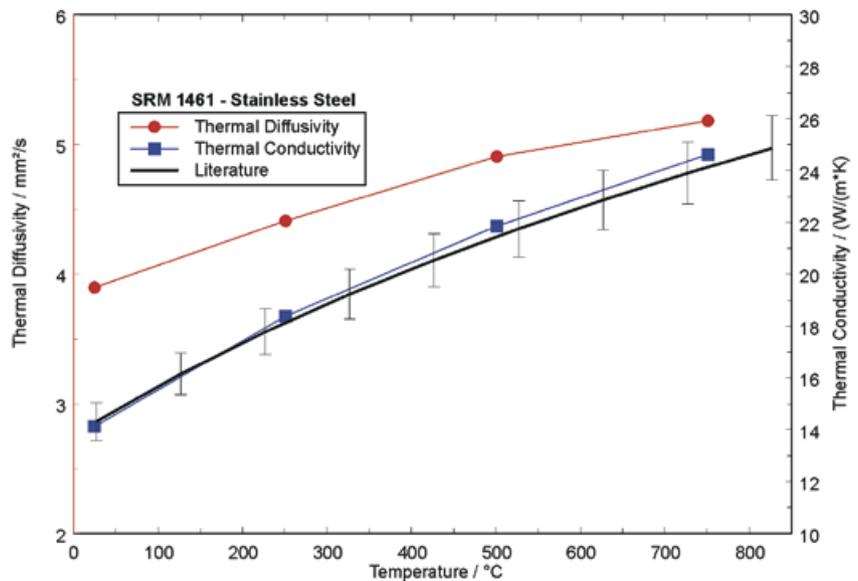
Die Literaturwerte weisen eine angegebene Unsicherheit von  $\pm 4\%$  (Fehlerbalken) auf. Die mit der NETZSCH LFA 457 *MicroFlash*<sup>®</sup> erzielten Messergebnisse stimmen jedoch generell mit  $\pm 2\%$  mit den in der Literatur angegebenen Werten überein.





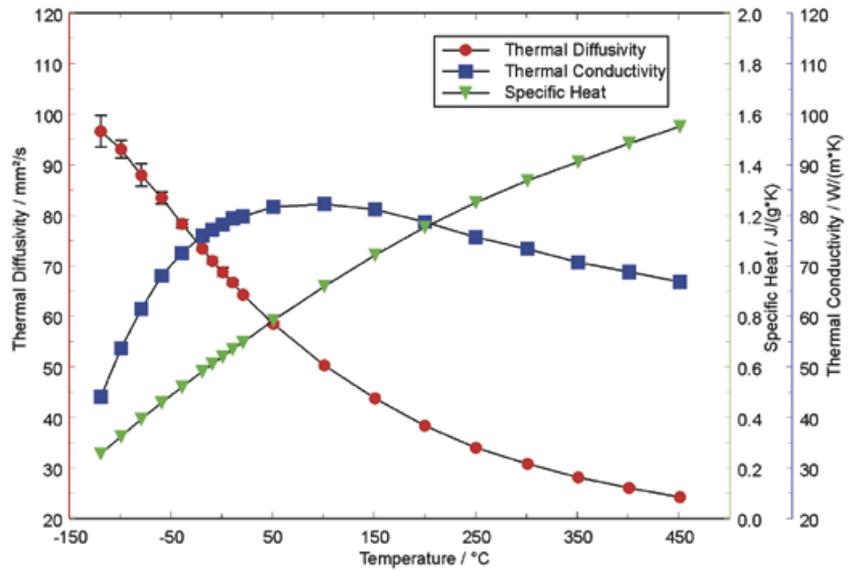
## Edelstahl (SRM 1461)

Dieser Plot zeigt die gemessene Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit von SRM 1461, dem NIST Standard-Referenzmaterial für die Wärmeleitfähigkeit. Zusätzlich dargestellt sind die Wärmeleitfähigkeitswerte des entsprechenden NIST-Zertifikats zusammen mit der angegebenen Unsicherheit. Die Ergebnisse liegen deutlich innerhalb des gegebenen Unsicherheitsbereichs.



