

NETZSCH

Proven Excellence.



DEA 288 *Ionic* – Dielektrische Analyse des Aushärteverhaltens

Methode, Technik, Applikationen

Analyzing & Testing

DEA 288 *Ionic*

Eine neue Welt zur Untersuchung des Vernetzungsverhaltens

Eindeutige Bestimmung des Aushärteverhaltens

Die dielektrische Analyse (DEA), auch als dielektrische Thermische Analyse (DETA) bekannt, ist eine Methode zur Untersuchung des Aushärtezustands von Duromeren, Klebstoffen, Lacken, Verbundwerkstoffen und anderen Arten von Polymeren oder organischen Substanzen durch Messung der Änderungen ihrer dielektrischen Eigenschaften.

DEA ist die leistungsfähigste Messtechnik für die kritische, unsichtbare In-Mold-Härtung, die die Qualität eines Bauteils maßgeblich bestimmt.





DEA 288 *Ionic*: portable Version (links) und Rack-Version (rechts)

Vorteile der DEA

Kundenspezifische Testbedingungen

Die DEA 288 *Ionic* ist als im Prozess einsetzbare "Rack"-Version oder als universelle "portable" Version lieferbar. Für Laboruntersuchungen steht verschiedenes Zubehör zur Verfügung:

- Labor-Ofen, kombinierbar mit UV-Lichtquelle
- Feuchtekammer und Laborpresse zur Schaffung von Prozessbedingungen

Entwickelt für eine komfortable Probenhandhabung

Es bedarf keiner speziellen Probenvorbereitung, wie es oftmals bei anderen Messtechniken erforderlich ist. Durch die große Auswahl verschiedener Sensoren lässt sich nahezu jede praktische Anwendung nachstellen:

- Sprühbeschichtung dünner Filme
- Auftragung mittels Rakel
- Aufstreichen von Materialien mit niedriger oder mittlerer Viskosität
- Positionierung des Sensors zwischen den Prepreg-Schichten
- Eintauchen des Sensors in eine Flüssigkeit
- Überwachung des Aushärteverhaltens während des Prozesses

Ihr Nutzen

Entwicklung verbesserter Rezepturen

Oft erreichen Polymere ihr volles Leistungspotential erst, wenn sie mit aktiven Additiven kombiniert werden. Solche Additive dienen dazu, die Morphologie oder die Polymerarchitektur gezielt einzustellen. Mit der DEA 288 *Ionic* lässt sich die Wirksamkeit von Beschleunigern, Inhibitoren und Antioxidantien ebenso schnell und zuverlässig messen wie der Einfluss von z. B. Füllstoffen. Diese Ergebnisse können das Streben nach kürzeren Entwicklungsprozessen vorteilhaft vorantreiben.

Bestimmung der idealen Prozessparameter

Die DEA 288 *Ionic* wurde ursprünglich speziell für den Einsatz in Laboratorien entwickelt – im industriellen wie im akademischen Bereich (siehe Seite 6). Dieselben Geräte und Sensoren können jedoch heute auch in Fertigungsumgebungen verwendet werden. Somit ermöglicht die DEA 288 *Ionic* die Übertragung von im Labor entwickelten Parametern direkt in die Produktion.

Folgende Prozessparameter können bestimmt werden:

- Viskosität
- Gelpunkt
- Aushärteverhalten

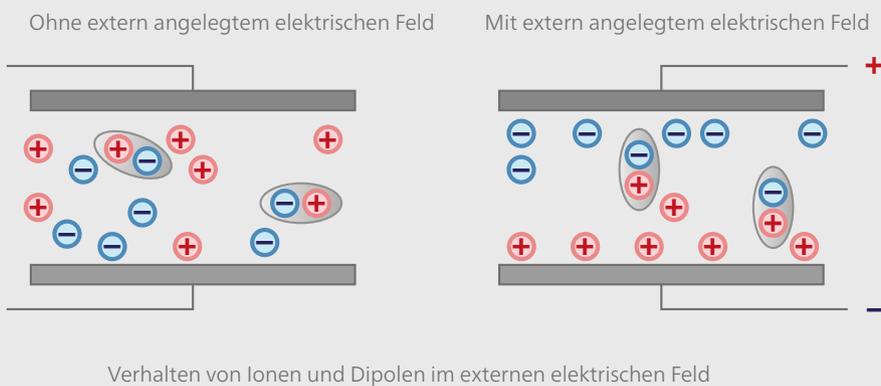
Informationen aus DEA-Messungen

- Aushärtegrad
- Gelpunkt
- Fließverhalten
- Reaktivität
- Vernetzungsverhalten
- Diffusionseigenschaften
- Glasübergangstemperatur
- Prozesskontrolle und -optimierung
- Alterung
- Zersetzungseffekte

DIE METHODE

Dielektrische (Thermische) Analyse

DEA- (oder DETA-) Technik



Funktionsprinzip

Das Funktionsprinzip entspricht dem einer Impedanzmessung. In einer typischen Messung wird eine Probe in direktem Kontakt mit zwei Elektroden (dem dielektrischen Sensor) gebracht. Durch Anlegen einer sinusförmigen Spannung wird eine Bewegung der Ladungsträger erzwungen: Positiv geladene Teilchen wandern zum negativen Pol und umgekehrt. Diese Bewegung hat einen sinusförmigen Strom mit einer Phasenverschiebung zur Folge.

