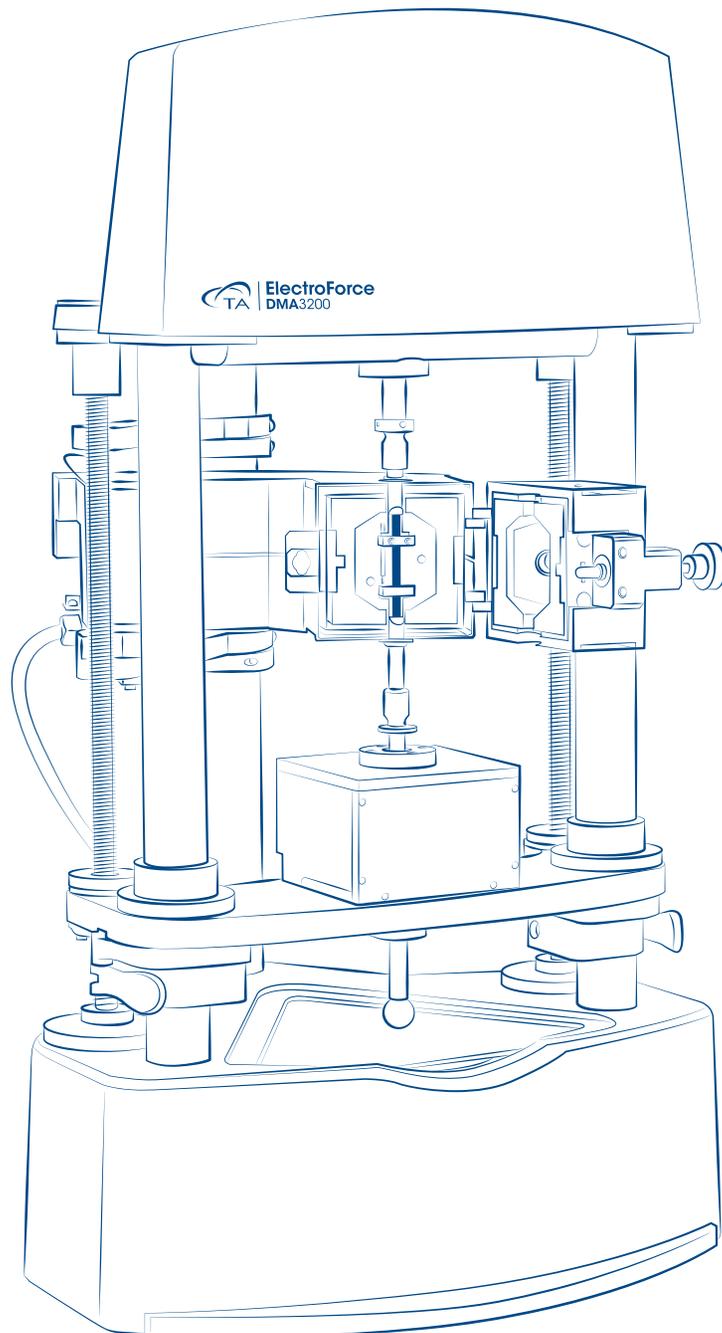


DMA MIT HOHEN KRÄFTEN  
UND ERMÜDUNGSPRÜFUNG  
ELECTROFORCE<sup>®</sup> DMA 3200





In der täglichen Praxis sind Materialien einer Vielzahl an mechanischen Beanspruchungen und Verformungen (Belastungen und Deformationen) unter unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Die mechanischen Eigenschaften werden daher in nahezu jeder Branche, einschließlich in der Luft- und Raumfahrt, bei medizinischen Geräten, im Straßenbau und KFZ-Bereich, bei Elektronik, Biowerkstoffen, Elastomeren, Verbundstoffen sowie in der Lebensmittelindustrie etc., als wichtigste aller physischen und chemischen Materialeigenschaften angesehen.

Aufgrund der zunehmenden Nachfrage nach hochwertigen, leistungsstarken Produkten ist es essenziell wichtig, ein Verständnis für die komplexen viskoelastischen, mechanischen Eigenschaften dieser Materialien zu erhalten, um ihre Eignung für Anwendungen, Verarbeitbarkeit und Endanwendungsleistung zu bestimmen und sicherzustellen. Zwei Instrumente sind besonders wichtig für Wissenschaftler und Forscher, um dieses komplexe mechanische Verhalten von festen und „weichen“ festen Materialien zu verstehen: Ein Dynamisch Mechanischer Analysator (DMA) und ein Ermüdungsprüfsystem. Der DMA ermöglicht Struktur-Eigenschaftsanalysen für unterschiedlichste Materialcharakteristika entlang der Wertschöpfungskette. Die Ermüdungsprüfungen verschaffen wichtige Erkenntnisse über die Festigkeit bei wiederkehrenden Belastungen und verbessern so die Haltbarkeit und Betriebssicherheit des Produkts.

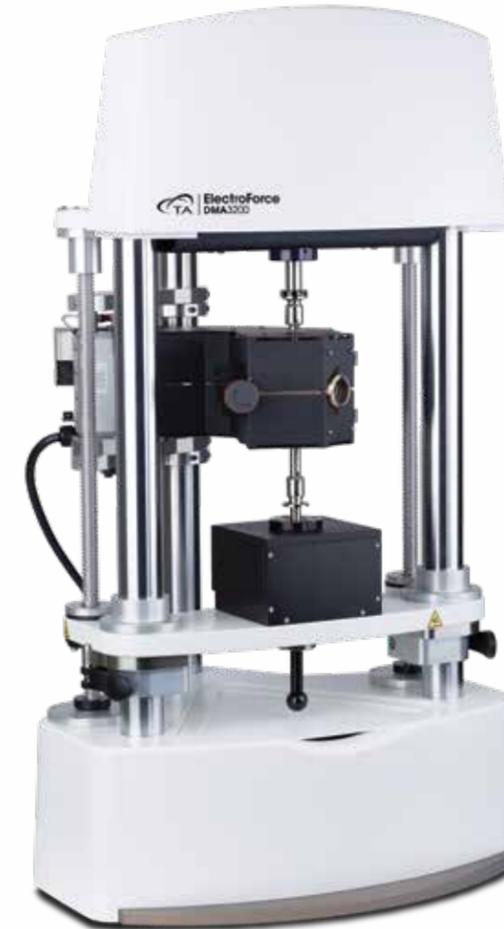
TA Instruments freut sich, den ElectroForce® DMA 3200 vorzustellen: ein leistungsstarkes Hochleistungsmessgerät, das Spitzenleistungen bei **DMA mit hohen Kräften UND bei der Charakterisierung der Ermüdung erbringt und diese in einer einzelnen Plattform vereint**. Nur TA kann die patentierten Linearmotortechnologien mit den weltweit stärksten DMA-Leistungen in einer der vielseitigsten, mechanischen Prüfplattform vereinen, um selbst den anspruchsvollsten Anwendungen gerecht zu werden.

## DMA MIT HOHEN KRÄFTEN & ERMÜDUNGSPRÜFUNG | DMA 3200

Mit dem **DMA 3200** werden jahrzehntelange Erfahrung bei den modernsten Ermüdungsmessgeräten und weltweit führenden dynamisch-mechanischen Analysetechnologien in eine einzigartige und äußerst vielseitige Prüfplattform zusammengeführt. Die patentierte und reibungsarme Motortechnologie **ElectroForce®**, die hervorragende mechanische Konstruktion, die effiziente Umgebungssteuerung und eine große Palette an Klemmsystemen sorgen für ausgezeichnete Datengenauigkeit bei einer Vielzahl an Anwendung.



