

NETZSCH

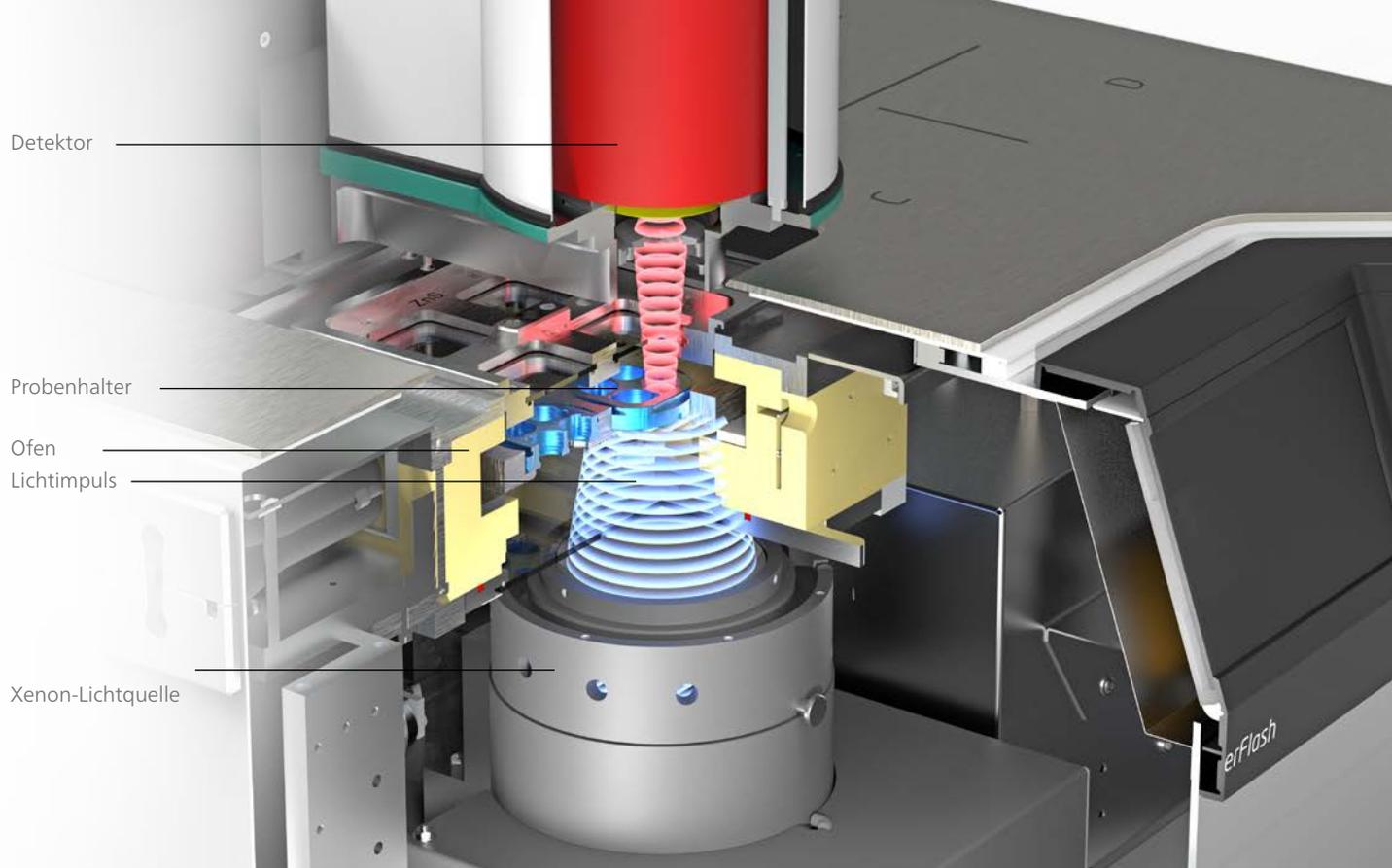
Proven Excellence.



Light Flash-Apparatur LFA 717 *HyperFlash*[®]-Serie

Methode, Technik, Applikationen
zu Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit

Analyzing & Testing



Wärmeleitfähigkeit/Temperaturleitfähigkeit

Wie schnell wird Wärme übertragen?

Die Kenntnis der Wärmeleitfähigkeit ist bei der Auswahl an Werkstoffen für eine Vielzahl von Anwendungen von entscheidender Bedeutung. Bei Isoliermaterialien wird eine niedrige Wärmeleitfähigkeit vorausgesetzt, während Kühlkörper eine hohe Wärmeleitfähigkeit benötigen, um Wärme effizient abzuleiten. In industriellen Prozessen wie Gießen und Schweißen beeinflusst die Wärmeleitfähigkeit den Wärmefluss und damit die Effizienz und Qualität des Prozesses. Die Temperaturleitfähigkeit ist von entscheidender Bedeutung in Situationen, in denen sich die Wärmeübertragung mit der Zeit ändert, wie beispielsweise bei schnellen Aufheiz-/Abkühlprozessen.

Eine genaue, zuverlässige und elegante Lösung für die Messung der Wärmeleitfähigkeit und der Temperaturleitfähigkeit ist die Flash-Methode. Diese Methode ermöglicht es, die Herausforderungen beim Verständnis und der Kontrolle der Wärmeübertragung zu bewältigen. Typische Anwendungen sind:

- Wärmemanagement zur Regelung der Temperatur in Systemen, Geräten oder Materialien, um deren ordnungsgemäße Funktion, Lebensdauer und Effizienz sicherzustellen
- Vermeidung von Überhitzung in Komponenten durch Auswahl von Materialien mit geeigneten thermischen Eigenschaften
- Entwicklung von Materialien, die extremen Temperaturschwankungen standhalten
- Temperaturregelung in Prozessen wie Extrusion, Formgebung und Metallbearbeitung
- Verbesserung der Effizienz von Wärmedämmungen und Wärmetauschern

In den vergangenen drei Jahrzehnten hat NETZSCH eine Vorreiterrolle in der Laser/Light Flash Technologie eingenommen und bietet einen Applikationsbereich von -125 °C bis 2800 °C . Wir hören nie auf, innovativ zu sein, den Bedürfnissen unserer Kunden zuvorzukommen und diese zu erfüllen. Gemäß unserer Exzellenz aus Tradition konnten wir mit der LFA 717 HyperFlash® und der LFA 717 HyperFlash® HT wieder neue Maßstäbe setzen.

DIE FLASH- METHODE

Light Flash

Eine effiziente Methode zur Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften

Die Light Flash (LFA)-Technik ist eine schnelle, absolute, zerstörungsfreie und kontaktfreie Methode zur Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit. Mit Hilfe einer Referenzprobe kann auch die spezifische Wärmekapazität von Materialien mittels LFA ermittelt werden.

Die Vorderseite einer planparallelen Probe wird durch einen kurzen Energieimpuls erwärmt. Aus der resultierenden Temperaturänderung der Rückseite, die mit einem Infrarot (IR)-Detektor gemessen wird, kann sowohl die Temperaturleitfähigkeit als auch die spezifische Wärmekapazität bestimmt werden.

Durch Kombination dieser thermophysikalischen Eigenschaften mit dem Dichtewert kann die Wärmeleitfähigkeit wie folgt berechnet werden:

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

mit

λ = Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]

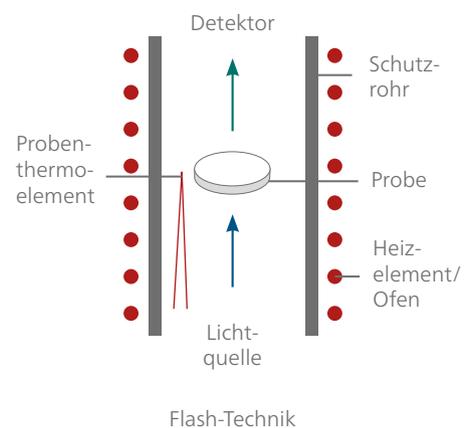
a = Temperaturleitfähigkeit [mm²/s]

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

ρ = Dichte [g/cm³].

Dieser vollständige Satz thermophysikalischer Eigenschaften kann dann herangezogen werden

- als Eingabedaten für numerische Simulationen
- zur Materialoptimierung, beispielsweise hinsichtlich der gewünschten thermischen Leistung



MARKTFÜHRER



LFA 717 *HyperFlash*® -100 °C bis 500 °C

HÖCHSTE EFFIZIENZ – SIMULTANE MESSUNG VON 16 PROBEN

Die LFA 717 *HyperFlash*® ist mit einem automatischen Probenwechsler für bis zu 16 Proben ausgestattet, der runde und quadratische Proben in vier Haltern in einem Ofen aufnehmen kann.

EIN-ZOLL-PROBENHALTER FÜR PROBEN MIT GROSSEM DURCHMESSER

Mit dem 1-Zoll-Probenhalter (Ø 25,4 mm) können noch größere Proben gemessen werden. Typische Probendicken variieren von 0,5 bis 3 mm.

FLEXIBILITÄT DURCH KÜHLUNG

Mit flüssigem Stickstoff als Kühlmittel können Proben bei Temperaturen bis -100 °C gemessen werden. Für Messungen zwischen 0 °C und 500 °C steht ein optionales wartungsfreies Vortex-Druckluftkühlsystem zur Verfügung.

ALLGEMEINE GERÄTEEIGENSCHAFTEN

DIE GRÖSSTE AUSWAHL AN PROBENHALTERN UND PROBENMATERIALIEN

MODERNSTE BERECHNUNGSMODELLE

Die LFA 717 *HyperFlash*® ist stets auf dem neuesten Stand der Wissenschaft und gibt die Wärmeleitfähigkeit eines Materials mit Hilfe modernster Berechnungsmodelle genau wieder.

FÜR HOCHPRÄZISE UND SCHNELLE TEMPERATUR-LEITFÄHIGKEITSMESSUNGEN

RT bis 1250 °C
LFA 717 HyperFlash® HT



BIS 1250 °C MIT XENON-BLITZLICHTQUELLE

Die LFA 717 HyperFlash® HT basiert auf der bewährten LFA 717 HyperFlash®-Technologie und benötigt aufgrund des innovativen Lichtquellensystems keine Laserklasseneinstufung. Die lange Lebensdauer der Xenon-Lamp ermöglicht kostengünstige Messungen bis 1250 °C ohne teure Verbrauchsmaterialien.

