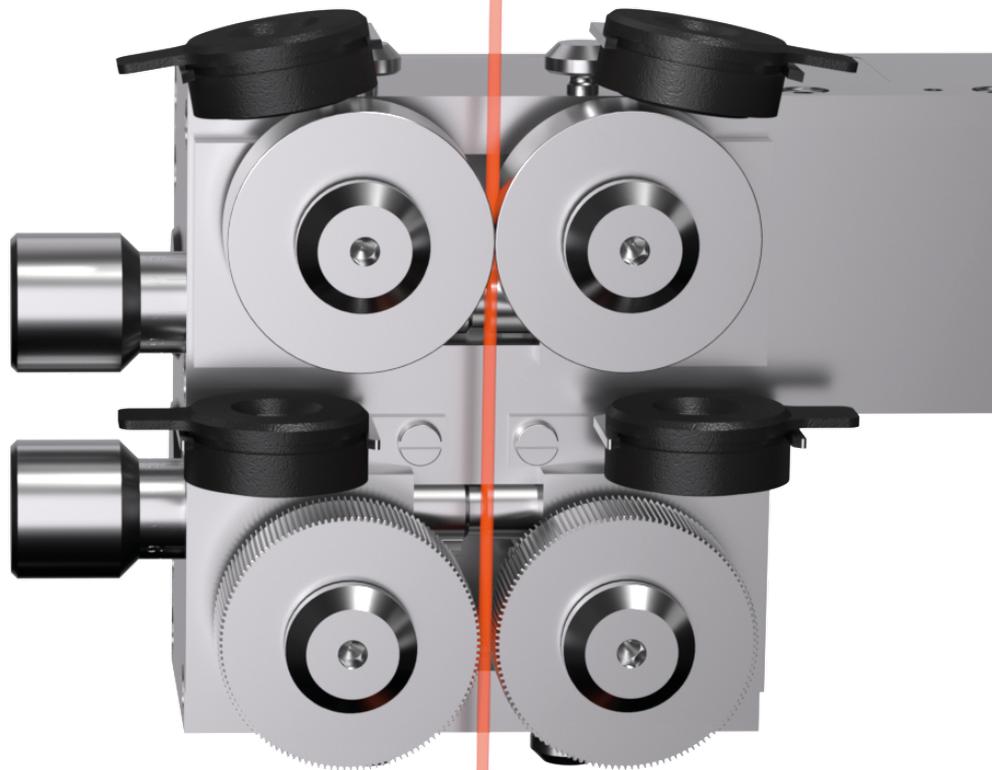



viscosity


elongation


continuous
process

DEHNUNG



SCHMELZDEHNUNG

Größte Bedeutung vieler Prozesse der Kunststoffherstellung und Verarbeitung

TECHNISCHE DEHNUNGSTESTER

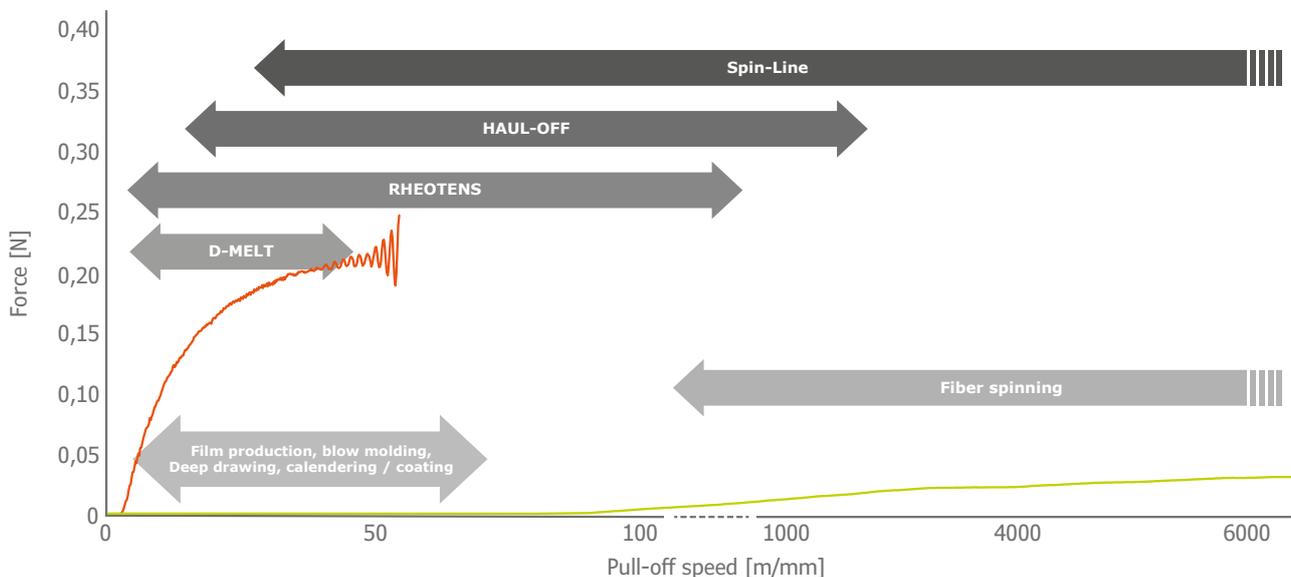
In Folge der ständig steigenden Produktivitätssteigerung kommt der Dehnung des Werkstoffs eine immer größere Bedeutung zu. In der Kunststoffverarbeitung gehört das Ausziehen der Schmelze wie bei Folienherstellung, Blasformen, Tiefziehen, Kalandrieren/Beschichten und Faserspinnen neben der Umformung in Scher- und Dehnströmungen in Extrudern und Werkzeugen im Extrusions- und Spritzgießprozess zu den häufigsten Fertigungsverfahren.

Zur Beschreibung dieser Verarbeitungsverfahren ist die Bestimmung der elastischen Eigenschaften der Schmelze unerlässlich. Hier reicht die Bestimmung der Viskosität oder gar des Schmelzindex in keinem Fall aus.

