

## 1. Allgemeine Features:

- Berücksichtigung von Streuungen per nichtlinearer Mittelung (keine arithmetische Mittelung)
- Keine serielle Auswertung von Versuchen notwendig, alle Parameter werden gleichzeitig gefittet
- Anpassungsqualität an Lastzustände und Lastbereiche per Wichtungen steuerbar
- Parameter können während des Parameterfittings auf einem festen Wert fixiert werden. *FEMCard Basic* trifft anhand der vorliegenden Messwerttypen eine Vorauswahl an Parametern, die während des Fittings festgehalten werden sollten.

Für alle Materialgesetze sind folgende Versuchstypen verfügbar:

- Uniaxialer Zug/Druck
- Biaxialer Zug/Druck

Für die Mehrzahl an Materialgesetzen ist ebenfalls der Versuchstyp „einfache Scherung“ verfügbar.

Für alle Versuchstypen können Lasten mit beliebiger Lastgeschichte eingehen. Beispiele: Wechsel von der Zug- in die Druckbelastung, Versuche mit Entlastung, zyklische Belastungen, Relaxationsversuche, Kriechversuche.

Bei den Zugversuchen kann für alle Materialmodelle die Querdehnung berücksichtigt werden. Somit können die Parameter, welche die Kompressibilität (Volumenänderung) des Werkstoffs beschreiben, ebenfalls ermittelt werden. Bemerkung: Bei den Materialgesetzen, für die Schubversuche eingelesen werden können, lässt sich die Kompressibilität ebenfalls über die Kombination Schubversuch mit Zugversuch (ohne Querdehnungen) bestimmen.

Biaxialversuche müssen nicht Äquibiaxialversuche sein sondern können beliebige Spannungskombinationen aufweisen.

## 2. Beispiele:

Mit den o.g. Features von *FEMCard Basic* ergibt sich eine sehr hohe Bandbreite von Möglichkeiten, um Materialparameter für gegebene Anwendungsfälle zu bestimmen.

Im Folgenden werden einige Anwendungsbeispiele mit den sich in *FEMCard Basic* ergebenden Möglichkeiten aufgeführt:

### 2.1. Hyperelastizität

Oftmals wird bei der Materialparameterbestimmung für Hyperelastizität (Neo-Hooke, Mooney-Rivlin, Ogden) von Inkompressibilität ausgegangen. Ist jedoch nicht von vorneherein bekannt, dass das Material inkompressibel ist, müssen die die Kompressibilität betreffenden Parameter bestimmt werden. Mit der Berücksichtigung von Querdehnungen im Zugversuch kann *FEMCard Basic* die die Kompressibilität betreffenden Parameter fiten.

### 2.2. Viskoelastizität

Bei zeitabhängigen Materialmodellen wie der Viskoelastizität ist oftmals ein Parametersatz für Kurz- und Langzeitbelastung erforderlich. Hierzu können in *FEMCard Basic* beispielsweise Zugversuche bei hohen Dehnraten (Crash) mit Versuchen bei langsamen Dehnraten für die Identifikation eines für alle Dehnraten gültigen Parametersatzes verwendet werden. Es können jedoch ebenso Relaxationsversuche und Kriechversuche (zusätzlich) in die Parameterbestimmung eingehen.

### 2.3. Von Mises Plastizität

Die für die meisten FEM-Softwares einzugebenden Materialparameter für Mises Plastizität sind die elastischen Konstanten sowie eine Tabelle mit den zu Fließspannungen zugehörigen (äquivalenten) plastischen Dehnungen. Nach der erfolgten Parameterbestimmung werden diese Materialparameter automatisch von *FEMCard Basic* ausgegeben. Werden beispielsweise bei den Zug- oder Druckversuchen Querdehnungen bei der Parameterbestimmung berücksichtigt, kann neben der Bestimmung der Querkontraktionszahl ebenfalls überprüft werden, ob die Mises Fließbedingung für diesen Werkstoff gültig ist.

Ebenso kann anhand von Versuchen mit (elastischer) Entlastung der Elastizitätsmodul auch bei bereits vorliegenden plastischen Dehnungen untersucht werden.

### 2.4. Von Mises Viskoplastizität

Das in *FEMCard Basic* vorliegende Überspannungsmodell (Cowper-Symonds bzw. Power-Law) kann sowohl für die Simulation von Crash, als auch von Langzeitbelastungen (Kriechen bzw. Relaxation) eingesetzt werden. Hier gilt -wie bei der Viskoelastizität- oftmals, dass die Materialparameterbestimmung anhand mehre-

rer Versuche mit unterschiedlichen Zeit- und Lastbereichen durchgeführt werden soll. Da in *FEMCard Basic* für alle Versuchstypen Lasten mit beliebiger Lastgeschichte eingehen können, ist *FEMCard Basic* das ideale Tool, um diesen Anforderungen gerecht zu werden.

## 2.5. Hill-(Visko)-Plastizität

Da die Hill-Plastizität (1948) sowohl das Standard-Materialmodell im Bereich der Blechumformung ist, als auch für viele weitere anisotrope Materialien eingesetzt werden kann, wurde dieses Modell in die erste Version von *FEMCard Basic* implementiert. Die besonderen Features von *FEMCard Basic* für dieses Materialmodell sind.

- Parameter können für Orthotropie oder transversale Isotropie gefittet werden
- *FEMCard Basic* trifft anhand der vorliegenden Messwerttypen eine Vorauswahl an Parametern, die während des Fittings festgehalten werden sollten.
- Bestimmung einer Verfestigungskurve (Tabelle), die allen Versuchen in alle untersuchten Lastrichtungen gleich gut gerecht wird.
- Das vorliegende Überspannungsmodell (Cowper-Symonds bzw. Power-Law) kann sowohl für die Simulation von Crash, als auch von Langzeitbelastungen (Kriechen bzw. Relaxation) eingesetzt werden (analog zur Mises Viskoplastizität).
- anhand von Versuchen mit (elastischer) Entlastung können die Elastizitätsmoduln auch bei bereits vorliegenden plastischen Dehnungen untersucht werden
- Werden beispielsweise bei den Zug- oder Druckversuchen die jeweiligen Querdehnungen bei der Parameterbestimmung berücksichtigt, kann neben der Bestimmung der Querkontraktionszahl ebenfalls überprüft werden, ob die Hill Fließbedingung für diesen Werkstoff gültig ist.