

TK04

Wärmeleitfähigkeits-Messgerät



TK04 ist zur schnellen und genauen Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit geeignet, wenn stationäre Messungen zu aufwendig und herkömmliche instationäre Verfahren zu ungenau sind.

Für das bewährte Prinzip der instationären Linienquelle wurde ein verbessertes Auswerteverfahren entwickelt, das in Kombination mit Software-Tools zur Überprüfung von Probenpräparation und Messbedingungen sehr hohe Messgenauigkeiten von $\pm 2\%$ erreicht. TK04 liefert absolute Werte ohne Referenz- oder Kalibriermessungen zu benötigen. Der Anwendungsbereich umfasst Festkörper, Fragmente, Pulver und viskose Flüssigkeiten.

Eigenschaften

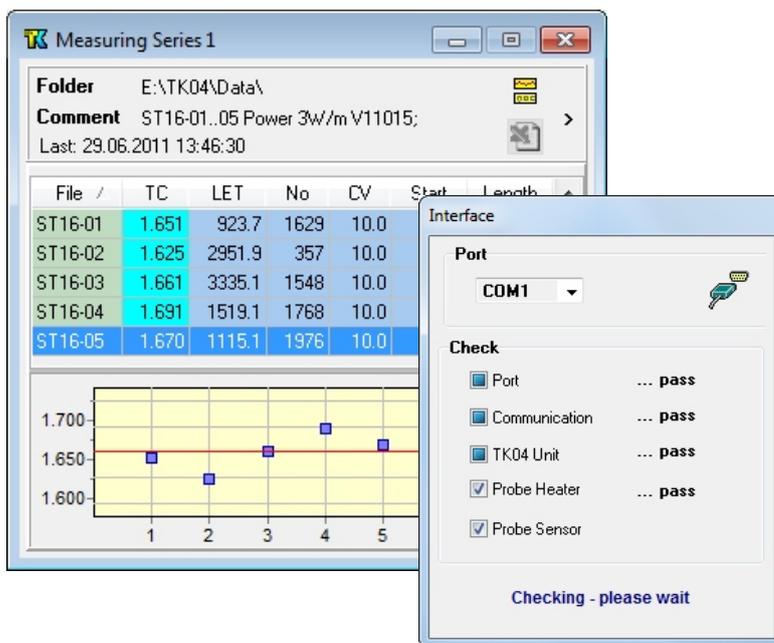
- Prinzip der instationären Linienquelle (Nadelsonden-Methode) gemäß ASTM D5334-08 / 14
- Modifizierte Linienquellenmethode für plane Oberflächen
- Auswerte-Algorithmus mit hoher Genauigkeit von $\pm 2\%$
- Keine Referenz- oder Kalibriermessungen erforderlich
- Auswechselbare Sonden für Labor- und Feldeinsatz erhältlich
- Für Festkörper, Fragmente, Pulver und viskose Flüssigkeiten im Bereich von 0.1 bis $10 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
- Vollautomatischer, softwaregesteuerter Betrieb
- Automatische Überwachung und Korrektur der Temperaturdrift der Probe
- Software zur Überprüfung von Probenpräparation und Messbedingungen
- Software für Ergebnispräsentation und -analyse
- Mehrbenutzer-Lizenz für umfangreiches Software-Paket im Preis enthalten
- Kostenlose Software-Updates

Softwaregesteuerter Betrieb

TK04 kann von jedem PC oder Notebook unter Microsoft Windows gesteuert werden.

Nach Konfiguration und Start einer Messreihe führt das Instrument bis zu 99 Messungen mit den gewählten Einstellungen ohne weitere Benutzer-Eingriffe durch.

Der Messfortschritt kann jederzeit am Bildschirm verfolgt werden. Nach Abschluss jeder Einzelmessung werden die Daten sofort ausgewertet und die Ergebnisse angezeigt.



Messdaten und Ergebnisse werden in Klartext-Dateien und als MS Access-Datenbank für die Weiterverarbeitung mit der TK04-Auswerte- und Grafiksoftware oder Anwendungen von Drittanbietern gespeichert. Das TK04-Softwarepaket enthält leistungsfähige grafische Werkzeuge für Auswertung, Dokumentation und Ergebniskontrolle.