Das **ULTIMATIVE WERKZEUG** für **UNTERSCHIEDLICHSTE MECHANISCHE PRÜFUNGEN** in einem **EINZELNEN MESSGERÄT**, das **SPITZENLEISTUNGEN BEI DMA** und **ERMÜDUNGSPRÜFUNGEN** ermöglicht



### Merkmale und Vorteile:

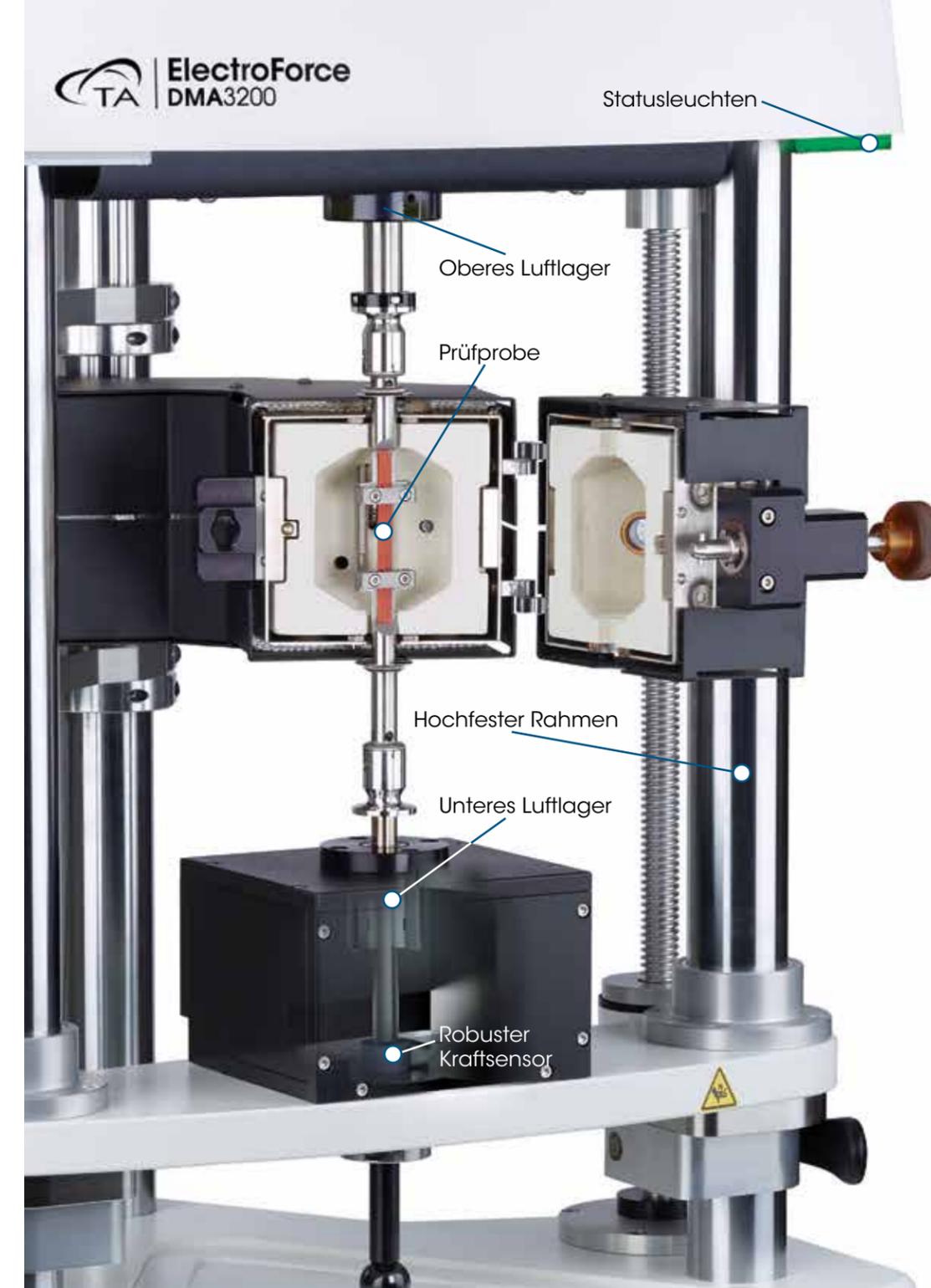
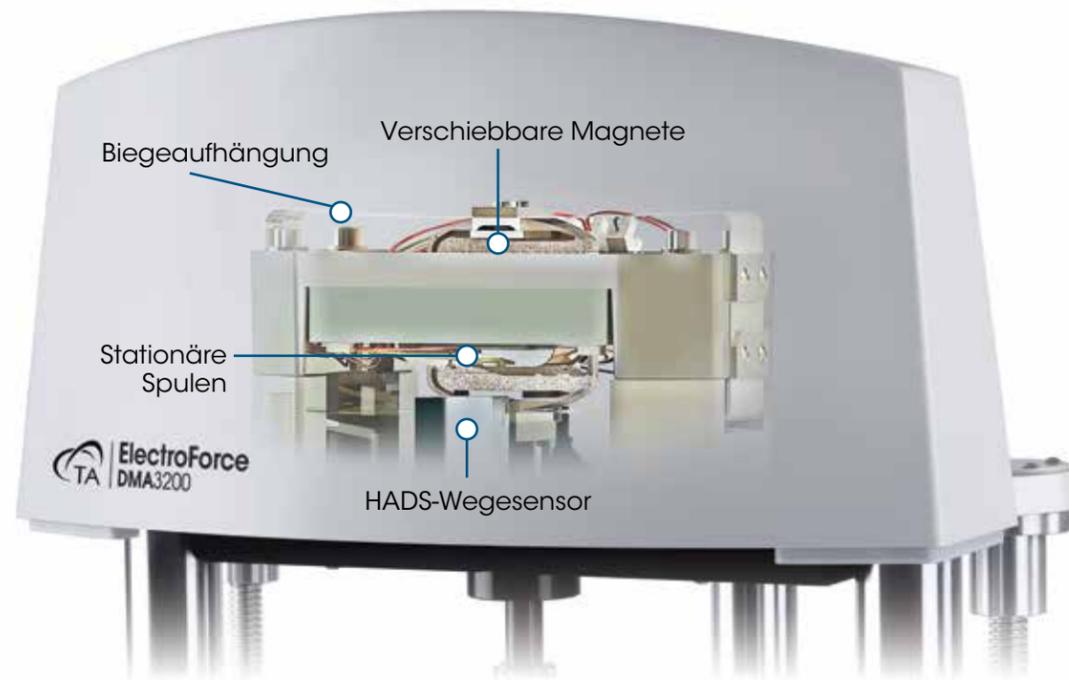
- Patentierter Linearmotor und hochauflösender Wegesensor für eine unübertroffene Kontrolle über weite Bereiche in Bezug auf Kraft, Verformung und Frequenz – bei herausragender Datengenauigkeit
- Extrem robuster und reibungsarmer Motor und eine branchenweit einzigartige Garantie von 10 Jahren für einen wartungs- und sorgenfreien Betrieb
- Hohe Kraft von 500 N für die Prüfung von großen Proben oder finalen Bauteilen unter realen Bedingungen mit höheren Belastungen bei DMA- und Ermüdungsprüfungen
- Zwangskonvektionsofen (FCO, Forced Convection Oven) mit hervorragender und schneller Regelung über einen Temperaturbereich von -150 °C bis 600 °C für die bestmögliche Genauigkeit und Flexibilität bei Experimenten mit thermischen Profilen
- Großprobenofen (LSO, Large Sample Oven) mit einem Temperaturbereich von -150 °C bis 315 °C und geräumigen Innenmaßen für die Prüfung von großen Proben oder Bauteilkomponenten
- Luftkühlsysteme (ACS, Air Chiller Systems) für einzigartige Gasstrom-Kühlung bei Prüfungen unterhalb der Umgebungstemperatur ohne Verwendung von Flüssigstickstoff, wobei mögliche Gefahren im Labor ausgeschlossen werden können und gleichzeitig eine großartige Rentabilität entsteht
- Große Palette an Halterungen zur Aufnahme einer Reihe an Probengrößen und Geometrien für zusätzliche Prüfungsmöglichkeiten
- Äußerst robuster Prüfrahm und Luftlager für die genauesten Ergebnisse bei Proben mit sehr hoher Festigkeit
- Mehrfarbige Statusleuchten für deutlich sichtbare Erkennung der Messgerät- und Prüfungsstatus
- WinTest® und TRIOS-Softwarepakete für eine leistungsstarke und benutzerfreundliche Steuerung und die Datenanalyse des Messgeräts bei ultimativer Flexibilität in der Versuchskonfiguration

## ElectroForce®-Linearmotoren

Das DMA 3200 verfügt über die patentierte Linearmotortechnologie ElectroForce. Diese Technologie ermöglicht unerreichte Leistungen und Datengenauigkeit in einem einzelnen Messgerät. Diese einzigartige Motorentechnologie kombiniert leistungsstarke Magnete aus seltenen Erden mit einer reibungsarmen Biegeaufhängung, um die genaueste Kraft- und Wegesteuerung für eine große Bandbreite an Frequenzen und Amplituden zu erzeugen. Der Motor des DMA 3200 kann eine Kraft von bis zu 500 N aufbringen und einen gesteuerten Stellweg von 1 Mikrometer bis 13 mm abfahren. Die Prüfungen können sowohl in den statischen als auch in den dynamischen Modi ausgeführt werden.

