

NETZSCH

Proven Excellence.



Prüfgeräte für feuerfeste Materialien

Haubenofenapparaturen – RUL/CIC 421

Analyzing & Testing

FEUERFESTPRÜFUNG



Heutzutage ist die Auswahl des richtigen Feuerfestmaterials wichtiger denn je zuvor, wenn es darum geht, die Kosteneffektivität eines Prozesses zu steigern und den Lebenszyklus der eingesetzten Materialien zu verlängern. So kann zum Beispiel die Auswahl einer feuerfesten Ofenauskleidung nur bei genauer Kenntnis der Materialeigenschaften und der Materialbelastungen während des Betriebs optimal erfolgen.

Thermomechanische Eigenschaften lassen sich mittels Hochtemperaturprüfmethoden bestimmen, bei denen durch Aufbringen externer Kräfte mechanische Spannungen im Prüfmaterial erzeugt werden. Das Spannungs-Verformungsverhalten von feuerfesten Erzeugnissen ist sehr komplex, da mit steigender Temperatur nicht nur elastische, sondern auch plastische, zeitabhängige Verformungen auftreten. Daher muss das thermomechanische Verhalten von Feuerfestmaterialien als Wechselwirkung von Spannung, Dehnung, Temperatur und Zeit betrachtet werden.

Die Prüfung feuerfester Werkstoffe umfasst folgende Applikationen:

- Auswahl von Materialien
- Charakterisierung neuer Materialien
- Vorhersage der Einsatzbedingungen
- Qualitätskontrolle von Prozess und Produkt
- Schadensanalyse
- Erstellung mathematischer Modelle für Produktverbesserungen

Die Effizienz technischer Ofenanlagen hängt größtenteils von der Qualität des Feuerfestmaterials und dem sachgemäßen Einbau der Ofenauskleidung ab.

NETZSCH-Apparaturen für die Prüfung von Feuerfestmaterialien unter thermischer und thermomechanischer Belastung

Thermische und thermomechanische Eigenschaften	Apparatur	Temperaturbereich
Druckerweichen (RUL) Druckfließen (CIC)	Druckerweichen/Druckfließen (RUL/CIC 421)	RT bis 1700 °C
Thermische Ausdehnung (DIL) Volumenstabilität (DIL)	Dilatometer (DIL 402 E, DIL <i>Expedis</i> -Serie)	-180 °C bis 2800 °C

Thermische Belastung	Apparatur	Temperaturbereich
Spezifische Wärmekapazität (LFA)	Laser/Light Flash Apparatur (LFA 427, LFA 457 <i>MicroFlash</i> ®, LFA 467 <i>HyperFlash</i> ®)	-125 °C bis 2800 °C
Spezifische Wärmekapazität (DSC)	Dynamisches Differenz-Kalorimeter (DSC 404 F1/F3 <i>Pegasus</i> ®)	-150 °C bis 1400 °C (2000 °C)
Temperaturleitfähigkeit (LFA)	Laser/Light Flash Apparatur (LFA 427, LFA 457 <i>MicroFlash</i> ®, LFA 467 <i>HyperFlash</i> ®)	-125 °C bis 2800 °C

Internationale Normen für die Prüfung von Feuerfestmaterialien

Norm	ISO	DIN EN	ASTM	Apparatur
Feuerfeste Erzeugnisse – Bestimmung des Erweichungsverhaltens unter Druck (Druckerweichen) – Differentialverfahren mit steigender Temperatur	1893	993-8		RUL 421
Bestimmung des Druckfließens (CIC)	3187, 16835	993-9	C832-00	RUL 421

RUL/CIC 421

Bestimmung des Druckerweichens



RUL/CIC 421

Das Druckerweichen beschreibt das Verhalten gebrannter Feuersteine bei steigender Temperatur und konstanten Belastungsbedingungen.

