



Parameteridentifikation für PA66 am Beispiel einer Kopfstützenhülse

A. Haufe, S. Keßler, J. Effelsberg

DYNAmore GmbH

26. Oktober 2012



Inhalt

- Die Motivation: Kopfstützenhülse
- Der Werkstoff: PA66
- Das Materialmodell: SAMP
- Das Vorgehen: Materialkartenanpassung
- Das Ergebnis

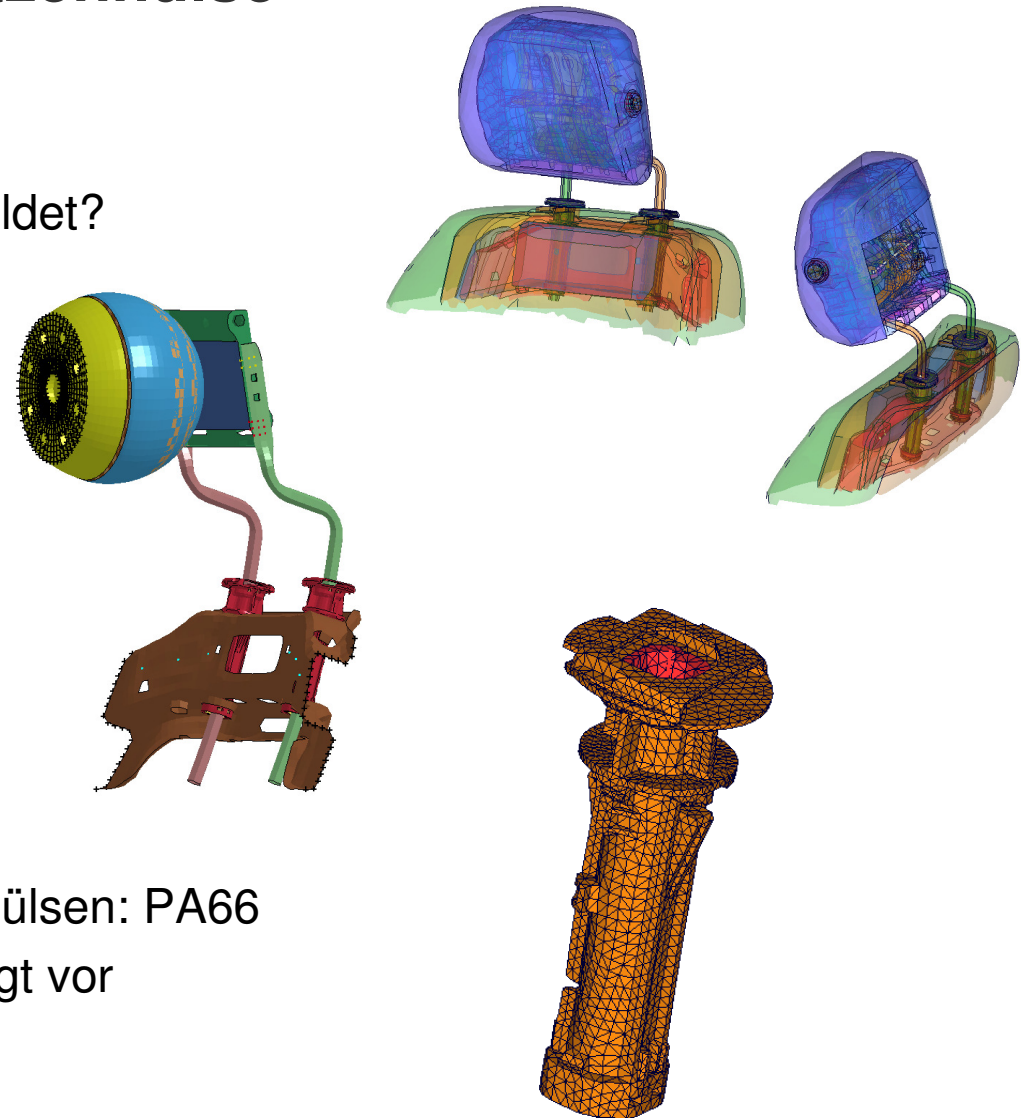
Inhalt

- Die Motivation: Kopfstützenhülle
- Der Werkstoff: PA66
- Das Materialmodell: SAMP
- Das Vorgehen: Materialkartenanpassung
- Das Ergebnis

Die Motivation: Kopfstützenhülse

→ Wird das Materialverhalten der Kunststoffhülsen richtig abgebildet?

Studien an geeigneten Komponentenversuchen



Ausgangssituation:

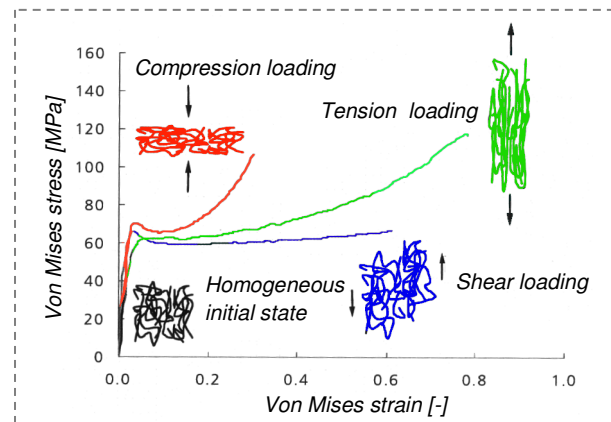
- Materialbezeichnung auf den Hülsen: PA66
- quasistatische Materialkarte liegt vor