Im Frequenzbereich der DEA 288 *Ionic* (bis 1 MHz) sind die Ladungsträger hauptsächlich Ionen, die oft

Ergebnisse

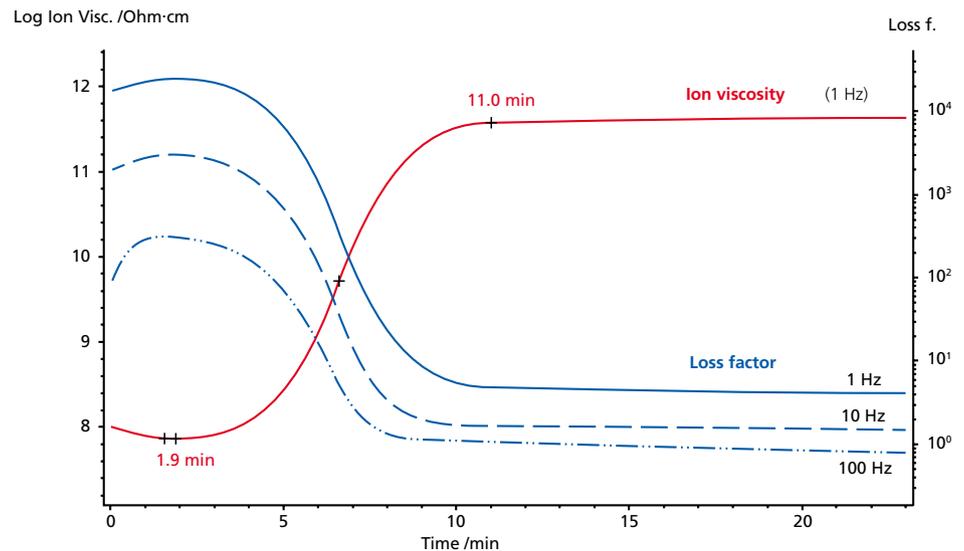
Ein durch eine Anregungsspannung generiertes äußeres elektrisches Feld wird auf die Probe und das Antwortsignal aufgebracht und das Antwortsignal, das als Strom durch das Material auftritt, wird gemessen. Durch Anordnung der Dipole bewegen sich die Ionen zur gegensätzlich geladenen Elektrode, was an ϵ' bzw. ϵ'' zu sehen ist. Basierend auf der Probencharakterisierung wird eine Zeitverschiebung zwischen Anregung und Antwortsignal detektiert, was zusammen mit Spannung und Strom die Berechnung der dielektrischen Größenordnungen erlaubt.

Im Detail erhält man Informationen über:

- Fließverhalten
- Reaktivität
- Aushärtvorgang

Anwendungsbereiche

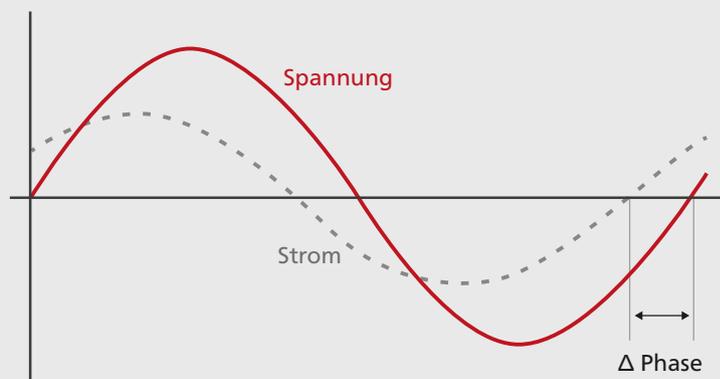
- Forschung
- Prozessentwicklung
- Prozesskontrolle
- Qualitätskontrolle/-sicherung



Verlustfaktor und Ionenviskosität zeigen den Aushärtvorgang eines 2-K-Epoxy-Klebstoffs bei Raumtemperatur. Die minimale Viskosität ist nach 1,9 min und das Ende der Aushärtung nach 11 min erreicht. Das beste Fließverhalten wird bei dem geringsten Viskositätswert nach 1,9 min erreicht, der Aushärtprozess ist nach 11 min beendet. Der Anstieg der Ionenviskositätszunahme ist die Reaktivität während des Aushärtprozesses.

in Form von Katalysatoren oder Verunreinigungen auftreten; im elektrischen Feld kommt es jedoch auch zur Ausrichtung von Dipolen.

Die Amplituden- und Phasenverschiebung des Antwortsignals ist abhängig von der Beweglichkeit der Ionen und Dipole. Dies macht die dielektrische (thermische) Analyse zur idealen Methode für die Untersuchung des Vernetzungsverhaltens. Mit fortschreitender Aushärtereaktion wird das Probenmaterial viskoser. Die Mobilität der Ladungsträger verringert sich, wodurch die Amplitude im resultierenden Signal abnimmt und die Phasenverschiebung ansteigt.



DEA – Messprinzip

EIGENSCHAFTEN

- *Modulares Design*
- *Simultane Mehrkanalmessungen*
- *Hohe Datenerfassungsrate*
- *Modernste Technologie*



DEA 288 Ionic, Rack-Version

Spitzentechnologie – Der Maßstab in der Prozesskontrolle

Die zwei Versionen der DEA 288 Ionic:

Portable Version

Mit bis zu sieben Kanälen ist diese DEA äußerst flexibel für Ihr tägliches Arbeitsspensum. Sie kann zwischen den unterschiedlichen Messstandorten einfach hin und her transportiert werden.

Rack-Version zur Integration in den Industrieprozess

Die 19"-Rack-Version ist für den Einbau in einen Schaltschrank ausgelegt. Sie unterstützt 8 simultane Messkanäle, die auf bis zu 16 Module erweitert werden können.



DEA Ionic, tragbare Version mit TMCC-Sensor und Adapterbox zum Anschluss aller Einwegsensoren

Die DEA 288 *Ionic* deckt einen großen Bereich an Messfrequenzen (von 1 mHz bis 1 MHz) für die genaue Bestimmung der Änderungen der dielektrischen Eigenschaften während einer Reaktion ab. Mit der geringen Datenerfassungszeit von weniger als 5 ms sind die Geräte auch für extrem schnell aushärtende Systeme, wie z. B. UV-Aushärtung, geeignet.

