

NETZSCH

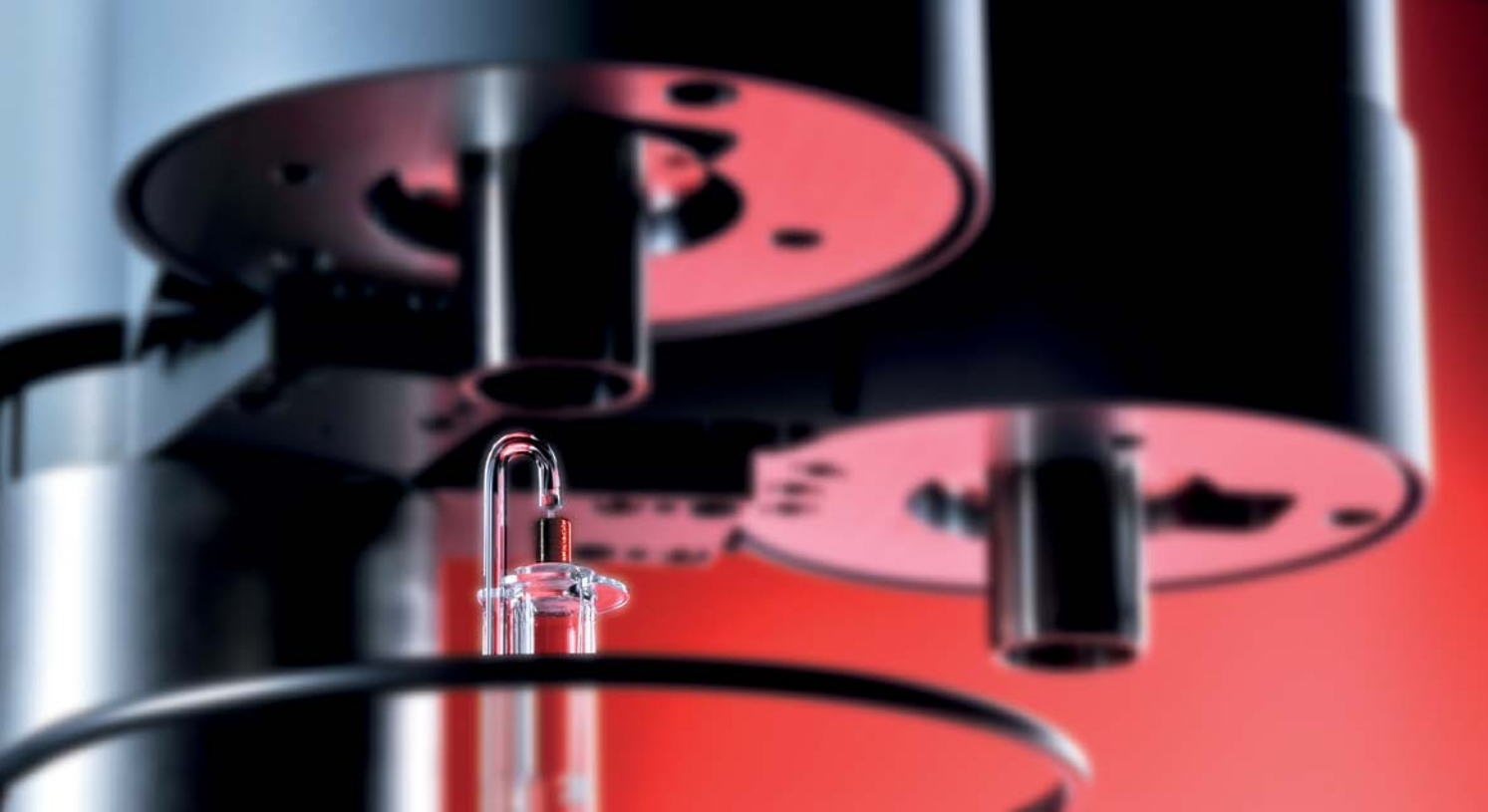
Proven Excellence.



TMA 402 **F1/F3** Hyperion®

Thermomechanische Analyse – TMA
Methode, Technik und Applikationen

Analyzing & Testing



Thermomechanische Analyse (TMA)

TMA-Analyseergebnisse

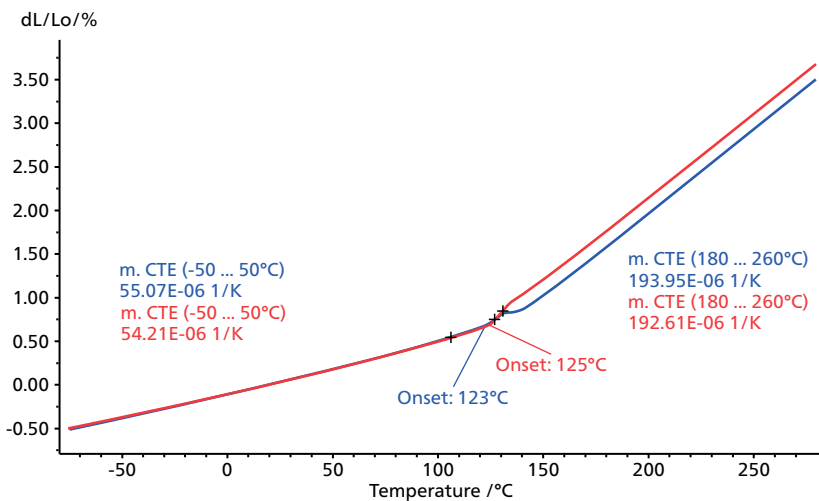
- Lineare thermische Ausdehnung
- Thermischer Ausdehnungskoeffizient
- Phasenübergangstemperaturen
- Sintertemperaturen
- Schrumpfstufen
- Glasübergangstemperaturen
- Dilatometrischer Erweichungspunkt
- Volumetrische Ausdehnung
- Dichteänderungen
- Delamination
- Zersetzungstemperatur
- Sinterkinetik
- Isostrain
- Kriechen
- Relaxation
- Spannungs-/Dehnungskurve

Die thermomechanische Analyse (TMA) ist eine Methode zur Bestimmung von Dimensionsänderungen von Festkörpern, Flüssigkeiten oder pastösen Materialien in Abhängigkeit von der Temperatur und/oder Zeit unter definierter mechanischer Belastung (DIN 51005, ASTM E831, ASTM D696, ASTM D3386, ISO 11359 – Teil 1 bis 3). Sie ist eng verwandt mit der Dilatometrie, die die Längenänderung von Proben unter vernachlässigbarer Kraft ermittelt (DIN 51045).

Viele Materialien ändern beim Aufheizen oder Abkühlen ihre thermomechanischen Eigenschaften. TMA-Untersuchungen geben somit wertvolle Hinweise auf Zusammensetzung, Struktur, Herstellungsbedingungen oder Einsatzmöglichkeiten für die unterschiedlichsten Werkstoffe.

Der Anwendungsbereich von Geräten zur Thermomechanischen Analyse erstreckt sich von der Forschung & Entwicklung bis hin zur Qualitätskontrolle. Typische Einsatzgebiete sind Kunststoffe und Elastomere, Duroplaste, Verbundwerkstoffe, Klebstoffe, Folien und Fasern, Keramiken, Gläser und Metalle.