Inhalt

- Die Motivation: Kopfstützenhülse
- **Der Werkstoff: PA66**
- Das Materialmodell: SAMP
- Das Vorgehen: Materialkartenanpassung
- Das Ergebnis

Der Werkstoff: PA66

- Bezeichnungen:
 - PA66 = PA 6.6 („Nylon“)
 - Polyamid, teilkristalliner thermoplastischer Polymer, synthetisch hergestellt
- Eigenschaften:
 - Unverstärkt: enthält keine Glasfasern/-matten
 - Dehnratenabhängig (gilt auch für E-Modul)
 - Hygroskopisch: Reaktion auf Feuchtegehalt der Umgebung mit reversibler Wasseraufnahme/-abgabe
→ Einfluss der Feuchtigkeit auf mechanische Eigenschaften

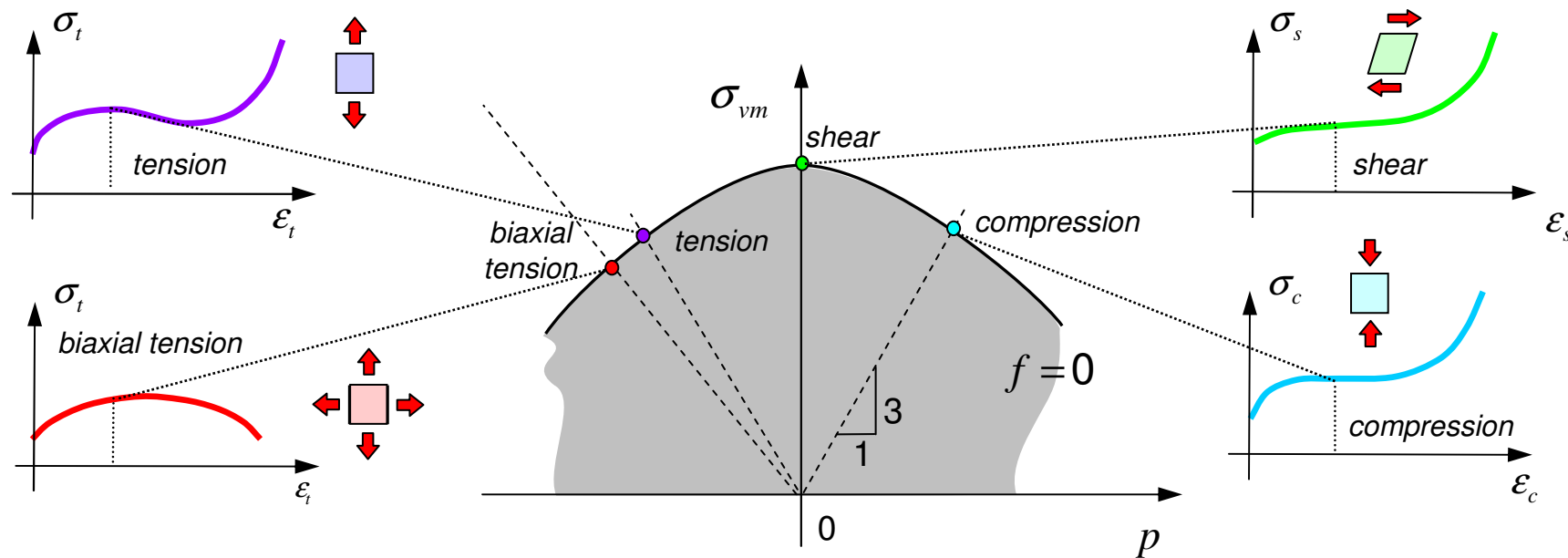
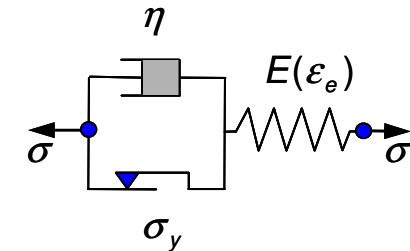


Inhalt

- Die Motivation: Kopfstützenhülse
- Der Werkstoff: PA66
- **Das Materialmodell: SAMP**
- Das Vorgehen: Materialkartenanpassung
- Das Ergebnis

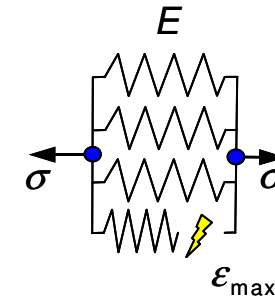
Das Materialmodell: SAMP

- Plastizität
 - Quadratische, isotrope Fließflächenformulierung: Möglichkeit, drei Ergebnisse exakt zu treffen bzw. vier näherungsweise (erzwungene Konvexität)
 - Dehnratenabhängiges Verhalten: Fließkurven zu verschiedenen Dehnraten über tabellierte Eingabe