Zusätzlich zur reibungsarmen Konstruktion mit verschiebbaren Magneten wurden Schwachpunkte wie beispielsweise bewegliche Drähte und Lagerverschleiß beseitigt, die in anderen Motorkonstruktionen vorhanden sind. Dies sorgt für eine dauerhafte und zuverlässige Leistung, die sich über Jahrzehnte in Milliarden Prüfzyklen ohne Wartungsarbeiten bei Ermüdungsprüfungen mit dem ElectroForce-Messgerät bestätigt hat. Dieser Motor verfügt über eine branchenweit einzigartige Garantie von 10 Jahren.

Diese effiziente, leise und schmierungsfreie Motorentechnologie ermöglicht den Einsatz des DMA 3200 praktisch überall – vom Labor über den Fertigungsbereich bis hin zum Reinraum oder im Büro.



## Hochgenauer optischer Wegesensor

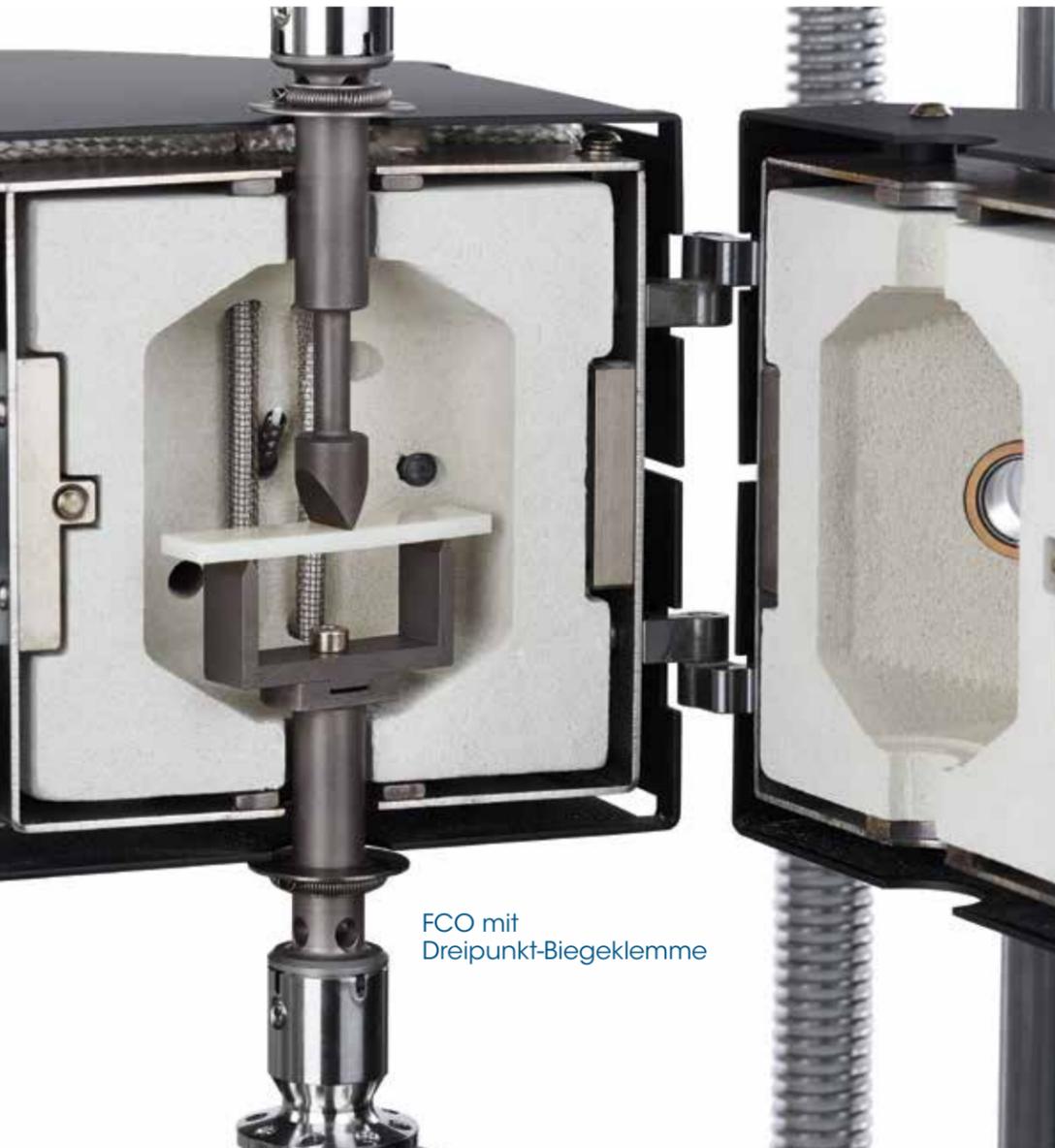
Das DMA 3200 verfügt über einen hochgenauen Wegesensor (HADS) für die bestmögliche Steuerung und Messung bei kleinen und großen Verformungen, die für DMA und Ermüdungsprüfungen erforderlich sind. HADS ist eine äußerst performante optische Vorrichtung, mit der reibungsfreie, rauscharme Messungen im Nanometerbereich bei hohen Geschwindigkeiten möglich sind. Der Sensor wird unmittelbar neben der Probe und Belastungsachse platziert, um Fehler bei der Nachgiebigkeit oder Wärmeausdehnung weiter zu reduzieren.

## Austauschbare Kraftsensoren

Am Sockel des robusten Prüfrahmens sind Kraftsensoren mit hoher Steifigkeit und Bandbreite montiert. Für optimale Flexibilität in allen Prüfbereichen sind diese austauschbar. Das Instrument wird standardmäßig mit einem 500-N-Sensor geliefert. Ein optionaler 22-N-Sensor kann zusätzlich eingesetzt werden, um die Daten bei weichen Proben mit weniger Newton-Kraft zu verbessern.

## Konstruktion mit großer mechanischer Steifigkeit

Für mechanische Prüfungen ist es entscheidend, dass die Komponenten der Prüfinstrumente wie Rahmen, Verbindungsteile und Probenklammern eine hohe Steifigkeit aufweisen, um eine optimale Messgenauigkeit zu erzielen. Durch Minimierung der Gerätekomponentenverformung, der sog. Nachgiebigkeit, werden Wegmessungen reduziert, die andernfalls möglicherweise als Probenverformung dargestellt werden. Die äußerst steife Ausführung des 3200 gewährleistet herausragende Datengenauigkeit. Das beginnt schon bei dem robust gestalteten Dreisäulenrahmen, der die axiale und außersaxiale Steifigkeit maximiert. Noch weiter optimiert wird dies durch den Einsatz von Luftlagern über und unter der Probe. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Wälz- oder Gleitlagern, die Lärm und Reibung während der Messung verursachen, bieten Luftlager den zusätzlichen Vorteil der Konservierung der Hochleistungseigenschaften des reibungsfreien Linearmotors ElectroForce® I.



FCO mit  
Dreipunkt-Biegeklemme

Der DMA 3200 kann mit einem von zwei verfügbaren Klimasystemen ausgerüstet werden, um Flexibilität für unterschiedlichste Prüfanforderungen zu ermöglichen. Beide Klimasysteme bieten eine Vielzahl an Klemmensystemen und sind kompatibel zu den Luftkühlssystemen (ACS, Air Chiller Systems) von TA. Diese ermöglichen eine einzigartige Gasstrom-Kühlung für Prüfungen unterhalb der Raumtemperatur ohne den Einsatz von Flüssigstickstoff.