Die wichtigsten Anforderungen für die eingesetzte Prüfmethode sind:

- Kurze Prüfzeit
- Einfache Bedienung
- Dehngeschwindigkeiten ähnlich den Prozessbedingungen
- Eignung für Produktentwicklung
- Eignung zur Qualitätskontrolle

ÜBERBLICK DER VERARBEITUNGSBEREICHE UND PRÜFVERFAHREN

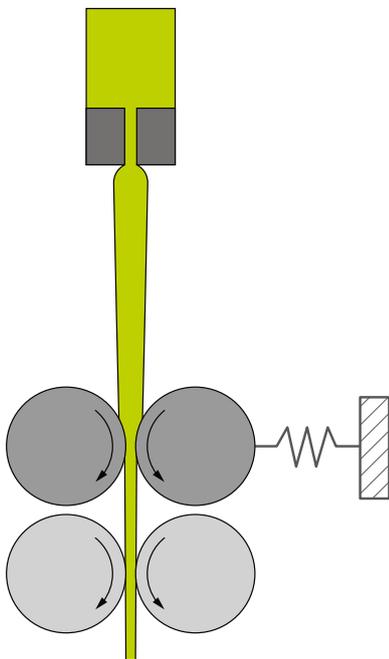


DEHNUNGSTESTER FÜR POLYMERSCHMELZEN

Die Ausziehfähigkeit von Polymerschmelzen ist bei vielen Prozessen der Kunststoffherstellung und Verarbeitung von größter Bedeutung.

Das patentierte RHEOTENS-Verfahren hat sich als ein äußerst empfindlich reagierendes Messprinzip bewiesen, das gut reproduzierbare Ergebnisse liefert, um auch minimale Chargenschwankungen aufzeigen zu können.

DAS RHEOTENS 71.97 BIETET UNTER ANDEREM FOLGENDE NEUERUNGEN:



Tandem Abzugsräder (* patentiert)

Um auch stark haftende Polymerschmelzen verstrecken zu können, wurde ein zweites Rollenpaar integriert, das die Aufgabe hat den Strang nach Passieren des ersten Rollenpaares abziehen.

Erweitertes Geschwindigkeitsspektrum

Verglichen mit dem Vorgänger, wurde der Geschwindigkeitsbereich um 60% erweitert, wobei nun eine stufenlos einstellbare Geschwindigkeit von bis zu 1900 mm/s (114 m/min) bei einer maximalen Beschleunigung von 3200 mm/s² erreicht wird.

Messbereich

Der Kraftmessbereich erstreckt sich von 0 bis 2 N bei einer Auflösung von 0,001 N. Die Kalibrierung erfolgt automatisch.

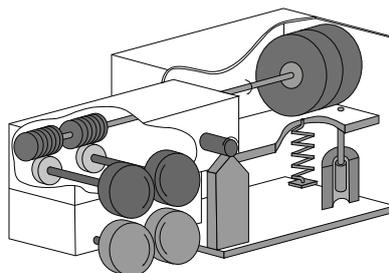
Software

Die WINDOWS Oberfläche der RHEOTENS und HAUL-OFF Software wurde unter dem Gesichtspunkt maximal möglicher Bedienerfreundlichkeit entwickelt. Die Auswertefunktionen wurden in EXCEL integriert. Damit ist eine komfortable, leicht anpassbare Darstellung und Weiterverarbeitung gegeben. Ein Joystick unterstützt bei der Steuerung und beim Messablauf.

Funktionen der Versuchsdurchführung und Auswertung

Neben der schon vorhandenen linearen, konstanten Abzugsgeschwindigkeit und konstanter Beschleunigung kam die exponentielle Geschwindigkeitsregelung hinzu. Die Bestimmung der Dehnviskositätsfunktion nach Prof. Wagner ist ein integraler Bestandteil des RHEOTENS und des HAUL-OFF.

RHEOTENS MIT TANDEM ABZUGSRÄDERN



Das Funktionsbild zeigt RHEOTENS 71.97 mit Tandem Abzugsrädern, die auch an älteren Geräten nachgerüstet werden können.

D-MELT

Ermittlung von Schmelzindex und Dehnviskosität in einer Messung



BESONDERHEITEN

- Bestimmung von Schmelzindex und Schmelze-Elastizität in einer Messung
- Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 44,8 m/min (D-MELT, HAUL-OFF)
- Aussagekräftiger einzelner Kennwert als Ergebnis der HAUL-OFF-Messung
- Grafische Darstellung des Kraft- und Geschwindigkeitsverlauf während der Messung
- Aufzeichnung von Kraft, Geschwindigkeit und Zeit
- Unkompliziertes, vordefiniertes Messprinzip ermöglicht ein automatisches ablaufendes Messprogramm
- Frei definierbares Geschwindigkeitsprofil
- Bedienung und Datenaufzeichnung über separate PC-Software D-MELT Console (Optional MFRHost und RHEOTENS E)
- Präziser und hochauflösender Kraftsensor

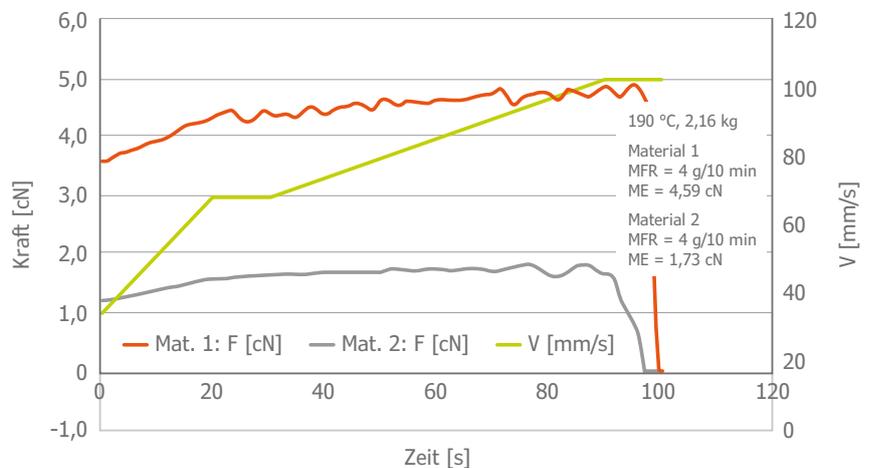
D-MELT

Das D-MELT ermöglicht die Ermittlung von Schmelzindex und Dehnviskosität in einer Messung. Diese Kombination ist insbesondere als Schnelltest in der Wareneingangskontrolle für Verarbeitungsprozesse von Polymeren interessant.