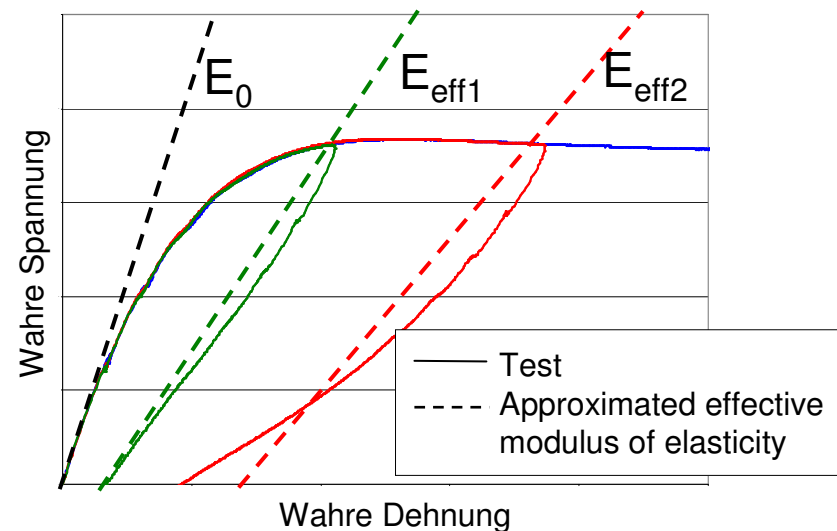


Das Materialmodell: SAMP

- Schädigung
 - Abbildung von Entlastungspfaden, zykl. Belastungen und mechanischer Entfestigung über Schädigung
 - Schädigungsvariable beschreibt Querschnittsanteil, der keine Last mehr überträgt (Risse, Poren, ...)
 - Elastische Schädigung reduziert materielle Steifigkeit
 - Duktile Schädigung beeinträchtigt materielle Festigkeitseigenschaften (bzw. Steifigkeit und Festigkeit eines Materials)



$$\sigma_{eff} = \sigma_{pl} (1 - d(\bar{\epsilon}^{pl}))$$

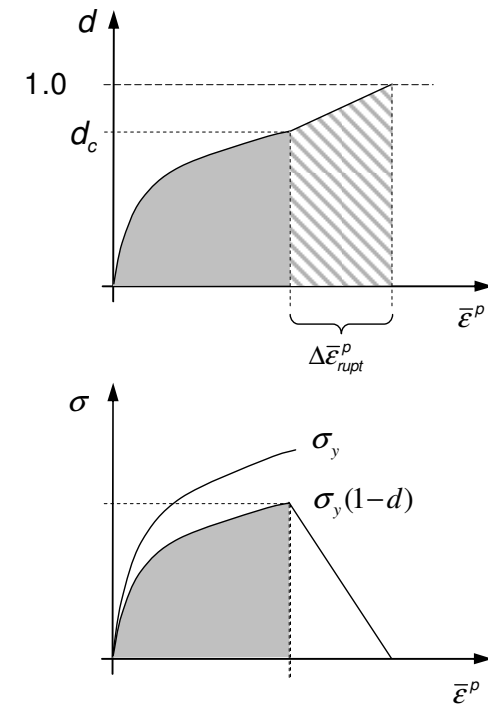
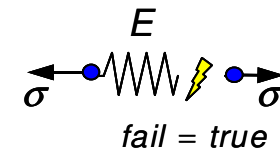


Das Materialmodell: SAMP

▪ Versagen

- Feine Diskretisierung zur Erfassung der Lokalisierung vor dem Versagen
- Berücksichtigung der Deformationsgeschichte von der Herstellung bis zur Crashbelastung
- Eingabe von Materialdaten bis zum Versagen (Verfestigungskurve ab Einschnüren über reverse engineering ermitteln)
- Regularisierung aufgrund netzabhängigen Verhaltens
- Mögliche Eingabeparameter zur Versagensbeschreibung:
 - Beginn des Versagens d_c
 - Ausblenden der Elemente $\Delta \bar{\epsilon}_{rupt}^p$
 - Versagen in Abhängigkeit von
 - Dehnrage
 - Elementgröße (Regularisierung)
 - Dreiachsigkeit

} jeweils als load curve

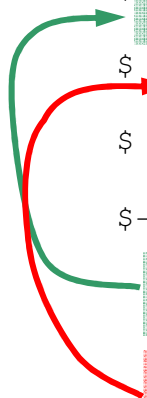


Das Materialmodell: SAMP

Definition einiger Materialparameter

```

$-----
*MAT_SAMP-1
$      MID      RO      BULK      GMOD      EMOD      NUE      RBCFAC
      1      1.00e-6      0      0      10.0      0.3
$      LCID-T      LCID-C      LCID-S      LCID-B      NUEP      LCID-P      INCDAM
      10      11      12      13      17
$      LCID-D      EPFAIL      DEPRPT      LCID-TRI      LCID-LC      ASAF
      14      0.2      0.3      15      16      1
$      MITER      MIPS      INCFAIL      ICONV
      100      10      1      0
$-----
    
```



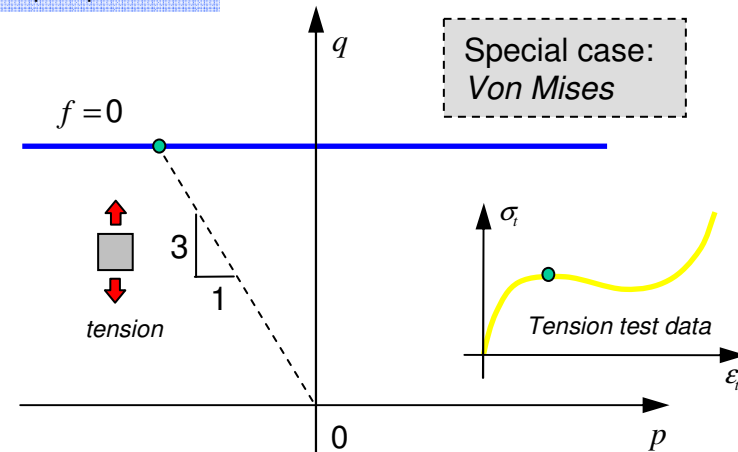
Stress vs. equiv. pl. strain curve definitions from tension, compression, shear and biaxial tension tests

Damage value as a function of equiv. pl. strain (will scale stresses)

Poissons ratio during plastic loading: Constant or as a function of equiv. pl. strain

SAMP-1 can use maximal 3 curves to define the evolution. If 4 curves are given a least square interpolation is internally done to fit 3 data point (i. e. defined by 3 curve definitions).