#### Zwangskonvektionsofen (FCO)

Der FCO ist das führende Temperaturgerät für Materialprüfungen und darauf ausgelegt, Temperaturgenauigkeit, Gleichmäßigkeit und Temperaturstabilität zu optimieren. Der leistungsstarke Ofen erreicht Heizraten von bis zu 60 °C/min. Die herausragende Temperaturstabilität wird über zwei resistive Zwillingselemente ermöglicht. Sie sorgen für eine gegenläufige Luftströmung in die einzigartig geformte Ofenkammer, die die Gasmischung unter Homogenitätsgesichtspunkten und unter dem Aspekt der Stabilität über einen Temperaturbereich von -150 °C bis +600 °C optimiert\*. Der FCO verfügt standardmäßig über eine praktische, langlebige LED-Beleuchtung im Innenraum sowie ein Sichtfenster. Ein Kühlsystem mit flüssigem Stickstoff zur Temperatursteuerung auf -150 °C ist optional erhältlich. Alternativ dazu kann der FCO über ein mechanisches Luftkühlsystem ohne flüssigen Stickstoff auf bis zu -100 °C gekühlt werden.

#### Großprobenofen (LSO, Large Sample Oven)

Der LSO bietet geräumige Innenmaße für die Prüfung von großen Proben oder Bauteilkomponenten. Bei dieser Ausführung wird Luft über zwei resistive Heizelemente in den Ofenraum geführt, um die Gleichmäßigkeit über ein großes Luftvolumen zu optimieren und die Temperatur im Bereich von -150 °C bis 315 °C zu regeln. Der LSO verfügt standardmäßig über ein 140 mm x 190 mm großes Sichtfenster und eine mühelos herausnehmbare Tür. Der großvolumige LSO eignet sich ideal zur Konfiguration des DMA 3200 mit kundenspezifischen Spannlösungen für spezielle Anwendungen.

\*Für Prüfungen bei über 500 °C sind Probenklammern erforderlich, die für Hochtemperaturmessungen ausgelegt sind.

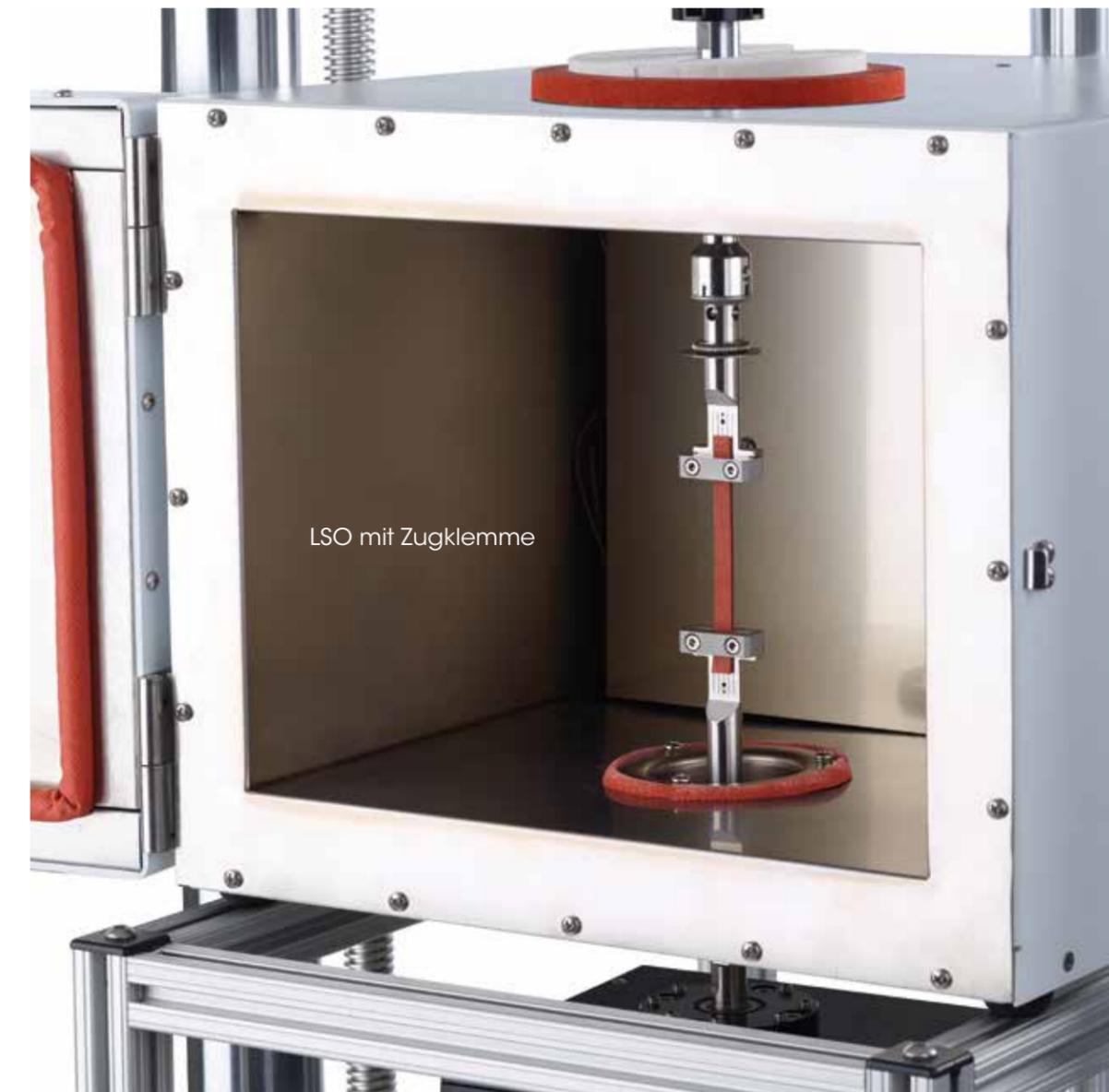
#### Luftkühlssysteme, ACS

Luftkühlssysteme (Air Chiller Systems) bieten einzigartige Gasstrom-Kühlmöglichkeiten ohne Flüssigstickstoff für Prüfungen unterhalb der Umgebungstemperatur. Es stehen zwei Modelle zur Verfügung: ACS-2 und ACS-3. Die Kühler sind mit einem mehrstufigen Kompressor ausgestattet, der zum Kühlen Druckluft (7 bar, 200 l/min) nutzen kann. Die Modelle ACS-2 und ACS-3 ermöglichen einen Betrieb des Zwangskonvektionsofens (FCO) bei Temperaturen von -55 °C bzw. -100 °C. Die Modelle ACS-2 und ACS-3 ermöglichen einen Betrieb des Großprobenofens (LSO) bei Temperaturen von -15 °C bzw. -50 °C. Die Kühlersysteme können den Einsatz von Flüssigstickstoff und die damit verbundenen Gefahren vermeiden bzw. reduzieren. Zudem versprechen sie eine herausragende Rentabilität.



ACS-3

ACS-2



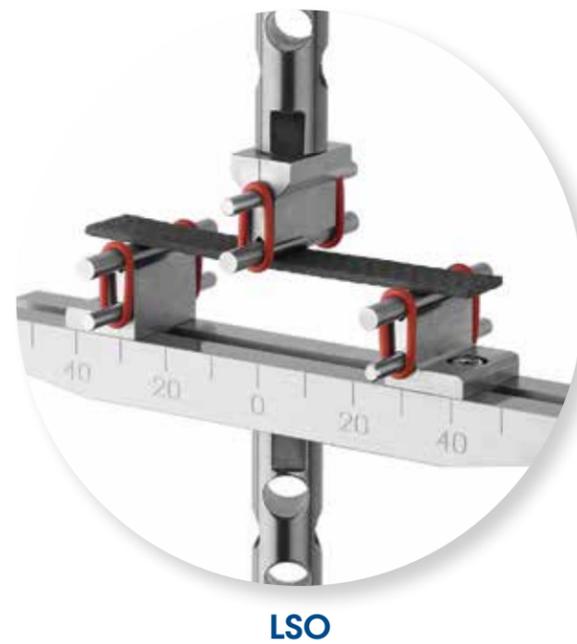
LSO mit Zugklemme

Das DMA 3200 verfügt über eine Vielzahl an Probenklemmsystemen mit verschiedenen Verformungsarten für eine große Bandbreite an Probensteifigkeiten. Standard-Klemmsysteme, die für den FCO zur Verfügung stehen, umfassen Zug-, Kompressions-, Dreipunktbiege-, geklemmte Biege- und Scher-Sandwich-Klemmen. Aus nichtrostendem 17-4-Stahl gefertigte Standard-FCO-Klemmen sind für eine Maximaltemperatur von 500 °C ausgelegt. Für den erweiterten Einsatz bei 600 °C sind optionale Klemmen erhältlich. Die aus Titan gefertigten LSO-Klemmsysteme sind für die Aufnahme großer Proben ausgelegt und bieten die Modi Zug, Kompression und Dreipunktbiegung. Alle FCO-Klemmen können zusammen mit dem LSO eingesetzt werden.