VAKUUMDICHTER OFEN FÜR DEFINIERTE ATMOSPHÄREN ZUR VERMEIDUNG VON OXIDATION

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

ZEITSPARENDE MINI-ROHRÖFEN

Effizienter Probendurchsatz über den gesamten Temperaturbereich durch Mini-Rohröfen, die eine unübertroffene Prüfgeschwindigkeit bieten. Jede der vier Probenpositionen verfügt über ein eigenes Thermoelement für kurze Stabilisierungszeiten. Innerhalb einer Stunde können zehn Temperaturstufen bis 1250 °C gemessen werden.

GROSSER TEMPERATURBEREICH BEI GERINGEM PLATZBEDARF

Messungen von -100 °C bis 500 °C oder von Raumtemperatur bis 1250 °C können mit einer einzigen Gerätekonfiguration durchgeführt werden.

PULSKORREKTUR

Berücksichtigung der Pulslänge der Lichtquelle zur exakten Bestimmung der Materialeigenschaften, insbesondere bei der Charakterisierung hochleitfähiger Materialien oder dünner Schichten.

Zubehör

DURCHDACHTE PROBENHALTER FÜR SPEZIELLE ANWENDUNGEN



Zubehörcatalog

Umfangreiche Auswahl an Zubehör für die LFA 717 *HyperFlash*®-Serie einschließlich Probenhaltern, Referenzmaterialien und Werkzeugen

Für Messungen im gesamten Temperaturbereich stehen für beide LFA-Geräte zahlreiche Probenhalter für unterschiedliche Probengeometrien zur Verfügung, darunter auch solche, die für spezielle Anwendungen eingesetzt werden können.

Das Design des Probenhalters für Flüssigkeiten sorgt für einen kontinuierlichen Kontakt zwischen Flüssigkeit und Tiegel über den gesamten Temperaturbereich – auch unterhalb des Gefrierpunkts. Die Wärmeübertragung entlang der Behälterwand wird minimiert.

Für Messungen an Harzen während des Aushärtungsprozesses steht ein spezieller Probenhalter aus kostengünstigem Verbrauchsmaterial zur Verfügung. Darüber hinaus umfasst unsere Produktpalette Probenhalter für Messungen in der Ebene und unter mechanischem Druck. Kundenspezifische Probenhalter sind auf Anfrage erhältlich.



LFA 717 HyperFlash®

Zusätzlich zu den Standardprobenhaltern für runde oder quadratische Festkörper bieten wir auch Probenhalter für spezielle Applikationen, einschließlch

- Polymerschmelzen und niedrigviskose Flüssigkeiten
- Harze während der Aushärtung
- Pasten und Pulver
- Fasern
- Laminare



Probenhalter für Folien (links), Standard-Probenhalter für bis zu 4 runde Proben (rechts)

LFA 717 HyperFlash® HT

Für die LFA 717 HyperFlash® HT sind auch Probenhalter für Flüssigkeiten, Pasten, Polymerschmelzen und Harze erhältlich. Darüber hinaus ermöglichen spezielle Probenhalter die Messung von „flüssigen“* und pulverförmigen Metallproben.



Spezielle Probenhalter für „flüssige“* und pulverförmige Metallproben (links), Standardprobenhalter für runde Proben (rechts)

* In diesem Zusammenhang bezieht sich der Begriff „flüssige Metalle“ auf Probenhalter, die Messungen bei Temperaturen oberhalb des Schmelzpunkts von Metallen ermöglichen.

Für folgende Anwendungen können spezielle Probenhalter eingesetzt werden:

- Pasten und Pulver, z. B. Metallpulver, Schmierfette und Harze
- Flüssige Proben wie Wasser, Öle, Wachse, Honig sowie geschmolzene Polymere und Metalle
- Anisotrope Werkstoffe wie faserverstärkte Polymere und/oder Keramiken, Kohlenstoff-Prepregs (through-plane und in-plane)
- In-plane-Messungen an dünnen oder hochleitfähigen Metallfolien wie Kupfer und Aluminium
- Dünne Polymerfolien wie Klebebänder oder Verpackungsfolien aus Kunststoff
- Fasern, z. B. Kunststofffasern



Die Spezialprobenhalter der Hochtemperaturversion decken zum Beispiel folgende Materialien ab:

- Pasten und Pulver, z. B. Metallpulver, Schmierfette, Harze
- Flüssige Proben wie Wasser, Öle, Wachse oder Honig sowie geschmolzene Polymere und Metalle
- Anisotrope Werkstoffe: Faserverstärkte Polymere und/oder Keramiken, Kohlenstoff-Prepregs (through-plane und in-plane)

Kühlzubehör und Funktionen für mehr Effizienz und ein nachhaltigeres Labor

Umgang mit problematischen Materialien

Bestimmte Materialien, wie z. B. toxische oder sauerstoff-/feuchtigkeitsempfindliche Stoffe, erfordern eine spezielle Handhabung, um die Sicherheit des Bedieners zu gewährleisten. Auch der Kontakt mit der Umwelt sollte vermieden werden. Unsere LFA-Systeme können in speziellen Glovebox- oder Hot-Cell-Ausführungen geliefert werden, die für diese besondere Anforderungen einschließlich der Gerätehandhabung ausgelegt sind.

Interne und externe Pumpsysteme

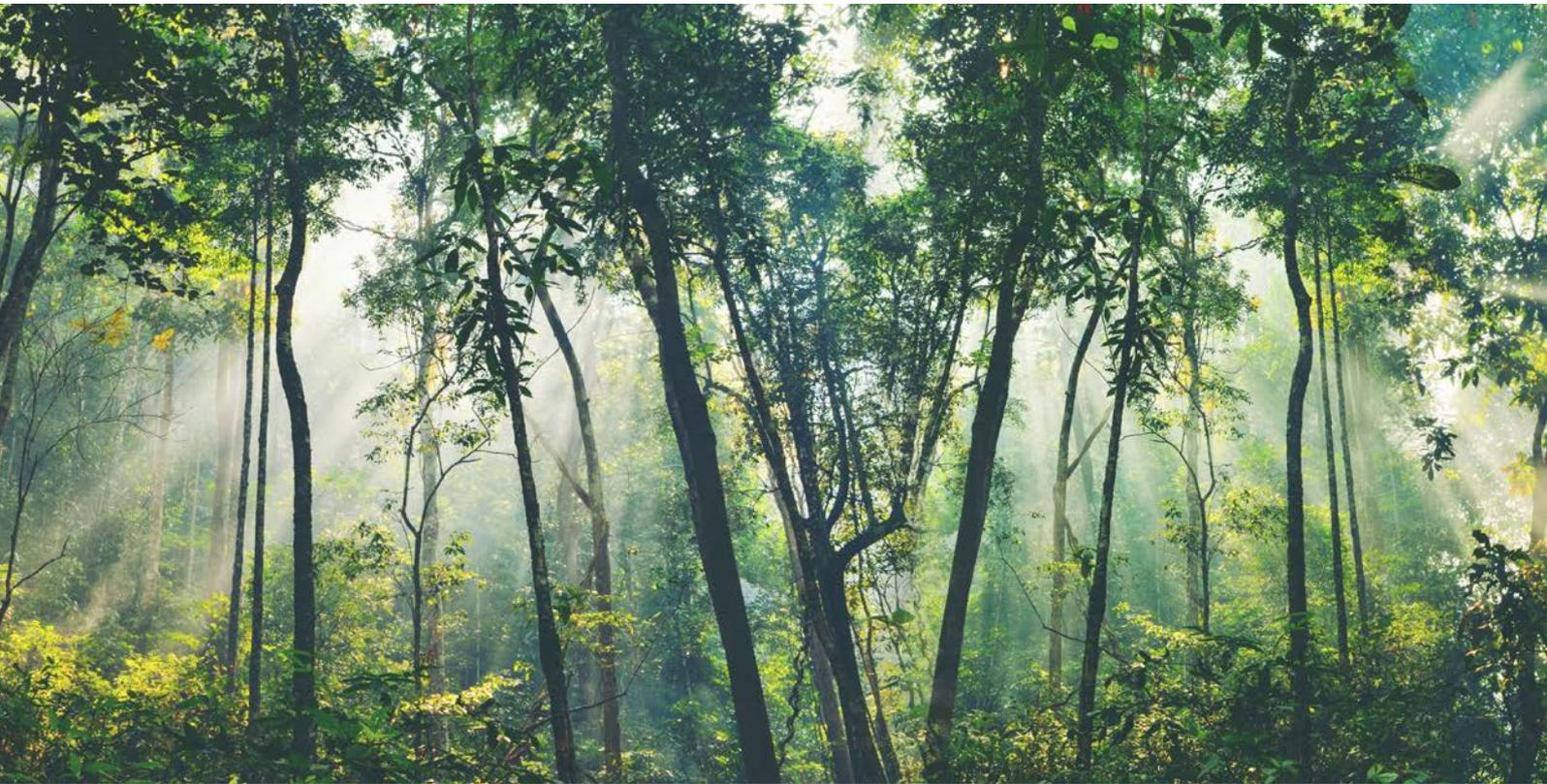
Eine interne Pumpe in Verbindung mit einer automatischen Evakuierungssteuerung ermöglicht Messungen mit der LFA 717 *HyperFlash*® in definierten Atmosphären. Bei der Hochtemperaturversion kann zusätzlich eine externe Pumpe angeschlossen werden, um die Reinheit der Atmosphäre zu erhöhen.

Analyse im subambienten Bereich – LN₂- und Druckluftkühlung

Die LFA 717 *HyperFlash*® bietet verschiedene Kühlmöglichkeiten. Mit Druckluft können Temperaturen von bis zu 0 °C erreicht werden. Für eine Kühlung bis -100 °C wird flüssiger Stickstoff (LN₂) benötigt. LN₂-Nachfüllsysteme ermöglichen den kontinuierlichen Betrieb der LFA, indem sie den Ofen und den Detektor ständig mit flüssigem Stickstoff versorgen.



Die Abbildung zeigt die Verwendung der Glovebox mit der LFA 717 *HyperFlash*® HT (Handschuhe sind nicht abgebildet).