Die Schmelzindexmessung ist ein international genormtes Verfahren zur Bestimmung der Fließfähigkeit von Kunststoffschmelzen. Die Probe wird in einem beheiztem Prüfkanal aufgeschmolzen und danach mit einem Prüfstempel, der mit einem definiertem Gewicht belastet ist, durch eine Kapillare extrudiert. Aus dieser wird dann der MVR-Wert (Schmelzen-Volumenfließrate) in $\text{cm}^3/10 \text{ min}$ bestimmt. Dieser kann mit der Schmelzgedichte in den MFR (Schmelzindex) in $\text{g}/10 \text{ min}$ umgerechnet werden.

Das D-MELT, welches aus einem mi40 und einem angepassten HAUL-OFF System besteht ermöglicht mit einer Messung bzw. einer Kanalfüllung neben dem Schmelzindex zusätzlich die Ermittlung der Dehnviskosität. Um das HAUL-OFF während dem Versuch von äußeren Einflüssen abzusichern ist es in einem geschlossenen Gehäuse unter dem mi40 montiert, dass von vorne über Türen leicht zugänglich ist. Die Verkleidung ist aus durchsichtigem Polycarbonat. Das Gehäuse ist fest mit dem mi40 verbunden und das HAUL-OFF wird in ausgerichtetem Zustand ausgeliefert. Das Verfahren ermöglicht einen schnellen, einfachen und kostengünstigen Vergleich eines Qualitätskennwerts. Dieser liefert Informationen über die Extrudierbarkeit eines Materials. Der dabei definierte Wert eignet sich hervorragend für die Prozesskontrolle von Materialherstellern oder für die Wareneingangskontrolle bei Materialverarbeitern. Ausgerichtete Reinigungswerkzeuge für optimale Ergebnisse.

D-MELT ODER SCHMELZINDEXMESSUNG



Der folgende Vergleich zeigt die wesentlich höhere Selektivität der Prüfmethode gegenüber der reinen Schmelzindexmessung. Durch die einfache Bedienung, kurze Messzeit und geringen Geschwindigkeiten eignet sich diese Methode besonders zur Qualitätssicherung bei der Compoundfreigabe oder im Wareneingang.

RHEOTENS

Technologisches Zug-Prüfsystem zur Erfassung der dehnelastischen Eigenschaften von Polymerschmelzen



BESONDERHEITEN

- Stufenlos einstellbare Abzugsgeschwindigkeit
- Frei wählbare lineare oder exponentielle Beschleunigung
- Einstellung, Steuerung der Messung und Auswertung mit dem Windows Programm RHEOTENS 97
- Verschiedene Abzugsräder - je nach Anwendungsfall zu spezifizieren
- Tandem Abzugsräder
- Bereits vorhandene RHEOTENS Geräte können mit neuer Elektronikbox und dem Programm „RHEOTENS 97“ nachgerüstet werden.

RHEOTENS

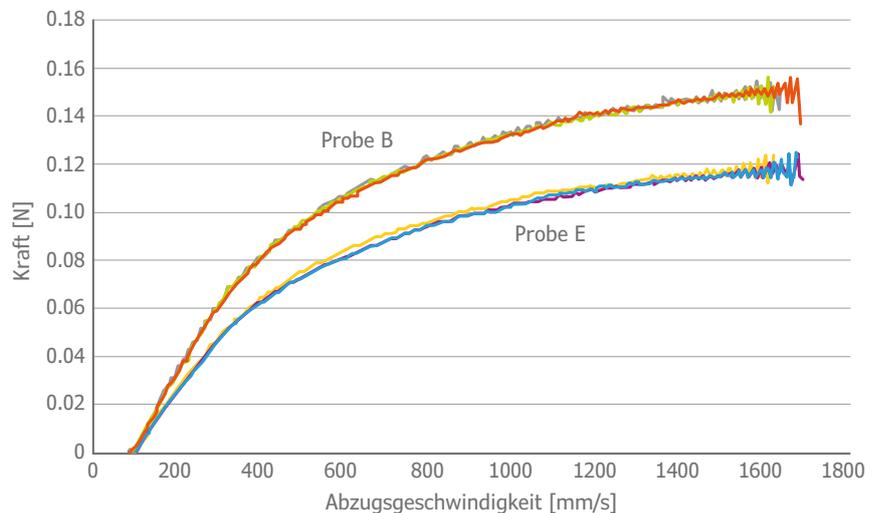
Die Ausziehbarkeit von Polymer-schmelzen ist bei vielen Prozessen der Kunststoffherstellung und -verarbeitung von größter Bedeutung. Das patentierte RHEOTENS-Verfahren hat sich als äußerst empfindlich reagierendes Messprinzip bewiesen, das gut reproduzierbare Ergebnisse liefert um minimale Chargenschwankungen aufzuzeigen zu können.

Speziell für Charakterisierung der Materialien die bei der Folienherstellung, Blasformen, Tiefziehen, Kalandrieren/Beschichten verwendet werden ist das RHEOTENS geeignet. Das Gerät ist als Balkenwaage aufgebaut. Hier sind die Abzugsräder und der Antriebsmotor auf einem drehbar gelagerten Balken angeordnet.

