

«Ein Bild sagt mehr als tausend Worte.»





**OST**

Ostschweizer  
Fachhochschule

# Kunststoffgerechte Bauteilauslegung in 3D mittels Python Results

## Erweiterte Ergebnisauswertung in Ansys Mechanical

Elia Jenni

15. Juni 2023

IWK OST



**SIMULATION  
CONFERENCE**



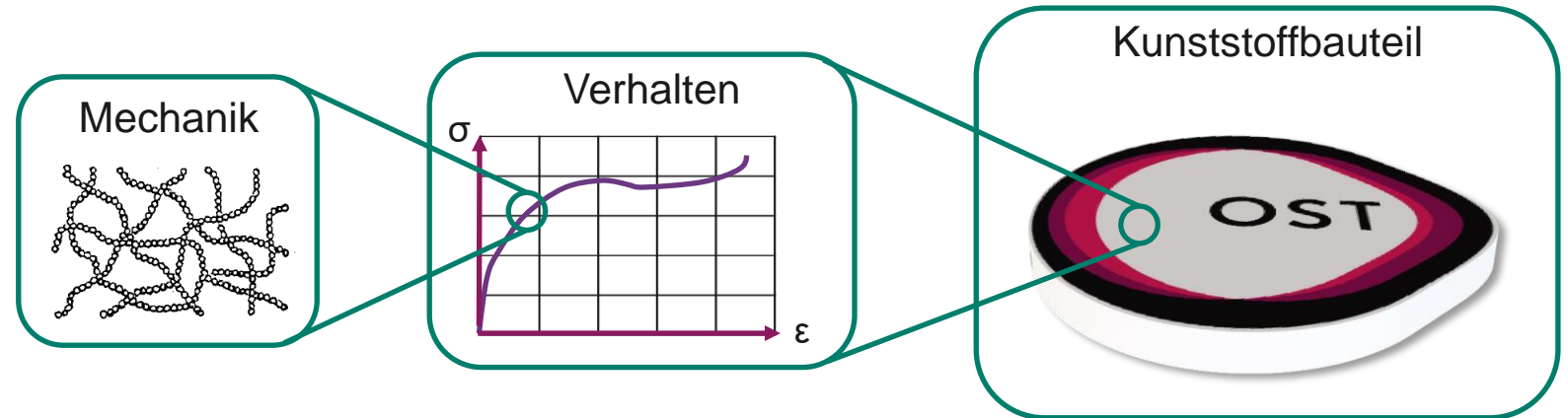
INSTITUT FÜR WERKSTOFFTECHNIK  
UND KUNSTSTOFFVERARBEITUNG



# Agenda

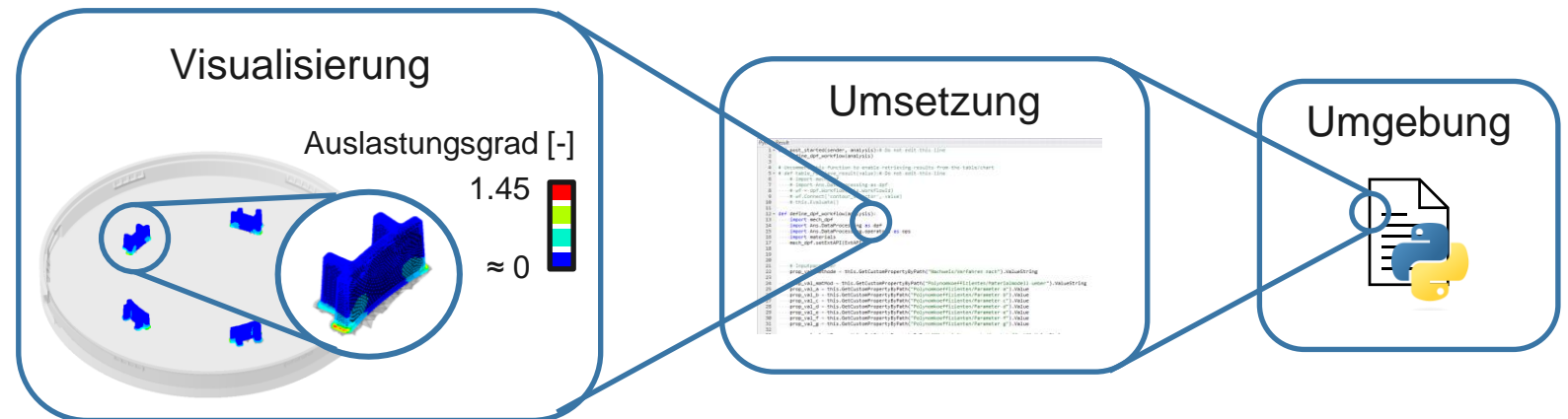
## → Kunststoffe

- Im Einsatz
- Im CAE
- Mechanik
- Versagensarten
- Auslegung



## → Python Results

- Big Picture
- DPF Umgebung
- Umsetzung
- Ausblick



## Referent

### Steckbrief

Name: Elia Jenni

Geburtstag: 26.01.1999

Studium: Maschinentechnik | Innovation  
Ostschweizer Fachhochschule (OST)

Abschluss: BSc FHO, Sommer 2022

Arbeitgeber: Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK)

Fachbereich: Simulation & Design



### Studienarbeit

Simulation einer  
klassischen Gitarre



Eigenschwingungsform zur  
Eigenfrequenz 823 Hz

## Kunststoffe im Einsatz

Die gezielte Nutzung der Eigenschaftsvielfalt von Kunststoffen ermöglicht eine anwendungsbezogene, belastungs- und herstellungsgerechte Produktentwicklung.