Thermische Ausdehnung



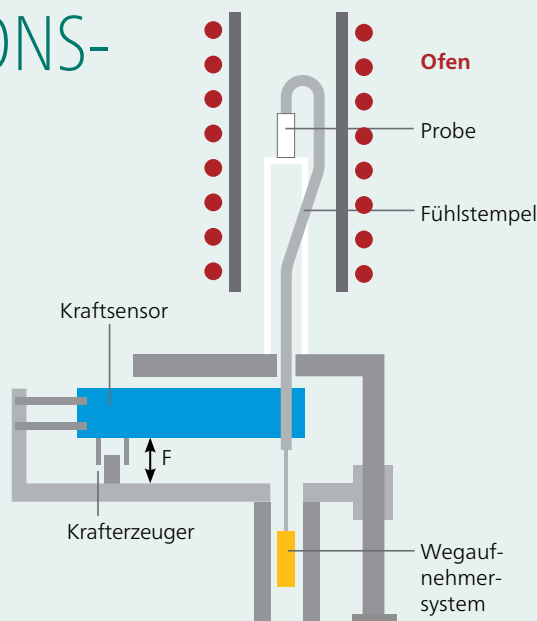
TMA-Messung im Expansionmodus an einem Epoxidharz: Quarzglasprobenhalter, 6 mm Probenlänge, 2 K/min Heizrate in der 1. und 2. Aufheizung

Die lineare thermische Ausdehnung ist eine wichtige Größe zur Beurteilung des Dimensionsverhaltens eines Werkstoffes als Antwort auf eine Temperaturänderung. Sie zeigt, wie stark ein Material während der Verarbeitung schrumpft oder sich ausdehnt, ob ungleiche Materialien kombiniert werden können oder bei welcher Temperatur der Phasenwechsel auftritt und sich der CTE ändert.

Die Abbildung zeigt die thermische Ausdehnung (dL/L_0 in %) eines Epoxidharzes zwischen -70 °C und 270 °C . In der 1. Aufheizung (blaue Kurve) tritt der Glasübergang (T_g) bei 123 °C (Onset) auf. In der 2. Aufheizung (rote Kurve) ist der T_g leicht zu 125 °C (Onset) verschoben, was auf Relaxationseffekte oder eine Nachhärtung schließen lässt.

DIE PRÄZISE MESSUNG VON LÄNGENÄNDERUNGEN AN FESTKÖRPERN, PULVERN, PASTÖSEN MATERIALIEN UND FLÜSSIGKEITEN

FUNKTIONS-PRINZIP



Unabhängig von der gewählten Deformationsart (Expansion, Kompression, Penetration, Zug oder Biegung) wird die Längenänderung der Probe über einen Fühlstempel auf ein hochempfindliches induktives Wegaufnehmersystem (LVDT) übertragen und in ein digitales Signal umgewandelt.

Die Fühlstempel und die zugehörigen Probenhalterungen aus Quarzglas oder Aluminiumoxid sind für die unterschiedlichsten Applikationen optimiert und lassen sich schnell und einfach austauschen.

Thermomechanische Analyse

Eine Technik zur Prüfung von Materialeigenschaften



Detektion kleinster Dimensionsänderungen

Der LVDT bildet das Herzstück der NETZSCH TMA 402 **F1/F3** Hyperion®. Die dahinter stehende Technologie ist bewährt: Selbst kleinste Längenänderungen bis in den Nanometerbereich (digitale Auflösung von 0,125 nm) können detektiert und ausgewertet werden.

Der richtige Ofen für jede Anwendung

Verschiedene Ofensysteme decken einen weiten Temperaturbereich auch für Messungen in unterschiedliche Atmosphären ab. Den Ofenwechsel führt der Anwender mit nur wenigen Handgriffen in kürzester Zeit durch.

Definierte Atmosphären im vakuumdichten TMA-System

Sämtliche Verbindungsstücke sind vakuumdicht konzipiert und ermöglichen Messungen in hochreiner Atmosphäre oder unter Vakuum. Massenflussregler (MFCs) erlauben den Einsatz von bis zu 4 unterschiedlichen Gasen und sorgen für eine optimale Regelung der Spül- und Schutzgase (optional für TMA 402 **F3** Hyperion®).



Made by NETZSCH in Germany

Simultane Messung von Kraft und Wegsignal

Die auf die Probe einwirkende Kraft wird elektromagnetisch erzeugt. Dies führt zu einer schnellen Ansprechzeit bei Experimenten mit wechselnder Last. Ein hochempfindlicher Kraftsensor (digitale Auflösung $< 0,01 \text{ mN}$, max. Kraft $\pm 3 \text{ N}$ (**F3**) / $\pm 4 \text{ N}$ (**F1**)) misst kontinuierlich die über den Fühlstempel ausgeübte Kraft und regelt diese automatisch nach. Dies zeichnet die TMA 402 **F1/F3 Hyperion**[®] gegenüber herkömmlichen Geräten aus, die lediglich auf vordefinierte Einstellungen zurückgreifen.

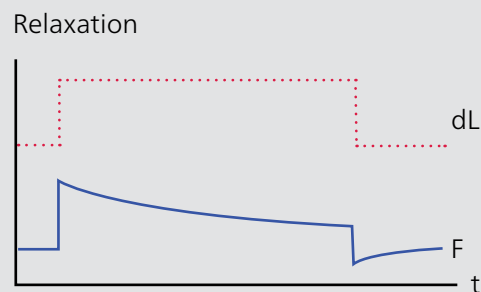
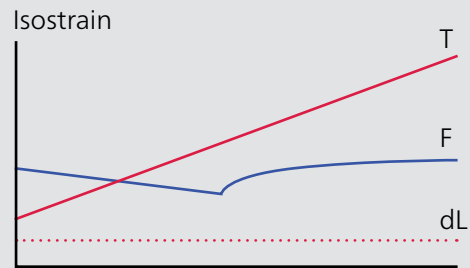
Von empfindlichen bis hin zu steifen Materialien

Die elektronische Regelung erlaubt die Einstellung von Kräften im mN-Bereich. Damit sind auch Untersuchungen an empfindlichen Materialien wie dünnen Fasern oder Folien möglich. Mit der Premiumversion, der TMA 402 **F1 Hyperion**[®], kann für größere Geometrien eine Belastungskraft von 4 N realisiert werden. Die auf die Probe einwirkende Kraft lässt sich softwaregesteuert schrittweise oder linear variieren. Auf diese Weise lassen sich Kriechversuche besonders einfach durchführen.

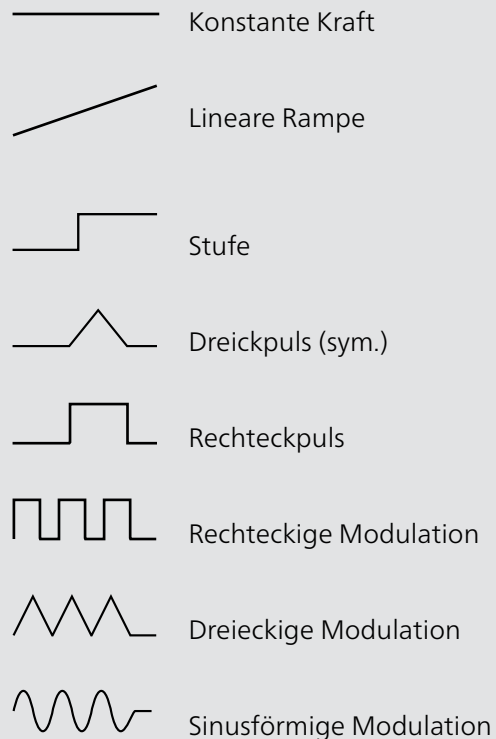
Relaxation, Kriechen, Spannung/Dehnung

Die TMA 402 **F1/F3 Hyperion**[®] bietet jetzt nicht nur die Möglichkeit, die Kraft konstant zu halten oder zu modulieren (**F1**) und die dazugehörige Längenänderung zu messen, sondern auch den Weg (dL-Signal) zu ändern und die dafür benötigte Kraft zu messen. Dies kann z. B. in einem Spannungs-Relaxations-Test angewandt werden, in dem eine Probe bei einer definierten Temperatur um einen bestimmten Betrag gestreckt wird. Während des Tests wird die Deformation konstant gehalten und der Verlauf der Kraft aufgezeichnet. Diese Kraft nimmt als Folge der Relaxation des Materials kontinuierlich ab. Die Spannungsrelaxation wird schließlich durch die nach einer definierten Expositionsdauer gemessenen Restspannung definiert. Ein Spannungs-Zeit-Diagramm stellt die Daten dar, indem sowohl das Spannungs-Relaxations-Verhalten als auch die Werte für die Relaxationsrate und -zeit abgelesen werden.