Methode

Das Druckerweichen ist ein Maß für das Verformungsverhalten eines feuerfesten Erzeugnisses bei konstanter Druckbelastung und steigender Temperatur mit festgelegter Aufheizrate. Der Erweichungsbereich ist nicht identisch mit dem Schmelzbereich der reinen Rohstoffe, aber er wird durch den Gehalt und die Verteilung von niedrig schmelzenden Flussmitteln beeinflusst.

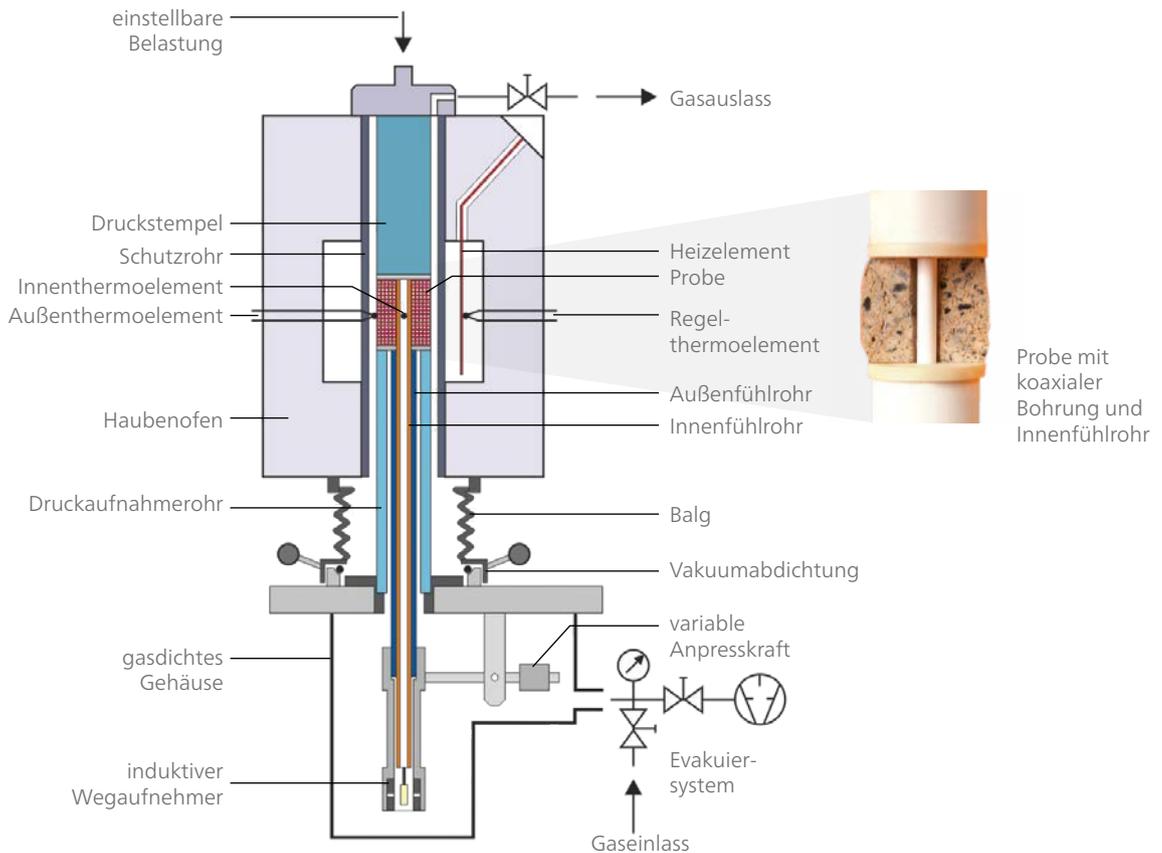
RUL

Die RUL-Testmethode (engl. Refractoriness under Load, Druckerweichen) ist in ISO 1893 beschrieben. Ein zylinderförmiger Probenkörper (Durchmesser und Höhe von 50 mm mit einer koaxialen Bohrung von 12,5 mm) wird bei einer festgelegten, konstanten Druckbelastung mit einer definierten Geschwindigkeit aufgeheizt, bis er eine bestimmte Verformung erreicht hat oder zusammengebrochen ist. Die Verformung des Probenkörpers wird von Beginn des Aufheizens an registriert und die zu bestimmten Verformungen zugehörigen Temperaturen ermittelt.