Service und Support

Wir gewähren 2 Jahre Garantie auf das Messgerät und 6 Monate auf die Sonden. Während dieses Zeitraums werden Hardware-Defekte kostenlos behoben. Zeitlich unbegrenzter Support für Einrichtung, Installation und Software-Probleme ist im Preis enthalten. Software-Updates sind kostenlos.

Technische Daten

Modell:	Wärmeleitfähigkeits-Messgerät TK04
Messprinzip:	Instationäre Linienquelle (Nadelsonden-Methode)
Norm:	ASTM D5334-08/D5334-14
Messbereich:	0.1 - 10 W m ⁻¹ K ⁻¹ (sondenabhängig)
Genauigkeit:	± 2% (sondenabhängig)
Reproduzierbarkeit:	± 1.5%
Konstanz des Heizstroms:	± 0.01%
Dauer Einzelmessung:	60 / 80 / 240 s (sondenabhängig)
Wiederholungs-Messungen:	bis zu 99 (automatisch)
Probengröße:	Maximum unbegrenzt, Minimum sondenabhängig *
Probenform:	beliebig
Betriebstemperatur:	0 bis 45°C
Proben temperatur:	-25 bis 50 / 70 / 125°C (sondenabhängig)
Stromversorgung:	220/240 V ~ (50 Hz); 100/120 V ~ (60 Hz)
Leistungsaufnahme:	~ 40W
Abmessungen:	471 x 160 x 391 mm (B x H x T)
Gewicht:	11.2 kg (Messgerät)
Schnittstelle:	serielle Schnittstelle (COM-Port) oder USB (USB-Seriell-Konverter mitgeliefert)

* Die Mindest-Probengröße hängt von Sondentyp und -abmessungen ab. Weitere Informationen auf den Sonden- und Proben-Seiten.

Komplett-Pakete

- TK04 Wärmeleitfähigkeits-Messgerät
- Standard-VLQ (Nadelsonde) und / oder Standard-HLQ für plane Oberflächen
- Referenz-Material
- Software-Paket (Messung, Auswertung, Grafik, Qualitäts-Kontrolle)
- Kabel-Satz
- Kontaktmittel
- Bedienungsanleitung

Zubehör

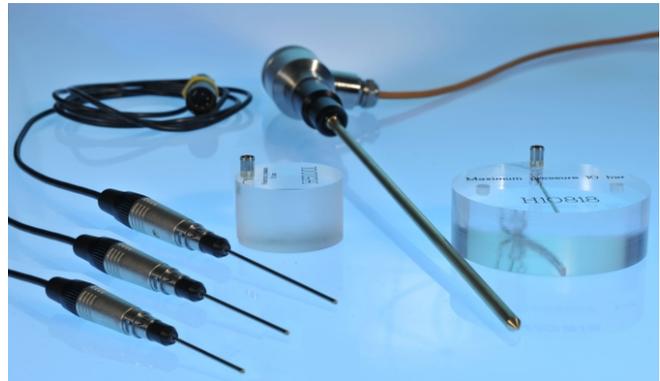
- Standard-Laborsonden (Standard-VLQ und Standard-HLQ))
- Mini-VLQ und Mini-HLQ für kleine Proben
- Field-VLQ für Feldeinsatz
- Referenz-Materialien
- Probenbehälter für Fragmente / Pulver
- Hebelpresse mit Druckbegrenzung für HLQ-Messungen
- Führungsröhrchen zum Schutz der Sonden vor Beschädigung

TK04

Sonden und Proben

Sonden-Typen für TK04

Für TK04 sind verschiedene Sondentypen erhältlich. Alle Sonden enthalten eine Heizvorrichtung mit integriertem Temperatursensor in einem Metallröhrchen, das als Quelle bezeichnet wird und je nach Einsatzzweck der Sonde unterschiedliche Abmessungen besitzt. Sämtliche Sonden sind robust, gegen Feuchtigkeit abgedichtet, wartungsfrei und werden bereits kalibriert ausgeliefert.