Regelung des Wegsignals



Kraftregelung



Höchste Flexibilität bei maximaler Präzision

Das modulare Design macht die TMA 402 **F1/F3 Hyperion**® einzigartig. Damit sind Sie bestens für die Zukunft gerüstet!

Vielseitigkeit – Unterschiedliche Temperaturbereiche

-150 °C bis 1000 °C	Stahlöfen mit LN ₂ -Kühlung ¹
-70 °C bis 450 °C	IC-Ofen mit mechanischer Kühlung ohne LN ₂ -Bedarf ¹
RT bis 1550 °C	SiC-Ofen
-150 °C bis 500 °C	Kupferöfen für Messung unter geregelter feuchter Atmosphäre von 0 °C bis 100 °C
RT °C bis 1250 °C	Wasserdampföfen in Verbindung mit einem Wasserdampfgenerator

¹LN₂ (engl. liquid nitrogen cooling), Flüssigstickstoffkühlung

Sie sind interessiert an den während der thermischen Behandlung austretenden Gasen?
Die TMA 402 **F1/F3 Hyperion**® kann auch mit einem Massenspektrometer und/oder FT-IR-Spektrometer gekoppelt werden.

Flexibilität zu jeder Zeit dank austauschbarer Öfen und Probenthermoelemente

Die TMA 402 **F1/F3 Hyperion**® deckt den gesamten Temperaturbereich von -150 °C bis 1550 °C ab. Die für diesen Bereich verfügbaren Probenthermoelemente (Typ K und S) lassen sich ebenfalls einfach austauschen, wobei die Elektronik den eingebauten Sensor automatisch erkennt.

Die Öfen sind zwischen den verschiedenen thermischen Analysegeräten der NETZSCH-Hochtemperatur-Geräteserie (z. B. STA 449 **F1/F3 Jupiter**®, DSC 404 **F1/F3 Pegasus**®) mühelos und schnell austauschbar.

Vorbereitet für die Zukunft – Große Vielfalt von leicht austauschbaren Probenhaltern

Je nach Fragestellung und Probengeometrie kann der Anwender aus einer Vielzahl an Probenhaltern auswählen.

Für Messungen im Expansions-, Penetrations- und Zugmodus stehen Probenhalterungen sowie Fühlstempel und Auflagen für Untersuchungen in 3-Punkt-Biegung zur Verfügung. Für Anwendungen im Temperaturbereich bis 1100 °C sind diese Zubehöreile aus Quarzglas und bis 1550 °C aus Aluminiumoxid erhältlich.

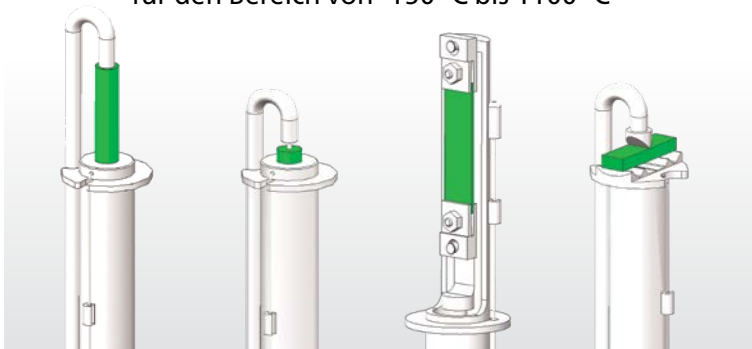
Sie arbeiten mit speziellen Proben?

Mit Hilfe spezieller Probencontainer kann das Ausdehnungsverhalten von Pulvern, Pasten und Flüssigkeiten oder auch Metallen bis in die Schmelze untersucht werden. Für Experimente zum Quellverhalten bieten wir Immersionsbehälter an.

Messmodi und Probenhalterungen

Probenhalter für Kupfer-, Stahl-, Wasserdampf- und SiC-Ofen

Probenhalter aus Quarzglas
für den Bereich von -150 °C bis 1100 °C



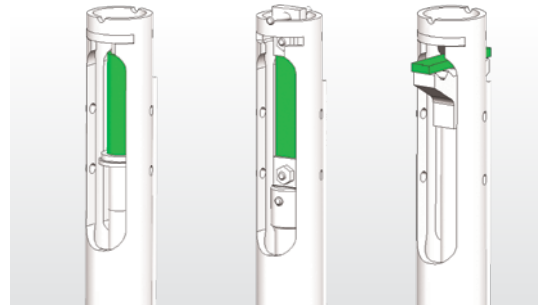
Expansion/
Kompression –
Fühlstempel mit
flacher Spitze,
Ø 4 mm

Penetration –
Fühlstempel mit
flacher Spitze,
Ø 1 mm

Zug,
max. Zuglänge
30 mm

3-Punkt-
Biegung für freie
Biegelängen
10 mm und 20 mm

Probenhalter aus Aluminiumoxid
für den Bereich von RT bis 1550 °C



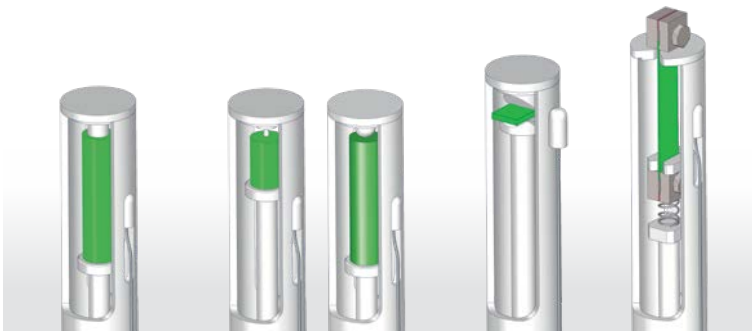
Expansion/
Penetration

Zug,
max. Zuglänge
30 mm

3-Punkt-
Biegung für freie
Biegelängen
10 mm und 20 mm

Probenhalter aus Quarzglas für IC-Ofen*

*kann mit anderen TMA-Öfen kombiniert werden



Expansion/
Kompression –
Probenhalterungsrohr
mit flacher Spitze, Ø
4 mm

Penetration –
Probenhalterungsrohr
mit flacher Ø 1 mm
(links) und halbkugel-
förmige Spitze (rechts)

3-Punkt-
Biegung,
freie Biegelänge
5 mm

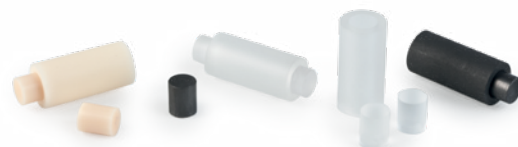
Zug,
max. Proben-
länge 30 mm,
min. 5 mm

Von Biegung bis Zug – von zylinderförmigen Proben bis zu dünnen Folien

Der **Expansions-/Penetrationmodus** wird für Proben mit unterschiedlicher Geometrie, z. B. zylinderförmig oder rechteckig, eingesetzt. Probenhaltervorrichtungen sind in verschiedenen Spitzendurchmessern und Formen erhältlich.