Alle Versionen sind für den Anschluss von Thermoelementen (separat oder im DEA-Sensor integriert) oder RTDs (Resistive Temperature Detectors) vorbereitet, um Temperaturwerte zusammen mit den dielektrischen Daten zu erfassen. Jeder Kanal hat seinen eigenen Eingang.

Technische Eckdaten

DEA 288 <i>Ionic</i>	
Frequenzbereich	1 mHz bis 1 MHz, frei wählbare Werte
Datenerfassung	Multiple DEA-Module; echter simultaner Betrieb aller Kanäle
Minimale Datenerfassungszeit	< 5 ms
Sensorverbindung	Abgeschirmte 4-Kabel-Technik (Kompensation von Widerstand und Kapazität des Kabels als Voraussetzung für präzise Messungen)
DEA-Module	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tragbare Version: Universal-Version, bis zu 7 Kanäle ■ Industrie-Version für den Einbau in ein Rack, bis zu 8 Kanäle (Erweiterungsmöglichkeit auf bis zu 16 Kanäle)
I/O-Ports	Ein- und Ausgang von Messsignalen oder Signalen von Peripheriegeräten, wie Druck- oder Temperatursensoren. DEA empfängt Trigger-Signal von Produktionsmaschine.

Kalibrierstecker zur automatischen Justierung der Elektronik



Adapterbox – schnelle, einfache und zuverlässige Verbindung aller Einwegsensoren, Thermoelemente oder RTD-Sensoren

DEA 288 *Ionic*

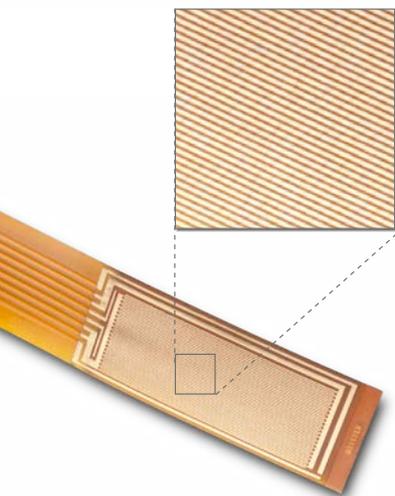
Hebt Ihren Prozess auf ein neues Niveau an

Hohe Flexibilität

FÜR JEDE APPLIKATION HOCHAUFLÖSENDE UND VIELSEITIGE SENSOREN



Wiederverwendbare, beschichtete TMC (In-Mold-Anwendungen)-Elektrode für In-Mold-Anwendungen



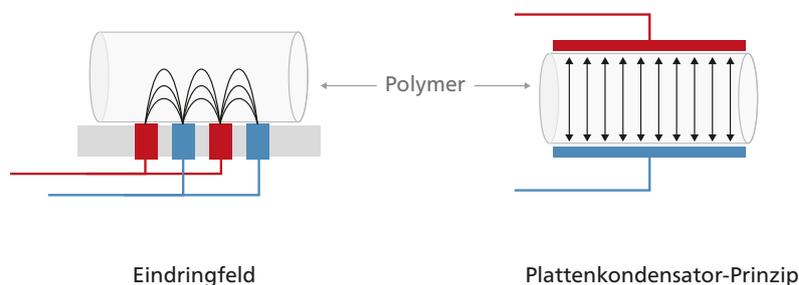
Sehr robuster Einweg-Standard-Sensor (IDEX) mit Kammstruktur, 115 µm Elektrodenabstand

Für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche in der Polymertechnik bietet NETZSCH eine große Auswahl an dielektrischen Einweg- und wiederverwendbaren Sensoren. Letztere können zum Beispiel fest in die Presse, ins Werkzeug oder sogar in einen DMA- und Rheometer-Probenhalter eingebaut werden.

Einwegsensoren sind für den einmaligen Gebrauch bestimmt und werden an die gewünschten Stellen in einem Werkzeug gesetzt oder einfach mit dem Probenmaterial beschichtet. Ein typisches Beispiel hierfür ist der IDEX- (interdigitated electrode) Sensor.

Die meisten Sensoren bestehen aus zwei ineinandergreifende Kammelektroden auf einem inerten Substrat. Durch das in die Probe eindringende Feld sind sie zur lokalen Messung der dielektrischen Eigenschaften von Probenbereichen und -schichten geeignet, die in direktem Kontakt mit dem Sensor stehen. Die Eindringtiefe der elektrischen Feldlinien entspricht ungefähr dem Elektrodenabstand.

Die wiederverwendbaren Sensoren mit plan-paralleler Plattenelektroden-Anordnung eignen sich besonders zur Messung von voluminösen Proben (Messungen an Bulkmaterialien). Dabei kann der Monotrode-Sensor als eine der beiden Platten fungieren. Das Gegenstück kann beispielsweise die entsprechende geerdete Metallabdeckung des Formwerkzeugs sein. Ist kein Formteil vorhanden oder ist die Probe zu dick, agiert das Sensorgehäuse als zweite Elektrode.



Verlauf der Feldlinien in Kammsensoren (links) und Sensoren (mit parallelen Plattenelektroden (rechts))

Zur optimalen Anpassung an unterschiedlichste Formteilgeometrien bietet NETZSCH sowohl werkzeuginintegrierbare Monotroden als auch Fingerelektroden mit verschiedenen Durchmessern an. Die Sensoren haben ein integriertes Thermoelement, sind druckbeständig bis 300 bar und halten permanenten Temperaturen von 300 °C stand.

Robuste Verkabelungen (> 20 m; theoretisch von unbegrenzter Länge) ermöglichen auch die Messung von Proben, die sich weiter entfernt vom DEA-Gerät befinden, z. B. für prozessbegleitende Prüfungen.