CIC

Ebenfalls lässt sich das Druckfließen, DFL (engl. Creep in Compression, CIC; ISO 3187), mit der Apparatur bestimmen. Ein zylinderförmiger Probenkörper wird unter definierten Bedingungen (siehe RUL) bis zu einer vorgegebenen Temperatur aufgeheizt. Anschließend wird seine Verformung bei dieser konstant gehaltenen Temperatur registriert und als Maß für das Druckfließen werden die prozentualen Schwindungen in Abhängigkeit von der Zeit ausgewertet.

und Druckfließen



Schema des gasdichten RUL/CIC 421 für Messungen in Schutzgasatmosphäre

Messteil – Probe

Das Messteil besteht aus einem Tischgehäuse, Ofenführungssystem, Ofen (max. 1700 °C), Belastungseinrichtung und Differenzmesssystem. Der Ofen ist oben geschlossen, um Kamineffekte zu vermeiden und eine ausreichend große konstante Temperaturzone zu erhalten. Der Probenkörper wird auf das Druckaufnahmerohr aufgesetzt; der Ofen wird heruntergefahren und die gewünschte Belastung durch abnehmbare Gegengewichte in Stufen von minimal 100 cN eingestellt. Thermolemente dienen zur Ofenregelung und zur Messung der Proben temperatur.

Signalerzeugung – Ausdehnung

Die Längenänderung wird durch ein Messsystem, bestehend aus einem Innen- und Außenführlrohr aus Al_2O_3 in Differenzanordnung, auf einen induktiven Wegaufnehmer übertragen. Sein elektrisches Signal wird verstärkt und nach der A/D-Wandlung gespeichert. Durch die "Rohr-in-Rohr"-Anordnung wird die thermische Ausdehnung der Fühlrohre nahezu kompensiert. Daher ist nur die Ausdehnung des Innenrohrteils zu berücksichtigen, das dem Probenkörper entspricht. Mit dem Differenzmesssystem kann die Ausdehnung des Probenkörpers durch die Mittelbohrung (ISO/DIN) oder alternativ an der Außenbohrung des Probenkörpers gemessen werden.

RUL/CIC 421

Gasdichte Version zur
Messung sauerstoff-
empfindlicher Proben

Prüfatmosphäre

Messungen können in statischer Luft (Basisversion) durchgeführt werden. Optional ist eine Inertgas-Spüleinrichtung für den Prüfraum erhältlich.

Untersuchung kohlenstoffhaltiger Materialien

Für die Prüfung kohlenstoffhaltiger Materialien (z. B. Magnesia-Kohlenstoff-Grafitsteine) kann eine nicht-oxidierende Prüfatmosphäre mittels gasdichter Kammer (Option; siehe vorherige Seite) realisiert werden. Dafür kann der Prüfraum vor Spülung mit Schutzgas evakuiert werden; Messungen sind möglich bis 1600 °C.

Variable Belastungseinrichtung

Optional kann die Belastungseinrichtung mit einem Zusatz für Wechsellast ausgerüstet werden. Bei einer variablen Vorlast von 300 N kann eine zusätzliche Wechselbelastung von 0 N bis 700 N zwischen 0,3 N/s und 3 N/s aufgebracht werden.

Probengröße

Im Allgemeinen können identische Probenkörperdimensionen mit einem Durchmesser und Höhe von 50 mm sowohl für RUL- als auch für CIC-Tests verwendet werden. Für das präzise Differenzmesssystem, das zur Bestimmung von Ausdehnung und Verformung eingesetzt wird, sollte der zylinderförmige Probenkörper eine koaxiale Bohrung von 12,5 mm aufweisen. Die Stirnflächen sollten planparallel und senkrecht zur Achse des Zylinders sein (ISO/DIN). Weitere Probenkörperabmessungen sind möglich (z. B. 36 mm, GOST 4070-20000).