If less than 3 curves are given the yield surface is reduced to a *Drucker-Prager* (2 LCIDs) or a *von Mises* cylinder (1 LCID). Note that in LCID-T a table for a strain-rate dependent yield curve may be specified.

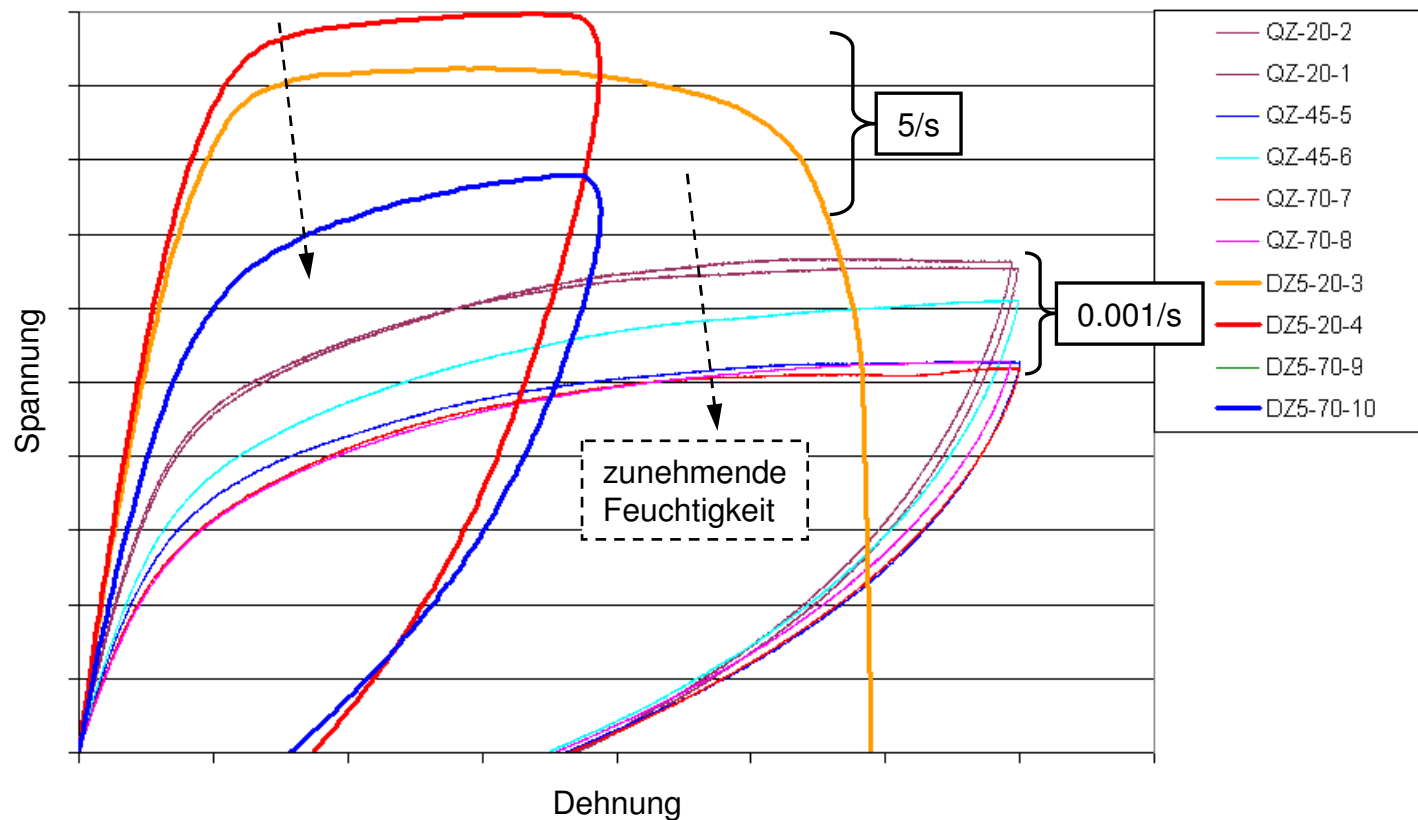


Inhalt

- Die Motivation: Kopfstützenhülse
- Der Werkstoff: PA66
- Das Materialmodell: SAMP
- **Das Vorgehen: Materialkartenanpassung**
- Das Ergebnis