3-Punkt-Biegung kann für zwei unterschiedliche Biegelängen (10 mm und 20 mm) eingesetzt werden. Dies erlaubt Messungen an Proben mit variierenden Größen ohne Austausch des Probenhalters.

Der **Zugmodus** wird zur Messung der Expansion, Schrumpfung oder Relaxation dünner Folien oder Fasern angewandt. Für die Probenvorbereitung ist eine spezielle Justage-Vorrichtung erhältlich.



Vorrichtung Probenvorbereitung für Messungen im Zugmodus

Probencontainer aus Aluminiumoxid, Saphir und Grafit für Messungen an Pulvern, Pasten und Flüssigkeiten

Messungen in feuchten Atmosphären

Simulation von Umwelteinflüssen

Für TMA-Messungen in feuchter Atmosphäre stehen zwei Öfen zur Verfügung:

Der **Wasserdampf**ofen ist für den Anschluss an einen Feuchte- oder Wasserdampf-generator konzipiert und deckt den Temperaturbereich von Raumtemperatur bis 1250 °C ab.

Der **Kupfer**ofen eignet sich für konventionelle TMA-Messungen von -150 °C bis 500 °C. In Kombination mit einem Feuchtegenerator kann eine kontrollierte Feuchtigkeitsumgebung im Temperaturbereich zwischen 0 °C und 100 °C eingestellt werden. Eine Vortrocknung der Proben im Gerät (In-situ-Trocknung) bis zu 500 °C ist bei angeschlossenem Feuchtegenerator nach wie vor möglich. Der Feuchtegenerator ist in der TMA *Proteus*®-Software integriert.

Feuchtegenerator

Kupfer- oder Wasserdampföfen

- Definierte relative Feuchte durch Mischen von nassem und trockenem Gasfluss
- Maximaler Taupunkt von 80 °C, entsprechend einer Molarität von 47 %
- Minimale relative Feuchte von 5 % bei 20 °C, entsprechend einer Molarität von 0,1 % (oder trocken)
- Programmierbare Feuchterampen/-stufen
- Einfaches Nachfüllen von Wasser, auch während des Betriebs

Wasserdampfgenerator

Wasserdampföfen

- Dampf durch Verdampfen von flüssigem Wasser
- Maximale Molarität von 100 %
- Mögliche Verdünnung durch Inertgas
- Minimale Molarität von 5 % (oder trocken)
- Gasdichter Tank



Wasserdampfgenerator

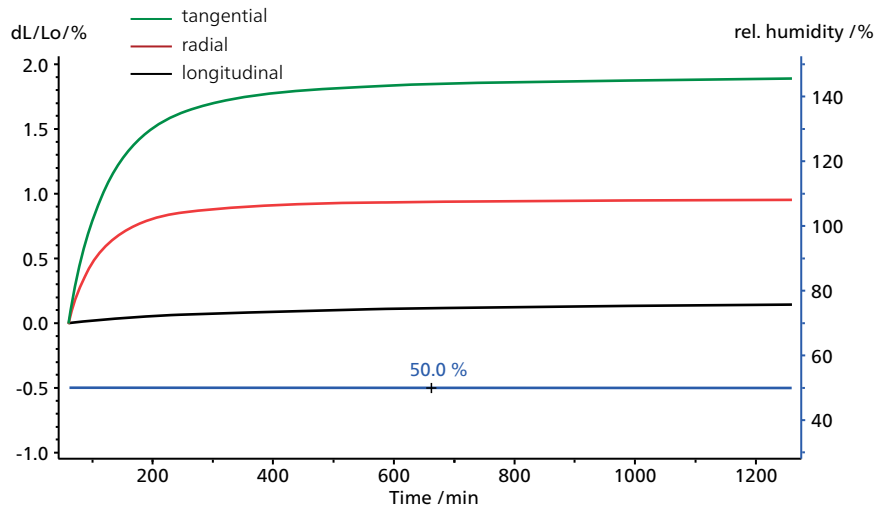
Feuchtegenerator, angeschlossen an die TMA 402 *F1 Hyperion*® mit Wasserdampföfen

Quellverhalten von Holz unter feuchten Bedingungen

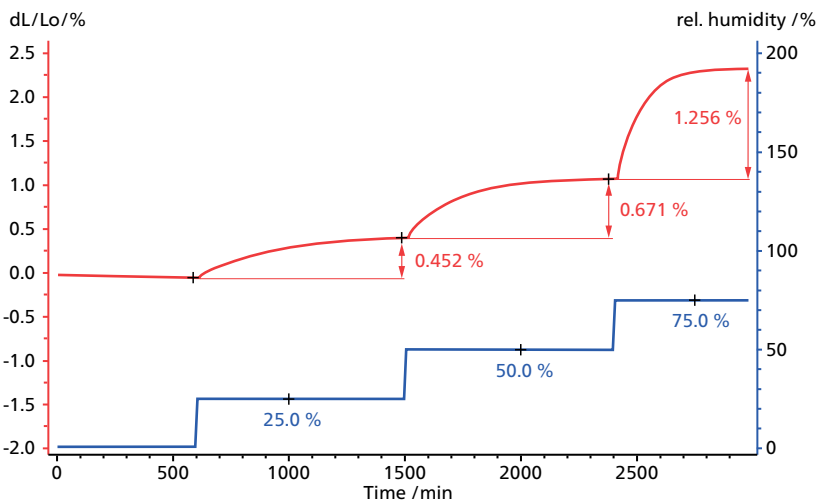
Im Bereich der hygroskopischen Holzfeuchte ändern sich die Dimensionen und das Volumen durch Quellen bei Wasseraufnahme und durch Schwindung bei Wasserabgabe. Für die praktische Verwendung von Holz sind folgende Punkte besonders wichtig:

- Die Dimensionen von trockenem Holz in die drei anatomischen Richtungen bei Änderung der Umgebungstemperatur (differentielles Quellen, Quellkoeffizient).
- Die Schwindung des Holzes beim Trocknen vom nassen (frischen) in den normalen Zustand (Trocknungsrate).

Zur Untersuchung des Quellverhaltens von Buchenholz wurden drei Proben aus einem Stamm in tangentialer, radialer und Längsrichtung entnommen (siehe rechts oben). Dieser Plot zeigt das unterschiedliche Ausdehnungsverhalten der Proben mit den drei Holzfaserrichtungen unter einer relativen Feuchte von 50 % bei 25 °C.



TMA-Messung an Buchenholz im Kupferofen und Feuchtegenerator; Probenhalter aus Quarzglas; Probenlänge 25 mm, Querschnitt 5 x 5 mm²



Isotherme Messung bei 40 °C im Kupferofen und Feuchtegenerator; Probindimensionen: 15 mm Länge x 5 mm Breite x 0,25 mm Dicke

Simulation des hygroskopischen Verhaltens von PA6

Abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit kann trockenes PA 6 (Polyamid) Feuchtigkeit aus der Umgebung absorbieren und dadurch eine Ausdehnung bis zu 10 % erfahren.

Die Abbildung links zeigt das hygroskopische Verhalten einer PA 6-Folie bei 40 °C im Zugmodus (Probenhalter aus Quarzglas). Die relative Feuchte steigt von 0 % auf 75 % in Stufen von 25 % nach je 15 h an. Über den Verlauf von 50 h betrug die Ausdehnung knapp 2,4 %.

Proteus[®]-Software

Clevere Features für intelligente Analysen

Automatische Bestimmung der Ausgangsprobenlänge im Expansions-, Penetrations- und Zugmodus!