Probenvorbereitungsmaschinen

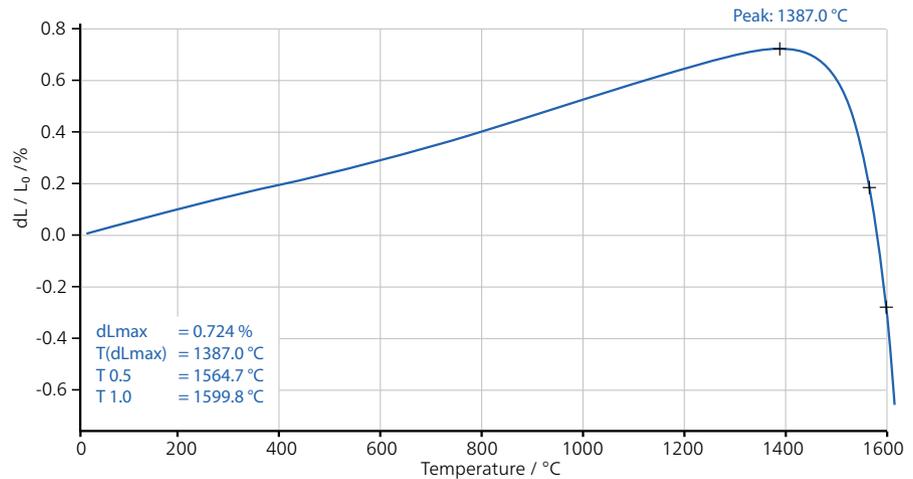
NETZSCH bietet folgende Probenvorbereitungsmaschinen zur Herstellung optimaler Probenkörper an:

- Bohrmaschine 421/11
- Schleifmaschine 421/12
- Sägemaschine 421/13



Auswerterroutinen für RUL und CIC

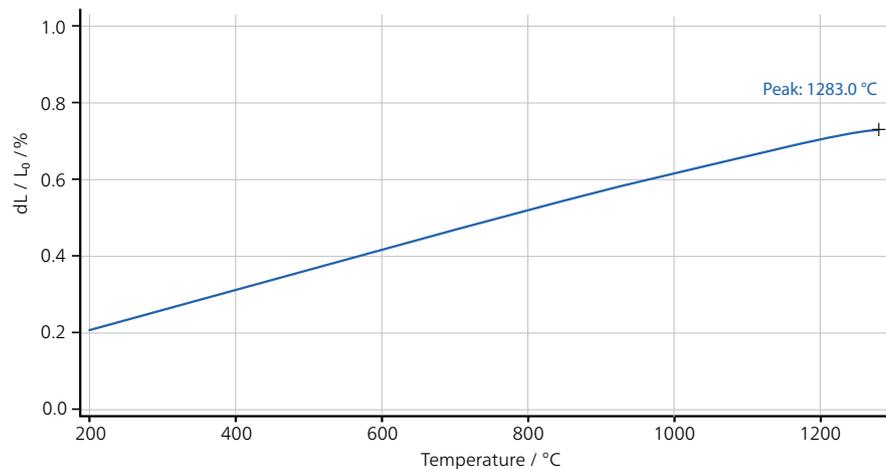
Dieser Plot zeigt eine RUL-Messung (differential) an einem Probenkörper aus Schamottstein mit steigender Temperatur. Bei 1387 °C hat der Probenkörper seine maximale Ausdehnung erreicht. Verformungen von 0,5 % und 1,0 % treten entsprechend bei 1565 °C (T0.5) bzw. 1600 °C (T1) auf.