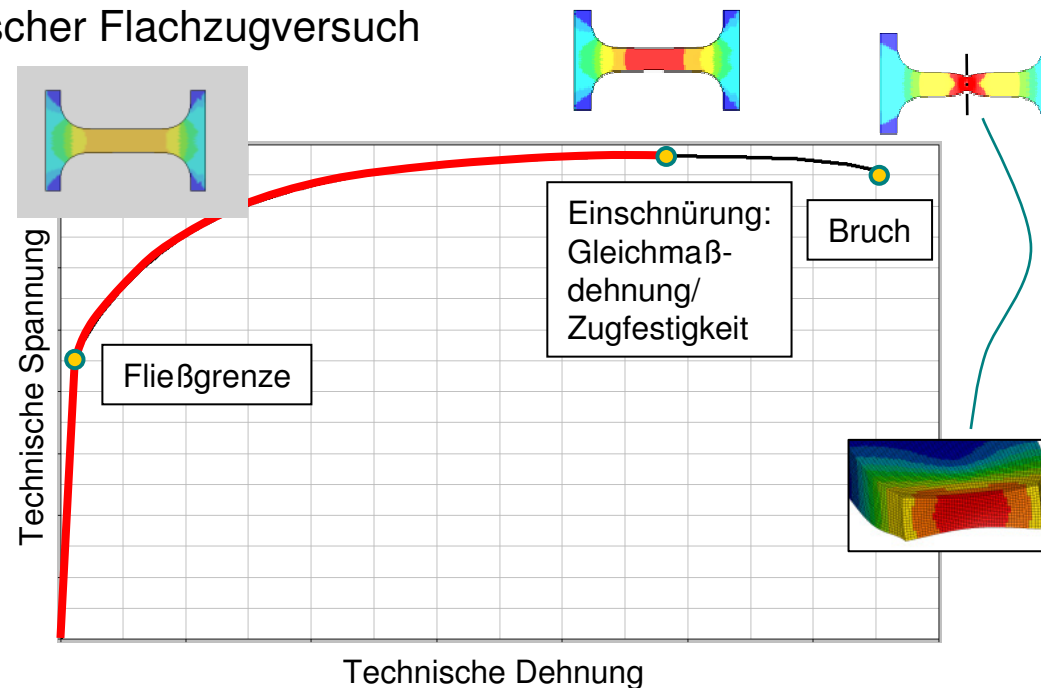
Das Vorgehen: Materialkartenanpassung

- Dynamische Zugversuche mit Entlastung (Dehnraten: 0.001/s und 5/s)
 - Probekörper: Aussägen von zwei „ebenen“, rechteckigen Streifen je Hülse
 - Konditionierung auf 22, 45 und 70% Luftfeuchtigkeit bei 23° C (Klimakammer)



Das Vorgehen: Materialkartenanpassung

- Sonderfall SAMP: *Von Mises*-Plastizität (vgl. *MAT_024)
 - Fließkurve: isotrope Verfestigungskurve (eff. Spannung vs. eff. plast. Dehnung)
 - Quasistatischer Flachzugversuch

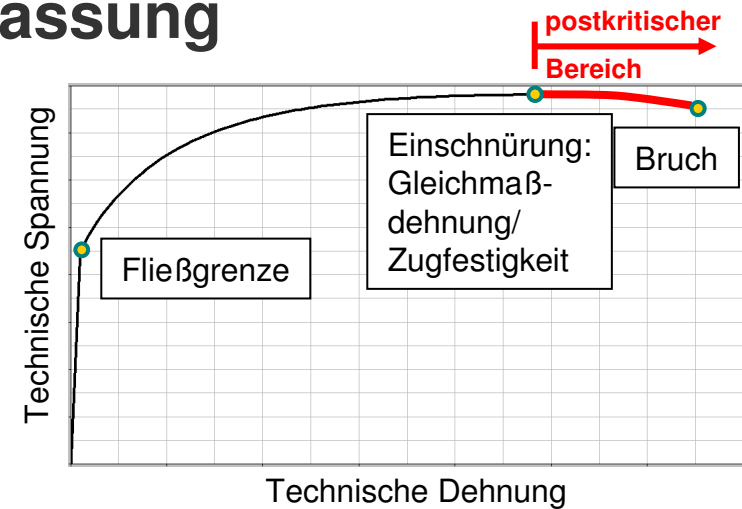


- bis zur Gleichmaßdehnung: direkte Umrechnung der Versuchskurve
 - technische Werte → wahre Werte → Abzug elastischer Anteil

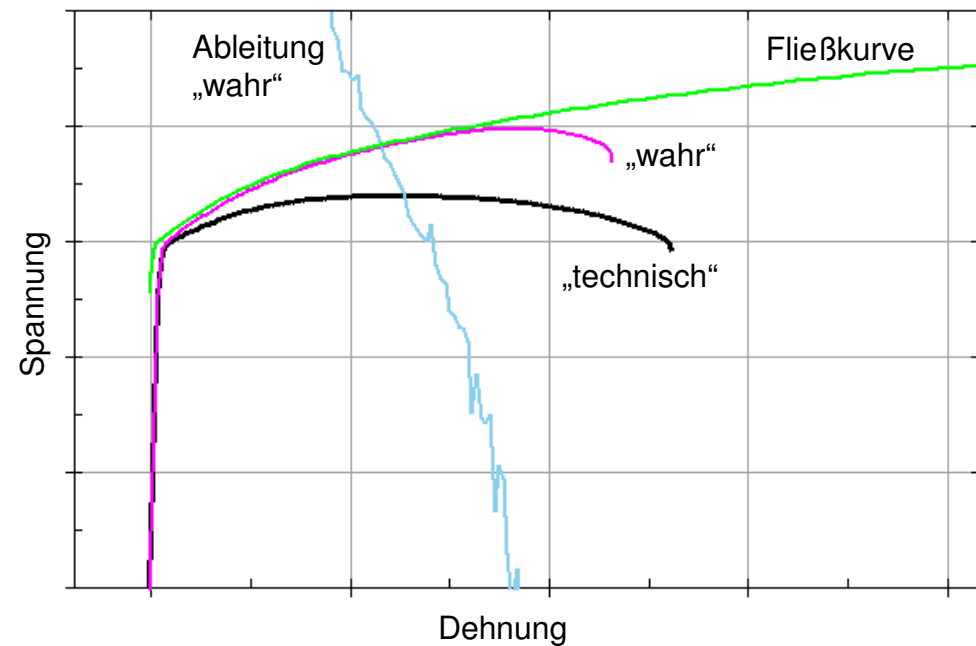
- Spannung: $\sigma_{wahr} = \sigma_{tech} (1 + \epsilon_{tech})$
- Dehnung: $\epsilon_{wahr} = \ln(1 + \epsilon_{tech})$, $\epsilon_{wahr, plast} = \epsilon_{wahr} - \frac{\sigma_{wahr}}{E}$