Auf einen Blick – Highlights der TMA Proteus[®]-Software

TMA 402 Hyperion [®]	F1	F3
Automatische Erfassung der Probenlänge	■	■
Krafteinstellung/Segment	■	■
Erweichungspunktabschaltung	■	■
Dichtebestimmung	■	□
c-DTA [®]	■	□
Kraftmodulation	■	□
Temperaturmodulation	□	□
RCS	□	□
Strain control	■	■
Report-Generator	■	■
Identify	■	□
AutoEvaluation	■	■

■ im Standardlieferungsumfang eingeschlossen
□ Optional

Identify – Identifizierung und Klassifizierung von TMA-Kurven

Die *Identify*-Datenbank bietet die neuesten Mittel zur Materialüberprüfung durch den Vergleich einer gegebenen Kurve mit weiteren individuellen Kurven (z. B. Gruppen von Kurven in der Qualitätskontrolle) oder Literaturdaten ausgewählter Bibliotheken. Alle vom Anwender erstellten Bibliotheken und Klassen können innerhalb *Identify* bearbeitet oder erweitert werden.

Die Standardbibliotheken mit über 1.100 Einträgen beinhalten Messungen und Literaturdaten für DSC, c_p , TG, und DIL/TMA aus den Anwendungsbereichen Polymere, Organik, Pharmazie, Metalle/Legierungen, Keramiken und Anorganik sowie die chemischen Elemente.

Datenbankeinträge können über eine Vielzahl von Kriterien gefiltert und Messkurven – selbst unterschiedlicher Art – für Vergleichszwecke übereinander gelegt werden.

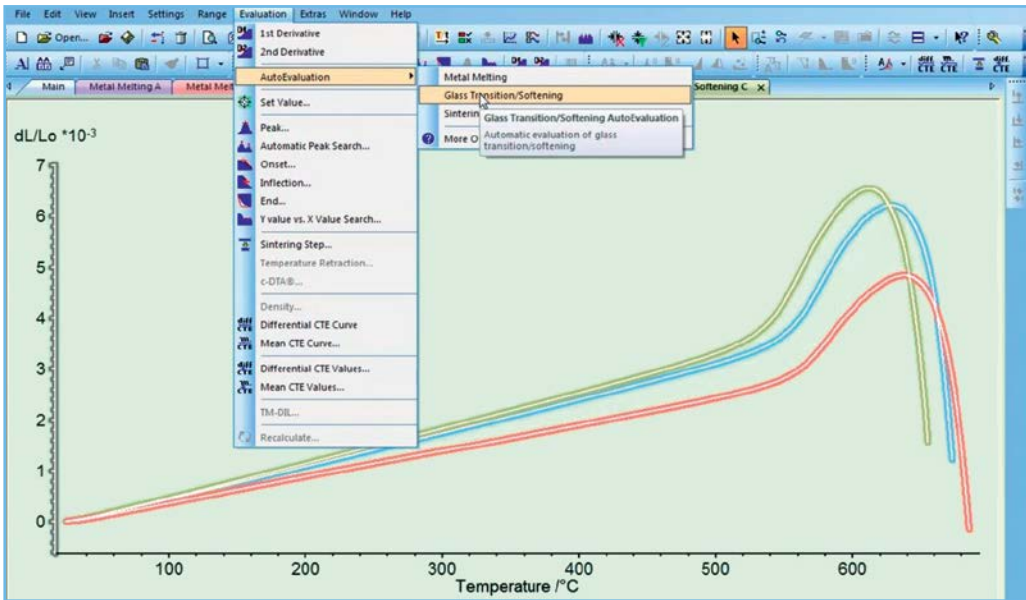
Temperaturmodulierte TMA

Für temperaturmodulierte TMA-Messungen lassen sich Modulationsamplitude und -periode segmentweise definieren. Die Auswertesoftware erlaubt die Bestimmung der

- gesamten TMA
- reversierenden und nicht-reversierenden TMA
- gesamten CTE
- reversierenden und nicht-reversierenden CTE
- Amplitude und Phase

mit grafischer Darstellung der Ergebniskurven in Mehrfachfenstertechnik.

Proteus[®] bietet auch die Möglichkeit, Grafiken zu exportieren und auszudrucken oder den Datenexport als ASCII-Dateien.

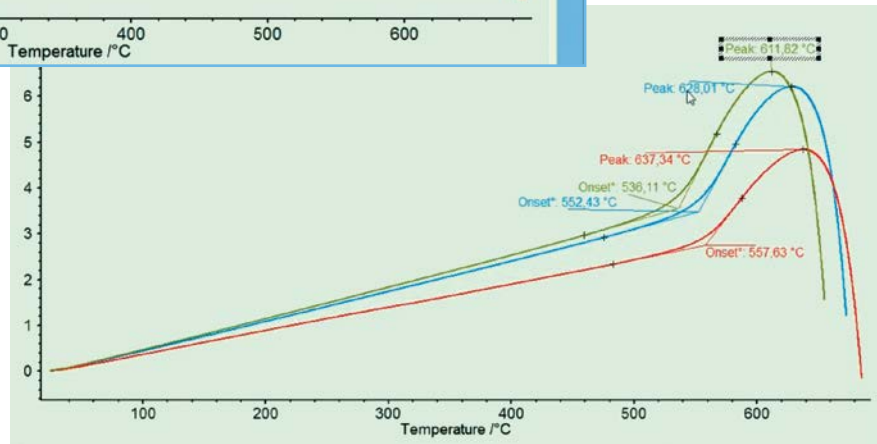


AutoEvaluation für den Onset des Glasübergangs

AutoEvaluation

Die exklusiv von NETZSCH angebotene Softwarefunktion *AutoEvaluation* ermöglicht eine intelligente, zeitsparende und selbsttätige Auswertung thermoanalytischer Messkurven ohne Verwendung vordefinierter Makros.

AutoEvaluation bietet spezielle Funktionen für die Auswertung verschiedener Materialien. Bei der Prüfung von Metallen wird mit „Metallschmelzen“ der Schmelzbeginn automatisch bestimmt. „Glasübergang und Schmelzen“ zeigen den Onset des Glasübergangs und den Schmelzpeak mit nur einem Mausklick. Beim Sintern einer Keramikprobe werden die Sinterstufen angezeigt. *AutoEvaluation* gehört zum Standardlieferumfang eines Gerätes der Serie TMA 402 **F1/F3 Hyperion**®.



Eingabeassistent für einen schnellen Start und eine methodenbasierte, automatische Auswertung

Die *Proteus*®-Software ermöglicht es, Einstellungen und Methoden aus zuvor ausgeführten Messdateien mit einem Mausklick anzuwenden. Die Auswertestufen für einen Referenztest können in einer Methode gespeichert und nach Beendigung vollständig automatisch angewendet werden. Die Software markiert die von den gewählten Qualitätskriterien abweichenden Ergebnisse.