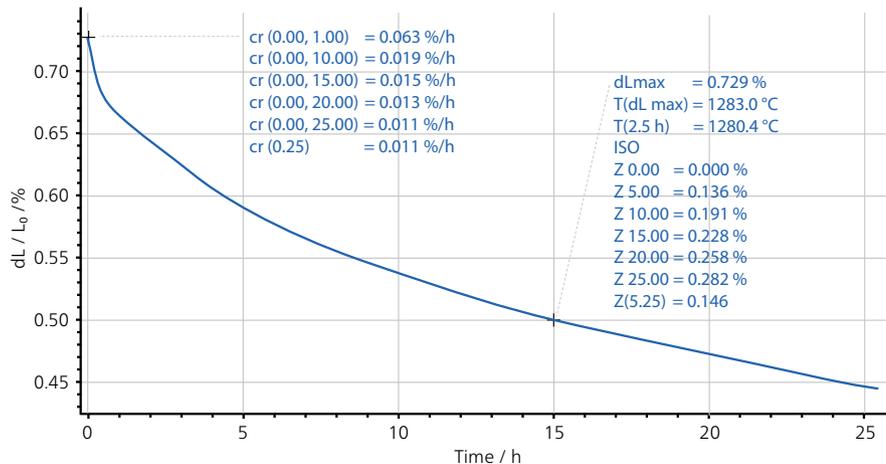
Druckerweichen; Prüfbedingungen: 0,2 N/mm², 5 K/min, statische Luft

In diesen beiden Plots ist eine CIC-Messung an einem Probenkörper aus Silikatstein dargestellt. Im oberen Plot ist das Aufheizsegment bis 1283 °C dargestellt.

Der untere Plot zeigt das anschließende Fließen der Probe bei konstanter Temperatur von 1280 °C über einen Zeitraum von 25 h.



Druckfließen; Heizsegment mit einer Heizrate von 5 K/min;

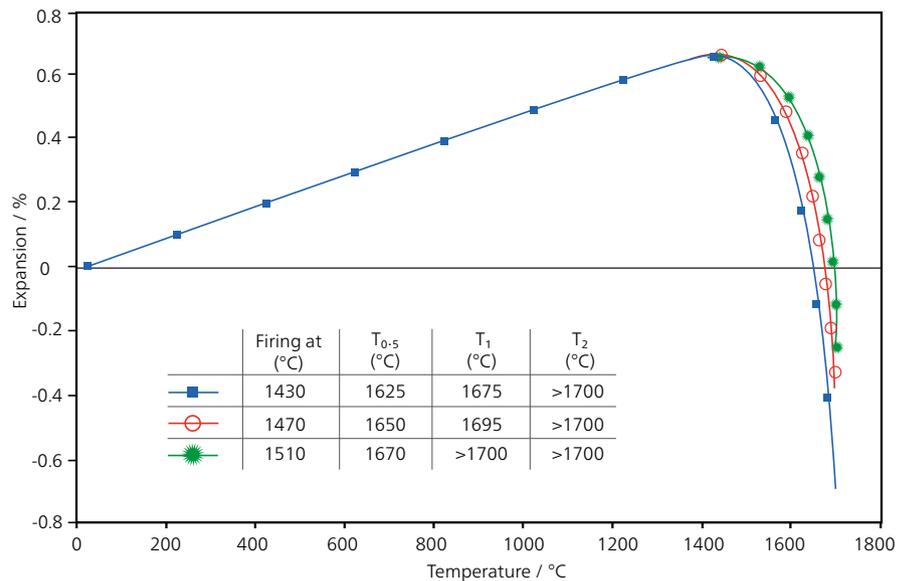


Druckfließen; isothermisches Fließen bei 1280 °C über einen Zeitraum von 25 h in statischer Luft