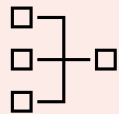
Design-  
freiheit



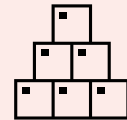
Gewichts-  
einsparung



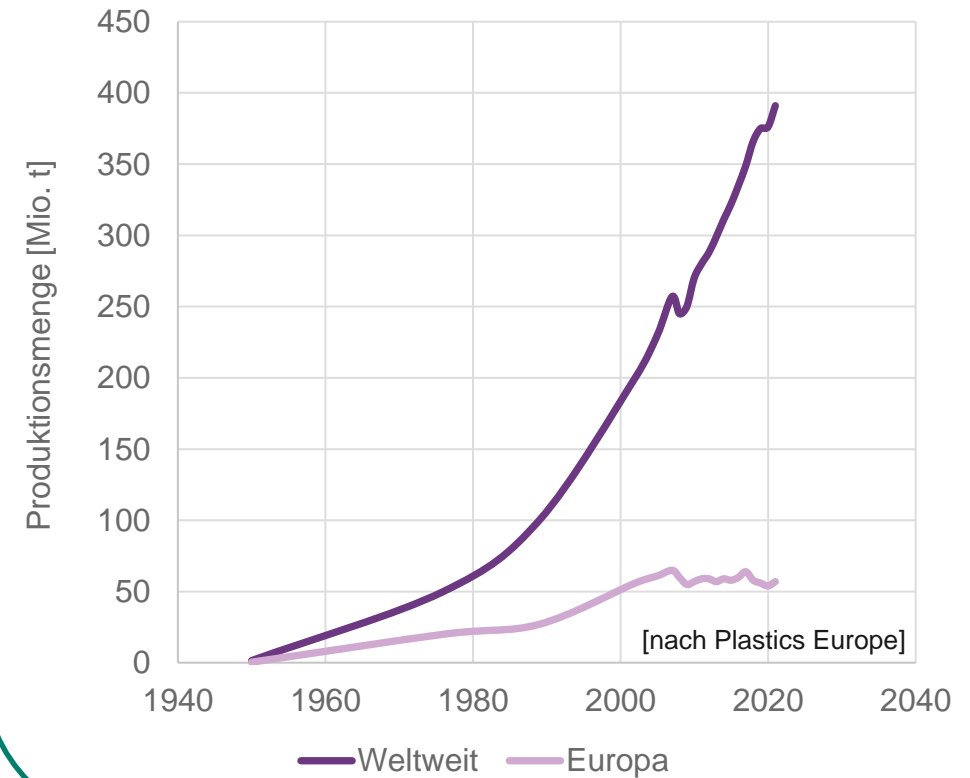