Das Vorgehen: Materialkartenanpassung

- ab der Gleichmaßdehnung:
iterative Anpassung an Versuchskurve
 - Individuelle oder analytische Ansätze
z. B. *Gosh*, *Hocket-Sherby*, *Swift*, *Voce*



- Optimierung mit LS-OPT
 - Extrapolationsstrategie mit zwei oder drei freien Parametern
 - Variation der Fließkurve
 - Ziel: minimaler Fehler zwischen technischer Spannungs-Dehnungskurve aus Versuch und Simulation



Das Vorgehen: Materialkartenanpassung

- 22% Luftfeuchtigkeit: Neue Materialkarte PA66_cond22_samp

***MAT_SAMP-1**

```

$      MID      RO      BULK      GMOD      EMOD      NUE      RBCFAC      NUMINT
      1  1.00E-06
$      LCID-T    LCID-C    LCID-S    LCID-B    NUEP    LCID-P      INCDAM
      100
      0.5
$      LCID-D    EPFAIL    DEPRPT    LCID_TRI    LCID_LC
      -103
$      MITER      MIPS      INCFAIL    ICONV      ASAF
  
```

***DEFINE_CURVE**

```

$      LCID      SIDR      SFA      SFO      OFFA      OFFO
      103         0        1.0      1.0
$
      X          Y
  
```

***DEFINE_TABLE**

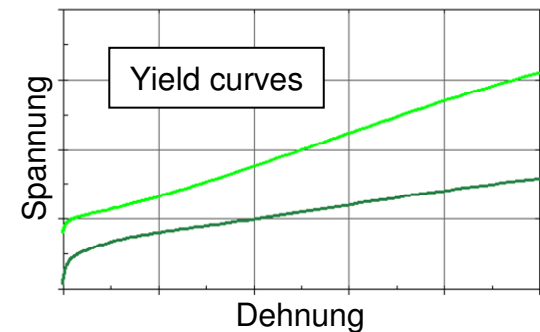
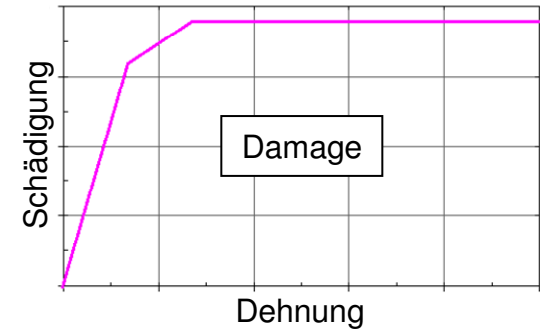
```

$      TBID      SFA      OFFA
      100
$      VALUE
      0.0000
      0.0050
  