Im Werkzeug eingebauter TMCC (Coated Tool Mountable Comb)-Sensor

Spezifikation der zahlreichen Sensortypen

Sensortyp	Messbereich des Sensors	Max. Temperatur	Elektroden-Abstand	Anwendungsbereich	
Micron-Sensor (MS)	2,5, 26 oder 70 mm ²	200 °C oder 350 °C*	1, 5 oder 25 µm	Lacke, Tinten, Klebstoffe	
Mini-IDEX (Interdigitated Electrode)	33 mm ²	275 °C	100 µm	Alle Harze (kleine Kavitäten)	
IDEX (Interdigitated Electrode)	233 mm ²	200 °C oder 275 °C*	115 µm	Alle Harze (Epoxid, Polyester PES, PUR usw.)	
IDEX, gefiltert	233 mm ²	200 °C oder 275 °C*	115 µm	Kohlefaserverstärkte Polymere (CFRP)	
Tool Mountable Monotrode (TMM)	13 mm ² , 79 mm ² , 707mm ²	220 °C	–	Spezielle für SMC/BMC, PUR-Schäume	
Tool Mount Sensor (TMS)	214 mm ²	220 °C	500 µm	Alle Harze (EP, PES, PUR usw.)	
Coated Tool Mountable Comb Electrode (TMCC)	254 mm ²	220 °C	500 µm	Alle Harze, Verbundwerkstoffe und weitere Polymere mit elektrisch leitenden Füllstoffen	

* abhängig von der Verkabelung des Sensors

Intelligentes Zubehör

AUS DEM LABOR
IN DEN PROZESS

Maßgeschneiderte
Testbedingungen

Zur zuverlässigen Simulation von
Prozessen im industriellen Maßstab
bietet NETZSCH eine Reihe von
DEA-Zubehör an, wie den Labor-
Ofen mit Kühlung, Laborpresse
und eine UV-Lampe für schnelle
Aushärtereaktionen.



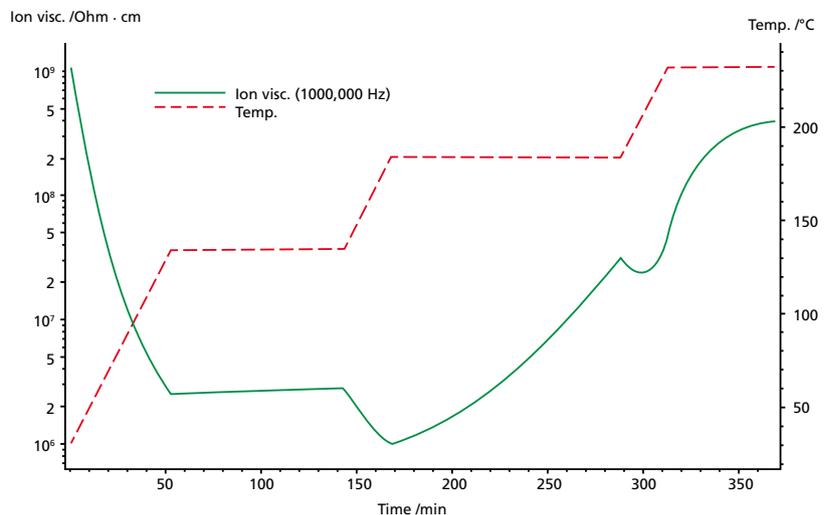
DEA 288 Ionic mit Zubehör

LABORPRESSE

Die Laborpresse kann gleichzeitig Wärme und Druck auf die Probe aufbringen, womit Labortests an Sheet Moulding Compounds (SMCs), Bulk Moulding Compounds (BMCs) und Prepregs in einer Umgebung ermöglicht werden, die den Verarbeitungsbedingungen entspricht. Die Probe befindet sich entweder direkt zwischen den Platten (einschließlich DEA-Sensor) oder optional in einem separaten Formwerkzeug, welches mit einem Monotrode- oder TMS-Sensor ausgestattet ist. Das Temperaturprogramm der Presse wird über die NETZSCH-Proteus®-Software von Raumtemperatur bis 350 °C gesteuert. Die aufzubringende Kraft kann maximal bis zu 10 kN betragen.

MULTIFUNKTIONALER LABOR-OFEN

Mit dem einfach zu bedienenden Labor-Ofen sind Aufheiz-, Isotherm- oder Abkühlsegmente im Temperaturbereich von -140 °C bis 400 °C bei Verwendung von bis zu zwei IDEX (oder MS)-Sensoren oder eines TMS-Sensors möglich. Die Abkühlung erfolgt mit Druckluft oder Flüssigstickstoff (LN₂). Zur Erzeugung einer definierten Gasatmosphäre können zwei Spülgase (über Magnetventile) zugeführt werden. Über einen Lichtleiter lässt sich zusätzlich eine UV-Lampe anschließen.



Mehrstufige Temperatursegmente realisiert mittels DEA-Ofen

UV-LAMPE

Das DEA 288 Ionic-System unterstützt die OmniCure S2000 UV-Lampe zur Untersuchung lichtindizierter Reaktionen, wie die Aushärtung von Klebstoffen, Tinten oder Lacken. Dauer und Intensität der UV-Bestrahlung werden durch die NETZSCH-Proteus®-Software gesteuert. Mehrfachbelichtungen sind in allen Segmenten möglich. Der Lichtleiter der UV-Lampe ist mit dem Labor-Ofen verbunden.