Funktions-  
integration



Massen-  
produktion



### Kunststoffproduktion

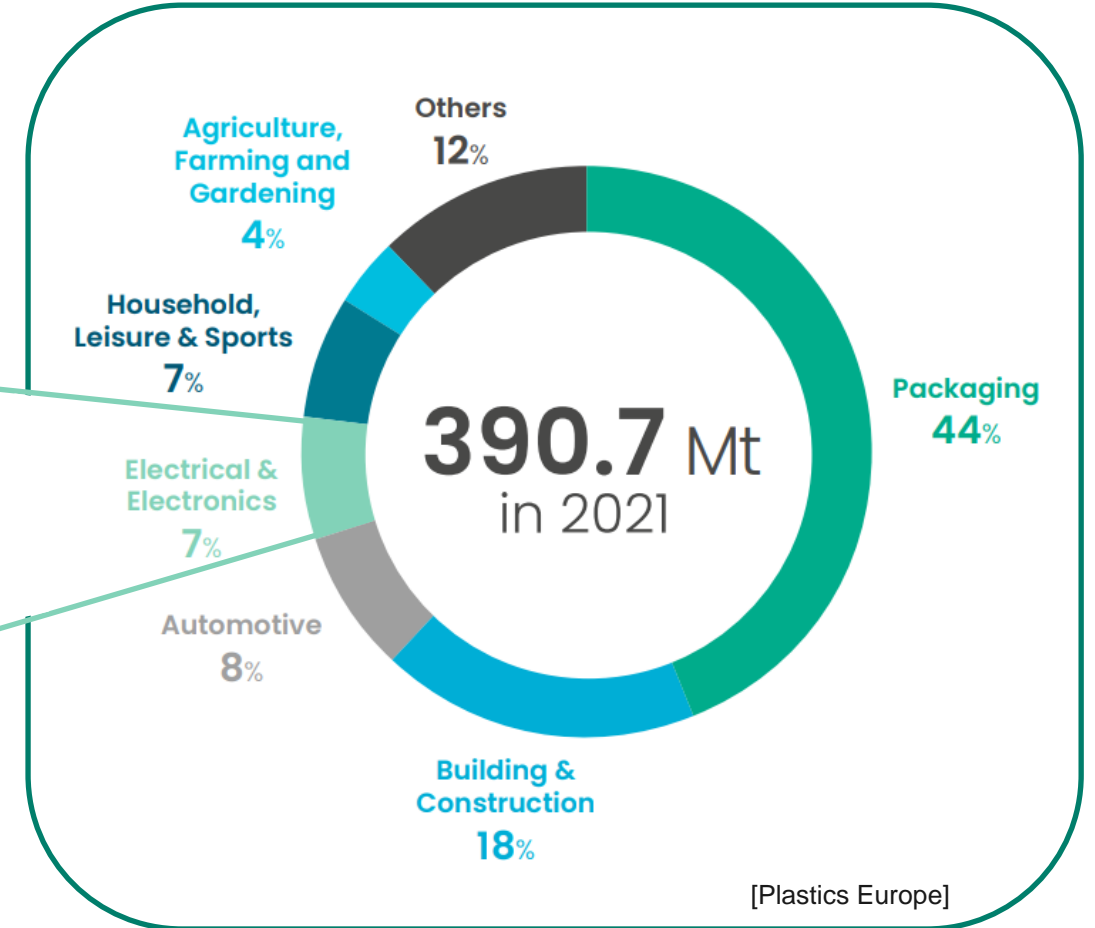
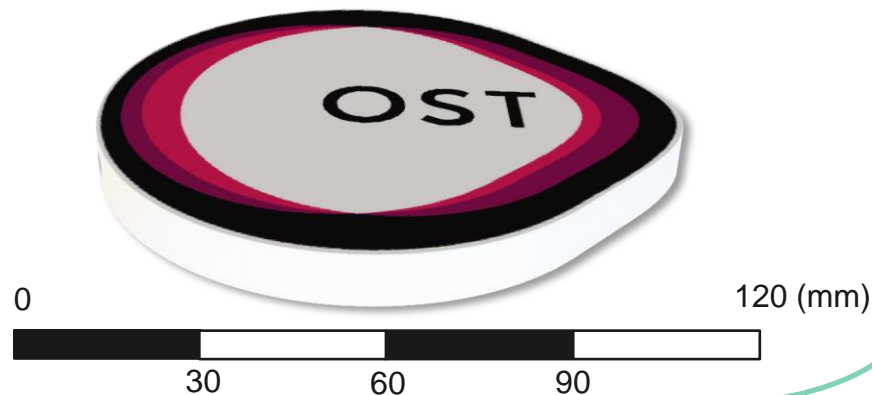