## Dreipunktbiegen

Bei diesem Modus wird die Probe über Kontakte an drei Punkten (an beiden Enden und in der Mitte) deformiert. Dieses Verfahren wird als die reinste Form der Deformation bezeichnet, da die Probe an den Dreh- und Angelpunkten frei aufliegt und somit die Klemmwirkung keine Rolle spielt. Dies eignet sich ideal für massive Stangen aus steifen Materialien wie z. B. Verbundstoffe, Keramik, glasartige und teilkristalline Polymere sowie Metalle.



FCO

**Zug**  
Bei diesem Modus wird die Probe unten und oben eingeklemmt und unter Zug gehalten. Die Zugklemme eignet sich für Zugprüfungen dünner Folien, Streifen, Stangen sowie Einzelfasern und Faserbündeln.



LSO



FCO

**Kompression**  
In diesem Modus liegt die Probe zwischen oberer und unterer Rundplatte und wird unter verschiedenen Kompressionsbedingungen verformt. Kompression eignet sich zur Prüfung zahlreicher Materialien mit kleinem bis mittlerem Modul, darunter Schäume, Elastomere, Gele und weitere weiche Feststoffe.



LSO



### Doppelter und einfacher Cantilever

Die Cantilever-Modi werden auch als „geklemmte“ oder „aufliegende“ Biegemodi bezeichnet, da die Auflage- und Deformationspunkte mechanisch an der Probe angebracht werden. Im doppelten Cantilever wird die Probe an beiden Enden und in der Mitte geklemmt. Dieselbe Klemme kommt auch als einfacher Cantilever zum Einsatz, wobei die Probe hier zwischen dem einen Ende und der mittleren Klemme eingeklemmt wird. Der einfache Cantilever ermöglicht die Untersuchung kürzerer Proben. Der Cantilever eignet sich ideal für allgemeine Prüfungen von Thermoplasten, Elastomeren und anderen hochgradig gedämpften Materialien sowie zum Messen der Übergänge von Beschichtungen auf einem Trägermaterial.



### Scher-Sandwich

Im Scher-Sandwich-Versuch werden zwei gleich große Materialproben zwischen den beiden Enden und der Mittelplatte eingespannt. Die angelegte Verformung verläuft parallel zur Probendicke, während die sich daraus ergebenden Verformung um eine einfache Scherung handelt. Dieser Modus wird oft als doppelter Zug-Scherversuch bezeichnet. Zu den typischen Proben zählen Polymerschmelzen, Schäume, Elastomere, Gele, Pasten und weitere weiche Feststoffe bzw. Flüssigkeiten mit hoher Viskosität.

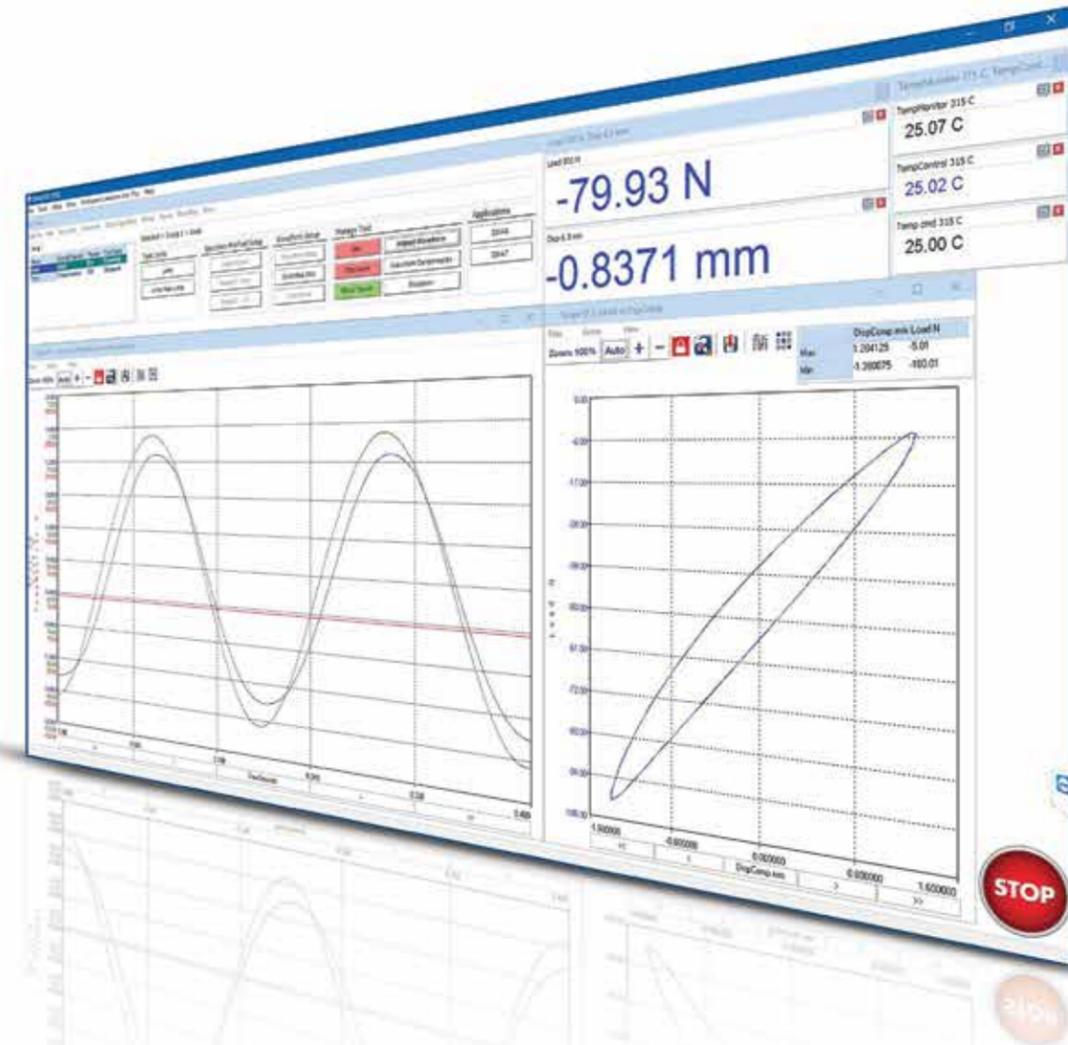
Klemmenspezifikation	Probenabmessungen bei der FCO-Klemme*	Probenabmessung bei der LSO-Klemme
<b>Zug</b>	Bis zu 35 mm lang, 12,5 mm breit und 1,5 mm dick	Bis zu 100 mm lang, 12,7 mm breit und 8 mm dick
<b>Kompression</b>	Umfasst Plattensätze mit jeweils einem Durchmesser von 8, 15 und 25 mm, maximale Probendicke 15 mm	Bis zu einem Durchmesser von 50 mm und 100 mm Dicke (Höhe)
<b>Dreipunktbiegung</b>	Spannweiten von 10, 25 und 40 mm. Bis zu 12,8 mm breit und 5 mm dick	Einstellbare Spannweite zwischen 10 und 100 mm. Bis zu 13 mm breit und 10 mm dick
<b>Biegen mit Cantilever</b>	Bis zu 38 mm lang, 12,5 mm breit und 1,5 mm dick	N/V
<b>Scher-Sandwich</b>	Probendicken von 0,5, 1,0 und 1,5 mm; Die Scherfläche ist ein 15-mm-Quadrat.	N/V

\* Hinweis: Alle FCO-Vorrichtungen sind mit dem LSO-Klimasystem des DMA 3200 kompatibel. Adapter sind im Lieferumfang enthalten.

Der DMA 3200 wird von zwei der branchenweit leistungsstärksten Softwarepakete gesteuert: WinTest® und TRIOS. Ausgefeilte Algorithmen, eine moderne Datenvisualisierung und leistungsstarke Analysewerkzeuge in diesen beiden Paketen sorgen für eine schnelle und flexible Ausführung und Darstellung von Experimenten.