Standard/Mini-VLQ-Sonden

VLQ-Sonden (Nadelsonden) werden in die Probe gesteckt und sind daher allseitig vom Probenmaterial umgeben. Zur Probenpräparation muss ein Bohrloch entsprechend den Abmessungen der Quelle in das Material eingebracht werden. Die Verwendung eines Kontaktmittels wird empfohlen (im Lieferumfang enthalten).

Standard-VLQ (Ø 2 mm, L 70 mm mm ohne Griff)

Standard/Mini-HLQ-Sonden für plane Oberflächen

Bei HLQ-Sonden ist die Quelle in die Probenunterseite eingelassen und daher nur einseitig in Kontakt mit dem Probenmaterial. Die Sonde benötigt eine ebene und glatte Fläche. Zur Verbesserung des Kontaktes sollte mäßiger Druck ausgeübt werden (eine Presse mit automatischer Druck-Begrenzung ist als Zubehör erhältlich).

Rechts: Standard-HLQ (Ø 88 mm, H 30 mm)

Links: Mini-HLQ (Ø 50 mm, H 30 mm) für kleine Proben



Auswahl einer geeigneten Sonde

TK04 ist geeignet für Messungen an Festkörpern (wie Bodenproben, Gesteine, Plastik, Glas, Keramik, Baustoffe, Holz oder Lebensmittel), Pulver, Fragmenten, viskosen Flüssigkeiten und für in-situ-Messungen im Bereich von 0.1 bis $10 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$. Von wenigen Einschränkungen abgesehen können alle Sondentypen für alle Materialien verwendet werden. In den meisten Fällen kann die Auswahl daher nach Form und Größe der verfügbaren Probenstücke und nach dem Präparationsaufwand erfolgen.

Fragmente und Pulver

Die Matrix-Wärmeleitfähigkeit von Fragmenten und Pulver (die Wärmeleitfähigkeit, die ein Festkörper aus dem Probenmaterial hätte) wird mit Hilfe sog. 2-Phasen-Messungen bestimmt.

Das Material wird mit einem Fluid bekannter Wärmeleitfähigkeit (meist Wasser) gemischt und die Wärmeleitfähigkeit der Mischung gemessen. Aus dem Messergebnis, der bekannten Wärmeleitfähigkeit des Fluids und den Volumenanteilen von fester und flüssiger Phase kann die Wärmeleitfähigkeit des Probenmaterials berechnet werden. Ein Probenbehälter passend zur Standard-HLQ-Sonde ist als Zubehör erhältlich.



Hebelpresse

Für alle Messungen mit HLQ-Sonden wird die Verwendung der Hebelpresse zur Verbesserung des Kontaktes zwischen Sonde und Probe empfohlen.

Kalibrierung und Referenz-Materialien

TK04 verwendet ein absolutes Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit. Es sind daher keine Kalibrier- oder Referenzmessungen erforderlich. Die TK04-Komplett-Pakete enthalten eine Referenz-Probe zur gelegentlichen Überprüfung von Messgerät und Sonden. Weitere Referenz-Materialien sind als Zubehör erhältlich.

Technische Daten der Sonden

Bezeichnung:	Standard-VLQ
Sondentyp:	Vollraum / Labor
Abmessungen:	L 70 mm/60 mm, Ø 2 mm
Messbereich:	0.1 bis 10 W m ⁻¹ K ⁻¹
Genauigkeit:	± 2%
Dauer Einzelmessung:	80 s
Mindest-Probengröße:	(ca.) L 85/75 mm, Ø 40 mm

Bezeichnung:	Standard-HLQ
Sondentyp:	Halbraum / Labor
Abmessungen:	Ø 88 mm, H 30 mm
Messbereich:	0.3 bis 10 W m ⁻¹ K ⁻¹
Genauigkeit:	± 2%
Dauer Einzelmessung:	80 s
Mindest-Probengröße:	(ca.) Ø 90 mm, H 20 mm

Bezeichnung:	Mini-VLQ
Sondentyp:	Vollraum / Labor
Abmessungen:	L 50 mm, Ø 2 mm
Messbereich:	0.3 bis 6 W m ⁻¹ K ⁻¹
Genauigkeit:	± 5%
Dauer Einzelmessung:	80 s
Mindest-Probengröße:	(ca.) L 60 mm, Ø 40 mm