## Kunststoffe im Einsatz

Zunehmender Einsatz in hochbeanspruchten Bauteilen führt zu einer steigenden Bedeutung von CAE bei Kunststoffen

*Beispielteil:*

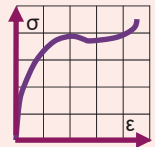
Kontaktlose Handy-Ladestation  
(OST-Gadget)



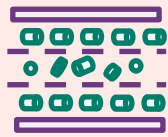
## Kunststoffe im CAE

### Schwierigkeiten der Modellierung

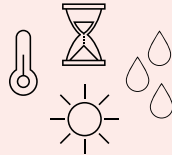
Komplexes  
Materialverhalten



Einfluss der  
Herstellung

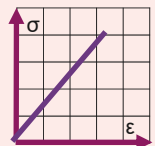


Einfluss der  
Umwelt

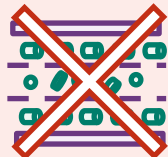


### Verbreiteter Ansatz

Modell



Prozess

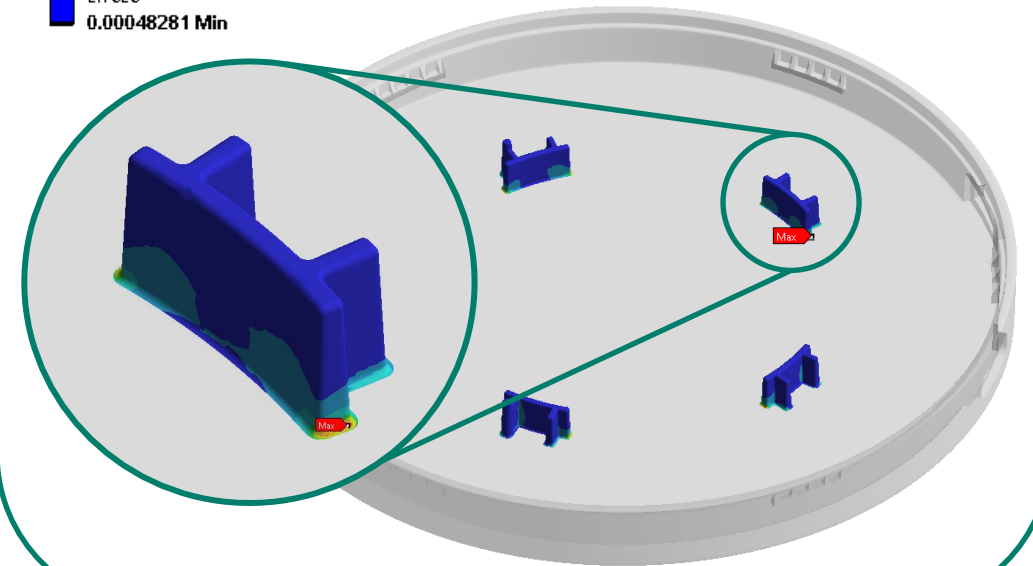
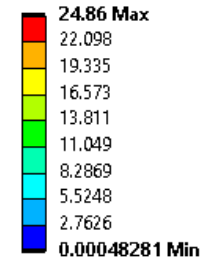