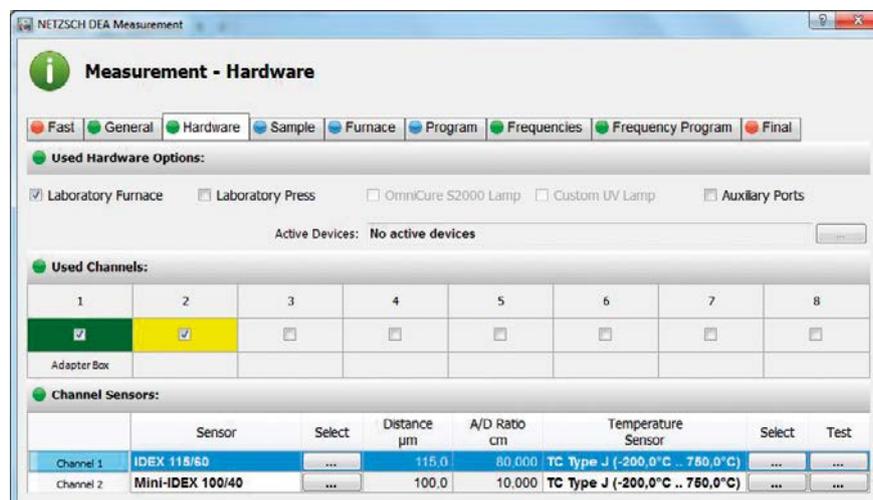
Proteus®-Software

Leistungsstark und dabei einfach zu bedienen

Umfassende Mess- und Auswertesoftware

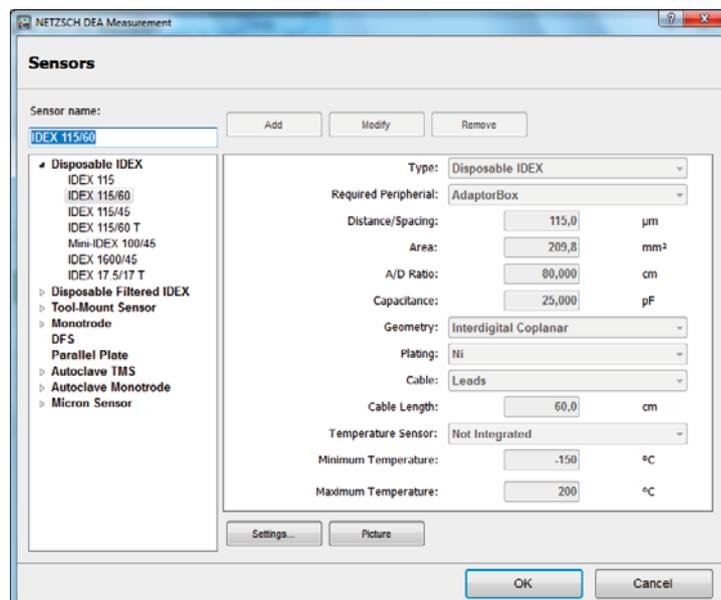
Die Mess-Software bietet dem Anwender eine moderne, anwenderfreundliche Benutzeroberfläche. *Proteus®* ist mit einem Eingabeassistenten zur schnellen und bequemen Programmierung aller relevanten Messparameter ausgestattet. Farblich gekennzeichnete Reiter erleichtern die Dateneingabe und stellen sicher, dass kein wichtiger Parameter vergessen wird – unabhängig davon, ob es sich um Informationen über die Probe, das Temperatur-/Zeitprogramm oder die gewünschten Frequenzen handelt.

Segmente (Zeit, Temperatur, Frequenz) können während der laufenden Messung angepasst werden. Darüber hinaus kann ein Snapshot zur Analyse der bis zu diesem Zeitpunkt aufgezeichneten Daten erstellt werden.



Die Kommunikation mit bestimmtem Zubehör kann durch einfachen Klick aktiviert werden. Die NETZSCH-*Proteus®*-Software steuert die Temperaturprofile des Labor-Ofens und die Triggerung der UV-Lampe.

Benutzeroberfläche zur Programmierung einer Testreihe



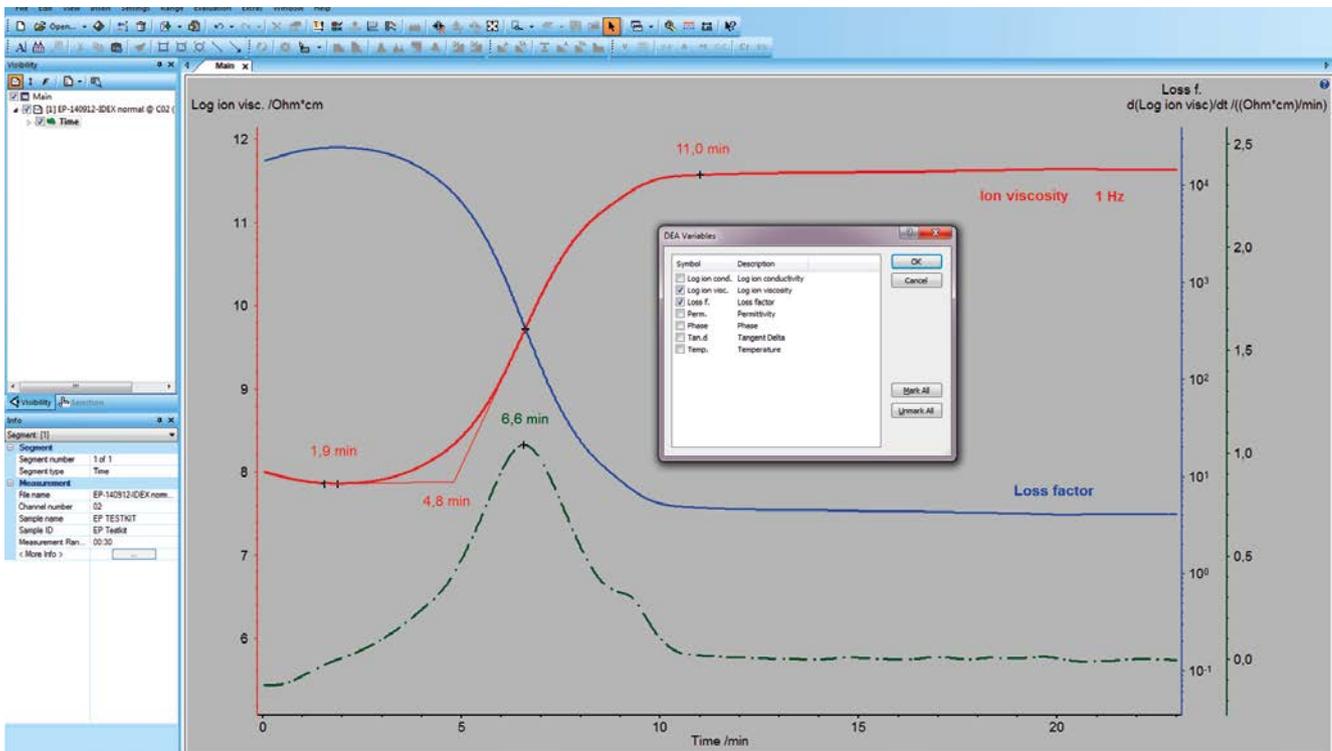
Die gewünschten Kanäle lassen sich durch Anklicken des entsprechenden Kontrollkästchens auswählen. Aktive Kanäle werden in Grün dargestellt.