Software-Optionen für weiterführende Auswerteschritte

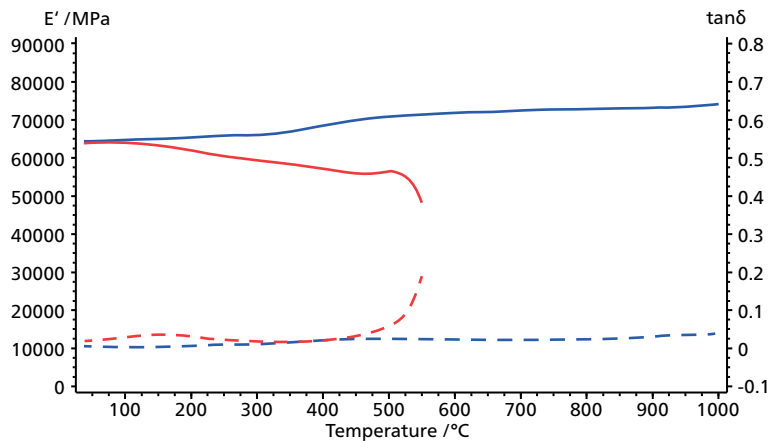
- Erweiterte Auswertung für importierte Massenspektrometerdaten bei Kopplung mit dem QMS 403 D *Aëolos*®
- *Kinetics Neo* zur ausführlichen Charakterisierung und Optimierung von Sinterprozessen
- *PeakSeparation* für die Auftrennung überlappender Effekte

Applikationen

Vergleich der viskoelastischen Eigenschaften von Quarzglas und Flachglas

Diese TMA-Messungen an Quarzglas und Flachglas wurden in 3-Punkt-Biegung mit einer Heizrate von 5 K/min zwischen Raumtemperatur und 1000 °C bzw. 550 °C durchgeführt.

Wie für die meisten Materialien erwartet, nimmt der Modul für Flachglas (rote Kurve) mit zunehmender Temperatur bis zum Erweichungspunkt des Materials ab, was einen steilen Abfall der Steifigkeit und ansteigenden $\tan\delta$ zur Folge hat. Im Gegensatz dazu zeigt das Quarzglas (blaue Kurve) mit zunehmender Temperatur eine erhöhte Steifigkeit.

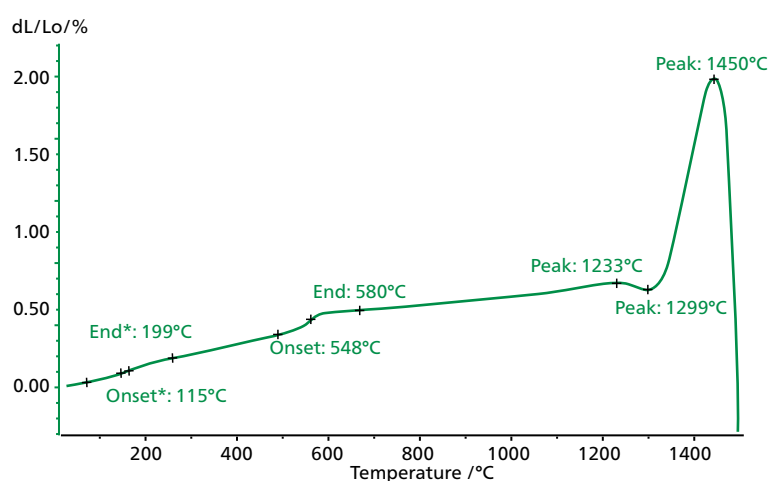


Viskoelastisches Verhalten zweier unterschiedlicher Gläser
Kraftmodulation 0,5 Hz; statische Kraft 1,5 N; Amplitude 1,45 N;
Biegelänge 20 mm; Probendicke ca. 1 mm; Probenbreite ca. 4,8 mm.
E-Modul (durchgezogene Kurve) und $\tan\delta$ (gestrichelte Kurve)



Ausdehnung bis zu hohen Temperaturen

Lebensdauer und Effizienz jeder technischen Ofenanlage hängen stark von der passenden Zusammenstellung und Qualität der Innenauskleidung (Feuerfestmaterialien) ab. Ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung ist die thermische Ausdehnung. Hier dargestellt ist das Ausdehnungsverhalten eines typischen, grobkörnigen Feuerfestmaterials. Zu Beginn der Messung zeigt sich die α - β -Umwandlung von Tridymit, gefolgt von der α - β -Umwandlung des freien Quarzes zwischen 548 °C und 580 °C. Nach einer weiteren Umwandlung zwischen 1233 °C und 1299 °C beginnt das Material bei 1450 °C zu erweichen.



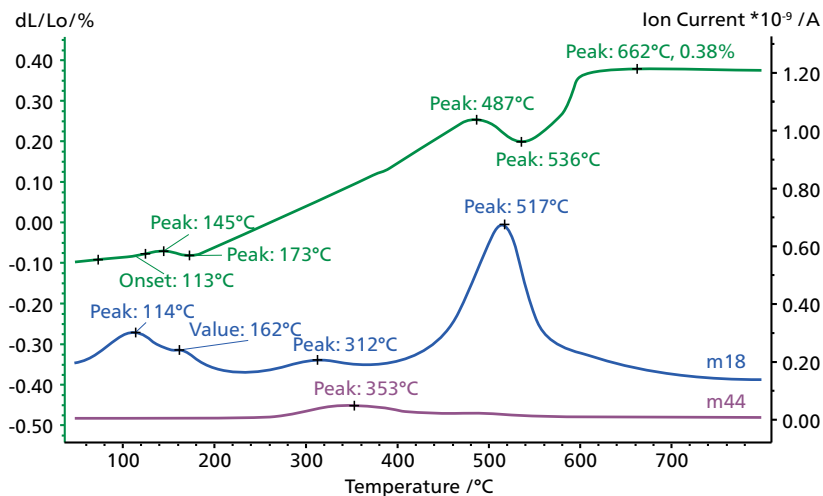
TMA-Messung an Feuerfestmaterial zwischen Raumtemperatur und 1550 °C





TMA, gekoppelt mit Emissionsgasanalyse zur Untersuchung des Schrumpfungsverhaltens

Zu Beginn der Messung wird das adsorptiv gebundene Wasser sowie das Zwischenschichtwasser einer Tonprobe abgegeben (Schrumpf um 0,01 %; Wasserpeak 114 °C und 162 °C, (m/z 18)). Von 300 °C bis ca. 450 °C findet die Verbrennung organischer Bestandteile der Probe mit der Freisetzung von Wasser (m/z 18) und CO₂ (m/z 44) statt. Aufgrund des sehr geringen organischen Gehalts ist kein Einfluss auf die Ausdehnungskurve zu erkennen. Zwischen 487 °C und 536 °C tritt die Dehydroxilierung der in der Probe enthaltenen Tonminerale auf; damit verbunden ist ein Schrumpf der Probe von 0,05 %.

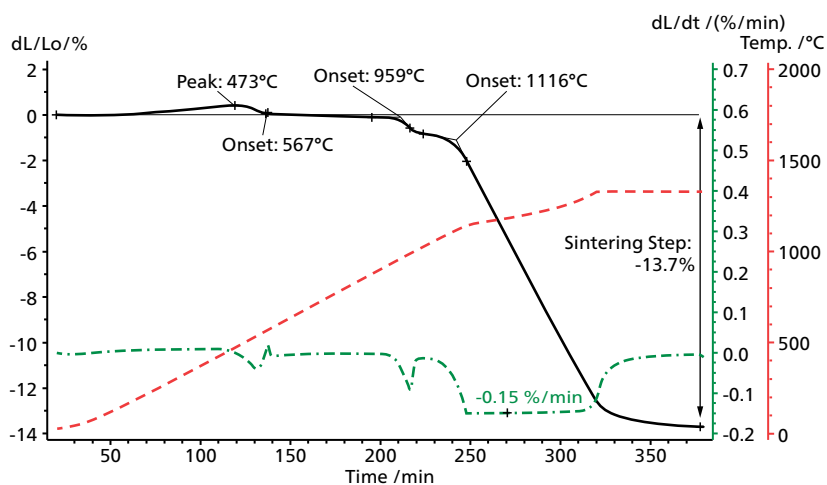


TMA-MS Aëolos®-Messung an einer Tonprobe zwischen Raumtemperatur und 800 °C. Die Tonprobe wurde in einen Keramiktiegel gebracht (siehe rechtes Foto).