Auslegung

$$\sigma_{V,GEH} \leq \frac{\sigma_G}{S}$$

(C = 1)

### Vergleichsspannung nach Von Mises [MPa]



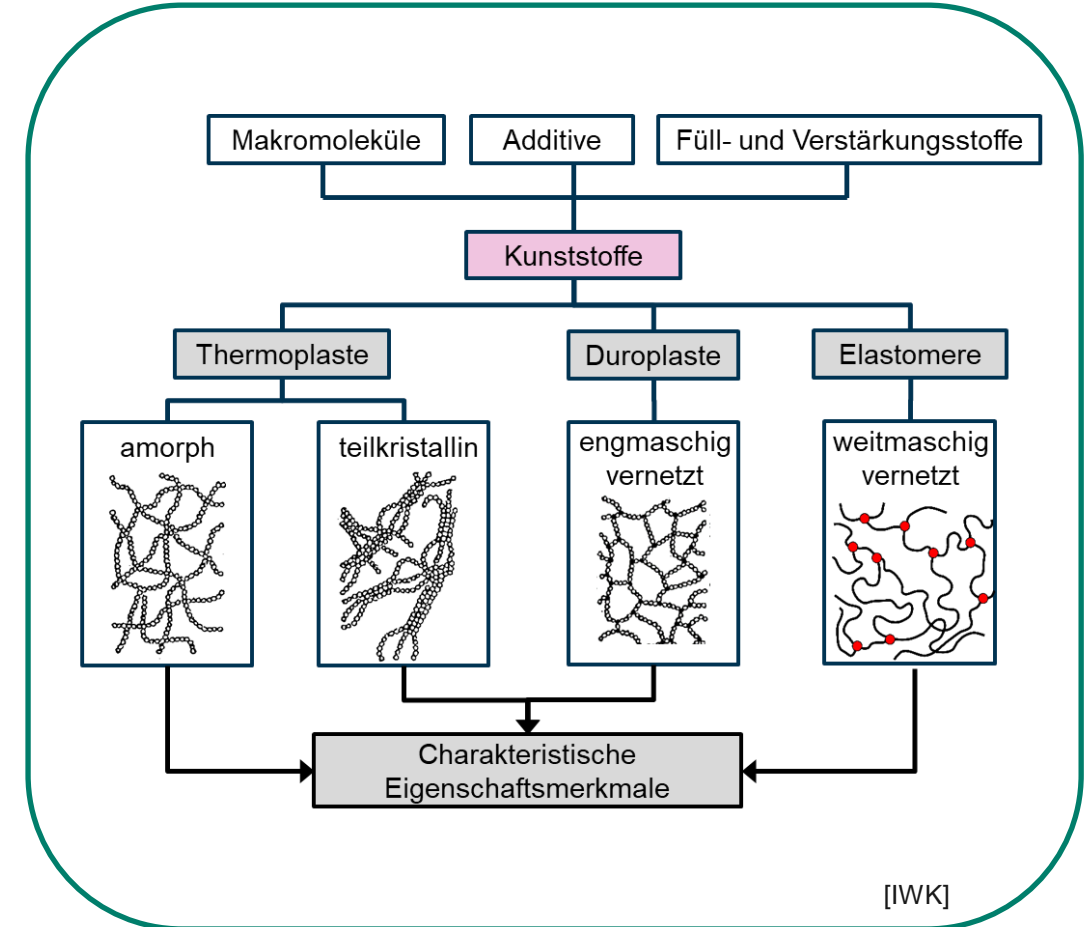
## Kunststoffmechanik

### Polymere

- Makromolekulare Stoffe, die durch ihre Struktur und Molekulargewichtsverteilung charakterisiert werden.
- Vielzahl wirr ineinander verknäuelter Molekülketten mit mehr oder weniger starkem Zusammenhalt zwischen den Ketten.

### Modellierung

- Mathematisch sehr anspruchsvoll.
- Modelle meist phänomenologischer Basis und auf Lastfall und Kunststofftyp begrenzt.