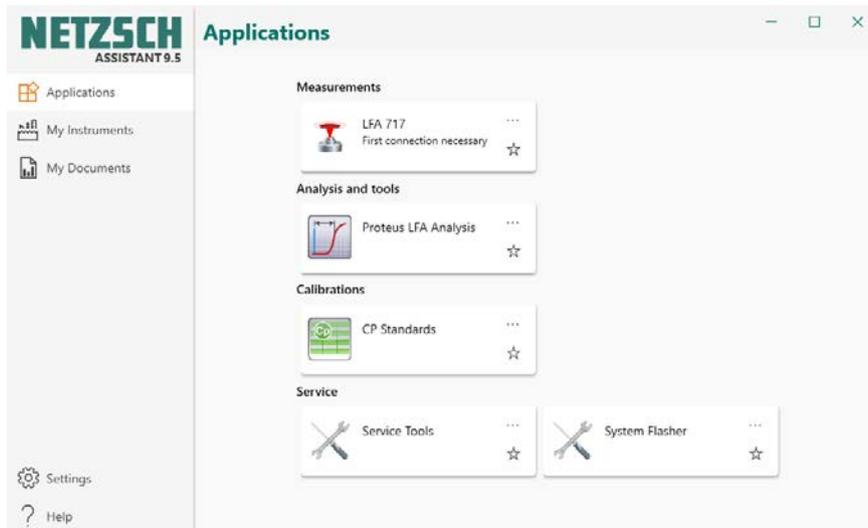
50% WENIGER ENERGIEVERBRAUCH DURCH NEUESTE THERMOSTAT- ENERGIE

Die Integration eines Thermostaten in die Laser Flash Analyse spielt eine entscheidende Rolle bei der Sicherstellung stabiler Ausgangstemperaturen und der Aufrechterhaltung einer kontrollierten Umgebung, die für genaue Messungen der Temperaturleitfähigkeit und die anschließende Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit unerlässlich sind. Durch die Minimierung von Temperaturschwankungen verbessern Thermostate die Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit von Messungen. Thermostate verbrauchen jedoch auch Energie und erzeugen Abwärme, was zu einem hohen Stromverbrauch führen kann. Daher ist es wichtig, energieeffiziente Thermostate zu verwenden, um sowohl den Energieverbrauch als auch die Betriebskosten zu senken. NETZSCH reagiert auf diesen Bedarf und bietet hocheffiziente Thermostate für seine LFA-Geräte an. Durch den Einsatz der neuesten Generation der bewährten Thermostattechnik kann der Energieverbrauch von LFA-Geräten um bis zu 50 % gesenkt werden, was einer jährlichen Energieeinsparung von ca. 3.400 kWh* entspricht.

* Bei halbtägiger Nutzung 12 Stunden täglich, 52 Wochen im Jahr

Proteus®-Software

Intelligente Bedienung mit nur einem Klick



Die Proteus® 64-Bit Software wird mit einer Gerätelizenz geliefert und kann mehrere über USB angeschlossene Geräte parallel bedienen oder auf sekundären Installationen auf anderen Rechnersystemen laufen.

Sie ist im NETZSCH-Assistenten ab Version 9.5 integriert, der eine Vielzahl von NETZSCH-Geräten sowie mehrere Anwendungen von Drittanbietern in einer übergeordneten Software-Management-Suite zusammenfasst.

NETZSCH Assistant zur Verwaltung aller Geräte und Anwendungen

Allgemeine Software-Merkmale

- Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität mit der Vergleichsmethode inkl. c_p -Grafik
- Vergleichende Analyse für bis zu 32 Schusserien aus derselben Datenbank
- Bestimmung des Kontaktwiderstands in Mehrschichtsystemen
- Definition einer beliebigen Anzahl von Temperaturstufen sowie der Anzahl der Schüsse pro Stufe
- Bestehende NETZSCH Kunden können ihre bereits gesammelten Daten der LFAs (457, 467, 427) in die neue Software-Version übertragen.
- Grafische Darstellung der Messkurven mit bis zu 3-skalierbaren Y-Achsen
- Schnelle Zoomfunktion für X- und Y-Ausschnittswahl
- Einblendung der Messwerte als Tool-Tip beim Überfahren der Messpunkte mit der Maus
- Darstellung der Temperaturleitfähigkeitskurve in Abhängigkeit von der Temperatur oder der Zeit
- Kombinierte Darstellung von Rohdaten und theoretischem Modell

Ein wichtiges LFA-spezifisches Upgrade ist die Ersetzung des bisherigen Datenbankformats durch das neue und schnellere SQL-Datenbankformat. Diese Änderung der zugrundeliegenden Datenstruktur führt zu verbesserten Modellierungszeiten und bis zu 2,5 mal schnelleren Ergebnissen bei gleichzeitig geringerem Speicherplatzbedarf.

Dies bedeutet, dass Anwender nun eine nahezu unbegrenzte Anzahl von Messungen pro Datenbank speichern können. Alle üblichen Datenbankverwaltungsfunktionen wie Import/Export und Datenzusammenführung stehen weiterhin zur Verfügung.

Die neueste *Proteus*[®]-Softwareversion für höchste Stabilität und zuverlässige Ergebnisse

Modelle und Korrekturen

Klassische und modernste Modelle zur simultanen Datenauswertung

- Standardmodell, auf Basis von Cape-Lehman
- Transparent-Modell für transparente und transluzente Proben (unter Berücksichtigung des ballistischen Wärmetransportes durch Strahlung in der Probe)
- Penetrationsmodell für poröse Proben
- Adiabatisch
- Cowan (Wärmeverlust Vorder-/Rückseite)
- 2-/3-Schichtmodelle (unter Berücksichtigung von Wärmeverlusten)
- In-Plane-Modell (isotrop und orthotrop)

Wärmeverluste

Basislinienkorrekturen

Exakte Pulslängenkorrektur durch Pulsmapping

Mittelung multipler Schüsse

Approximation der temperaturabhängigen thermischen Eigenschaften durch verschiedene mathematische Funktionen (Polynome, Splines usw.)

Optimierung von Messinformation und Messdauer

Erhöhte Robustheit einzelner Modelle und Gütekriterien zur Abdeckung aktueller Anwenderanforderungen

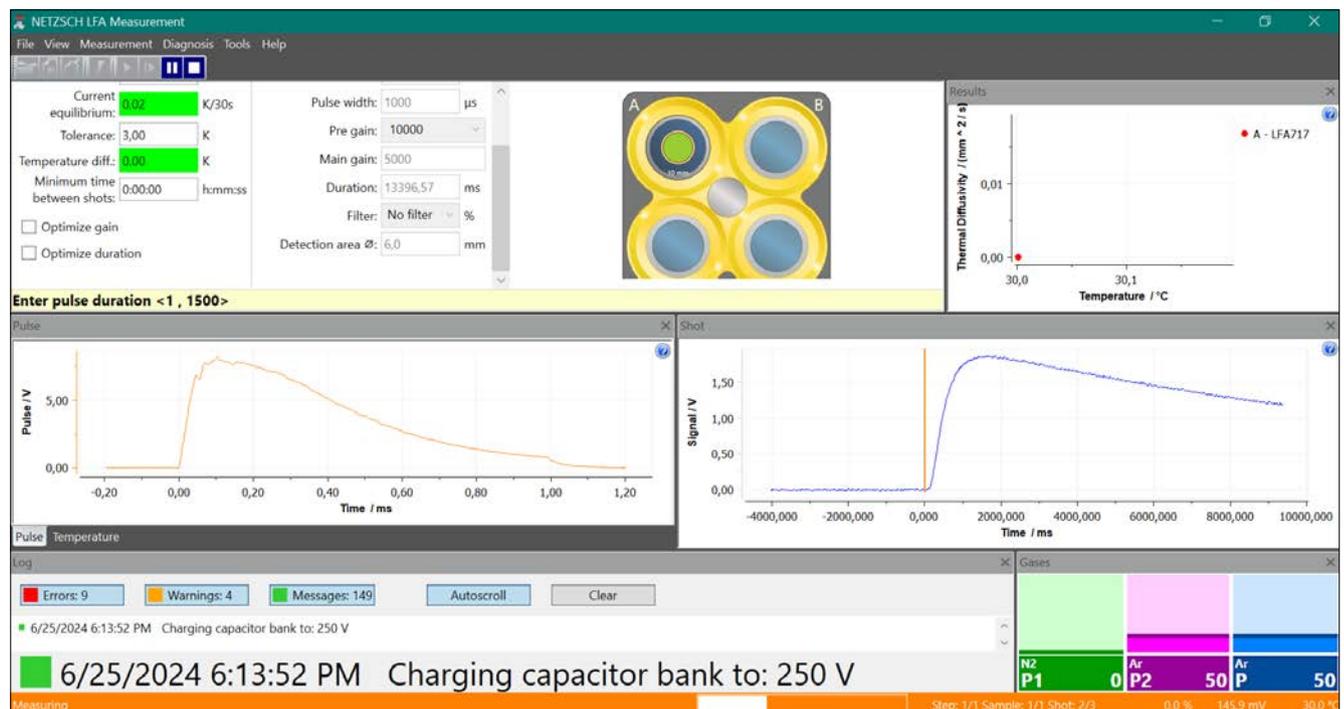
Alle Modelle ermöglichen die Kombination von Wärmeverlust, Pulskorrektur und Basislinientypen.

Weitere Informationen finden Sie auf Seite 16.

Die neueste *Proteus*[®] LFA Software besteht aus zwei Komponenten: der Mess- und Analysesoftware. Ein wesentlicher Vorteil dieser Konfiguration besteht darin, dass die Analyse auf einem separaten Rechner durchgeführt werden kann, der nicht mit dem Gerät verbunden ist, was eine größere Flexibilität und Komfort bei der Datenverarbeitung bietet.

Messsoftware

Die Messsoftware ist eine eigenständige Software für den Anschluss und die Steuerung von Gerät und Hardware-Zubehör sowie zur Definition und Überwachung jeder Messung. Die Messsoftware erreicht einen hohen Automatisierungsgrad mit Funktionen wie der Informations- und Zeitoptimierung. Alle diese Optionen sind jedoch vollständig anpassbar, um dem Benutzer maximale Flexibilität zu bieten.