Bezeichnung:	Mini-HLQ
Sondentyp:	Halbraum / Labor
Abmessungen:	Ø 50 mm, H 30 mm
Messbereich:	0.3 bis 3 W m ⁻¹ K ⁻¹
Genauigkeit:	± 5%
Dauer Einzelmessung:	60 s
Mindest-Probengröße:	(ca.) Ø 50 mm, H 20 mm

Bezeichnung:	Field-VLQ
Sondentyp:	Vollraum / Feld (in situ)
Abmessungen:	L 300 mm, Ø 6 mm
Messbereich (getestet):	0.6 bis 4 W m ⁻¹ K ⁻¹
Genauigkeit:	± 5%
Dauer Einzelmessung:	240 s

TK04

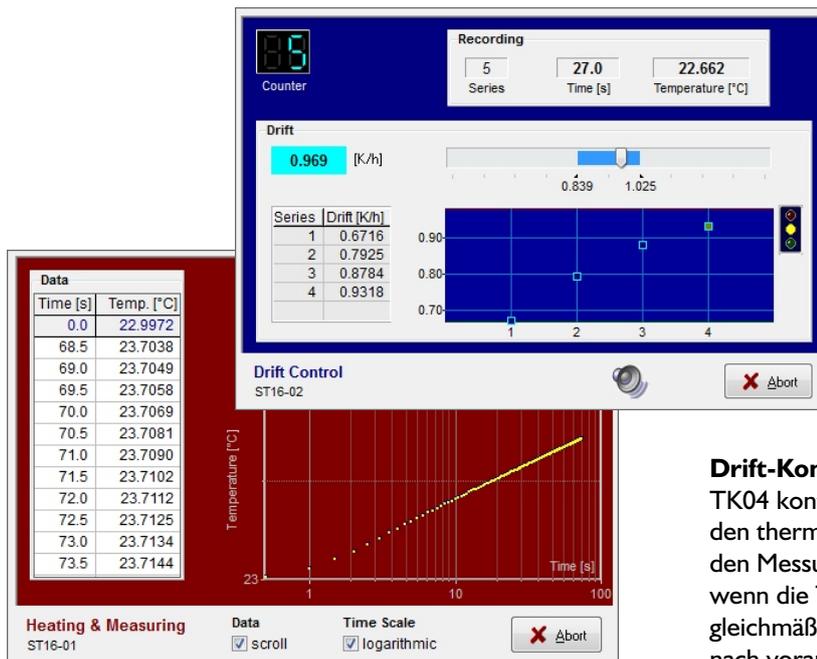
Mess- und Auswerte-Software

TK04 Software

Die TK04-Software läuft unter MS Windows, eine Mehrbenutzer-Lizenz für eine unbegrenzte Anzahl Arbeitsplätze ist im Lieferumfang enthalten. Die Module für Messung / Auswertung und Grafik / Analyse können unabhängig voneinander installiert und verwendet werden.

Konfiguration der Messungen

Das Messprogramm bringt vordefinierte Standardwerte für alle Mess- und Auswerte-Parameter mit, die einen weiten Bereich unterschiedlicher Probenmaterialien und Messbedingungen abdecken. Erfahrene Anwender können die Einstellungen ihren Anforderungen anpassen.



Vollständige Automatisierung

Nach Konfiguration und Start einer Mess-Serie arbeitet das Gerät mit den gewählten Einstellungen vollständig softwaregesteuert ohne weiteren Benutzereingriff. Während der Messungen wird der registrierte Temperaturverlauf in Echtzeit am Bildschirm angezeigt.

Drift-Kontrolle und Drift-Korrektur

TK04 kontrolliert kontinuierlich und vollautomatisch den thermischen Zustand der Probe vor und zwischen den Messungen und startet erst dann eine Messung, wenn die Temperatur hinreichend konstant ist. Eine gleichmäßige Temperatur-Drift sowie Abkühlvorgänge nach vorangegangenen Messungen werden korrigiert. Während der Driftphasen werden Proben temperatur, momentane Drift und die Drift-History ausgegeben.