```

***DEFINE_CURVE**

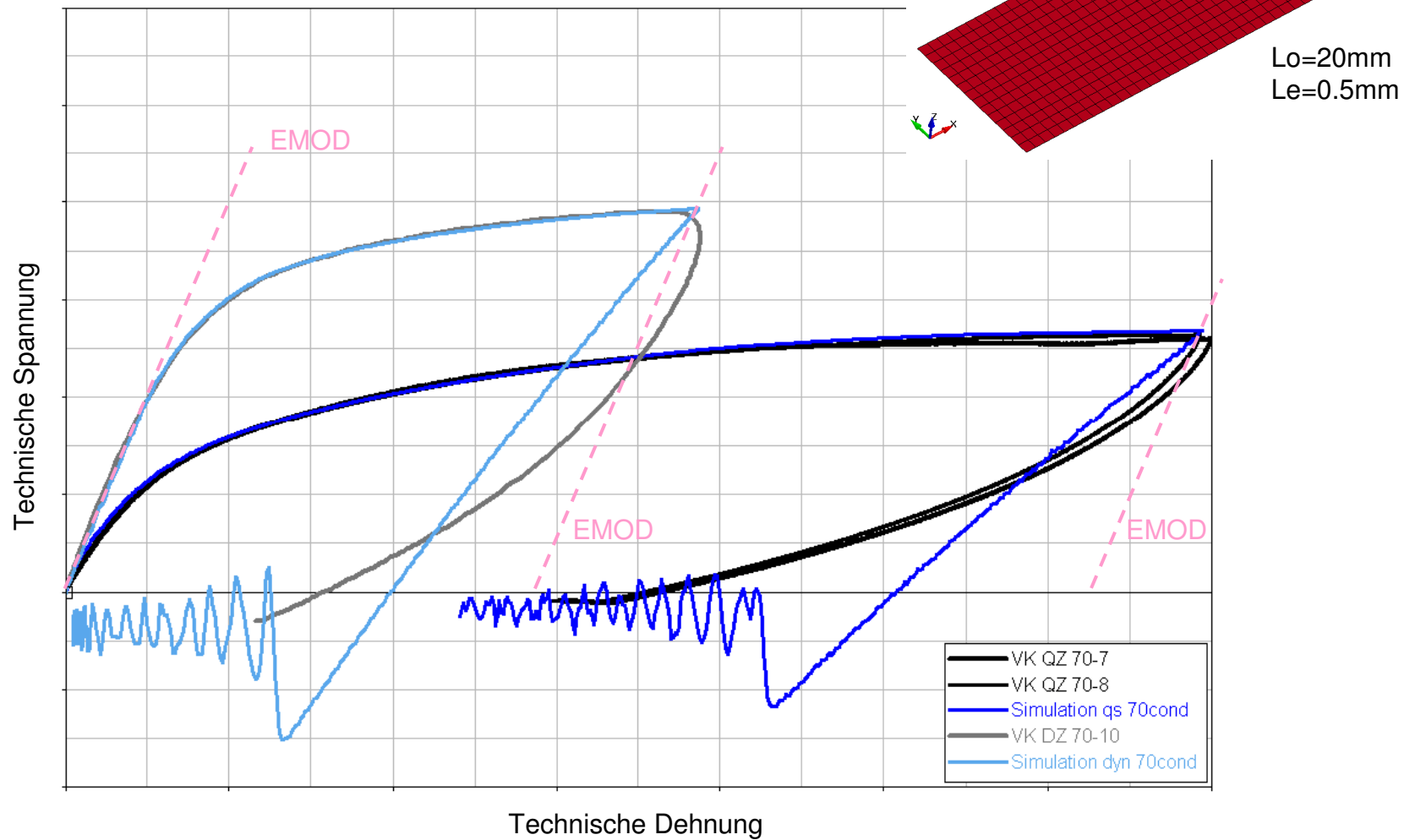
```

$      LCID      SIDR      SFA      SFO      OFFA      OFFO
      101         0        1.0      1.0
$
      X          Y
  
```



Das Vorgehen: Materialkartenanpassung

- 70% Luftfeuchtigkeit

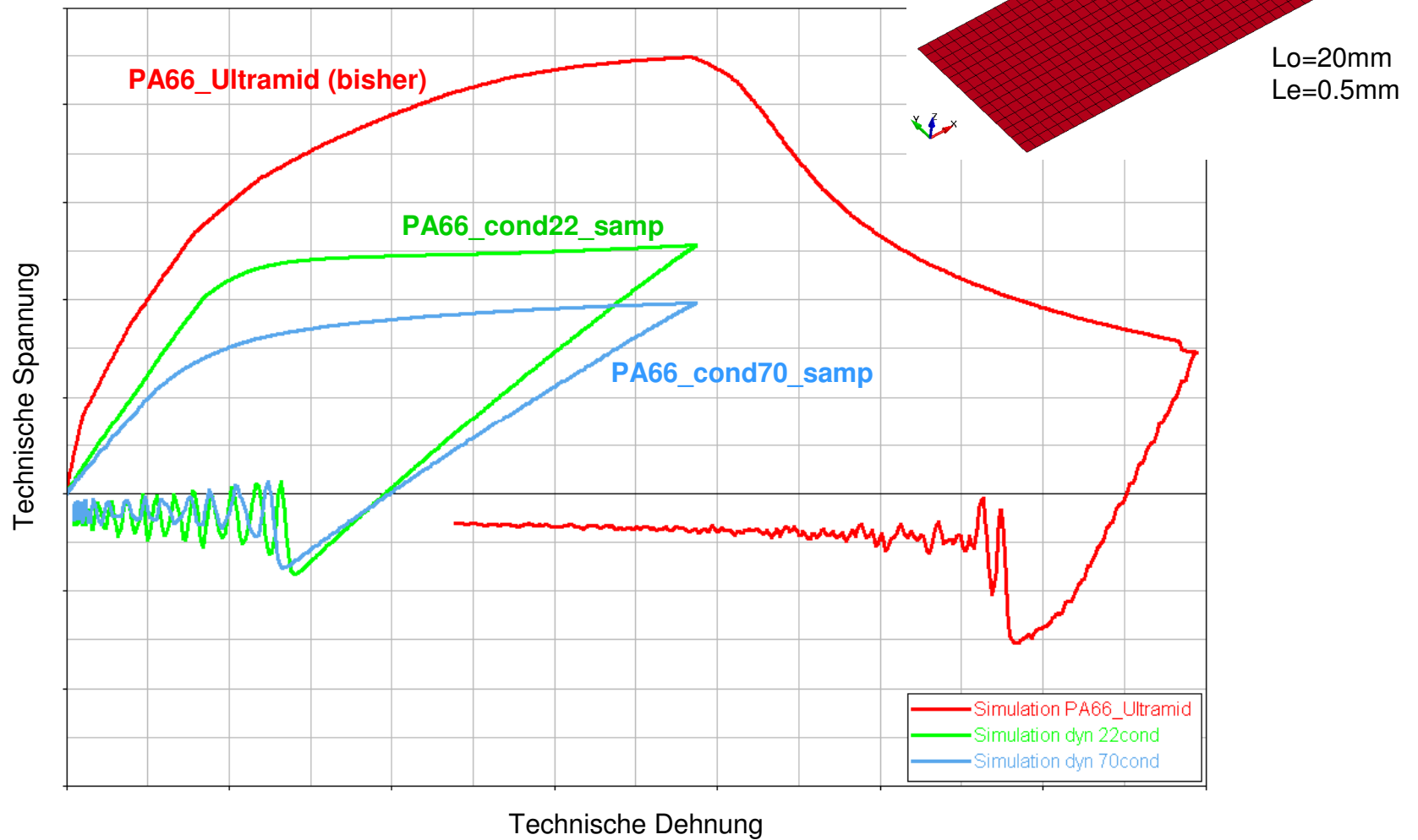


Inhalt

- Die Motivation: Kopfstützenhülse
- Der Werkstoff: PA66
- Das Materialmodell: SAMP
- Das Vorgehen: Materialkartenanpassung
- **Das Ergebnis**