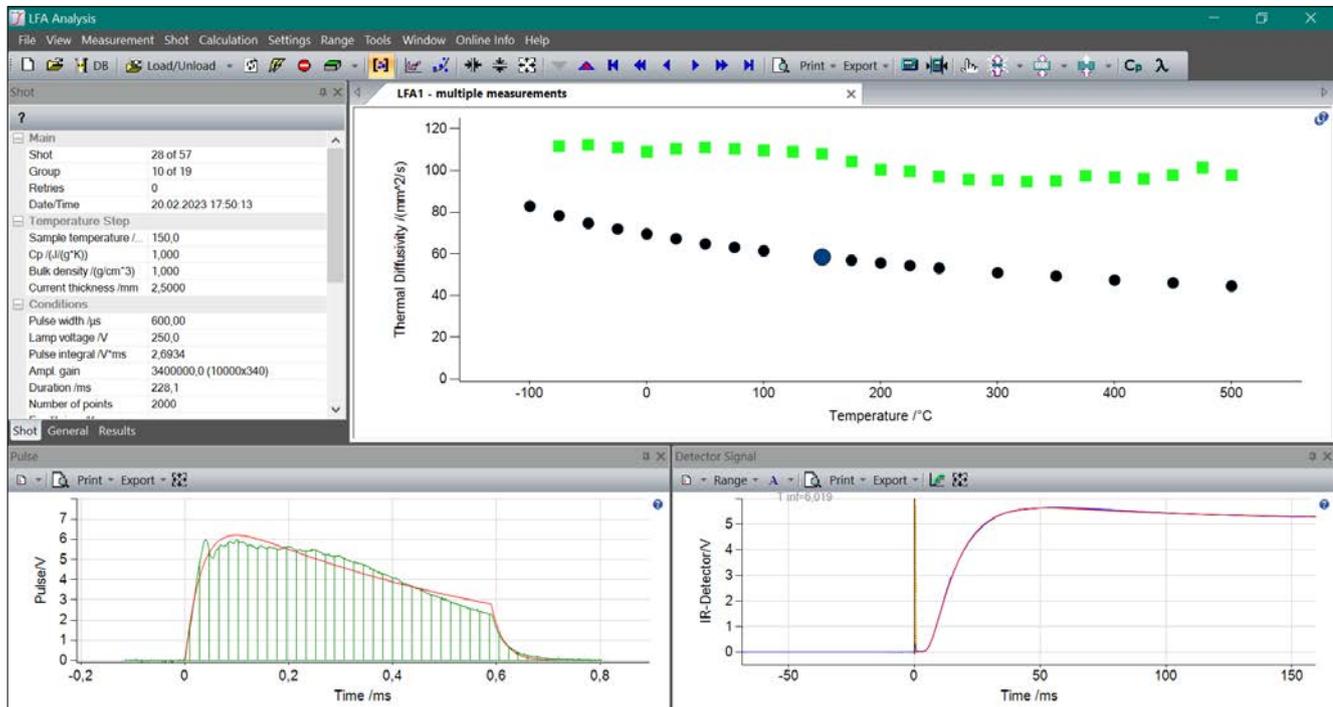


Grafische Benutzeroberfläche der Messsoftware während der Durchführung der Messung.

Analysesoftware

Die zweite unabhängige Komponente der *Proteus*®-LFA-Software dient der Datenanalyse auf der Grundlage von Analysemodellen und dem detaillierten Export von Dokumentation und Ergebnissen.

Mehrere Messungen können in einem Plot analysiert, verglichen und in gängige Bild- und Textdatenformate exportiert werden. Eine Nachbearbeitung der Daten ist nicht erforderlich. Analysezustände können gespeichert werden, um eine spätere Anwendung so komfortabel wie möglich zu gestalten.



Grafische Benutzeroberfläche für die Analyse der Messergebnisse

Eigenschaften der Analysesoftware

Gleichzeitige Messung und Auswertung

Analyse mit nur einem Klick für Routineaufgaben sowie Analyse auf Expertenniveau mit Vorkenntnissen der Probe

Kombinierte Analyse: Berücksichtigung von c_p und thermischer Ausdehnung durch Import von DSC-, DIL- und TMA-Messungen in einem einzigen Plot mit mehreren Kurven-/Temperatursegmenten aus derselben oder verschiedenen Messungen

Datenexport sowie Export von Grafiken mit Auswertergebnissen in die Zwischenablage oder in gängige Formate wie EMF, PNG, BMP, JPG, TIF, PDF, ASCII, CSV

Generierte Datenanpassung sowie gemessene Rohdaten für Puls- und Antwortsignal als Ausgabeoption

Historie der analysierten Messungen beim Start der Software zur schnellen Weiterverarbeitung verfügbar

Weiterentwickelte Pulskorrekturroutinen

EINFLUSS AUF ALLE MODELLE

Die neueste Version der Analysesoftware enthält eine verfeinerte und hochpräzise Analysepulskorrektur, die den Zugang zu Proben ermöglicht, die eine außergewöhnliche Zeitaufösung erfordern. Dies ist von Vorteil bei dünnen oder hochleitfähigen Proben oder einfach immer dann, wenn sich der Lichtimpuls mit der thermischen Reaktion der Probe überlagert. Der Benutzer kann im Berechnungsdialog zwischen folgenden Korrekturtechniken wählen:

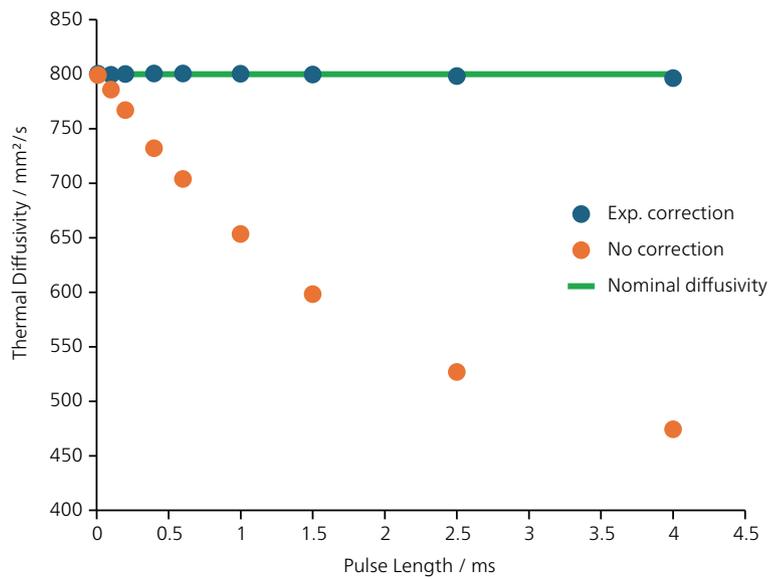
- Äquivalentes Quadrat
- Schwerpunkt
- Doppelt exponentielle Pulskorrektur

Die Anwendung der Pulskorrektur hat einen deutlichen Einfluss auf das Erscheinungsbild der Modellfunktion und die damit verbundene Anpassungsgüte (Goodness of Fit), wie die folgende Simulation eines stark diffundierenden Materials zeigt (siehe unten).

Die beispielhafte Auswertung enthält ein simuliertes Detektorsignal mit $\alpha = 800 \text{ mm}^2/\text{s}$, dem ein Pulssignal von 1 ms überlagert ist. Es ist zu erkennen, dass die exponentielle Pulskorrektur bei der Berechnung der Temperaturleitfähigkeit von entscheidender Bedeutung ist, da die Abweichungen ohne diese Korrektur mehr als 20 % betragen können.



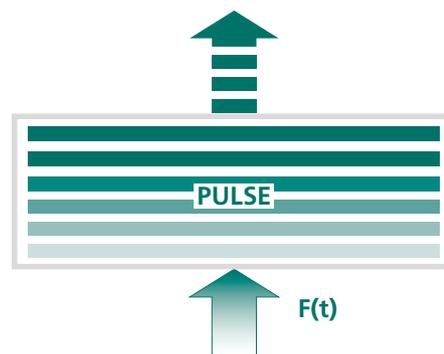
Importierte Simulation in LFA-Software



Einfluss der Pulskorrektur auf die ausgewerteten Simulationsdaten

Die Bedeutung der Pulskorrektur wird noch deutlicher, wenn man einen Bereich von Pulslängen betrachtet, die in diesem Datensatz simuliert wurden (siehe oben).

Bei unkorrigierten Daten nimmt die berechnete Temperaturleitfähigkeit mit zunehmender Pulslänge ab. Wendet man jedoch eine exponentielle Pulskorrektur an, so bleibt die Diffusivität über den simulierten Bereich der Pulslängen nahezu konstant. Diese Modifikation ermöglicht jedem Kunden eine schnelle Auswertung der tatsächlichen Diffusivitäten von Proben mit der überwiegenden Mehrheit der von uns angebotenen Probenhalter.



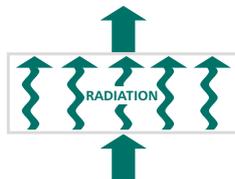
Berechnungsmodelle, Korrekturen und Mathematische Operationen

Standard-Modell

Für opaque, homogene und isotrope Proben ist das sogenannte verbesserte Cape-Lehman-Modell die All-in-one-Lösung für ca. 90 % aller LFA-Anwendungen. Diese Materialien absorbieren die Energie des Lichtimpulses an der Vorderseite der Probe vollständig. Das Standardmodell berücksichtigt den zweidimensionalen Wärmeverlust (z-Achse und radial) sowie den beleuchteten Bereich und den Detektionsbereich.

Transparent-Modell

Bei transparenten und transluzenten Materialien findet zusätzlich zum konduktiven Wärmefluss ein direkter Strahlungswärmeübergang zwischen Vorder- und Rückseite der Probe statt. Dies führt zu einem sofortigen Anstieg der Temperaturkurve. Das Transparent-Modell berücksichtigt diese Effekte bei der Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit.



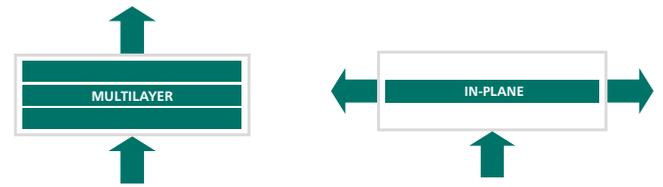
Penetrationsmodell

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



Sondermodelle

Für spezielle Anwendungen stehen dem Anwender 2- und 3-Schichtmodelle sowie In-Plane-Wärmeflussmodelle zur Verfügung. Diese Modelle decken ein breites Spektrum an Geometrien und anisotropen Proben ab und runden die komplette LFA-Analysesoftware ab.