Verdichtung eines keramischen Grünkörpers mittels ratenkontrolliertem Sintern

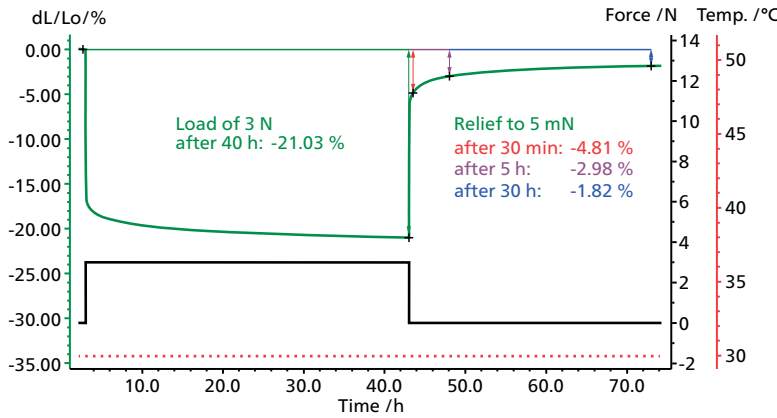
Im ratenkontrollierten Sintermodus (RCS) wird das normalerweise linear geführte Temperaturprofil (rot) dem Sinterverhalten eines keramischen Grünkörpers angepasst. In der Längenänderungskurve (schwarz) ist die Dehydroxylierung von Kaolinit bei 473 °C durch die Quarzumwandlung bei 567 °C (Onset) überlagert. Bei 959 °C (Onset) findet eine zusätzliche Phasenumwandlung statt, bestätigt durch den Peak bei 215 min in der 1. Ableitungskurve (grün). Bei 250 min setzt das Sintern ein und der RCS-Modus hält die Sinterrate konstant bei 0,15 %/min. Die gesamte Sinterschwindung beträgt 13,7 % (schwarze Kurve).



RCS-Messung im Expansionsmodus (Al₂O₃-Probenträger) mit SiC-Ofen zwischen RT und 1350 °C; Probenlänge: ca. 5,5 mm; Ø 6-7 mm; RT bis 1350 °C; Heizrate 5 K/min; Isothermsegment 60 min bei 1350 °C; RCS-Start bei 1040 °C, Start-/Stop-Modus, Schwellwert: 0,15 %.



Prüfung des Rückstellverhaltens von Elastomeren

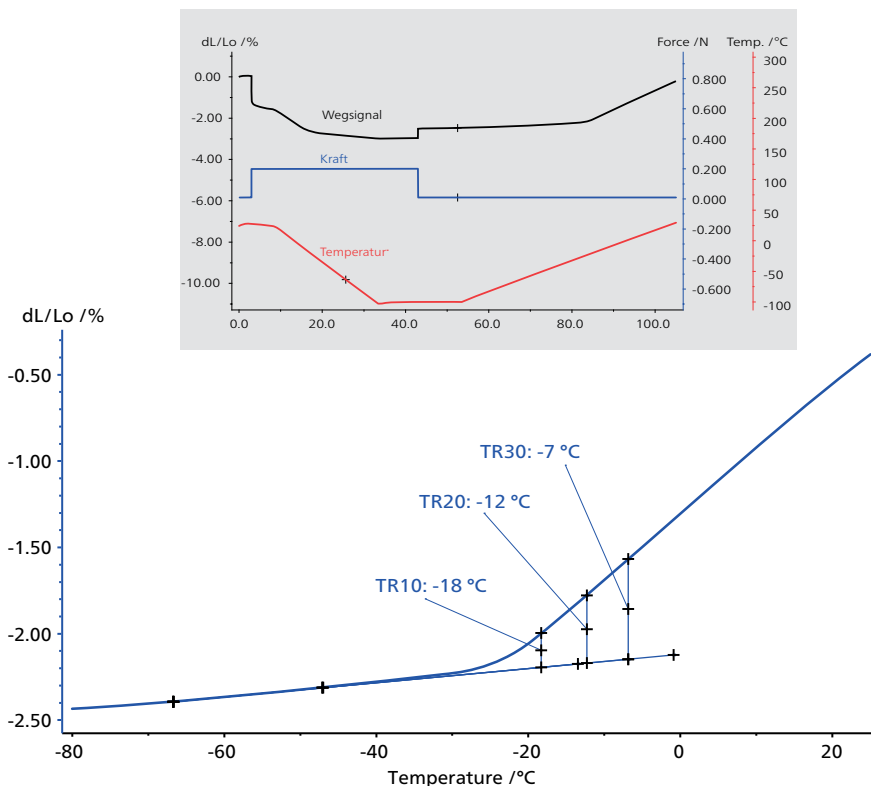


Langzeit-TMA-Messung an einer Elastomerdichtung unter Last

Rückstellung einer Gummidichtung

Um die Änderungen der elastischen Eigenschaften einer Dichtung nach einer lang andauernden konstanten Belastung zu testen, wird eine Elastomerdichtung mit einer Kraft von 3 N belastet und anschließend auf 5 mN entlastet. Nach einer Belastungszeit von 40 h bei 30 °C ergibt sich eine Kompression von 21 %. Nach 30-minütiger Entlastung (roter Wert) werden 95,19 % der ursprünglichen Länge wiedererlangt; nach 5 h (violetter Wert) 97,02 % und nach 30 h (blauer Wert) verbleiben lediglich 1,82 % nicht wiederhergestellt.

Kälterichtwert (TR) kleiner Proben und O-Ringe

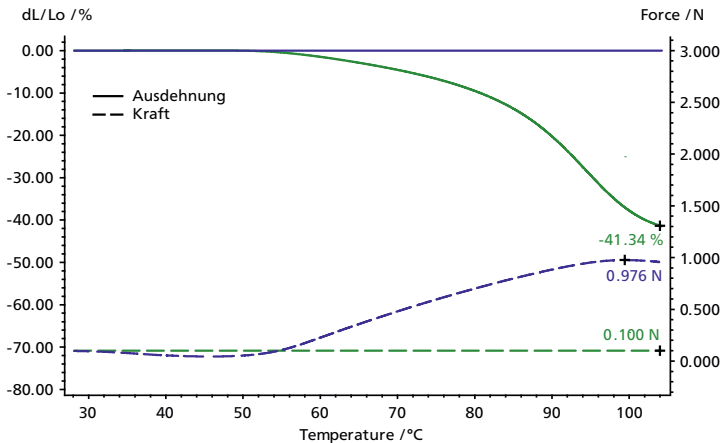


Auswertung der thermischen Ausdehnung des Aufheizsegments (untere Messkurve); Kraft-Temperaturprogramm (grauer Einschub)

Zur Bestimmung des Kälterichtwertes mit der TMA-Proteus®-Software wird bei Raumtemperatur (RT) eine geringe Kraft (0,01 N) auf die Probe zur Dickenbestimmung aufgebracht. Diese wird dann erhöht und die Probe bis ca. 50 K unterhalb des erwarteten TR10-Punkts (grauer Einschub) abgekühlt. Danach wird die Kraft zurückgesetzt und die Probe wieder bis Raumtemperatur mit einer Rate von 2,5 K/min aufgeheizt.

Zur Auswertung des TR-Wertes wird das Heizsegment verwendet (unterer Plot). Der TR10-Wert entspricht einer 10%-igen Rückstellung der Probe, der TR20 einer 20%-igen usw. Der TR-Wert ist ein wertvoller Indikator zur Einschätzung des Elastomerverhaltens bei niedrigen Temperaturen.