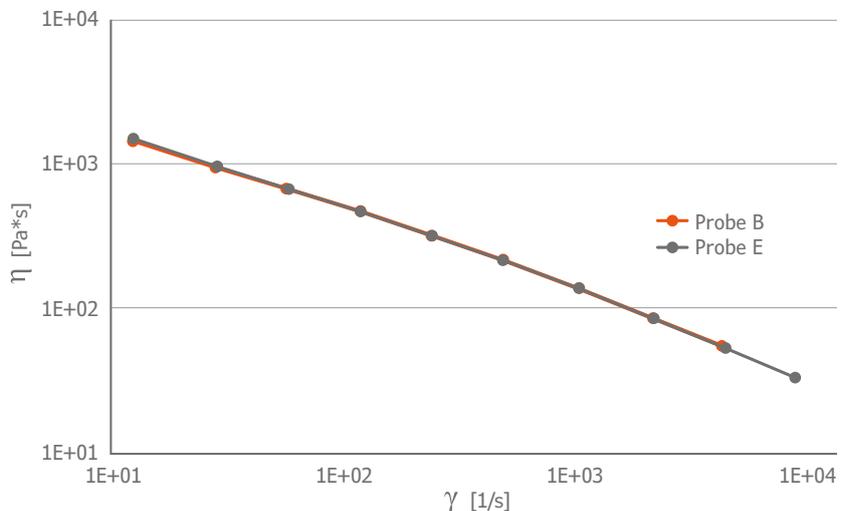
Durch diese spezielle Anordnung wird der Schmelzestrang im Gegensatz zum HAUL-OFF am Abzugsrad nicht umgelenkt sondern gerade nach unten weitergeführt. So kann das Ausziehen der Schmelze vom Kraftnullpunkt auch bei kleinsten Dehngeschwindigkeiten erfolgen. Die Spinnlänge, Abstand zwischen Kapillarenaustritt und Abzugsrädern liegt üblicherweise bei nur 100 mm, so dass eine kompakte Anordnung unter dem Kapillarrheometer möglich ist und man bei höheren Extrusionsgeschwindigkeiten noch von isothermen Bedingungen ausgehen kann. Für dieses Gerät wurde von Prof. Wagner ein Modell zur Bestimmung der Dehnviskosität aus der gemessenen Kraft und Abzugsgeschwindigkeit entwickelt. Durch die Modellierung können die Daten auf die reine Materialabhängigkeit reduziert werden, wie folgende Diagramme zeigen.

RHEOTENS-KURVEN

Schon geringste Chargenunterschiede führen zu deutlich unterschiedlichen RHEOTENS-Kurven, die im Scherexperiment nicht ermittelt werden können.



Probe B verweist laut Hersteller auf eine etwas breitere Molmassenverteilung ($M_w/M_n=11.1$) gegenüber Probe E ($M_w/M_n=10$). Die jeweils dreimal reproduzierten RHEOTENS-Kurven deuten auf eine eindeutige Erhöhung der Schmelzfestigkeit von Probe B gegenüber Probe E hin.

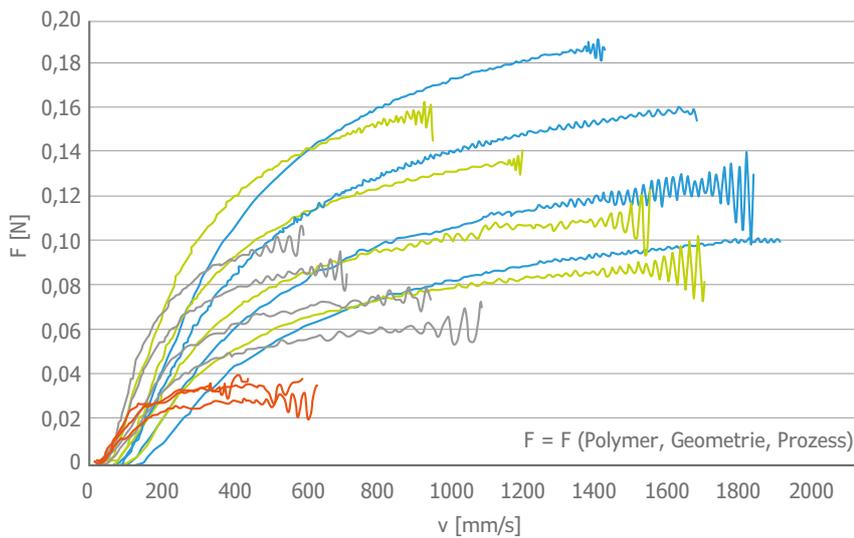


Dieser Zusammenhang ließ sich nicht aus den Viskositätsfunktionen ermitteln.

RHEOTENS

RHEOTENS Kurven mit Masterkurvenbildung

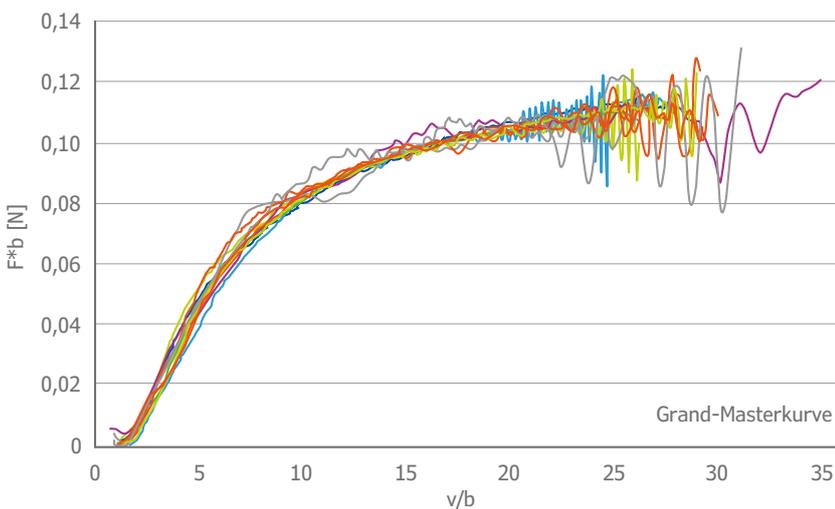
TECHNISCHES DEHNUNGSDIAGRAMM



Im technischen Dehnungsdiagramm ist die Geschwindigkeit v ein Relativmaß für die „Dehnbarkeit“ der Schmelze. Die maximale Kraft F liefert eine Relativangabe für die Zugfestigkeit. Der einfache RHEOTENS-Versuch ist zunächst eine komplexe Funktion der Polymereigenschaft, der Düsengeometrie, der Länge der Spinnstrecke und der Extrusionsvorgeschichte.