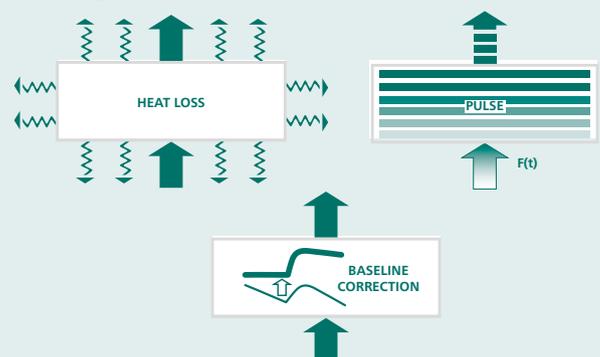


Orthotropes Modell für den In-Plane-Probenhalter für nichttransparente 1-Schicht-Proben

Neben dem isotropen Modell gibt es ein weiteres Modell für den In-Plane-Probenhalter. Das orthotrope Modell geht von einer transversalen Isotropie aus, d.h. eine Probe bei konstanter Temperatur hat eine isotrope Temperaturleitfähigkeit in der gesamten xy-Ebene (radiale Wärmediffusion) und nur die Diffusivität in z-Richtung (axiale Wärmediffusion) variiert gleichmäßig. Das „In-Plane“-Modell kann auf die Daten solcher Proben angewendet werden, entweder für die nach innen oder nach außen gerichtete Variation des Wärmestroms.

Korrekturen

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



Robustes und dennoch flexibles Gerätedesign

Bei der Konstruktion der LFA 717 *HyperFlash*[®] wurde Wert auf die Verwendung spezieller Materialien rund um die Sensorkomponenten gelegt, um Robustheit, Langlebigkeit und maximale Messgenauigkeit zu gewährleisten. Um den Zugang zum Inneren des Gerätes zu erleichtern, können die obere und untere Deckplatte jedes Ofens mit einer Hand geöffnet werden. Bei Bedarf kann der Detektor vom Anwender in wenigen Minuten ausgetauscht werden (z. B. für Spezialanwendungen oder Wartungsarbeiten).

Statusinformationen auf einen Blick

Auf der Vorderseite des Gerätes befinden sich mehrere optische Elemente, die nach dem Einschalten des Gerätes aktuelle Informationen liefern. Das beleuchtete Informationsfeld zeigt beispielsweise grundlegende Geräteinformationen an, wie z. B. Gerät gesperrt, Gasfluss aktiv. Die integrierte LED-Leiste zeigt den Status einer laufenden Messung an, z. B. den Fortschritt der Messung oder ob eine Benutzerinteraktion erforderlich ist.

Mehrzweck-Design

Die obere Abdeckung des Gerätes wird häufig als Probenvorbereitungs- oder -lagerbereich verwendet. Sie ist nun mit vier optisch getrennten Bereichen ausgestattet, die den Probenpositionen im Ofen entsprechen. Dies vereinfacht die Probenidentifizierung oder -vorbereitung, verkürzt die Wartezeit und ist besonders nützlich, wenn das Gerät von mehreren Benutzern verwendet wird.



Hoher Automatisierungsgrad

Sobald eine vollständig definierte Messung in der Software gestartet wurde, ist in der Regel keine weitere Benutzerinteraktion erforderlich. Das Gerät übernimmt typische Aufgaben wie die Neupositionierung der Probe, die automatische Temperaturregelung und die Synchronisation der Vakuum- oder Gasversorgung. Auch das automatische Nachfüllen von LN₂ reduziert die Notwendigkeit von Benutzereingriffen. Eine einmal definierte Messung kann gespeichert und wiederverwendet werden, was zu einer hohen Reproduzierbarkeit der Ergebnisse führt.

Sicherheitsmerkmale

Zusätzlich zu den Vorteilen eines Vollschutzgehäuses, das elektrostatische und elektromagnetische Felder abschirmt, enthält das Design einige weitere Sicherheitsmerkmale, wie das Öffnen und Schließen des Ofens mit zwei Händen, um ein Einklemmen zu verhindern. Eine plötzliche Abkühlung oder ein Gasaustritt wird von der Firmware erkannt und eine laufende Messung automatisch gestoppt.

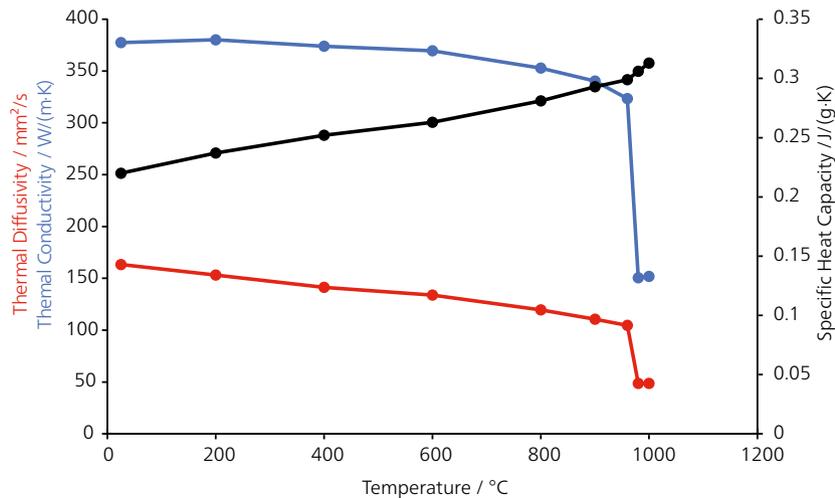
Bei Arbeiten mit gefährlichen Proben können die Probengestelle mit Spezialwerkzeugen und speziellen Pinzettensätzen berührungslos gehandhabt werden. Je nach Anwendung ist das Gerät für den Einsatz in Gloveboxen und Hot-Cells geeignet.

Benutzerfreundliches Design und sicherer Betrieb



Applikationen

Wärmeleitfähigkeit von Metallschmelzen



Thermophysikalische Eigenschaften einer Ag-Legierung von Raumtemperatur bis zum Schmelzbereich

Probe: Ag-Legierung
Gerät: LFA 717 *HyperFlash*® HT
Detektor: InSb
Probenhalter: Schmelzmetalle Saphir
Modell: Standard
Heizrate: 10 K/min
Temperaturbereich: 25 °C bis 1050 °C
Probindimensionen: Ø 10,4 mm, ↓ 1,42 mm



Die Wärmeleitfähigkeit von elementarem Silber zählt zu den höchsten aller heute bekannten Metalle. Silber und seine Legierungen werden aufgrund ihrer Fähigkeit, Wärme von empfindlichen Teilen abzuleiten, häufig in der Elektronikindustrie eingesetzt. Die Wärmeleitfähigkeit ist daher von großem Interesse.

Mit dem Saphir-Probenhalter sind Messungen an Silberlegierungen sowohl im festen als auch im flüssigen Zustand möglich (siehe Abbildung links). Die spezifische Wärmekapazität wurde mit einer DSC 500 *Pegasus*® bestimmt.

Sowohl die Temperaturleitfähigkeit als auch die Wärmeleitfähigkeit nehmen mit steigender Temperatur kontinuierlich ab. Die Auflösung der Gitterstruktur wird durch einen starken Abfall der Temperaturleitfähigkeit und der Wärmeleitfähigkeit bei ca. 960 °C beobachtet, was auf ein Schmelzen der Ag-Legierung hindeutet. Die tatsächliche spezifische Wärmekapazität überlagert sich mit dem endothermen Effekt während des Schmelzens und wird daher interpoliert.

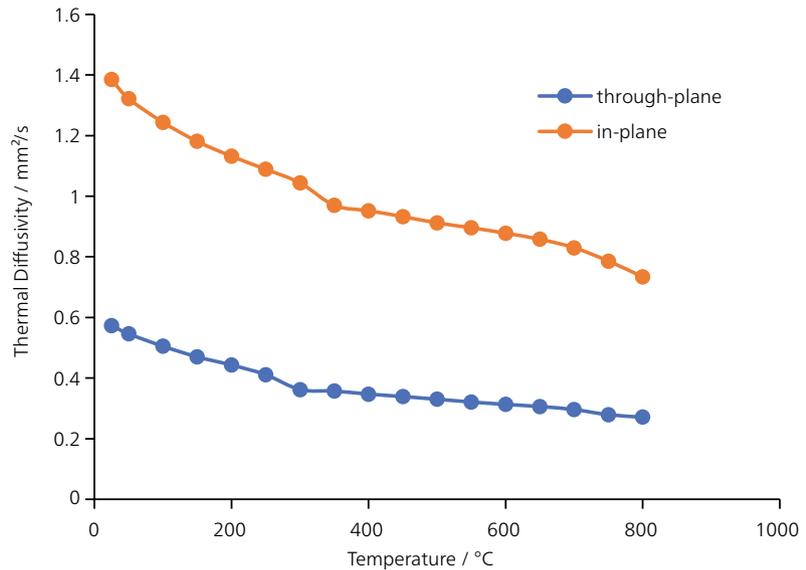
Wärmeleitfähigkeit anisotroper Keramiken

Anisotrope Keramiken sind so konzipiert, dass sie die Wärmeleitfähigkeit in bestimmten Richtungen erhöhen, was ein Vorteil für das Wärmemanagement in elektronischen Geräten, Hochtemperaturanwendungen und Wärmedämmschichten ist. Das Verständnis und die Kontrolle der Anisotropie sind entscheidend für die Leistungsoptimierung in verschiedenen Industrien.

Die durch eingebettete Fasern verursachte Anisotropie der Wärmeleitfähigkeit kann mit Hilfe eines SiC-Laminat-Probenhalters bestimmt werden.

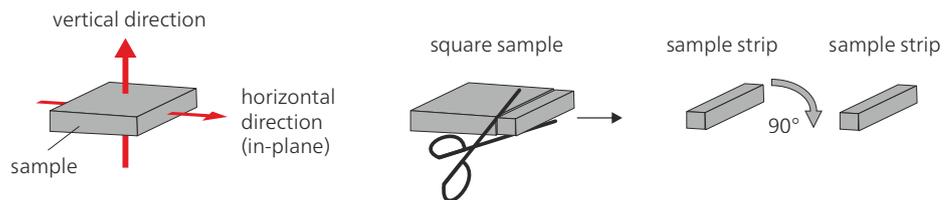
Eine gesinterte keramische Probe wurde in Streifen geschnitten, in den Probenhalter eingelegt und von Raumtemperatur bis 800 °C in Argonatmosphäre in der through-plane- und in-plane-Richtung gemessen.