Speicherung und Weiterverarbeitung der Daten

Messdaten und Ergebnisse werden in Standard-Dateiformaten (MS Access und Klartext-Dateien) zur Weiterverarbeitung mit der TK04-Auswerte- und Grafiksoftware sowie Programmen anderer Hersteller gespeichert. Das Messprogramm kann nach Abschluss einer Messreihe externe Anwendungen starten und benutzerdefinierte Daten und Parameter übergeben.

Automatische und manuelle Auswertung

Nach jeder Einzelmessung werden die Daten sofort ausgewertet und das Ergebnis angezeigt. Nach Abschluss einer Messreihe können zusätzliche Auswertungen erzeugt, betrachtet, exportiert oder gedruckt werden. Für Einsteiger stellt die Software Standard-Parameter für einen weiten Bereich von Probenmaterialien und Messbedingungen zur Verfügung, erfahrene Anwender können die Parameter individuell an die jeweilige Messaufgabe anpassen.

The screenshot shows two overlapping windows from the TK04 software. The 'Results' window displays a table of measuring data and results, and a table of details for multiple evaluations. The 'Evaluation Parameters' window shows current parameters for a VLQ measurement, including start and end times, length, and LET, along with a parameter set dropdown and an 'Auto Mode' checkbox.

File.dwl /	File.erg	TC	LET	No	CV
ST16-01	ST16-01	1.625	2951.9	357	10.0
ST16-02	ST16-02	1.651	923.7	1629	10.0
ST16-03	ST16-03	1.661	3335.1	1548	10.0
ST16-04	ST16-04	1.631	1519.1	1768	10.0
ST16-05	ST16-05	1.670	1115.1	1976	10.0

File.dwl	File.erg /	TC	LET	No	CV	Start	Length	End	Meth
ST16-01	ST16-01	1.625	2951.9	357	10.0	21.0	42.0	63.0	SA
ST16-01	ST16-01_01	1.625	2951.9	211	10.0	21.0	42.0	63.0	SA
ST16-01	ST16-01_02	1.625	2951.9	211	10.0	21.0	42.0	63.0	SA

Evaluation Parameters

VLQ VLQ Source 7

Current Parameters

... Start Time [s] ...
minimum maximum
20 40

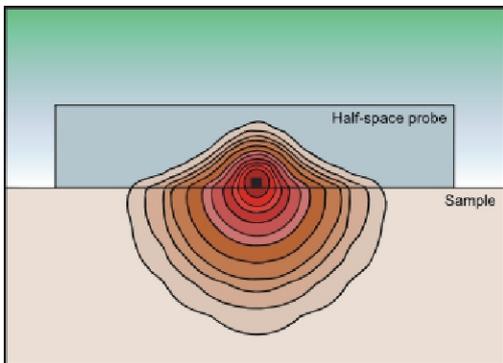
Time [s] Length [s] LET
80 25 4
(minimum) (minimum)

Parameter Set [probe default] modified
Standard VLQ Save as ... Delete

Auto Mode OK

Hochgenaues Auswertverfahren

Nadelsondenverfahren berechnen die Wärmeleitfähigkeit der Probe aus dem von der Sonde registrierten Temperaturanstieg, indem eine mehr oder weniger komplexe Näherungsfunktion für die Temperatur-Zeit-Kurve an die Messdaten angepasst wird. TK04 verwendet statt der verbreiteten linearen Näherung eine komplexere Approximation, kombiniert mit Verfahren zur Kontrolle der Probenpräparation und der Messbedingungen, und erreicht damit eine Genauigkeit von $\pm 2\%$.



Modifizierte Nadelsondenmethode

Bei harten oder spröden Materialien ist die Präparation für eine klassische Nadelsonde oft schwierig. Beim modifizierten Nadelsondenverfahren ist die Nadel an der Unterseite eines scheibenförmigen Sondenkörpers eingelassen, der auf die Probenoberfläche aufgesetzt wird (Sonde für plane Oberflächen). Tk04 wechselt durch einfaches Tauschen der Sonde zwischen beiden Verfahren.