Applikationen

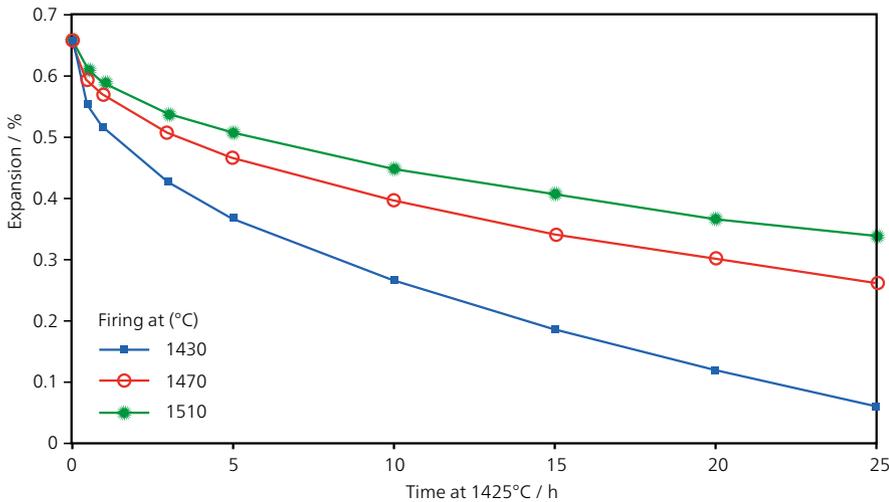
Druckerweichen (RUL) eines Andalusitsteins

Dieser Plot zeigt drei Messungen an Andalusitsteinen, gebrannt bei drei unterschiedlichen Temperaturen: 1430 °C, 1470 °C und 1510 °C. Bei ca. 1425 °C erreichen alle Probenkörper ihre maximale Ausdehnung. Nach Korrektur der Probenausdehnung mittels Kalibrierkurve errechnet die Software aus den RUL-Tests die charakteristischen Temperaturen $T_{0,5}$, T_1 und T_2 , wo Schrumpfungen von 0,5 %, 1 % oder 2 % nach der maximalen Ausdehnung erreicht werden. Der Einfluss der Brenntemperatur wird durch die Druckerweichungsmessung deutlich aufgezeigt.



RUL-Verhalten von Andalusitsteinen (ca. 65 % Al_2O_3), gebrannt bei drei unterschiedlichen Temperaturen; Prüfbedingungen: 0,2 N/mm², 5 K/min, statische Luft

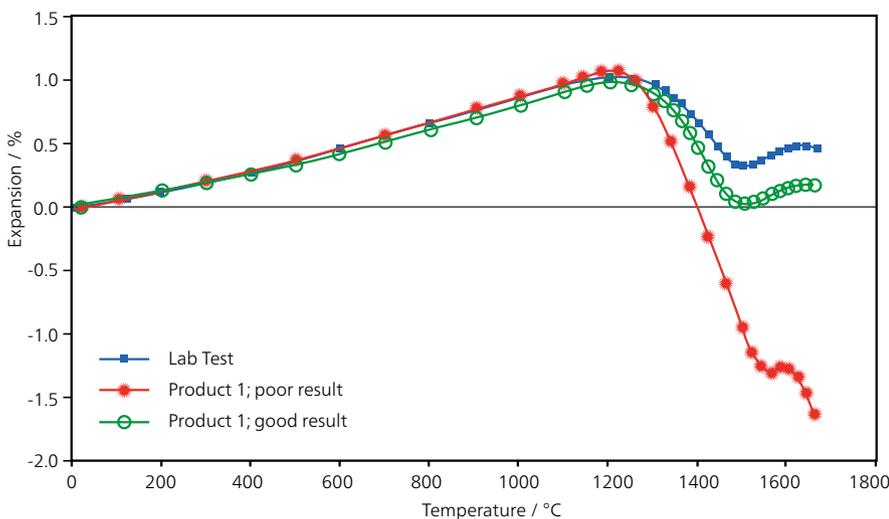




CIC-Verhalten von Andalusitsteinen (ca. 65 % Al_2O_3), gebrannt bei drei unterschiedlichen Temperaturen; Prüfbedingungen: 0,2 N/mm², 5 K/min, statische Luft, 25 h bei 1425 °C