Bequeme Wahl des passenden Sensors; die Software enthält eine vollständige Liste aller verfügbaren Sensoren einschließlich ihrer technischen Spezifikationen. Wichtige Parameter, wie Elektrodenabstand oder A/D-Verhältnis (Verhältnis zwischen Fläche und Abstand) werden zusammen mit dem Sensortyp eingestellt. Zusätzlich können Sensoren vom Benutzer definiert werden.

Die bewährte *Proteus*®-Software gestattet eine umfassende Auswertung der Messergebnisse. Sie vereinfacht die Eingabe von Messparametern und bietet Routinen zur Datenerfassung und -auswertung mit maximaler Flexibilität an.

Allgemeine Software-Eigenschaften

- DEA-Variable: Ionenviskosität, Ionenleitfähigkeit, Verlustfaktor, Permittivität, $\tan\delta$ als Funktion der Zeit/Temperatur
- Multimethoden-Plot – umfassende Darstellung und Auswertung von z. B. DEA-, DSC- und DMA-Kurven in einer einzigen Grafik
- Bild-in Bild (PIP), 3-D-Plot
- Snapshot zur Auswertung einer laufenden Messung
- Bestimmung der charakteristischen Werte wie Peak oder extrapoliertes Onset/Endset, 1. Ableitung einer einzelnen Kurve oder von Kurvenscharen, Aushärtegrad in Prozent, Umsatzkurve, Stufenwert
- Vergleichende Analyse von bis zu 64 Kurven oder Segmenten aus der gleichen oder verschiedenen Messungen
- Aufbewahrung der Rohdaten – Original-Messdaten sind stets verfügbar
- Daten- und Grafikexport
- Software aktiviert die Kommunikation mit dem Zubehör per Mausclick, regelt das Temperaturprofil des Labor-Ofens und der Laborpresse und aktiviert die UV-Lampe



Screenshot der Analyse-Software



Verschiedene Applikationen

Fertigungsbegleitende Charakterisierung eines Sheet Molding Compounds (SMC)

Als SMC (Sheet Molding Compound) bezeichnet man sowohl einen verstärkten Verbundwerkstoff als auch einen spezifischen Prozess.

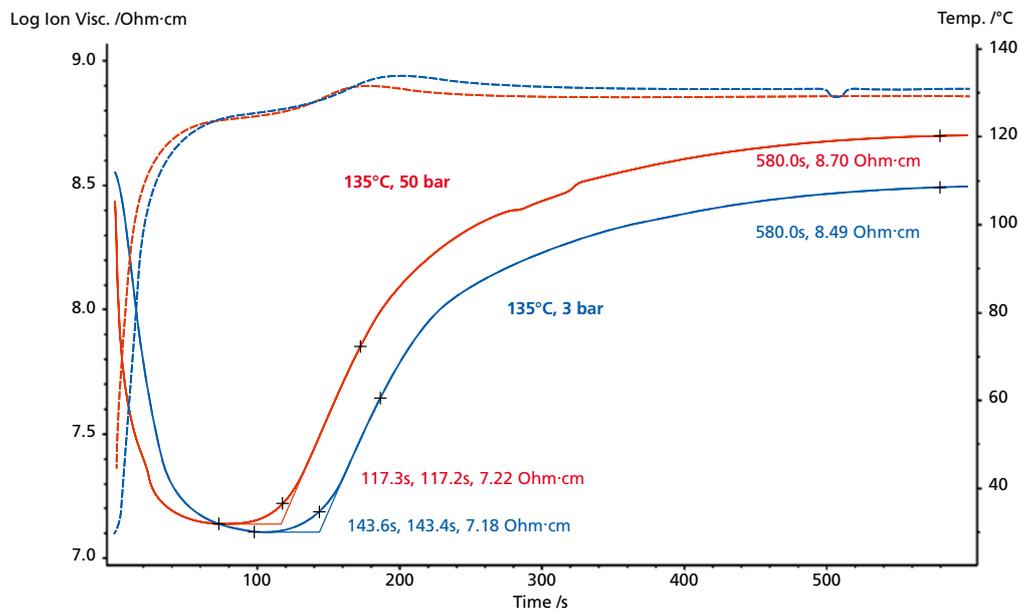
Ein Faser-Matrix-Halbwerkzeug, bestehend aus einem Harz (meist Polyester oder Vinylesterharze), Kurzglasfasern, mineralischen Füllstoffen und Additiven, unterliegt einem Formpressverfahren und härtet unter erhöhter Temperatur und Druck aus. Die Eigenschaften von SMCs sind in der europäischen Norm EN 14598 beschrieben.

SMC-Teile werden in großen Mengen in der Autoindustrie, z. B. als Spoiler oder Heckklappen, eingesetzt, sind jedoch auch in der Luftfahrt, auf dem Elektro-/Elektronik-Sektor, in der Bauindustrie und im Hobby- und Freizeitbereich (z. B. Sportgeräte) zu finden.