$$F = F(\text{Polymer, Geometrie, Prozess})$$

GRAND-MASTERKURVE

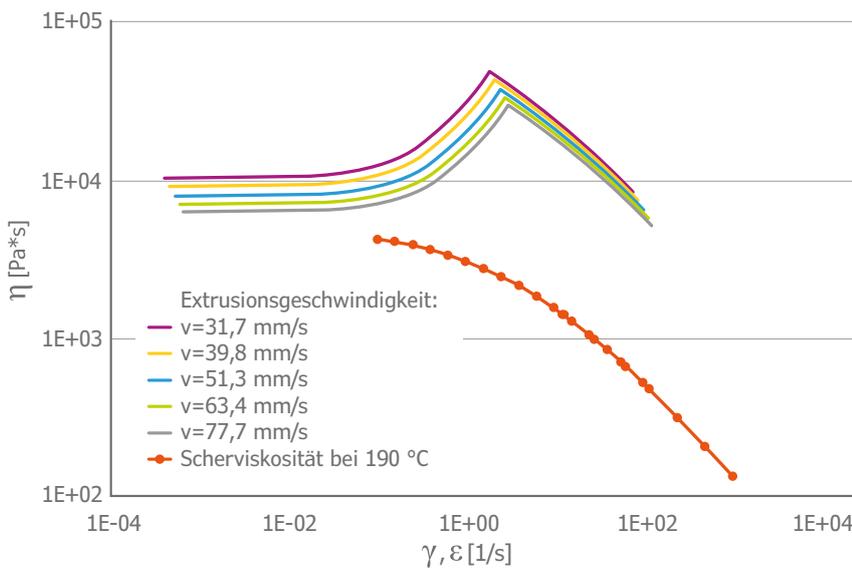


Eine weitere Normierung bestimmt den Einfluss der Düsengeometrie und der Länge der Spinnstrecke. Schließlich fallen alle 16 RHEOTENS-Kurven durch Skalierung der Abzugskraft F und der Verstreckung auf eine einzige Kraftdehnungskurve zusammen, der RHEOTENS-Grand-Masterkurve, nun mit:

$$F = F(\text{Polymer})$$

ERMITTLUNG DEHNVISKOSITÄT

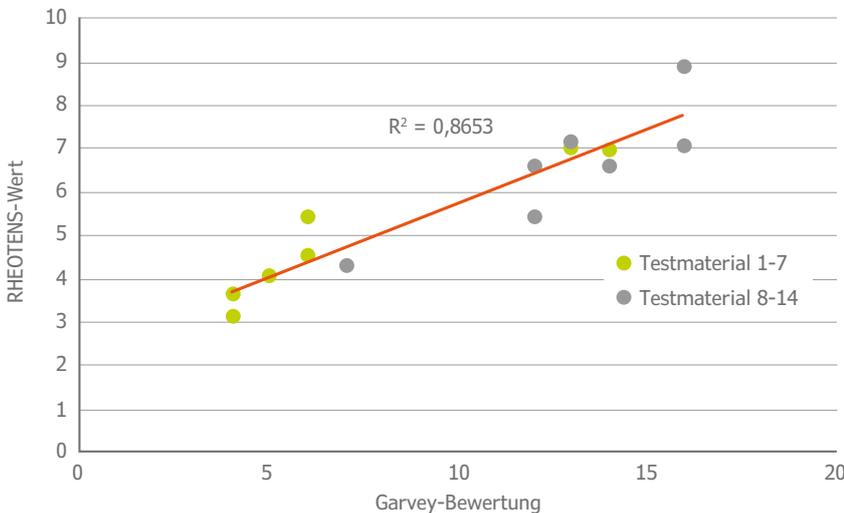
Aus den Masterkurven wird zusätzlich mit dem Modell nach „Wagner“ die Dehnviskosität ermittelt. Die Daten sind abhängig von der Vorgeschichte und können z.B. für verschiedenen Extrusionsbedingungen ermittelt werden.



Mit einem einfachen analytischen Modell lässt sich nun die effektive Dehnviskositätsfunktion bestimmen, welche sich in Abhängigkeit der Dehngeschwindigkeit aus dem „viskoelastischen Anlauf“ mit zunehmender Dehnviskosität und der rein viskosen Verstreckung mit abnehmender Dehnviskosität in Abhängigkeit der Extrusionsvorgeschichte zusammensetzt.

Weiterhin bieten die Parameter Ausziehverhältnis bis zum Strangabriss (draw down ratio), Abzugskraft (force max) und Startgeschwindigkeitsverhältnis (start speed ratio) eine sehr interessante Möglichkeit die Prozessstabilität zu beurteilen. Speziell für Elastomere wurde aus den vorgenannten Kennzahlen die RHEOTENS-Zahl zur Gewichtung der Größen ermittelt:

$$\text{RHEOTENS-Value} = \frac{\text{forcemax}^{0,8}}{\text{start speed ratio} * \text{max draw down ratio}}$$



Hiermit ergibt sich für Elastomere eine gute Korrelation zur Extrudatsqualität beurteilt über den aufwendig manuell auszuwertenden Extrusionsversuch mit der Garvey-Düse, der durch die manuelle Bewertung auch mehr Fehlermöglichkeiten aufweist.

HAUL-OFF

Messung der Dehnfähigkeit von Schmelzen unter konstanter Abzugsgeschwindigkeit bzw. unter linearer oder exponentieller Beschleunigung des Abzugsstranges



BESONDERHEITEN

- Stufenlose einstellbare Abzugsgeschwindigkeit von 0-2000 m/min
- Frei wählbare lineare oder exponentielle Beschleunigung
- Anti-Haft-beschichtete Oberfläche der Abzugsräder
- Messbereich bis zu 1 N, Auflösung 0,05 mN
- Software für Einstellungen, Steuerung der Messung und Auswertung

Gefördert durch:



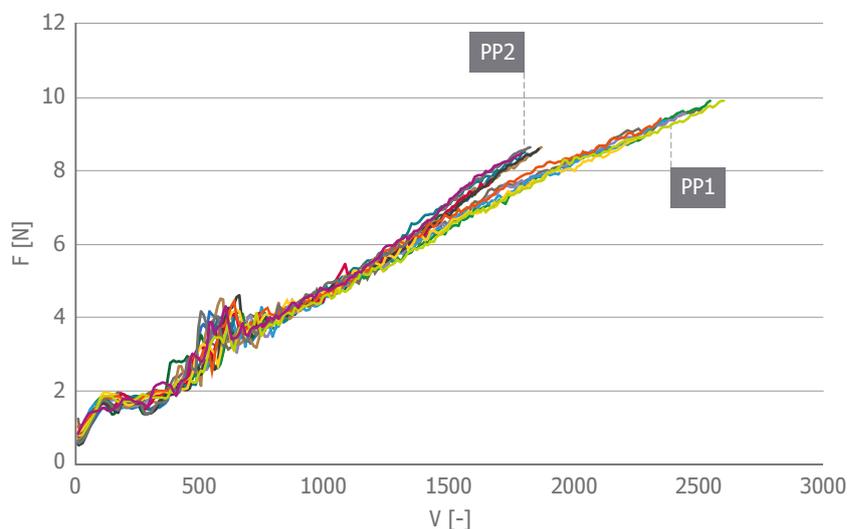
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