Druckfließen (CIC) von Andalusitsteinen

Für die CIC-Tests wurden die bei unterschiedlichen Temperaturen gebrannten Probenkörper aus den Andalusitsteinen verwendet. Im Gegensatz zu RUL-Tests, in denen bereits zu Beginn der Messung eine Last aufgebracht wird, wird bei den CIC-Tests erst bei Erreichen der Temperatur (hier 1425 °C) die Probe definiert belastet. Dieser Plot zeigt temperaturskaliert das Fließen der Probe bei konstanter Temperatur. Das Heizsegment ist hier nicht dargestellt.

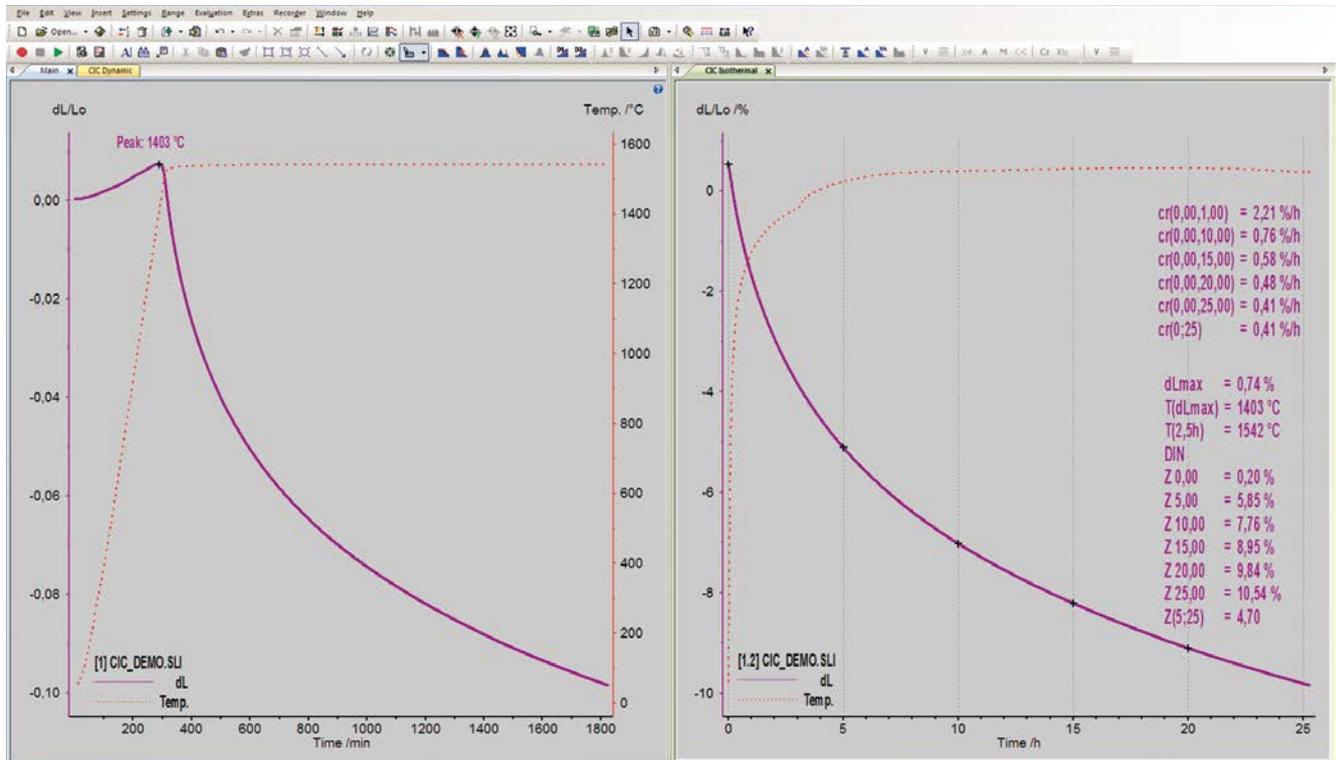


RUL-Test als Qualitätskontrolle an Fertigbauteilen

Qualitätskontrolle von feuerfestem Beton mittels RUL-Tests

Feuerfester Beton wird mit Wasser gemischt und dann entweder durch Gießen oder Pumpen fertiggestellt. Feuerfester Beton muss exakt nach den Anweisungen des Produktherstellers vorbereitet werden. Feldversuche haben gezeigt, dass das hier mittels roter Kurve vorgestellte Produkt unsachgemäß gehandhabt wurde. Das abweichende Schrumpfverhalten (im Vergleich zu den blauen und grünen Kurven) kann Produktfehler im Endprodukt verursachen.

RUL/CIC 421 Software



Modernste Software einschließlich verschiedener Auswerterroutinen

- Grafische und tabellarische Ausgabe der Ergebnisse berechnet nach ISO/DIN
- Korrektur der gemessenen Daten mittels Kalibrierkurven
- Bestimmung charakteristischer Daten gemäß Benutzervorgaben
- Automatische Erkennung des Erweichungspunktes
- Ableitung der Kurven für die Bestimmung von temperatur- oder zeitabhängigen linearen Ausdehnungsraten
- Möglichkeit zur Temperatursteuerung (max. 96 isotherme oder dynamische Temperaturprogrammstufen)
- Darstellung der gemessenen Werte, temperatur- oder zeitskaliert für RUL und zeitskaliert für CIC
- Bestimmung des absoluten Maximums im Längenausdehnungsspektrum (RUL)