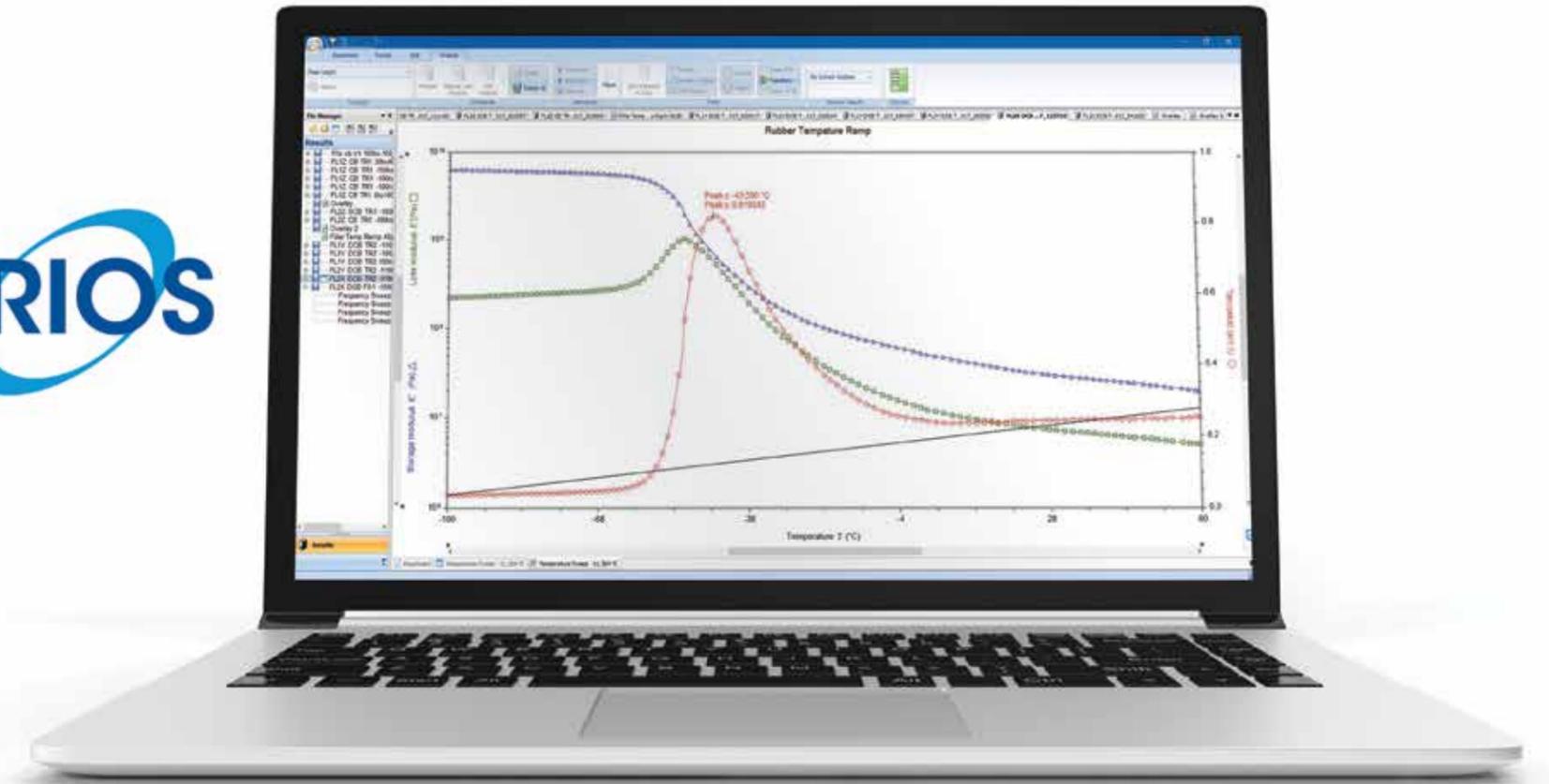
## Fortschrittliche Steuerungssoftware WinTest

WinTest ist eine leistungsstarke Gerätesteuerungs- und Datenerfassungssoftware für das DMA 3200. Ihre Benutzeroberfläche ist intuitiv und ermöglicht die nötige Flexibilität in der Versuchskonfiguration für Ermüdungsprüfungen und DMAs. Zu den DMA-Versuchsmethoden gehören Temperaturrampen, Temperaturdurchläufe, Dehnungsab tastungen und Frequenzdurchläufe. Ermüdungs- und Rampentests können im Handumdrehen programmiert werden. Dafür stehen eine Vielzahl an Wellenformen zur Verfügung, u. a. Sinus, Dreieck, Quadrat oder Rampe. Darüber hinaus können Wellenformen kombiniert werden oder es können den realen Bedingungen ähnliche Wellenformen importiert werden. Mithilfe des einzigartigen TunelQ und des kontrollierten Stillsetzens können Anwender die schier unbegrenzte Kraft und Beschleunigung der ElectroForce®-Motoren nutzen, indem sie bestimmte Aufgaben durch Tuning vereinfachen.



## TRIOS als Datenanalysesoftware

Die TRIOS-Software von TA Instruments überträgt DMA-Daten nahtlos aus WinTest. Experimentalphysiker erhalten damit das branchenführende Werkzeug zur Analyse und Darstellung von DMA-Daten. In dieser intuitiven Software sind viele verschiedene Plotwerkzeuge enthalten. Plotten auf verschiedenen Achsen, intelligente Standard- oder benutzerdefinierbare Einstellungen für Grafikoptionen, Drag-and-Drop für Overlays und benutzerdefinierte Werte seien hier nur als einige Beispiele aufgeführt. Zur vollständigen Palette der DMA-Analysemodelle und -funktionen gehören Zeit-Temperatur-Superposition (Time-Temperature Superposition, TTS), Peak-Analyse, Anfangspunktanalyse, Peak-Integration und kontinuierliche bzw. diskrete Relaxations-Zeit-Spektren. Die Software kann offline auf jedem beliebigen Computer installiert werden und ermöglicht so den einfachen Datenaustausch mit Kollegen.



## Dynamisch-mechanische Analyse (DMA)

Die DMA ist ein Verfahren, bei dem eine sinusförmige Deformation, Spannung oder Dehnung auf eine Probe angewendet wird. Anschließend wird die viskoelastische Reaktion gemessen. Die Frequenz und Größe der Deformation können während eines Experiments konstant gehalten oder variiert (gesweep) werden. Die Materialreaktion auf die Deformation kann als Funktion der Temperatur, Frequenz oder Zeit überwacht werden. Mit der DMA können verschiedene mechanische Eigenschaften bestimmt werden, z. B. der komplexe Modul,  $E^*$ , Speicher- und Verlustmoduln ( $E'$  und  $E''$ ) und Verlustfaktor ( $\tan \delta$ ) von viskoelastischen Materialien, Erkennung von Molekularbewegungen und Entwicklung von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen.

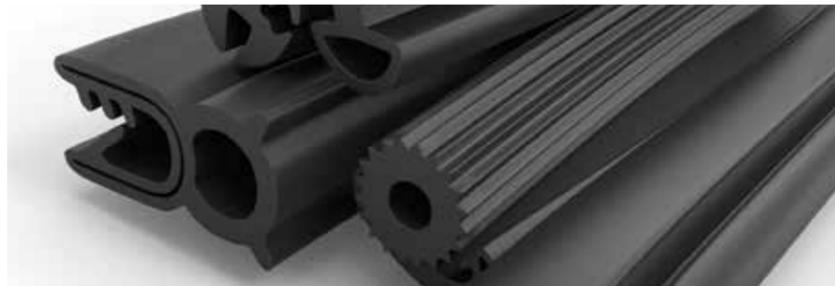
Die folgenden Materialeigenschaften können gemessen werden und sind typische Anwendungsbereiche für einen DMA:

### Materialeigenschaften

- Elastizitätsmodul ( $E$ )
- Schubmodul ( $G$ )
- Komplexe Module ( $E^*$ ,  $G^*$ )
- Speicher- und Verlustmoduln ( $E'$ ,  $E''$ ,  $G'$ ,  $G''$ )
- Dämpfungseigenschaften ( $\tan \delta$ )
- Komplexe Steifigkeit ( $K^*$ )
- Speicher- und Verluststeifigkeit ( $K'$ ,  $K''$ )