- Kein allumfassendes Werkstoffmodell vorhanden.





## Kunststoffmechanik

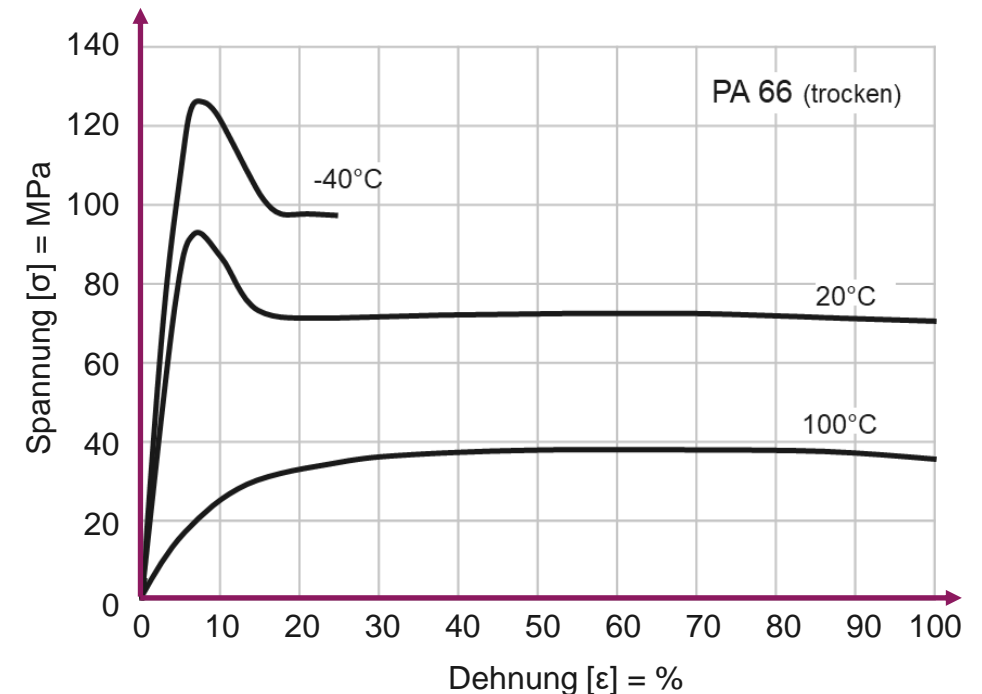
### Verhalten

- Abhängigkeit der energieärmeren Nebenvalenzen vom Abstand der Molekülketten, dem Valenzwinkel und dem Ordnungszustand (Entropie).
- Diese werden unter anderem beeinflusst durch:
  - Temperatur
  - Belastungsart
  - Umgebung
  - Belastungsgeschwindigkeit
  - Belastungszeit

### z.B. Temperatur

- Je höher die Temperatur, desto grösser ist der Raum, indem sich die Moleküle bewegen.
- Abschwächung der Nebenvalenzen.