- Bestimmung der Proben temperatur 2,5 h nach Beginn der isothermen Phase (CIC)
- Bestimmung relativer Längenänderungen zu vorgegebenen Zeiten
- Berechnung von Kriechraten in vorgegebenen Zeitintervallen
- Simultane Analyse von bis zu 8 Kurven/Temperatursegmenten (Kurvenvergleich)
- Berechnung einzelner Werte der physikalischen oder technischen Ausdehnungskoeffizienten
- Berechnung und grafische Darstellung der 1. und/oder 2. Ableitung, Peakbestimmung

Technische Eckdaten

Die *Proteus*[®]-Software des RUL/CIC 421 unter Windows[®] erlaubt vollautomatischen Versuchsablauf, Datenerfassung, Speicherung sowie offline-Auswertung.

- Halbautomatische Routinen zur Bestimmung von Reaktionsschritten wie extrapoliertes Onset, Wendepunkt, Peak, Peakende
- Ausgabe oder ASCII-Dateiexport der korrigierten Messdaten
- Grafikexport
- Datenübertragung der Probenlänge von externem Messgerät (Option)

RUL/CIC 421 E/6	
Temperaturbereich	RT bis 1700 °C
Heizelemente	4 Super-Kanthal 1800
Prüfatmosphäre	Luft statisch; optional inertes Spülgas
Sicherheitsabschaltung	Bruch des Probenkörpers
Probenkörper	Ø 50 mm, Höhe 50 mm
Lastbereich	1 N bis 1000 N; in Schritten von 1 N bis 100 N
Max. Belastung	0,5 N/mm ²
Messbereich	20 mm; Auflösung 4.000.000 Schritte
Messsystem	Differenzmesssystem
Digitale Auflösung	5 nm
Thermoelemente	Typ B
Elektrische Versorgung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektronik : 230 V/10 A/50 Hz ▪ Ofen: 230 V/70 A/50 Hz; max. 15 kW
Abmessungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Messteil: ≈ 1200 mm x 610 mm x 2400 mm ▪ Steuerschrank: 562 mm x 555 mm x 1183 mm
Gewicht	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Messteil: ≈ 480 kg ▪ Steuerschrank: ≈ 220 kg

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