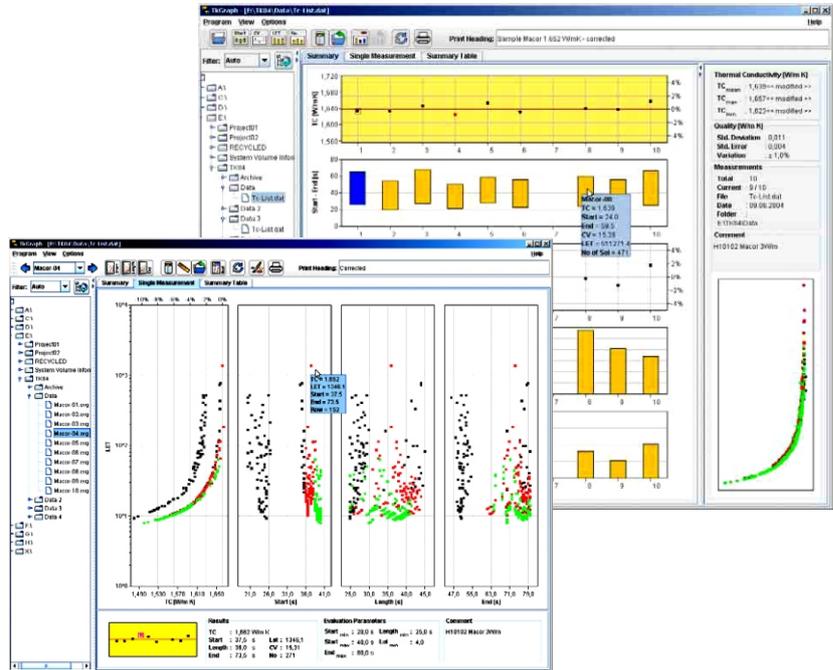
Der beim modifizierten Verfahren auftretende Wärmeverlust in den Sondenkörper wird automatisch korrigiert unter Berücksichtigung der thermischen Parameter von Sonden- und Probenmaterial.

TK04

Grafik-Software und Qualitätskontrolle

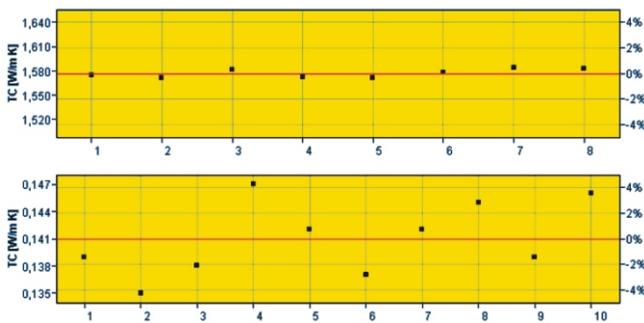
Präsentations- und Analysesoftware

Die Grafik-Software TkGraph erzeugt Diagramme aus den Ergebnisdateien abgeschlossener Messreihen und Einzelmessungen zu Dokumentationszwecken und als Grundlage für die Kontrolle der Probenpräparation und der Messbedingungen. Die Software erlaubt eine manuelle Korrektur und das Aussortieren gestörter Messungen.



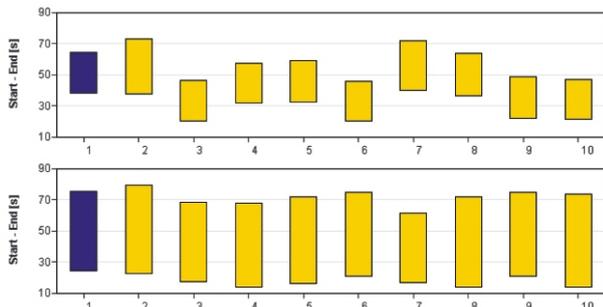
Summary Plot

Wärmeleitfähigkeits-Messungen mit TK04 sind als Messreihen mit bis zu 99 Einzelmessungen angelegt. Der Summary Plot basiert auf der TC-List-Datei, die die Ergebnisse einer Messreihe zusammenfasst.



Streuung innerhalb einer Messreihe

Die Streuung der Messwerte innerhalb einer Reihe gibt Hinweise auf thermische Störungen, unzureichende Probenpräparation oder ungeeignete Messparameter. Unter optimalen Bedingungen bleibt die Streuung meist unter $\pm 0.5\%$ (oben), erreicht sie $\pm 5\%$ (unten), sollten die Messbedingungen überprüft werden.