Untersuchung von Schrumpfschläuchen



Messungen an einem Schrumpfschlauch unter konstanter Kraft (grüne Kurven) und unter konstanter Auslenkung (blaue Kurven). Aufheizung von RT bis 120 °C, N₂-Atmosphäre, Probenlänge 25 mm (blau) bzw. 10 mm (grün).

Schrumpfschläuche, auch als Schrumpfmuffen bekannt, werden zur Reparatur und Isolierung von Drähten und Kabeln verwendet. Nach dem Aufziehen des Schlauches auf das Kabel wird zur Schrumpfung eine Wärmequelle eingesetzt. TMA-Messungen liefern Informationen, bei welcher Temperatur das Schrumpfen des Materials einsetzt und wie stark und mit welcher Kraft es schrumpft. Wird die Kraft konstant gehalten, beginnt die Probe bei ca. 60 °C zu schrumpfen und erreicht bei Messende (grüne Kurven) einen Schrumpfung bei ca. 40 %. In der zweiten Messung wird die Wegamplitude konstant gehalten und die entsprechende Kraft gemessen (Maximum bei 0,98 N, blaue Kurven).

TMA 402 F1/F3 Hyperion®

- Stahlofen: -150 °C bis 1000 °C
- SiC-Ofen: RT bis 1550 °C
- IC-Ofen: -70 °C bis 450 °C
- Kupferofen: -150 °C bis 500 °C (Kopplung an Feuchtegenerator möglich)
- Wasserdampföfen: RT bis 1250 °C (für Messungen unter Dampf durch Kopplung an Wasserdampf- oder Feuchtegenerator)

Aufheiz-/Abkühlraten 0,001 K/min bis 50 K/min

- Kühlsysteme
- Für Stahl- und Kupferöfen:
 - Flüssigstickstoffkühlung (optional mit 60-l-Dewar und komfortablem Nachfüllsystem)
 - Vortex-Rohr (basierend auf Druckluft)
 - Intracooler für IC-Ofen
 - Luftkühlung für SiC-Ofen

Messmodi Expansion, Penetration, 3-Punkt-Biegung, Zug

- Messbereiche/
Δl-Auflösung
- 500 µm (± 250 µm) / 0,125 nm
 - 5000 µm (± 2500 µm) / 1,25 nm

Kraft und Deformation Simultane Messung von Kraft- und Wegsignal

Kraftbereich (an der Probe) 0,001 N bis 3 N (**F3**) / 4 N (**F1**)
in Schritten von 0,02 mN ohne zusätzliche Gewichte

Kraftauflösung < 0,01 mN

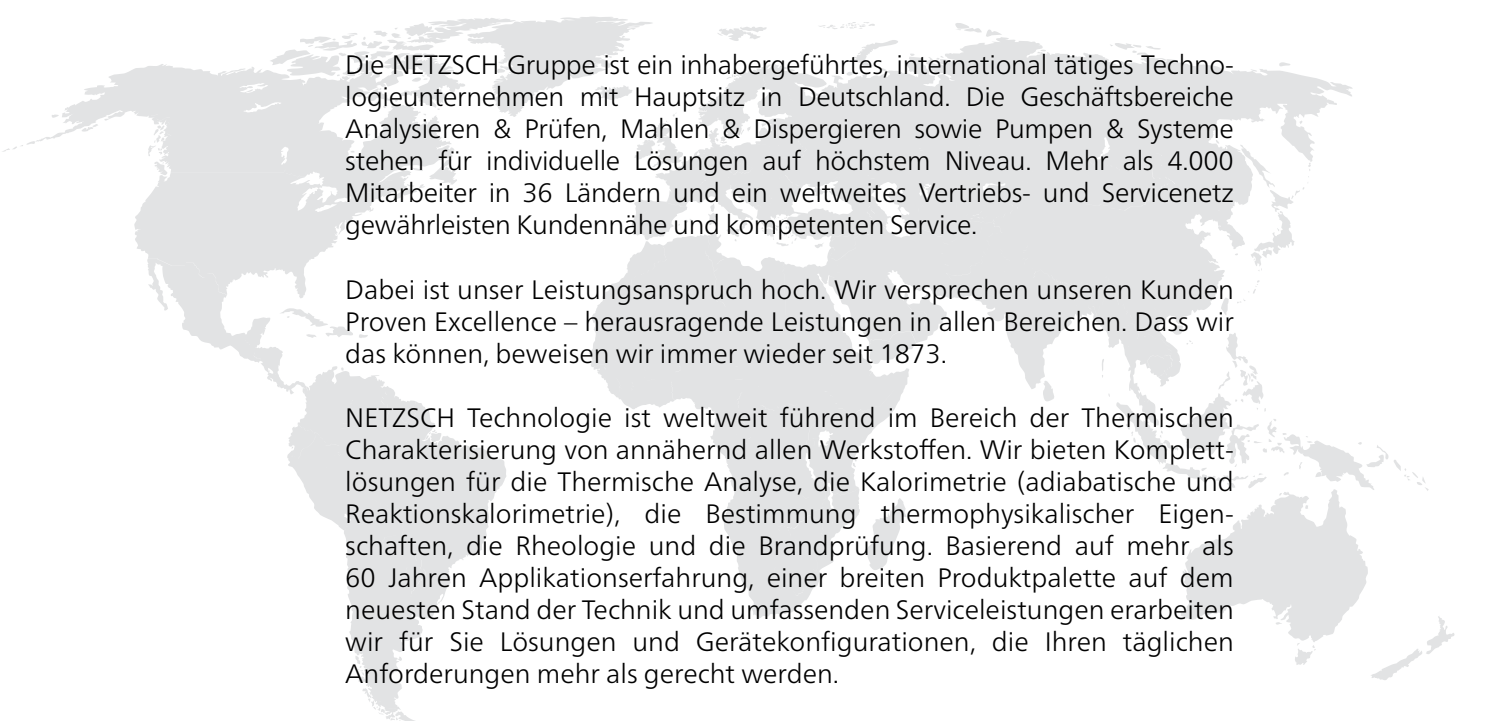
- Modulierte Kraft
- 0,0003 Hz bis 1 Hz; wählbare Frequenzen
 - Wellenformen: rechteckig, sinusförmig, dreieckig, Stufen, Rampen, Einzelpulse

- Austauschbare
Probenhaltersysteme
- Quarzglas: bis max. 1100 °C
 - Aluminiumoxid: bis max. 1550 °C

Spezielle Probencontainer Tests an Pasten, Pulvern, Flüssigkeiten, Wachsen, Metallschmelzen und in Immersion

- Probendimensionen
- Länge: 30 mm max.; Aluminiumoxidprobenhalter Ø 10 mm max., Quarzglasprobenhalter Ø 12 mm / 8 mm;
 - Automatische Bestimmung der Probenlänge (Genauigkeit: 0,01 mm)

Atmosphären Inert, oxidierend, reduzierend, Vakuum; softwaregesteuert



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

Dabei ist unser Leistungsanspruch hoch. Wir versprechen unseren Kunden Proven Excellence – herausragende Leistungen in allen Bereichen. Dass wir das können, beweisen wir immer wieder seit 1873.

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

Proven Excellence.

NETZSCH-Gerätebau GmbH
Wittelsbacherstraße 42
95100 Selb
Deutschland
Tel.: +49 9287 881-0
Fax: +49 9287 881 505
at@netsch.com

Prager
Elektronik

Traunstraße 21, A-2120 Wolkersdorf
T: +43 2245 6725 F: +43 2245 559633
office@prager-elektronik.at
www.prager-elektronik.at

NETZSCH[®]

www.netsch.com