Vorteile von SMC-Materialien

- Entwicklung komplexer Designs möglich (ähnliche thermische Ausdehnung wie Stahl)
- korrosionsbeständig
- lackierfähig
- ökonomisch
- geringes Gewicht

Besonders für Autohersteller ist ein geringes Gewicht von großem Interesse, da SMC-Teile 20 % bis 30 % leichter sind als ihre Pendanten aus Stahlblech, was für Leichtbaulösungen unerlässlich ist.



Vergleich der DEA-Ergebnisse zweier SMC-Proben; durchgezogene Linie entspricht der logarithmischen Darstellung der Ionenviskosität, gestrichelte Linie der Temperatur. Der Temperaturanstieg nach ca. 200 s kann auf die während der Aushärtung erzeugte Wärme zurückgeführt werden. Die gekennzeichneten Ionenviskositäten betragen in linearer Skalierung $0.15E+08$ und $3.1E+08$ Ohm-cm für die Messung bei 3 bar und $0.17E+08$ und $5.0E+08$ Ohm-cm für die Messung bei 50 bar.

In diesem Beispiel wurden zwei SMC-Teile in einer Presse in einem Versuchswerkzeug mit Monotrode-Sensor bei 135 °C bei zwei verschiedenen Drücken untersucht: 3 bar (blaue Kurven) und 50 bar (rote Kurven). Die Probendicken betragen ca. 5 mm und die Messfrequenz für jeden Test 1000 Hz.

Es ist klar ersichtlich, dass die Aushärtung bei höherem Druck schneller erfolgt. Die extrapolierte Onsettemperatur, die ein Hinweis auf die Bearbeitungszeit vor Beginn des Aushärteprozesses ist, tritt in der Messung bei 50 bar (rote Kurve) 27 Sekunden (ca. 20 %) früher auf. Verglichen mit dem Test bei 3 bar weist die Kurve eine höhere Ionenviskosität (ca. 60 %) nach 580 s auf. Diese Ergebnisse sind ausschlaggebend für die Prozessoptimierung.



Echtzeit-Analyse des UV-Aushärteverhaltens

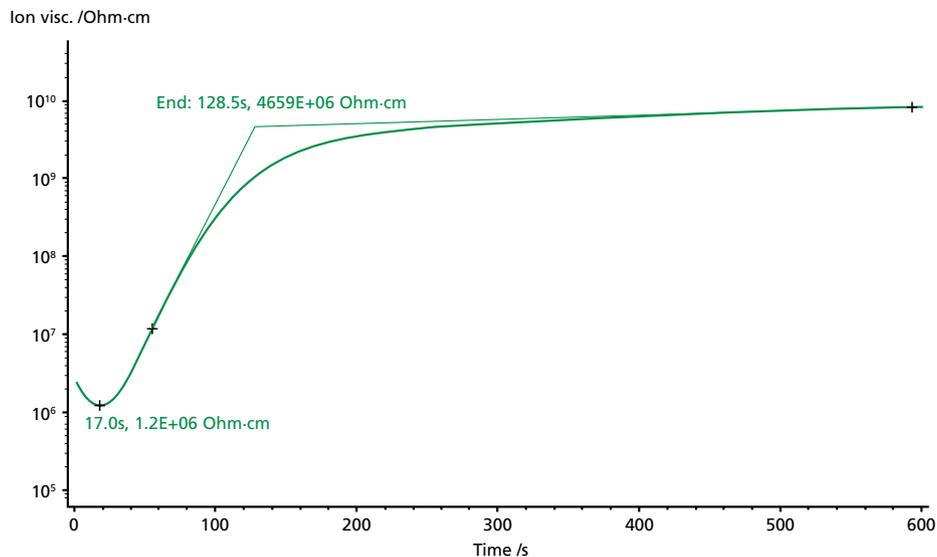
Die lichtinduzierte Aushärtung von Lacken, Tinten, Klebstoffen, Vergussmassen und Verbundwerkstoffen ist eine noch relativ neue Technologie, die jedoch an Bedeutung gewinnt. Sie wird zunehmend in der Automobilindustrie, in der Elektronik, in der Medizintechnik, in der metallverarbeitenden Industrie sowie im Maschinen- und Anlagenbau eingesetzt.

Charakteristisch für die UV-Aushärtung ist, dass die Reaktion innerhalb kürzester Zeit – üblicherweise in Sekunden – verläuft. Somit kann zum Beispiel die Weiterverarbeitung und Qualitätskontrolle von beschichteten Teilen unmittelbar erfolgen.

Zusätzlich sind UV-Lacke, Druckfarben und Klebstoffe lösemittelfrei und daher umweltfreundlich.

Insgesamt gibt es drei verschiedene Arten von Aushärtesystemen:

- Radikalisch härtende Systeme
- Kationisch härtende Systeme
- Dual härtende Systeme (thermische und UV-Aushärtung in einem System)



DEA-Messung an einer UV-härtenden Dichtmasse auf Basis eines modifizierten Epoxidharzes

Die Grafik zeigt die UV-Aushärtung einer flexiblen Dichtmasse, die zum Schutz organischer LEDs (OELDs) und Solarzellen eingesetzt wird. Das Einkomponenten-EP-Harz wurde als dünner Film mit einer Dicke von 200 μm auf den IDEX-Sensor aufgetragen und im Labor-Ofen platziert. Zur UV-Aushärtung wurden die Lichtleiter der UV-Lampe am Ofen angeschlossen.

Die Belichtung wurde mit einer Belichtungszeit von 60 s und einer Intensität von 55 - 60 mW/cm^2 UVA bei Raumtemperatur durchgeführt. Die Frequenz betrug 1000 Hz. Während der UV-Behandlung stieg die Ionenviskosität nach nur 17 s an; der Gesamtanstieg nach ca. 400 s (= ca. 6,7 min) betrug ca. 4 Größenordnungen.