HAUL-OFF

Das HAUL-OFF ist speziell für die Messung bei hohen Abzugsgeschwindigkeiten konzipiert und findet seine Anwendung insbesondere beim Faserspinnen, kann aber auch zur Charakterisierung der Materialien verwendet werden, die über Folienherstellung, Blasformen, Tiefziehen, Kalandrieren/Beschichten umgeformt werden. Im Gegensatz zum RHEOTENS kann der Versuch nicht bei der Geschwindigkeit Null gestartet werden. Der Faden benötigt für die Umlenkung am Abzugsrad bereits eine Vorspannung. Die Bedienung ist deutlich einfacher als beim RHEOTENS. Der kompakte Aufbau eignet sich ebenfalls für den Anbau unter dem Kapillarrheometer. Die Spinnlänge beträgt aber bereits 230 mm, so dass man nicht mehr von isothermen Bedingungen ausgehen kann und eine Modellbildung mit isothermen Bedingungen nicht so ohne weiteres sinnvoll erscheint. Bei Materialien zum Faserspinnen sind die gemessenen Kräfte deutlich geringer als bei den anderen Verfahren, so dass die Kraftauflösung um den Faktor 20 besser als beim RHEOTENS ist. Der Nennbereich der Kraftmessung ist beim HAUL-OFF halb so groß wie beim RHEOTENS.

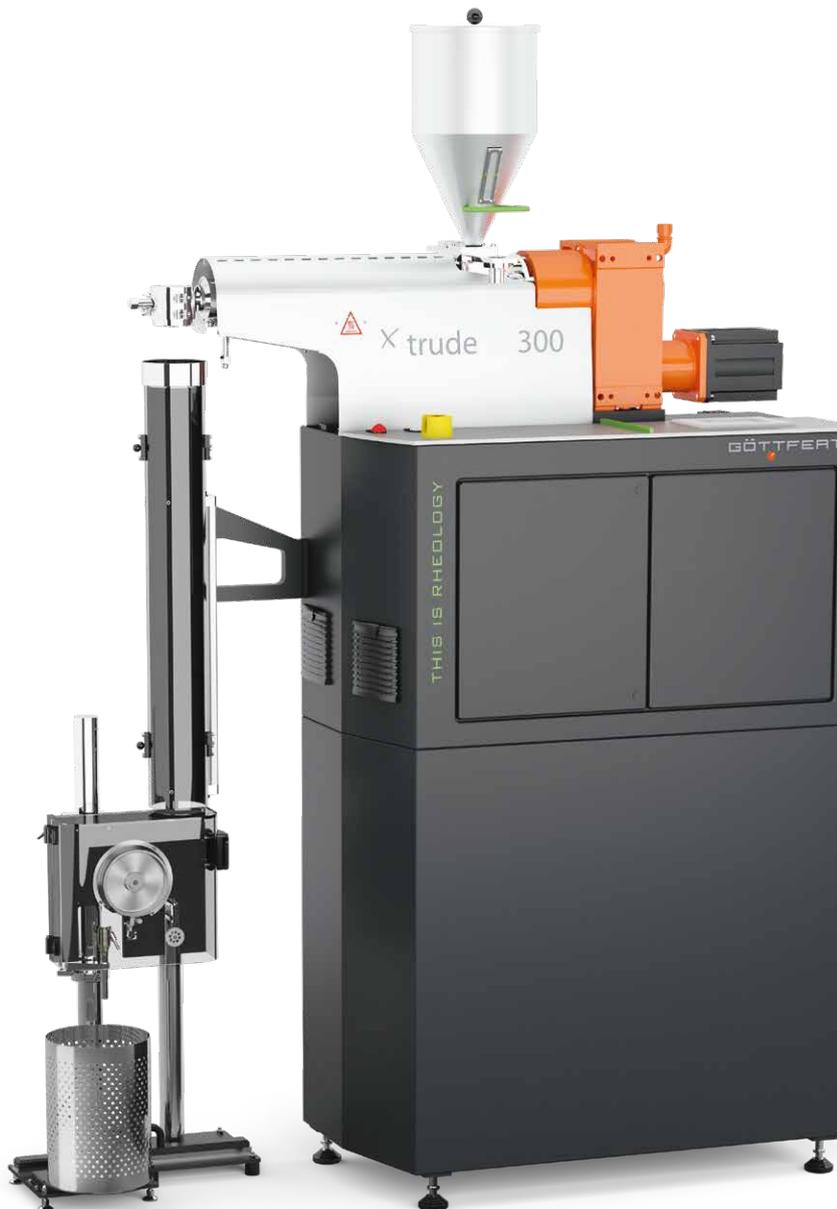
MESSUNG: ZWEI SPINNBARE PP

Die folgende Grafik zeigt die Messung (Kraft vs. Abzugsverhältnis) zweier PP Materialien, die sich nur bei sehr hohen Abzugsgeschwindigkeiten signifikant unterscheiden, wie sie beim HAUL-OFF oder dem im Folgenden beschriebenen Spin-Line Rheometer realisiert werden können.