### Typische Anwendungsbereiche:

- Glasübergangstemperatur
- Sekundäre Übergänge
- Erweichungs- und Schmelztemperatur
- Zeit-Temperatur-Superposition
- Linear-viskoelastischer Bereich
- Payne-Effekt
- Mullins-Effekt
- Molekulargewicht/Vernetzung
- Härtungsuntersuchungen
- Durchlässigkeit
- Hysterese
- Physische oder chemische Alterung
- Orientierungseffekte
- Effekte von Zusatzstoffen
- Schlagzähigkeit



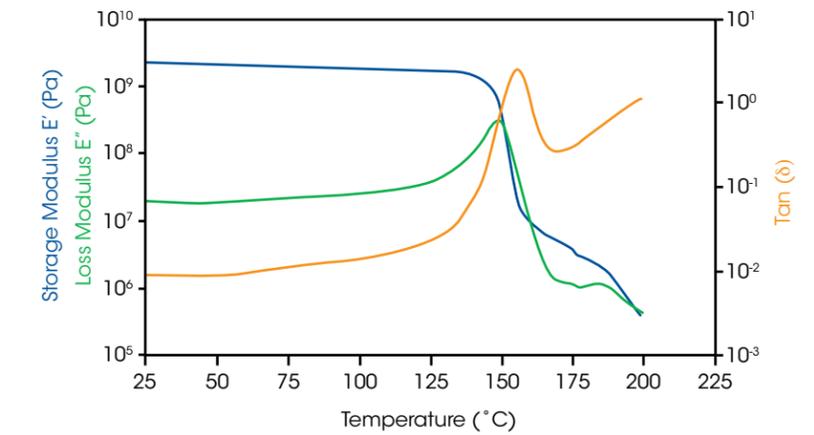
## Dynamisch-mechanische Analyse (DMA) mit hohen Kräften

Die DMA 3200-Lösung für eine hohe Kraftaufnahme ermöglicht breiter angelegte Versuchsparameter und Lastfälle. So können größere Proben oder echte Bauteilkomponenten getestet werden. Die Abbildungen auf der rechten Seite zeigen Beispiele für die Prüfmöglichkeiten zur DMA mit hohen Kräften.

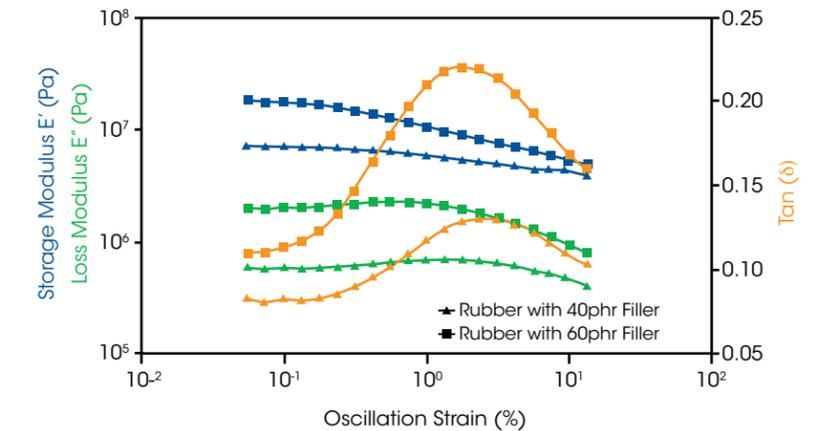
Auf der Abbildung ganz oben dargestellt ist eine Temperaturrampe bei einer Polycarbonatstange mit einer Heizrate von  $3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  und einer Deformation von  $0,4 \%$ . Die Abmessungen der Probe lauten:  $1,6 \text{ mm}$  Dicke,  $12,8 \text{ mm}$  Breite,  $19 \text{ mm}$  Länge. Diese Ergebnisse verdeutlichen die Möglichkeiten der DMA 3200-Konstruktion auf verschiedene Weise: Zunächst einmal ermöglicht die auf hohe Kräfte und hohe Steifigkeit ausgelegte Konstruktion des DMA 3200, dass eine solch dicke Probe im glasartigen Bereich bzw. unterhalb der Glasübergangstemperatur ( $T_g$ ) des Polymers im Zugmodus getestet werden kann. Bei einem herkömmlichen DMA-Messgerät mit auf niedrigere Kräfte ausgelegtem Design wären die Möglichkeiten in Bezug auf Kraft und Steifigkeit eingeschränkt. Solche Ergebnisse könnten nur in einem Biegemodus, nicht in einem Zugmodus gemessen werden. Darüber hinaus ermöglicht das reibungsfreie Design mit seiner herausragenden geringen Seitenkraftempfindlichkeit eine Charakterisierung des Glasübergangs über drei Dekaden in der Veränderung beim Modul.

Die Abbildung unten zeigt Dehnungsabtastrungen an zwei zylindrischen Gummi-Proben, die mithilfe von Kompressionsklemmen bei einer Temperatur von  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  und einer Frequenz von  $10 \text{ Hz}$  getestet werden. Als Probenabmessungen wurden ein Durchmesser von  $10 \text{ mm}$  und eine Dicke von  $20 \text{ mm}$  gewählt. Diese beiden Gummi-Proben haben unterschiedliche Füllstoffgehalte, und zwar  $40 \text{ phr}$  und  $60 \text{ phr}$ , wobei  $\text{phr}$  (parts per hundred rubber) eine Chargiereinheit darstellt, mit der die Massenanteile einer Mischung angegeben werden. Es wird deutlich, dass ein höherer Füllstoffgehalt zu einem höheren Modul sowie zu einem deformationsabhängigeren Modul führt. Während dieser Prüfung betragen die Kräfte, um eine 20-prozentige Deformation aufzuwenden, die einem Weg von  $5 \text{ mm}$  entspricht, nahezu  $60 \text{ N}$ . Dieses Ergebnis unterstreicht die herausragende Kraft- und Wegesteuerung des DMA 3200.

Temperaturrampe von Polycarbonat im Zugversuch



Dehnungsabtastrungen bei Gummi mit Zug-Kompressionsprüfung



## Ermüdungs- und quasistatische Prüfungen

Die meisten Materialien, Komponenten und Geräte sind während der Dauer ihres Einsatzes wiederholten Belastungen ausgesetzt. Diese Belastungen führen zur Ermüdung des Materials. Diese Ermüdung kann zu deutlichen Veränderungen im Materialverhalten führen, die wiederum die Gesamtleistung beeinträchtigen oder zu vollständigem und katastrophalem Versagen führen können. Eine mechanische Ermüdungsprüfung liefert Erkenntnisse über die Art und den Zeitpunkt des Versagens von Materialien, Komponenten oder Geräten, wenn diese oszillierenden Kräften oder Belastungen ausgesetzt werden. Diese Erkenntnisse zum Materialverhalten werden verwendet, um eine zuverlässige Produktleistung sicherzustellen und Garantieansprüche während der Lebensdauer des Produkts zu belegen.

Gleichbleibende Prüfungen, die sog. Zugprüfungen, eignen sich darüber hinaus, um die Festigkeit und Deformationsreaktion zu untersuchen. In diesem Fall werden die Eigenschaften während eines einzigen Bruchlasttests gemessen.

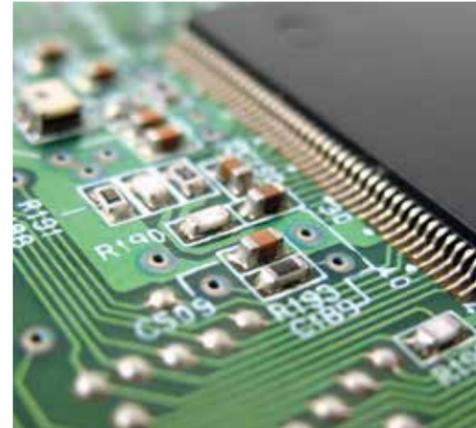
Mit dem DMA 3200 können zahlreiche Material-, Komponenten- oder Geräteeigenschaften gemessen werden, wobei das Gerät viele Arten von Studien zur statischen und dynamischen Festigkeit unterstützt.