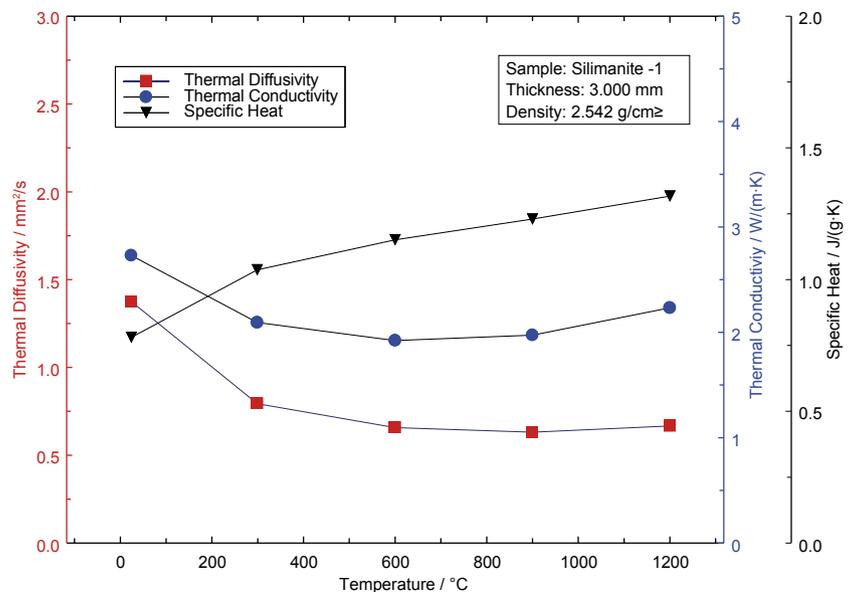
## Polykristallines Grafit

Materialien aus Grafit zeigen eine maximale Wärmeleitfähigkeit bei Raumtemperatur. Dies lässt sich einfach mit der Tieftemperatur-Version der LFA 457 *MicroFlash*® analysieren. Die physikalische Erklärung für dieses Maximum ist die hohe Debye-Temperatur dieses Materials (>1000 K). Mit steigender Temperatur dominiert die Temperaturabhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit im Verlauf der Wärmeleitfähigkeit. Unterhalb von Raumtemperatur fällt die spezifische Wärmekapazität stark ab und der Gradient der Temperaturleitfähigkeit nimmt ab. Es dominiert die spezifische Wärmekapazität im Verlauf der Wärmeleitfähigkeit.



## Grobkeramik

Hier sind die gemessene Temperaturleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität einer Sillimanit-Probe gezeigt. Für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit wurde eine Raumdichte von 2,542 g/cm<sup>3</sup> verwendet. Die geringe Temperaturabhängigkeit sowie die niedrigen Wärmeleitfähigkeitswerte sind typisch für Aluminiumsilikat-Keramiken: Die Temperaturleitfähigkeit nimmt mit der Temperatur bis 800 °C ab (Phononenleiter); oberhalb von 800 °C nehmen die Werte wieder zu, was höchstwahrscheinlich auf den zunehmenden Beitrag der Wärmeübertragung durch Strahlung zurückzuführen ist. Andererseits steigt die spezifische Wärmekapazität über den gesamten Temperaturbereich an.