Dieses Ergebnis veranschaulicht, dass DEA auch in der Lage ist, schnelle Reaktionen zu erkennen.



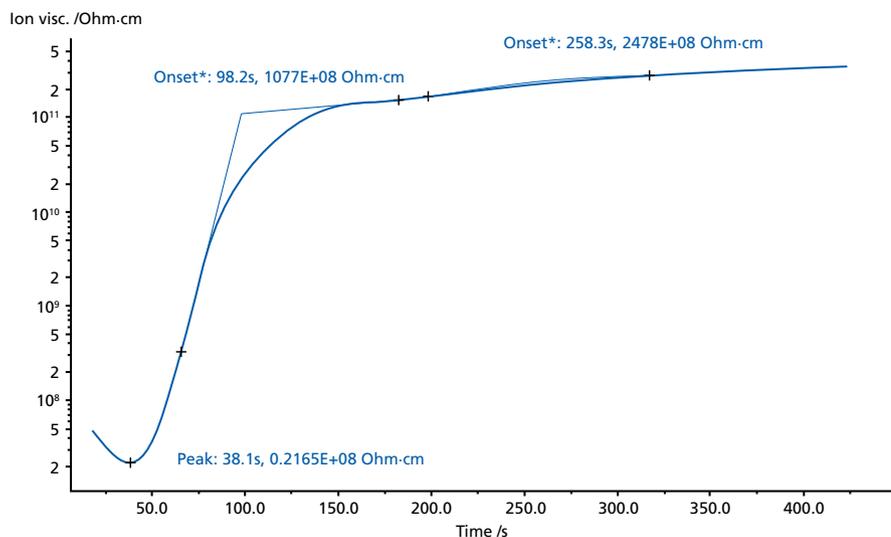
Harzinjektionsverfahren (engl. Resin Transfer Molding, RTM)

Das Harzinjektionsverfahren (RTM) ist ein weiteres geschlossenes Formgebungsverfahren zur Herstellung dreidimensionaler komplexer oder Sandwich-Strukturen (mit z. B. Schaum als Kernmaterial).

Im RTM-Prozess wird eine Mischung aus flüssigem Harz und Katalysator in ein geschlossenes Formwerkzeug eingespritzt, das bereits die trockenen verstärkenden Fasern, wie Matten oder Preforms, enthält. Nach der Aushärtung (bei erhöhter Temperatur und moderatem Druck) wird das Werkzeug wieder geöffnet und das fertige Bauteil entnommen.

Je nach Applikation kann die Verstärkung aus Naturfasern oder Fasern aus Glas, Kohlenstoff oder Aramid bestehen. Typische Harzarten sind Polyester, Vinylester, Epoxid oder Phenol. Die Auswahl von Polymer und Verstärkung bestimmt die mechanischen Eigenschaften und die Oberflächenbeschaffenheit des Formteils.

RTM wird unter anderem häufig in der Automobilindustrie, in Windkraftanlagen, auf dem Bausektor, in der Schiff- und Luftfahrt und im Motorsport eingesetzt. Primäres Ziel hier ist die Leichtbauweise.



DEA -Ergebnis einer Messung an einem CFK-Werkstoff auf Epoxidharz-Basis

In diesem Beispiel wurde ein kohlefaserverstärktes Epoxidharz in einem Werkzeug unter Verwendung einer beschichteten TMCc-Elektrode (Tool-Mountable Comb Electrode) bei 80 °C untersucht.

Wie im Plot dargestellt, findet die Aushärtung in zwei Stufen statt. Die erste Stufe durchläuft mehr als drei Größenordnungen in der Ionenviskosität und erreicht nach ca. 170 s sein erstes Plateau. Eine zweite Aushärtestufe konnte nach 258 s beobachtet werden.

Simultane DEA-DMA und DEA-Rheologie



Probenhalter für simultane DMA-DEA
mit Mini-IDEX-Sensor

Vorteile simultaner Messungen

- Fließverhalten (Rheologie)
- Minimale Viskosität (DEA/Rheologie)
- Gelierung (DMA/Rheologie/DEA)
- Verglasung (T_g) (DMA)
- Reaktivität (Anstieg der DEA-Kurve)
- Ende der Aushärtung (DEA)

Umfassende Materialcharakterisierung durch Kopplung der DEA mit DMA oder Rheologie

Da sich die Konsistenz der meisten Duromere während der Aushärtung vollkommen ändern kann (z. B. von einer Flüssigkeit zu einem steifen Festkörper), gestaltet es sich oftmals schwierig, alle interessanten Details mit nur einer einzigen analytischen Methode zu untersuchen.

Deshalb kann die DEA 288 *Ionic* entweder an den dynamisch-mechanischen Analysator DMA 242 E *Artemis* oder an ein Rheometer, wie das NETZSCH Rotationsrheometer Kinexus, zur Durchführung simultaner DEA-DMA- oder DEA-Rheologie-Messungen gekoppelt werden. Für eine weiterführende Analyse erhält man somit Ergebnisse zweier sich ergänzender Methoden in einer einzigen Messung.

Für DMA-DEA-Messungen wird ein spezieller Kompressions-Probenhalter mit Mini-IDEX-Sensor und DMA-Behälter für flüssige Proben ausgestattet. Während mittels DMA Gelierung und Glasübergang in einem Harz bestimmt werden können, ist die DEA im Bereich minimaler Viskosität und gegen Ende der Aushärtung empfindlicher.

Durch Verknüpfung von dielektrischer (thermischer) Analyse mit Rheologie lassen sich die zugänglichen Frequenzen auf den Bereich von 10^{-3} Hz bis 10^6 Hz erweitern. Dadurch sind Einblicke in die Fließeigenschaften von Harzen, z. B. für das Harzinjektionsverfahren, möglich.

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