Dieses Beispiel zeigt die Temperaturleitfähigkeit in zwei senkrechten Richtungen. Die in-plane-Messung zeigt die höchste Temperaturleitfähigkeit aufgrund der unidirektionalen Fasern in der Probe.



Temperaturleitfähigkeit in in-plane- und through-plane-Richtung einer Keramik mit eingebetteten Fasern zwischen Raumtemperatur und 800 °C

Probe:	Keramik mit Faseranteil
Gerät:	LFA 717 <i>HyperFlash</i> ® HT
Detektor:	InSb
Probenhalter:	Halter für Laminare aus SiC
Modell:	Standard
Heizrata:	10 K/min
Temperaturbereich:	25 °C bis 800 °C in Schritten von 50
Probindimensionen:	5 Streifen von 10 mm x 2 mm x 2 mm



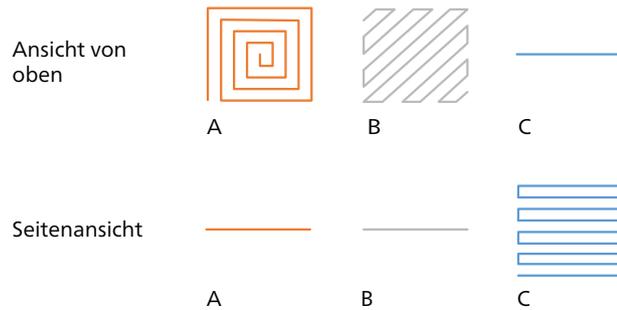
Probenvorbereitung für den Probenhalter für Laminare, SiC, für hohe Temperaturen (RT bis 1250 °C)

Messung der Temperaturleitfähigkeit von PLA-Filamenten

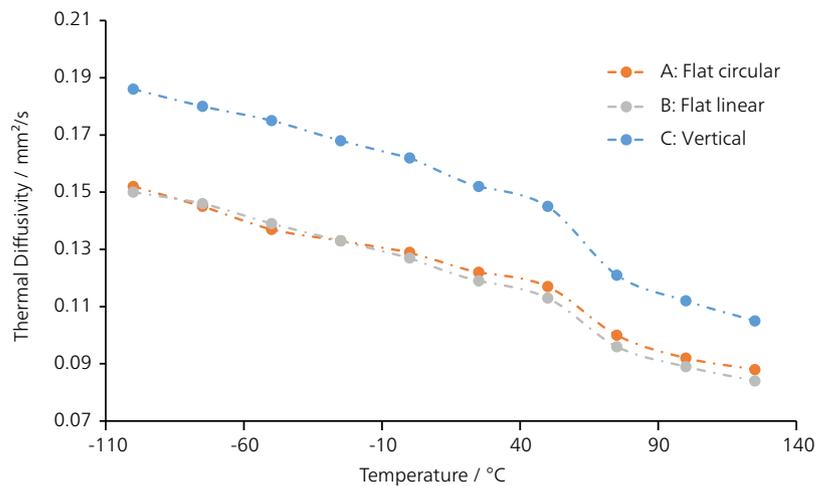
Additive Fertigung oder 3D-Druck hat in den letzten Jahren ein exponentielles Wachstum erfahren. Anfang der 1920er Jahre wurde der 3D-Druck durch das Auslaufen mehrerer Patente für den FDC-3D-Druck für die breite Masse der Heimwerker zugänglich.

Fused Deposition Modeling (FDM) ist bei Hobbybastlern wegen seiner hohen Qualität und Erschwinglichkeit besonders beliebt. Werden beispielsweise thermoplastische Polymere verwendet, lassen sich mit dem Abscheideprozess Objekte mit richtungsabhängigen Eigenschaften herstellen.

Dieses Beispiel zeigt die Temperaturleitfähigkeit von Polymilchsäure (PLA), einem gängigen 3D-Druckpolymer, das mit 60 mm/s in drei verschiedenen Orientierungen gedruckt wurde. Zwei Datensätze repräsentieren einzelne Filamentschichten, die flach auf das Bett gedruckt wurden (linear und kreisförmig), während der dritte Datensatz mit der höchsten Diffusivität eine Schicht darstellt, die senkrecht zum Bett mit vertikaler Filamentfusion gedruckt wurde. Der deutliche Sprung bei ca. 60 °C in allen Diffusionsdatensätzen weist auf den Glasübergang (T_g) von PLA hin. Die höhere Diffusivität im blauen Datensatz deutet auf eine bessere Intrafilamentfusion hin, die durch die vertikale Schichtung erreicht wurde, was wahrscheinlich auf die schnelle Abkühlung auf einem Bett mit höherer Wärmeleitfähigkeit zurückzuführen ist.



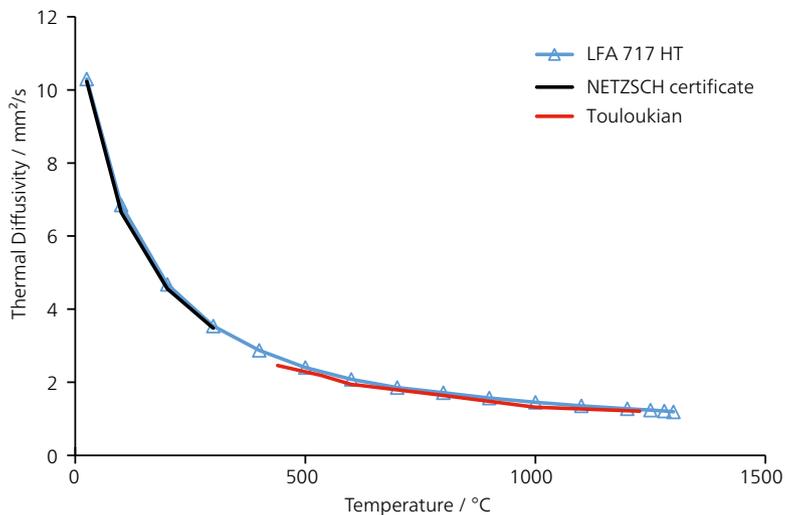
PLA-Druck in drei verschiedenen Orientierungen A) flach auf dem Bett kreisförmig B) flach auf dem Bett linear C) senkrecht auf dem Bett mit vertikaler Filamentverschmelzung



Temperaturleitfähigkeit von PLA-Filamenten, die horizontal auf ein nicht beheiztes Druckbett und vertikal auf frisch extrudiertes und abgekühltes PLA gedruckt wurden.

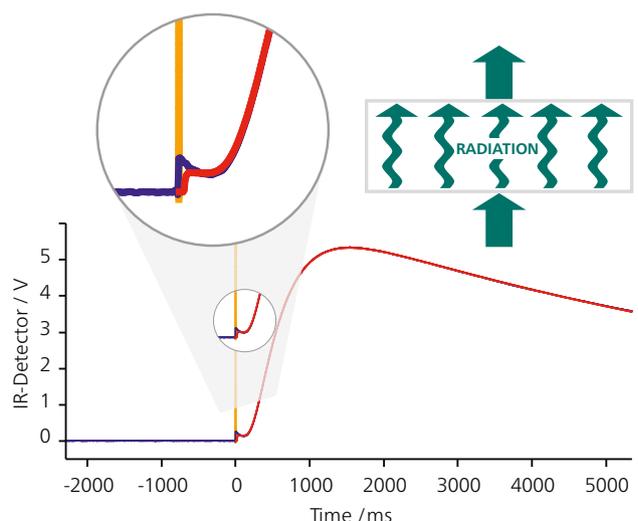
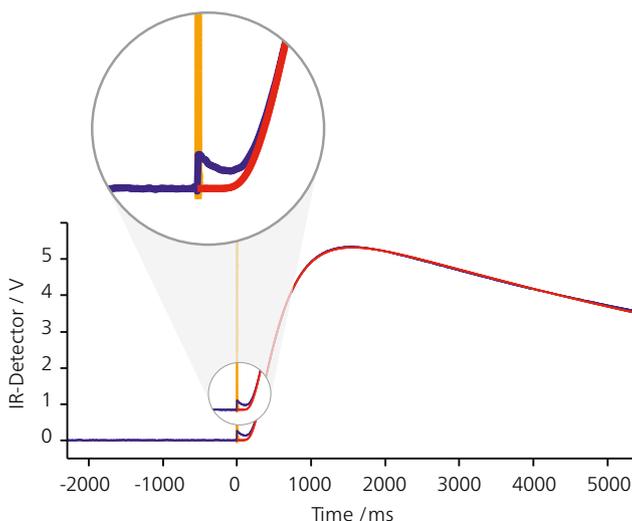
Probe:	Polymilchsäure (PLA)
Gerät:	LFA 717 <i>HyperFlash</i> ®
Detektor:	MCT
Probenhalter:	4 Proben quadratisch
Heizrate:	10 K/min
Temperaturbereich:	-100 °C bis 125 °C
Probendimensionen:	10 mm x 10 mm x 0,9 mm (quadratisch)
Modell:	Standard





Temperaturleitfähigkeitsmessung an Al₂O₃ im Vergleich zu den Literaturwerten

Probe: Aluminiumoxid, Al₂O₃
 Gerät: LFA 717 HyperFlash® HT
 Detektor: InSb
 Probenhalter: Einzel, Ø 12,7 mm
 Heizrate: 20 K/min
 Temperaturbereich: 25 °C bis 1250 °C
 Probendimensionen: Ø 12,5 mm, ↓ 2,49 mm
 Modell: Standard und Transparent



Auswertung eines Messsignals mit Strahlungsstufe mit verschiedenen Modellen (Standardmodell links, Transparent-Modell rechts)

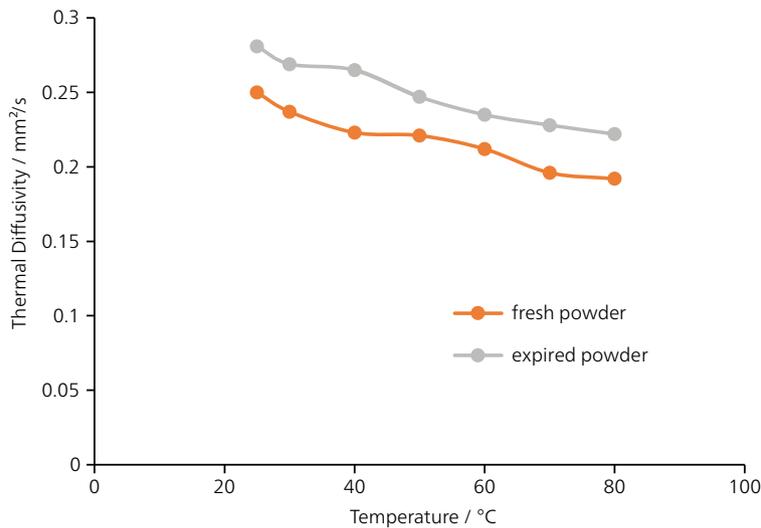
Temperaturleitfähigkeit von Al₂O₃

Aluminiumoxid (Al₂O₃) ist eine vielseitig einsetzbare, lichtdurchlässige Keramik, die in der Elektronik, in Katalysatoren, medizinischen Geräten, Glas, Chemikalien, Beschichtungen und Batterien verwendet wird. Links ist die Temperaturleitfähigkeit von Al₂O₃ von Raumtemperatur bis 1250 °C dargestellt, gemessen mit der LFA 717 HyperFlash® HT. Die Messergebnisse stimmen gut mit den Literaturwerten überein.