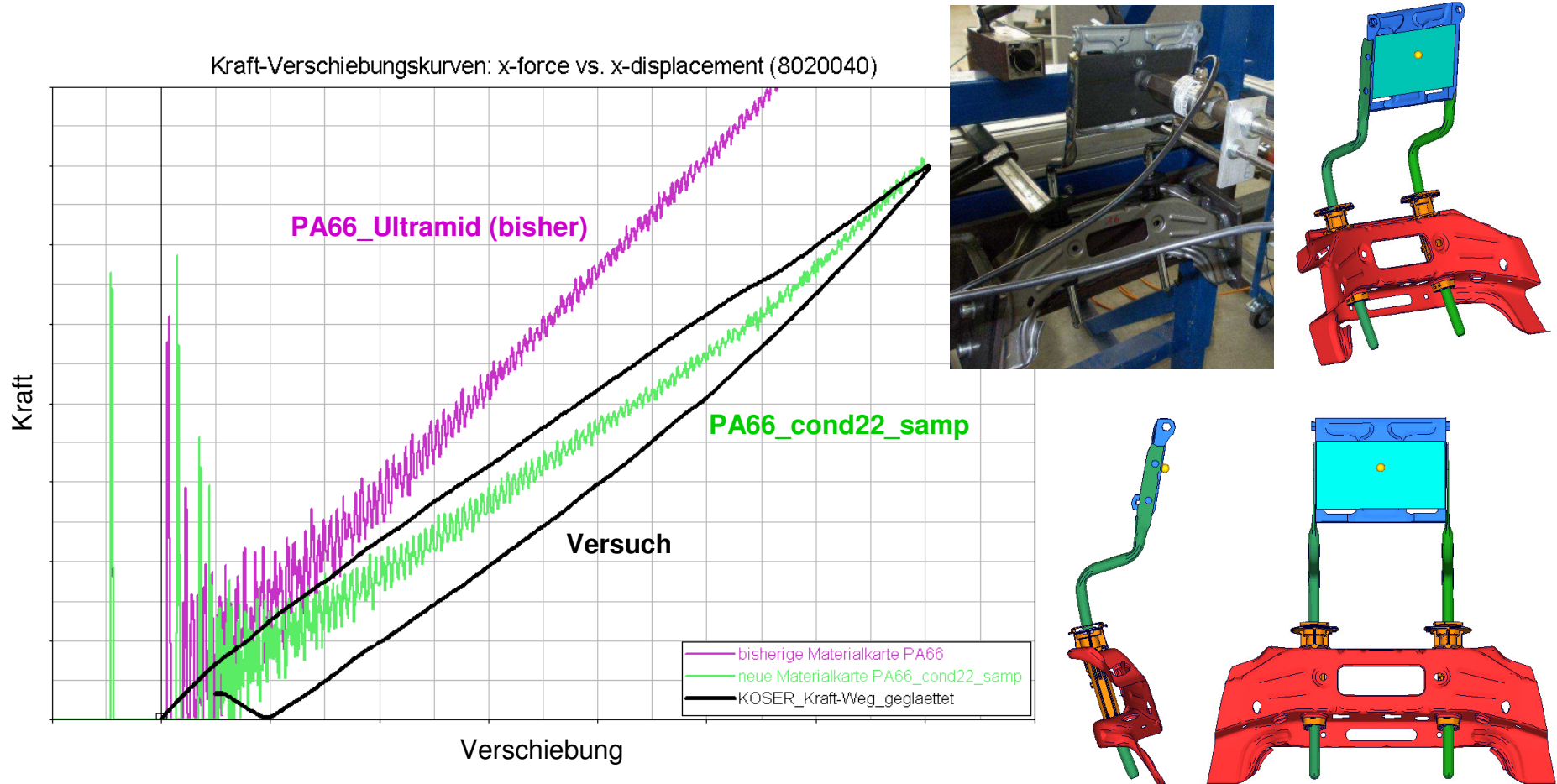
Das Ergebnis

- Vergleich „bisher vs. neu“: Zugversuch



Das Ergebnis

- Vergleich „bisher vs. neu“: Komponentenversuch



Das Ergebnis

Zusammenfassung

- PA66 zeigt dehnratenabhängiges Verhalten.
- Die hygroskopischen Eigenschaften des PA66 sind nicht zu vernachlässigen. Eine Lagerung bei höherer Luftfeuchtigkeit führt zu niedrigeren Festigkeiten.
- Die Schädigungsdefinition des Materialmodell SAMP (LCID-D) ist gut geeignet, um die Entlastungspfade der dynamischen Zugversuche des PA66 abzubilden.
- Deutliche Verbesserung bei der Simulation des Komponentenversuch mit der neu erstellten Materialkarte.

Dankeschön

Diese Arbeit ist in Zusammenarbeit mit der Daimler AG entstanden.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!