### Beispielmessungen:

- Elastizitätsmodul (E)
- Steifigkeit (K)
- Streckgrenze
- Bruchfestigkeit
- Bruchdehnung
- Dauerfestigkeit

### Beispielstudien zur Festigkeit:

- Beschleunigte Lebensdauerests
- Bestimmung von SN-Kurven
- Mechanische Alterung
- Kriechverhalten und Regeneration
- Schubspannungsrelaxation
- Zugprüfungen



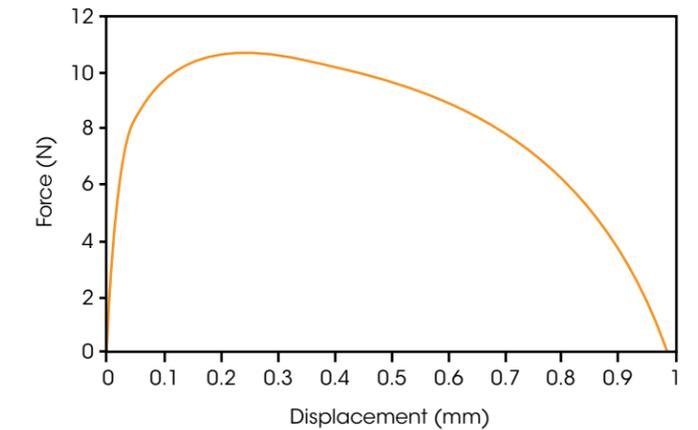
## Ermöglicht Ermüdungs- und quasistatische Prüfungen

Durch die Flexibilität, Leistung und Robustheit des DMA 3200 können neben der DMA zahlreiche Prüfungen und Erprobungen ausgeführt werden. Dank seiner großen Bandbreite an Geschwindigkeits- und Kraftoptionen bietet sich das DMA 3200 sowohl für Ermüdungsprüfungen als auch quasistatische Prüfungen an. Beispiele für die spezifischen Prüfmöglichkeiten sind in den Abbildungen auf der rechten Seite dargestellt.

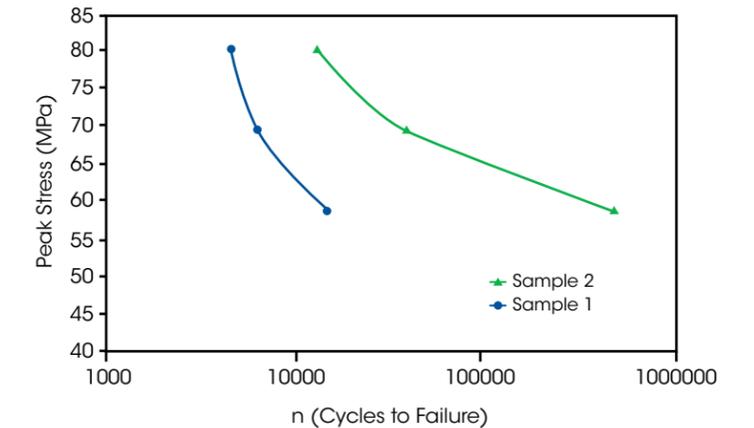
Auf der Abbildung oben wird ein einzelner Pulltest (Zugversuch) an einem kleinen Lotbarren durchgeführt. Der Stellweg wurde mit 1 Mikrometer pro Minute kontrolliert abgefahren, die Temperatur betrug konstant 25 °C. Die Abmessungen der Probe betragen: 0,5 mm Durchmesser und 2 mm Länge. Für diese Prüfung ist eine langsame und exakte Stellwegkontrolle über einen sehr langen Zeitraum notwendig. In diesem Fall waren es 14 Stunden. Die Probe weist den klassischen linearen Bereich zu Beginn der Prüfung im linken Teil des Plots und ein sehr langes duktileres Versagen über den mittleren und rechten Teil des Plots auf. Dieser Test demonstriert die Flexibilität des ElectroForce®-Linearmotors. Auch wenn sehr starke Dynamikmöglichkeiten vorhanden sind, kann der Motor genauso gut für exakte und langsame Prüfungen eingesetzt werden.

Die Abbildung unten zeigt die Ergebnisse einer Studie zu Ermüdungserscheinungen bei thermoplastischen Elastomeren. Diese Kurve wird oft als „SN-Kurve“ bezeichnet (wobei S=„Strength“ für Festigkeit und N=„Number of cycles“ für die Anzahl der Durchläufe steht). Im Allgemeinen wird die Lebensdauer von Materialien oder Komponenten unter schwingender Beanspruchung so geplottet (abgebildet) und charakterisiert, dass sie eine Funktion des Belastungsniveaus ist. Es wird ersichtlich, dass bei einer Abnahme der Belastung mehr Zyklen bis zum Versagen der Probe notwendig sind. Diese Prüfung demonstriert wie der DMA 3200 für eine Prüfung mit vielen Zyklen verwendet werden kann. Dabei kommen seine Eigenschaften der hohen Beschleunigung und Robustheit zur Anwendung.

Zug-Ermüdungs-Versuch bei Lotbarren



Vergleich zweier thermoplastischer Elastomere bei einer Ermüdungsprüfung



Gerätespezifikation	DMA	Ermüdungs- & quasistatische Prüfung
<b>Maximale Kraft</b>	500 N	450 N
<b>Minimale Kraft</b>		
500-N-Sensor	0,2 N	5,0 N
Optionaler 22-N-Sensor	0,025 N	0,22 N
<b>Kraftauflösung</b>		
500-N-Sensor	0,006 N	0,015 N
Optionaler 22-N-Sensor	0,00026 N	0,00067 N
<b>Dynamischer Verformungsbereich</b>	±0,0005 bis ±6,5 mm	±0,002 bis ±6,5 mm
<b>Winkelauflösung</b>	1 Nanometer	1 Nanometer
<b>Maximale Beschleunigung</b>	80 G	80 G
<b>Maximaler Stellweg bei 50 Hz</b>	±6,5 mm	±6,5 mm
<b>Maximaler Stellweg bei 100 Hz</b>	±1,0 mm	±1,0 mm
<b>Modulbereich</b>	10 <sup>3</sup> bis 3x10 <sup>12</sup> Pa	N/V
<b>Modulpräzision</b>	±1 %	N/V
<b>Tan δ-Empfindlichkeit</b>	0,0001	N/V
<b>Tan δ-Auflösung</b>	0,000015	N/V
<b>Frequenzbereich</b>	0,01 bis 100 Hz	0,00001 bis 300 Hz

Ofenspezifikationen	FCO	LSO
<b>Maximale Temperatur</b>	600 °C*	315 °C
<b>Heizrata</b>	0,1 bis 60 °C/min	0,5 bis 10 °C/min
<b>Kühlrate</b>	0,1 bis 60 °C/min	0,5 bis 10 °C/min
<b>Isotherme Stabilität</b>	±0,1 °C	±2 °C
<b>Innenraumabmessungen</b>	Höhe 70 mm x Durchmesser 60 mm	191 x 200 x 200 mm

\* Hinweis: Die Standard-Probenklemmen sind für eine maximale Temperatur von 500 °C ausgelegt. Für Prüfungen mit bis zu 600 °C sind optionale Probenklemmen erforderlich.



## NORD- & SÜDAMERIKA

New Castle (DE), USA  
Lindon (UT), USA  
Wakefield (MA), USA  
Eden Prairie (MN), USA  
Chicago (IL), USA  
Irvine (CA), USA  
Montreal, Kanada  
Toronto, Kanada  
Mexiko-Stadt, Mexiko  
São Paulo, Brasilien

## EUROPA

Hüllhorst, Deutschland  
Bochum, Deutschland  
Eschborn, Deutschland  
Wetzlar, Deutschland  
Elstree, Vereinigtes Königreich  
Brüssel, Belgien  
Etten-Leur, Niederlande  
Paris, Frankreich  
Barcelona, Spanien  
Mailand, Italien  
Warschau, Polen  
Prag, Tschechische Republik  
Sollentuna, Schweden  
Kopenhagen, Dänemark

## ASIEN & AUSTRALIEN

Shanghai, China  
Peking, China  
Tokio, Japan  
Seoul, Südkorea  
Taipei, Taiwan  
Guangzhou, China  
Petaling Jaya, Malaysia  
Singapur  
Bangalore, Indien  
Sydney, Australien





[tainstruments.com](http://tainstruments.com)