Messungen an lichtdurchlässigen Proben erfordern eine Probenbeschichtung. Durch die Graphitbeschichtung wird die Al₂O₃-Oberfläche undurchsichtig, was die Signalerfassung bei niedrigen Temperaturen mit dem Cape-Lehman-Standardmodell verbessert. Bei höheren Temperaturen wird der Wärmeübergang durch Strahlung innerhalb des Materials dominant, was zu einem steilen Sprung in der Diffusivität führt, bekannt als Strahlungsstufe. Das Transparentmodell ist notwendig, um diese Stufe genau zu erfassen.

Folgende Signale zeigen den Unterschied zwischen dem Standard- und Transparentmodell und demonstrieren, wie wichtig die Wahl des richtigen Modells ist, um genaue Ergebnisse zu erhalten.

Temperaturleitfähigkeit von Lactose-Monohydrat



Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeit für zwei verschiedene Lactose-Monohydrat-Pellets, gemessen von 25 °C bis 80 °C unter Argonatmosphäre

Probe:	Lactose-Monohydrat
Gerät:	LFA 717 HyperFlash®
Detektor:	MCT
Probenhalter:	Ø 12,7 mm/Standard
Heizrata:	10 K/min
Temperaturbereich:	25° C bis 80 °C
Probendimensionen:	Ø 12,6 mm, \downarrow 3 mm
Modell:	Standard



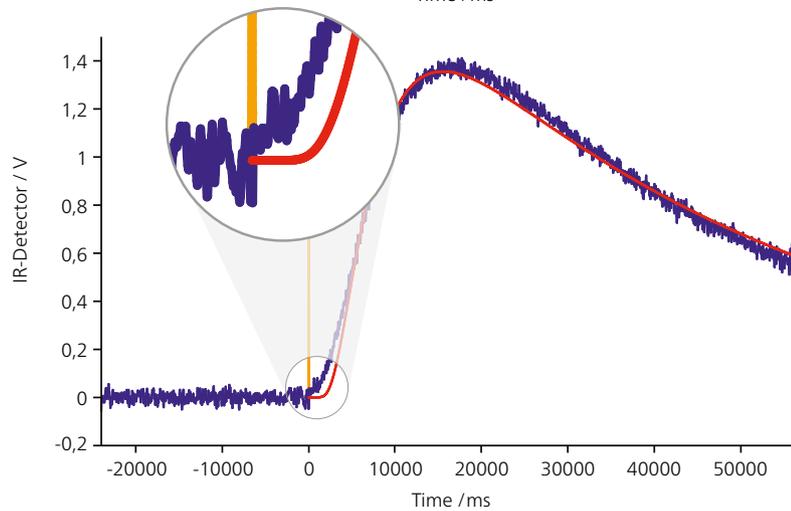
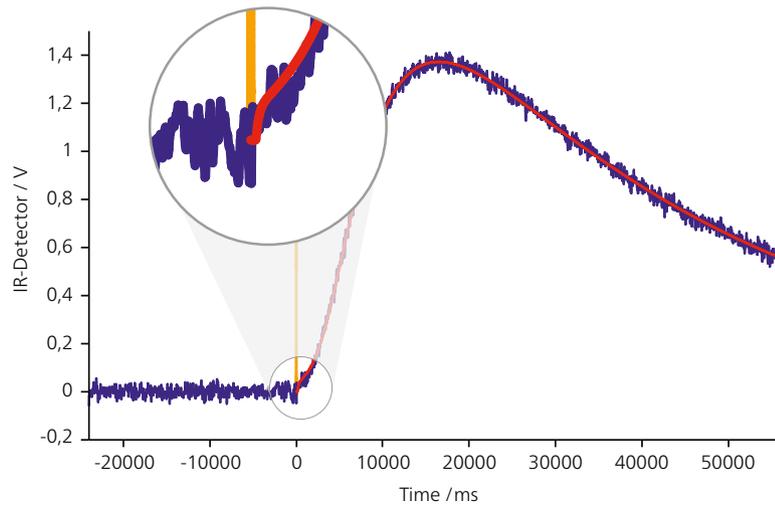
Lactosemonohydrat wird wegen seiner guten Verpressbarkeit, Fießfähigkeit und einfachen Handhabung in verschiedenen Industrien, insbesondere in der Pharmaindustrie, häufig als Füllstoff oder Verdünnungsmittel in Tabletten und Kapseln verwendet. Zwei Lactose-Monohydrat-Pulver (ein frisches und ein abgelaufenes) wurden unter identischen Bedingungen (20 Minuten bei 20 kN) zu Pellets verpresst.

Dieses Beispiel zeigt die Temperaturleitfähigkeit der beiden Proben. Die Temperaturleitfähigkeit nimmt mit steigender Temperatur ab, da die Phonon-Phonon-Wechselwirkung zunimmt. Das frische Pulver (orange Kurve) hat eine um bis zu 16 % geringere Temperaturleitfähigkeit als das gealterte Pulver, was wahrscheinlich auf den höheren Anteil an amorphem Material im Vergleich zum kristallisierten Anteil zurückzuführen ist.

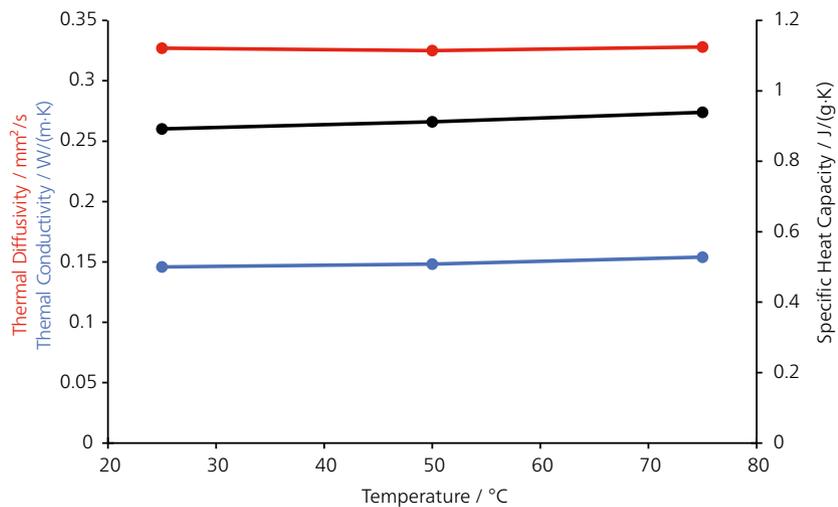
Autoklavierter Porenbeton

Porenbeton wird wegen seiner geringen Dichte und hervorragenden Wärmedämmung häufig im Bauwesen eingesetzt und eignet sich ideal für energieeffiziente Gebäude. Bei der Entwicklung neuer Baustoffe ist die Kenntnis der Wärmeleitfähigkeit zur Qualitätskontrolle unerlässlich. Das Penetrationsmodell der *Proteus*®-Software ermöglicht eine gründliche Untersuchung poröser Materialien mit rauen Oberflächen. Die vorliegende Probe mit sichtbaren Porengrößen bis zu 0,5 mm beschreibt die thermophysikalischen Eigenschaften von Porenbeton (AAC) zwischen 25 und 75 °C. Die Wärmeleitfähigkeit wurde mit dem Penetrationsmodell berechnet, das zuverlässigere Ergebnisse liefert als das Standardmodell. Dies zeigt sich in der besseren Anpassung des Signals, insbesondere am Anfang, siehe erste und zweite Abbildung rechts.

Das rechte Messdiagramm zeigt die thermophysikalischen Eigenschaften des Porenbetons. Die spezifische Wärmekapazität wurde mit der DSC 204 *Phoenix*® bestimmt. Die Wärmeleitfähigkeit nimmt mit steigender Temperatur zu, wie es bei porösen Materialien aufgrund des höheren Wärmeübergangs durch Strahlung bei höheren Temperaturen zu erwarten ist.



Messsignal von Beton, ausgewertet mit unterschiedlichen Modellen (Penetration oben, Standard unten)



Thermophysikalischen Eigenschaften von Beton zwischen 25 und 75 °C.