# Kompetenz in Service

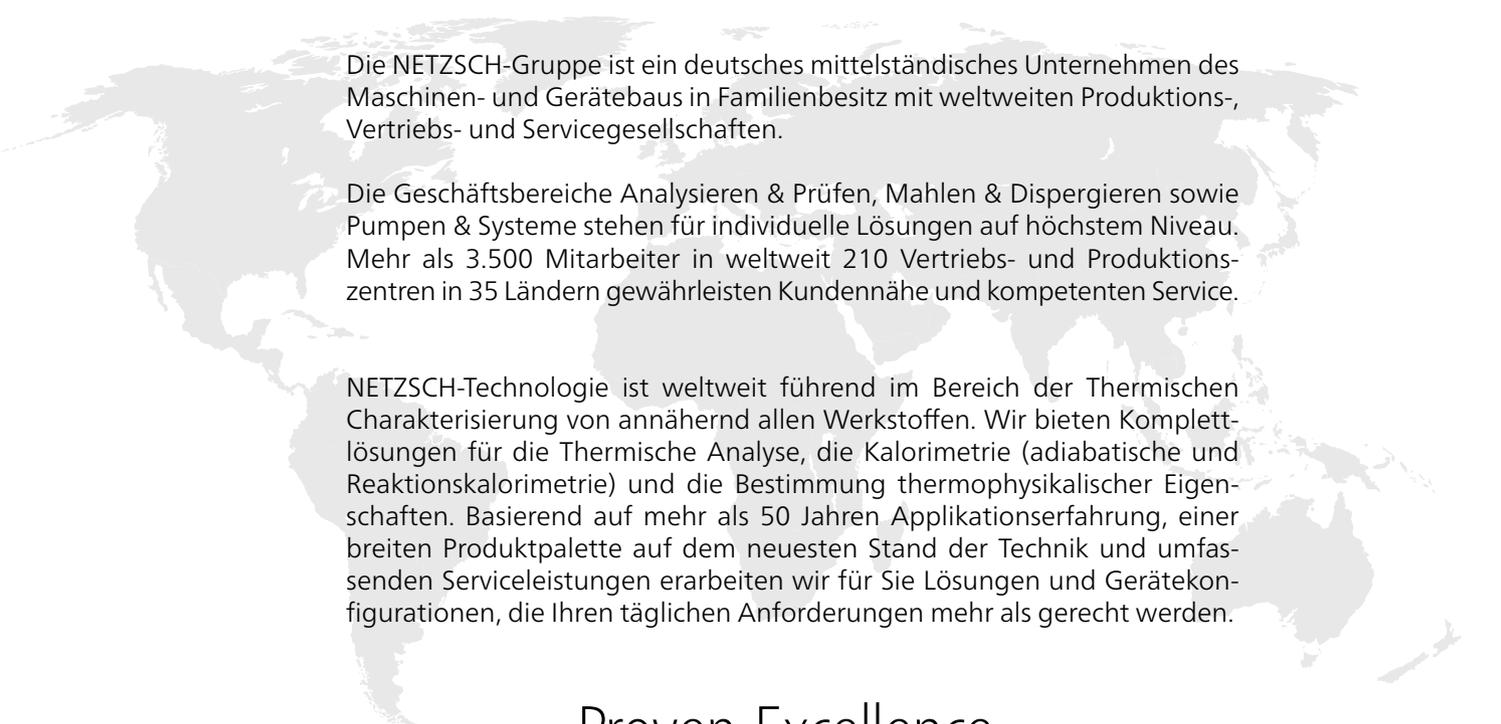
Der Name NETZSCH steht überall auf der Welt für umfassende Betreuung und kompetenten, zuverlässigen Service – vor und nach dem Gerätekauf. Unsere qualifizierten Mitarbeiter aus den Bereichen Technischer Service und Applikation stehen Ihnen jederzeit gerne für eine Beratung zur Verfügung.

In speziellen, auf Sie und Ihre Mitarbeiter zugeschnittenen Trainingsprogrammen lernen Sie, die Möglichkeiten Ihres Geräts voll auszuschöpfen. Zur Erhaltung Ihrer Investition begleitet Sie unser kompetentes Serviceteam über Jahrzehnte hinweg zur Sicherstellung gleichbleibend hoher Geräteperformance.

Die Applikationslabors von NETZSCH sind Ihr Partner bei nahezu allen Fragestellungen in der Thermischen Analyse. Wir liefern Ihnen präzise Messergebnisse und wertvolle Interpretationen in kürzest möglicher Zeit. Dadurch können Sie neue Materialien und Komponenten vor dem Einbau genauestens charakterisieren, Ausfallrisiken minimieren und entscheidende Vorteile gegenüber Ihren Mitbewerbern sichern. Wir unterstützen Sie bei Produktionsproblemen und arbeiten gerne Lösungen für Sie aus.

- Aufstellung und Inbetriebnahme
- Schulung
- Hotline-Service
- Präventive Wartung
- Individuelle  
Wartungsvereinbarungen
- Kalibrierservice
- IQ/OQ
- Vor-Ort-Reparaturen mit Notfall-  
Service für NETZSCH-Komponenten
- PC-unterstützte Diagnostik
- E-Mail-Berichterstellung
- Umzugs-/Austauschservice
- Technischer Informationsservice
- Ersatzteil-Service
- Zubehörkatalog
- Software-Update-Service
- Applikationsunterstützung
- Umweltfreundliches  
Geräterecycling





Die NETZSCH-Gruppe ist ein deutsches mittelständisches Unternehmen des Maschinen- und Gerätebaus in Familienbesitz mit weltweiten Produktions-, Vertriebs- und Servicegesellschaften.

Die Geschäftsbereiche Analysieren & Prüfen, Mahlen & Dispergieren sowie Pumpen & Systeme stehen für individuelle Lösungen auf höchstem Niveau. Mehr als 3.500 Mitarbeiter in weltweit 210 Vertriebs- und Produktionszentren in 35 Ländern gewährleisten Kundennähe und kompetenten Service.

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) und die Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften. Basierend auf mehr als 50 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@netsch.com

**NETZSCH**®

[www.netsch.com](http://www.netsch.com)