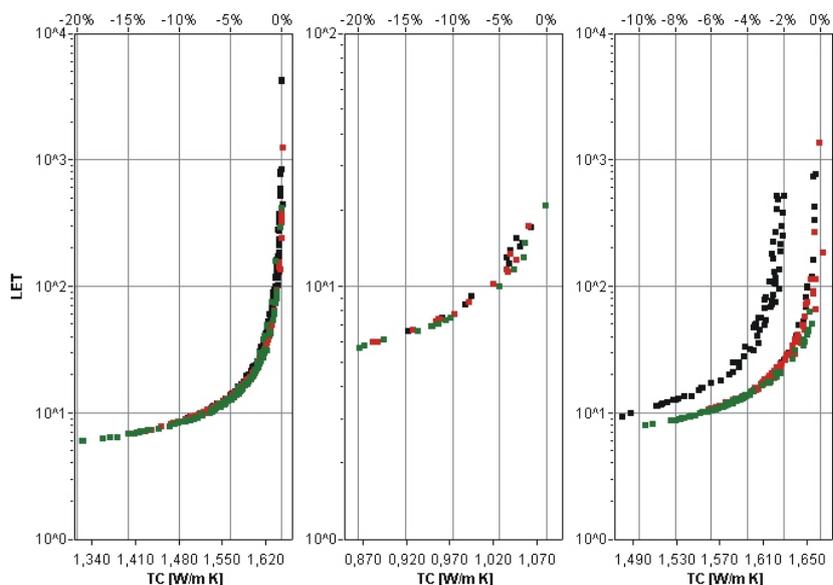
Position und Länge der Auswerteintervalle

Die TK04-Software ermittelt automatisch das optimale Intervall für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit. Sind die Intervalle sehr kurz und/oder liegen relativ weit hinten (oben), deutet dies auf thermische Störungen, unzureichenden Kontakt zwischen Sonde und Probe oder zu kleine Proben hin. Bei guten Messreihen sind die Intervalle lang und beginnen relativ weit vorn (unten).

Das optimale Auswerte-Intervall

Typische Präparationsprobleme (wie schlechter Kontakt zwischen Sonde und Probe) lassen sich durch Vergleich der gemessenen mit der theoretischen Kurvenform erkennen.

Das Auswerteprogramm tastet die gemessene Temperaturkurve mit Auswerte-Intervallen ab, deren Länge und Startzeit in kleinen Schritten variiert werden und ermittelt automatisch den Teil der Messkurve, der dem theoretischen Verlauf am besten entspricht. Maß für die Ähnlichkeit ist der sog. LET-Wert, der aus den Koeffizienten für die Anpassung der theoretischen Kurve an die Messdaten berechnet wird: je höher LET, desto besser entspricht das untersuchte Intervall dem theoretischen Verlauf und desto genauer ist der daraus berechnete Wärmeleitfähigkeits-Wert.



Single Measurement Plot

Zusätzlich zum optimalen Auswertintervall werden Wärmeleitfähigkeits-Werte aus allen Intervallen berechnet, die einen Mindest-LET-Wert aufweisen. Um Probenpräparation und Messbedingungen zu überprüfen, werden im Single Measurement Plot

die LET-Werte aller ausgewerteten Intervalle einer Messkurve über der Wärmeleitfähigkeit dargestellt. Ungestörte Messungen zeigen eine charakteristische asymptotische Verteilung (links), wobei der optimale Wert die Spitze der Asymptote bildet. Davon abweichende Muster zeigen unterschiedliche Arten von Störungen an.

Mitte: unzureichender Kontakt zwischen Sonde und Probe, **rechts:** Reflektion der Wärmewelle am Probenrand.

System-Anforderungen

Betriebssystem: Windows XP, 7, 8, 10
CPU / RAM: mind. 1 GHz / 512 MB
Bildschirm-Auflösung: mind. 1280 x 1024

Stand: 25. Oktober 2019. Technische Änderungen vorbehalten

TeKa

Malplaquetstr. 10
13347 Berlin
DEUTSCHLAND

Tel: +49-30-455 66 71
Fax: +49-30-455 47 15

E-mail: info@te-ka.de
Internet: www.te-ka.de

TeKa