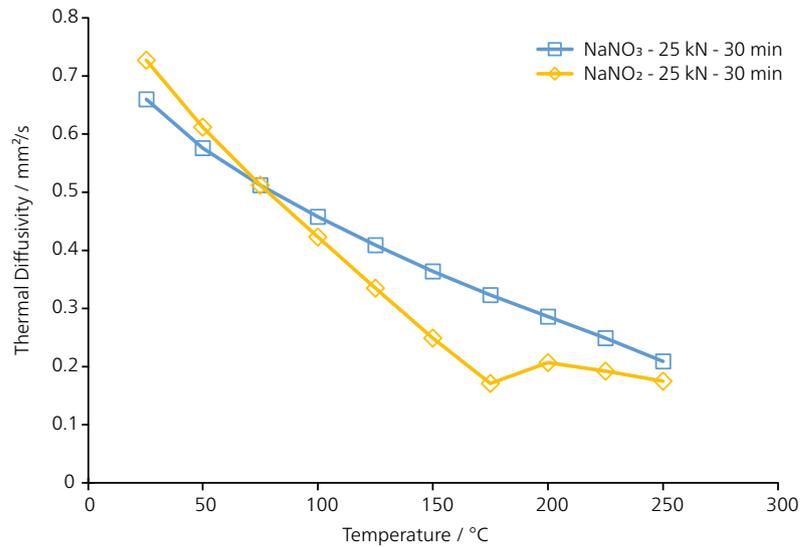
Probe:	autoklavierter Porenbeton (AAC)
Gerät:	LFA 717 <i>HyperFlash</i> ®
Detektor:	InSb
Probenhalter:	Ø 12,7 mm/Standard
Heizrate:	10 K/min
Temperaturbereich:	25 °C bis 75 °C
Probendimensionen:	Ø 12,5 mm, ↓ 4 mm
Modell:	Penetration

Salzschmelzen

Für die Entwicklung von Energiespeichersystemen sind die Eigenschaften von ionischen Verbindungen (z. B. Salze) sowohl im geschmolzenen als auch im festen Zustand von großem Interesse. Insbesondere im geschmolzenen Zustand ist die chemische Reaktivität deutlich höher. Daher muss die Materialverträglichkeit zwischen dem zu untersuchenden Salz und dem vorgesehenen Probenhaltermaterial bei erhöhten Temperaturen getestet werden.

Die hier dargestellten LFA-Messungen wurden an zwei Salzpulvern, NaNO_3 und NaNO_2^* , im festen Bereich durchgeführt. Die Pulver wurden bei 25 kN für 30 Minuten pelletiert. Dieses Beispiel zeigt die Temperaturleitfähigkeit der beiden Proben als Funktion der Temperatur von 25 bis 250 °C. Die Temperaturleitfähigkeit nimmt mit steigender Temperatur ab, was für die meisten Materialien aufgrund der höheren Phonon-Phonon-Wechselwirkungen (Gitterschwingungen) bei höheren Temperaturen zu erwarten ist. NaNO_2 zeigt ein lokales Minimum bei 175 °C, was auf eine Festphasenumwandlung in der Gitterstruktur hindeutet.

* Standard-LFA-Messungen können an NaNO_3 und NaNO_2 durchgeführt werden; besondere Anforderungen sind nicht erforderlich.



Temperaturleitfähigkeit von NaNO_3 und NaNO_2 in Abhängigkeit von der Temperatur

Probe:	Salzschmelzen
Gerät:	LFA 717 <i>HyperFlash</i> ®
Detektor:	InSb
Probenhalter:	Ø 12,7 mm/Standard
Heizrate:	10 K/min
Temperaturbereich:	25 °C bis 250 °C
Probendimensionen:	Ø 12,5 mm, \updownarrow 2 mm
Modell:	Standard





Proven Excellence in Labor & Service

NETZSCH Analysieren & Prüfen bietet ein breites Spektrum an Dienstleistungen rund um Ihre thermischen Analysegeräte – von den Grundlagen bis hin zur kompletten Werterhaltung Ihrer Geräte, einschließlich verschiedener Schulungsprogramme und Applikationsunterstützung.

Für weitere Informationen besuchen Sie bitte unsere Website.

NORMEN

Norm	Beschreibung
gemäß	
ASTM E1461	Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method
ASTM E2585	Standard Practice for Thermal Diffusivity by the Flash Method
DIN EN 821-2	Monolithic ceramics – Thermo-physical properties – Part 2: Determination of thermal diffusivity by the laser flash (or heat pulse) method
ISO 22007-4	Plastics – Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity – Part 4: Laser flash method
ISO 18755	Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) Determination of thermal diffusivity of monolithic ceramics by laser flash method
ISO 13826	Metallic and other inorganic coatings – Determination of thermal diffusivity of thermally sprayed ceramic coatings by laser flash method
JIS R 1611	Measurement methods of thermal diffusivity, specific heat capacity, and thermal conductivity for fine ceramics by flash method
JIS R 1667	Determination of Thermal Diffusivity of Continuous Fiber-Reinforced Ceramic Matrix Composites by the Laser Flash Method
JIS H 7801	Method for measuring thermal diffusivity of metals by the laser flash method
JIS R 1650-3	Method for measurement of fine ceramics thermoelectric materials Part 3: Thermal diffusivity, specific heat capacity, and thermal conductivity
JIS H 8453	Measurement method for thermal conductivity of thermal barrier coatings
JIS R 1689	Determination of thermal diffusivity of fine ceramic films by pulsed light heating thermoreflectance method
GB/T 22588	Determination of thermal diffusivity or thermal conductivity by the flash method
GB/T 35807	Rubber, vulcanized – Determination of thermal diffusivity – Flash method
GB/T 42919.4	Plastics – Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity Part 4: Laser flash method
GJB 1201.1	Test method for thermal diffusivity of solid materials at high temperature by a laser pulse method
basierend auf	
DIN EN 1159-2	Advanced technical ceramics – Ceramic composites; Thermophysical properties – Part 2: Determination of thermal diffusivity; German version EN 1159-2:2003
BS EN 1159-2	Advanced Technical Ceramics. Ceramic Composites. Thermophysical Properties. Determination Of Thermal Diffusivity (British Standard)
ASTM C714	Standard Guide For Thermal Diffusivity Of Carbon And Graphite By Thermal Pulse Method

Technische Daten

	LFA 717 HyperFlash®	LFA 717 HyperFlash® HT
Temperaturbereich	-100 °C bis 500 °C (RT-Version erhältlich)	RT bis 1250 °C
Heizrate (max.)	50 K/min	50 K/min
Kühlvorrichtung	Externer Kühler (RT bis 500 °C), optional: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Flüssigstickstoffkühlung (-100 °C bis 500 °C) ▪ Druckluftkühlung (0 °C ... 500 °C) 	Externer Thermostat (RT bis 1250 °C)
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) ... 3000 W/(m·K)	0,1 W/(m·K) ... 3000 W/(m·K)
Genauigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperaturleitfähigkeit¹: ± 3 % ▪ Spezifische Wärmekapazität²: ± 5 % 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperaturleitfähigkeit¹: ± 3 % ▪ Spezifische Wärmekapazität²: ± 5 %
Wiederholbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperaturleitfähigkeit¹: ± 2 % ▪ Spezifische Wärmekapazität²: ± 3 % 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperaturleitfähigkeit¹: ± 2 % ▪ Spezifische Wärmekapazität²: ± 3 %
Xenon-Blitzlampe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pulsenergie: bis zu 10 Joules/Puls (variabel), softwaregesteuert ▪ Pulsbreite: 10 ... 1500 µs 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pulsenergie: bis zu 10 Joules/Puls (variabel), softwaregesteuert ▪ Pulsbreite: 10 ... 1500 µs
ZoomOptics	Patentiert; optimiertes Sichtfeld (optional, keine Maske erforderlich)	Patentiert; optimiertes Sichtfeld (optional, keine Maske erforderlich)
Pulemapping	Für finite Pulskorrektur und verbesserte c _p -Bestimmung	Für finite Pulskorrektur und verbesserte c _p -Bestimmung
IR-Detektoren	<ul style="list-style-type: none"> ▪ InSb: RT ... 500 °C ▪ MCT: -100 °C ... 500 °C ▪ Detektor-Nachfüllsystem (optional) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ InSb: RT ... 1250 °C ▪ Detektor-Nachfüllsystem (optional)
Atmosphäre	Inert, oxidierend, statisch und dynamisch	Inert, oxidierend, statisch und dynamisch
Vakuum	< 150 mbar	10 ⁻⁴ mbar (mit Turbopumpe)
Datenerfassung	2 MHz <ul style="list-style-type: none"> ▪ Min. Messzeit (10 Halbzeiten) bis zu 1 ms → für hochleitfähige und/oder dünne Proben (z. B. Al, Cu-Platten, dünne Folien etc.) ▪ Max. Messzeit bis zu 120 s → für schlecht leitende und/oder dicke Proben (z. B. Polymere, Feuerfestmaterialien etc.) 	2 MHz <ul style="list-style-type: none"> ▪ Min. Messzeit (10 Halbzeiten) bis zu 1 ms → für hochleitfähige und/oder dünne Proben (z. B. Al, Cu-Platten, dünne Folien etc.) ▪ Max. Messzeit bis zu 120 s → für schlecht leitende und/oder dicke Proben (z. B. Polymere, Feuerfestmaterialien etc.)
Gassteuerung	Fritten oder optional MFC; Messungen unter reduziertem Druck möglich	MFC + interne Pumpe
Probenhalter	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Runde und quadratische Proben ▪ Flüssigkeiten, Pasten, Harze, Pulver, Fasern, Lamine, anisotrope Proben ▪ Tests unter mechanischem Druck 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Runde und quadratische Proben ▪ Flüssigkeiten, Pasten, Harze, Pulver, Lamine ▪ Tests unter mechanischem Druck
Integrierter automatischer Probenwechsler	4 Einsätze, jeweils bis 4 Proben: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ø 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12,7 mm ▪ 4x Ø_{max.} 25,4 mm ▪ 16x bis Ø_{max.} 12,7 mm ▪ 16x bis □_{max.} 10 mm 	4 Einsätze, jeweils bis 1 Probe: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ø 10 mm, 12,7 mm ▪ Ø 6 mm und 8 mm auf Anfrage ▪ □ 10 mm

1 Die Genauigkeit der Temperaturleitfähigkeit beträgt ±1,5 % und die Reproduzierbarkeit ±1 %, basierend auf 900 Tests an Cu- (hohe Leitfähigkeit) und Pyrex- (niedrige Leitfähigkeit) Proben (Ø 12,7mm, Dicke 2,0 mm) mit mindestens 3 verschiedenen Geräten bei Raumtemperatur.

2 Die Genauigkeit der spezifischen Wärmekapazität beträgt ± 4 % und die Reproduzierbarkeit ±2 % bei Verwendung von 4 verschiedenen Referenzmaterialien, 550 Schüssen, Mittelwerte über 5 Schüsse, RT, empfohlene Abmessungen, empfohlene Schussparameter.

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