SLR

Spinnversuche unter prozessähnlichen Bedingungen



BESONDERHEITEN

- Abzugsgeschwindigkeit bis 7000 m/min
- Einsatz eines hochauflösenden Kraftaufnehmers mit einer Auflösung von 0,05 mN
- Der Strang wird über eine Venturi-Düse vom Abzugsrad abgehoben
- Das SLR wird von einem Extruder mit Umlenkkopf mit Schmelze versorgt
- Bestimmung der Dehnviskosität aus Fadenkraft und Stranggeometrie
- Optimierung des Spinnprozesses bei der Herstellung synthetischer Fasern
- Optional Vermessung des Strangprofils über optisches Messsystem

SLR

SLR = Spin Line Rheometer

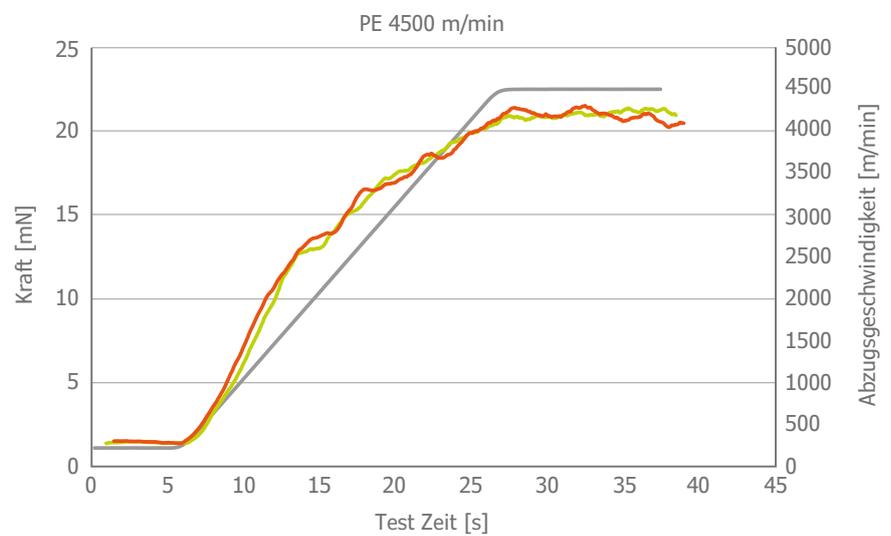
Faserspinnen wird in modernen Spinnanlagen durchgeführt, bei denen Geschwindigkeiten zu 8000 m/min realisiert werden können. Gängige Spinnprozesse laufen üblicherweise im Bereich 5000-7000 m/min. Bislang wurden diese Materialien nahezu ausschließlich aus synthetischem Kunststoff hergestellt, für den die Prozessfähigkeit hinreichend bekannt ist, der aber im Zuge der Nachhaltigkeit durch Biopolymere ersetzt wird. Hierdurch entsteht die Notwendigkeit der Prüfung unter prozessnahen Bedingungen. Für diese Anwendung ist speziell das Spin-Line Rheometer entwickelt worden, mit dem Abzugsgeschwindigkeiten bis 7000 m/min realisiert werden können. Das Material wird in einem kleinen Laborextruder aufgeschmolzen und über eine Spinnstrecke von ca. 1300 mm dem eigentlichen Spin-Line Rheometer zugeführt. Zur Messung der kleinen Fadenkräfte ist dieses Gerät ebenfalls mit einem hoch auflösenden Kraftaufnehmer ausgestattet.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

RAMPEN TEST EINES MONOFILAMENT



Ein typischer Test ist der Rampentest bis auf die gewünschte Abzugsgeschwindigkeit mit einer kurzen Haltephase der Geschwindigkeit. Hierbei kann bei einem Monofilament das Material auch ohne nennenswerte Geschwindigkeitszunahme am Abzugsrad aufgewickelt werden.

ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Generelle Anwendungsmöglichkeiten und Eignung der Prüfgeräte

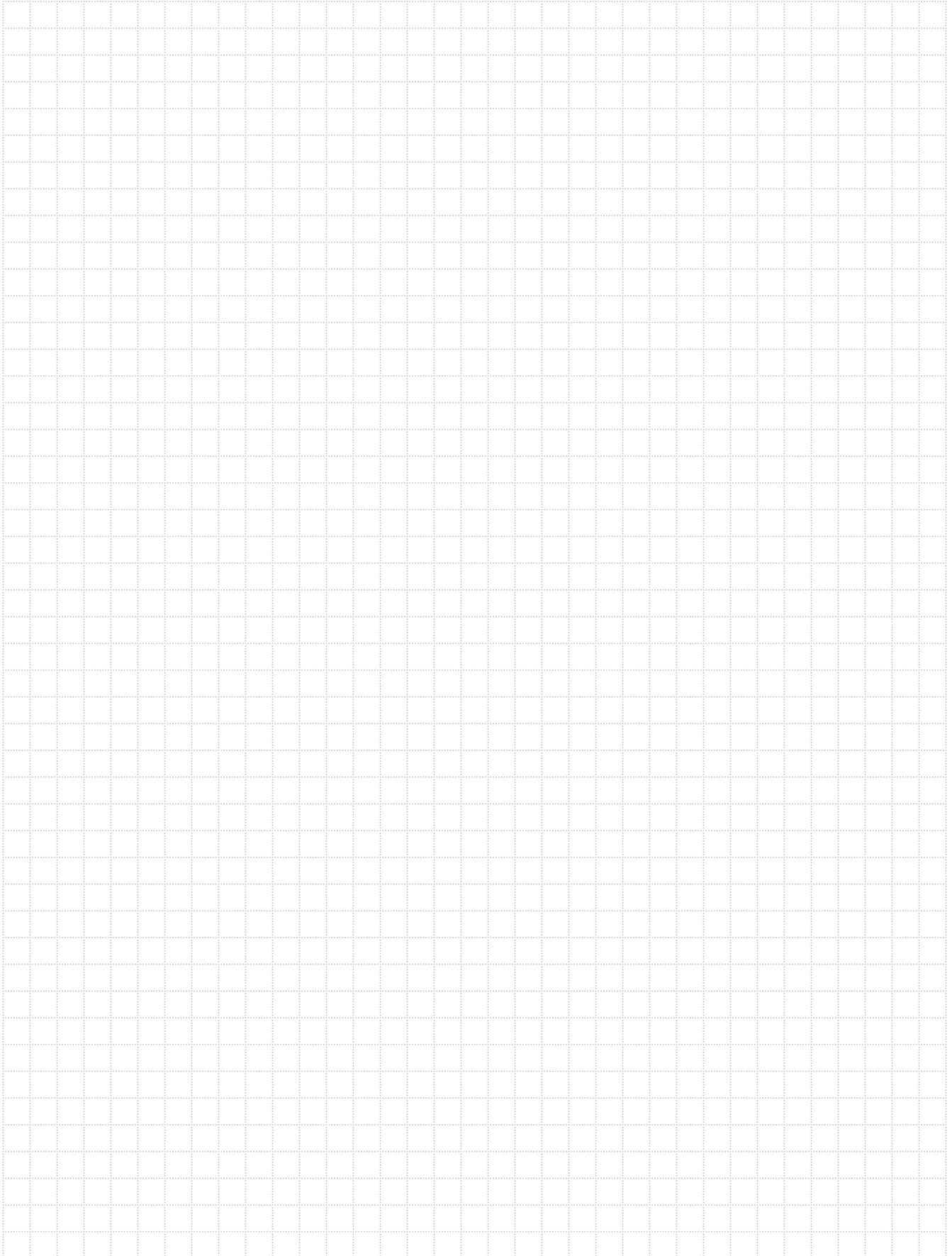
Die folgende Tabelle gibt einen generellen Überblick über die Anwendung und Eignung der unterschiedlichen Dehnungstester für Qualitätssicherung (QC), Prozess- und Werkstoffoptimierung verschiedener Fertigungsverfahren und Modellbildung.



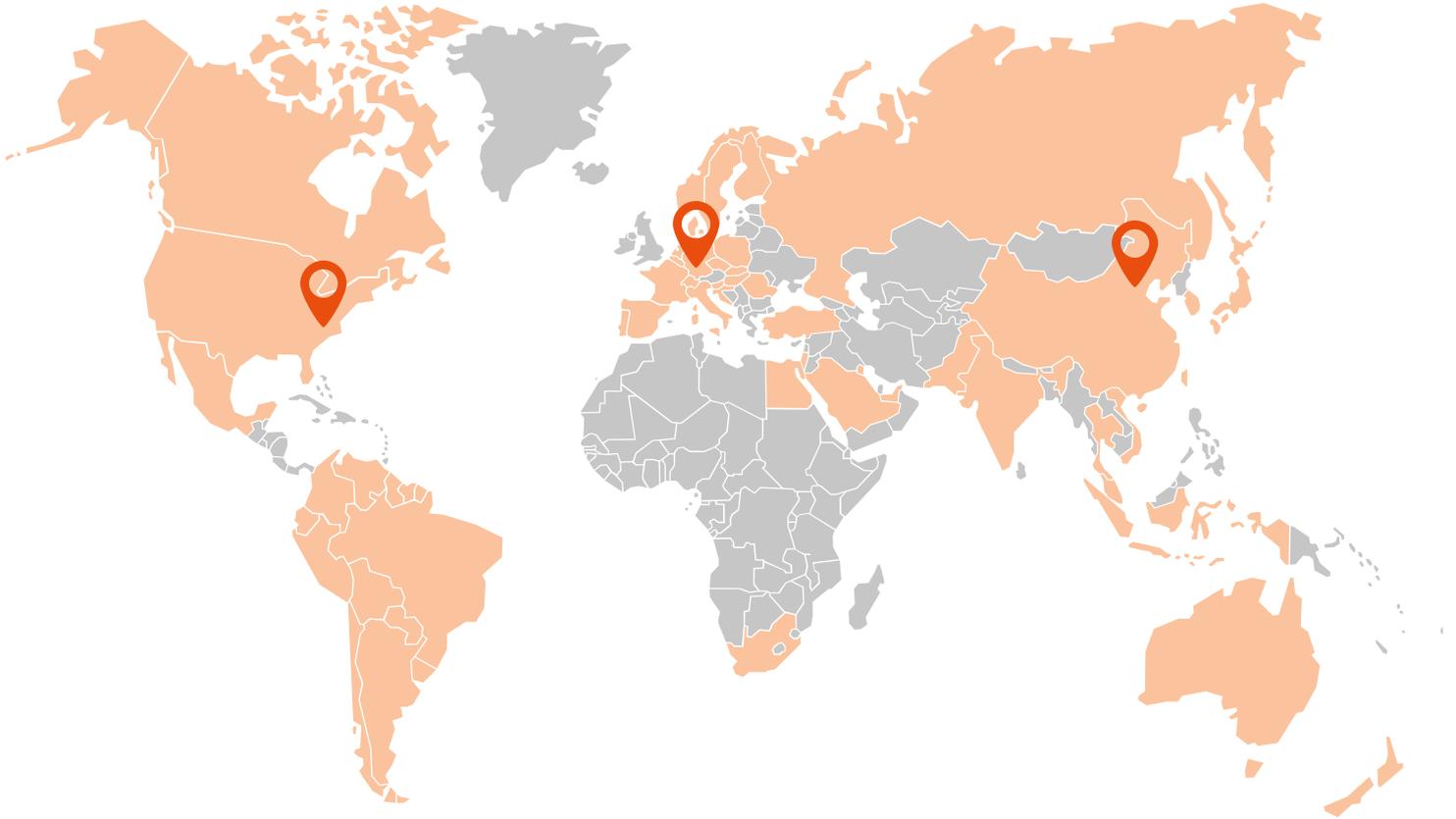
Anwendung	D-MELT	RHEOTENS	RHEOTENS Online	HAUL-OFF	Spin-Line
QC-Freigabe	●●●	-	●●●	●●	-
Kalandrieren	●	●●●	●●●	●	-
Blasformen	●	●●●	●●●	●	-
Blasfolie	●	●●●	●●●	●●	-
Tiefziehen	●	●●●	●●●	●	-
Spinnen	-	●	●	●●●	●●●●
Modellbildung	-	●●●	●●	●	●

- bestens geeignet
- sehr gut geeignet
- gut geeignet
- geeignet
- weniger geeignet

NOTIZEN



THIS IS RHEOLOGY



GOETTFERT®
THIS IS RHEOLOGY

GOETTFERT Inc.

Rock Hill, SC 29730

USA

☎ +1 803 324 3883

✉ info@goettfert.com

GÖTTFERT
THIS IS RHEOLOGY

**GÖTTFERT | Werkstoff-
Prüfmaschinen GmbH**

74722 Buchen

☎ +49 (0) 62 81 408-0

✉ info@goettfert.de

GÖTTFERT®
CHINA LIMITED

GOETTFERT (China) Ltd.

Beijing 100027

CHINA

☎ +86 10 848 320 51

✉ info@goettfert-china.com

www.goettfert.de