### Temperatureinfluss



[nach BAUR et al. in Saechtling]

## Versagensarten

### 3. Bruch

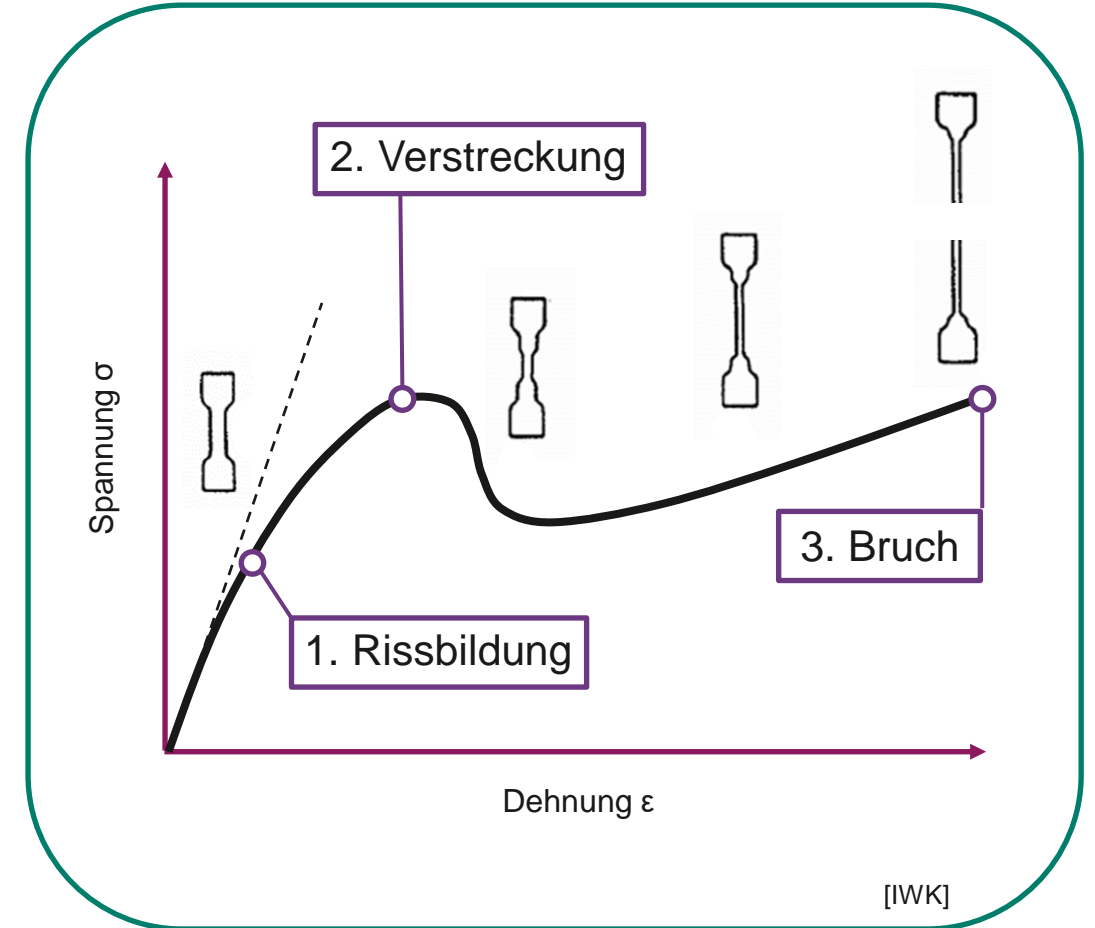
- Finales Versagen.
- Aufbrechen (Zerreißen) der Molekülketten.

### 2. Verstreckung

- Bei Kunststoffen mit zähem Verhalten geht dem Bruch eine mehr oder weniger grosse Verstreckung voraus.
- Abgleiten (Ausziehen) der Molekülketten aufgrund starker Überdehnung.

### 1. Rissbildung

- Irreversible Schädigung im Mikrobereich
- Mikroskopische (Über-) Dehnung der Molekülketten.



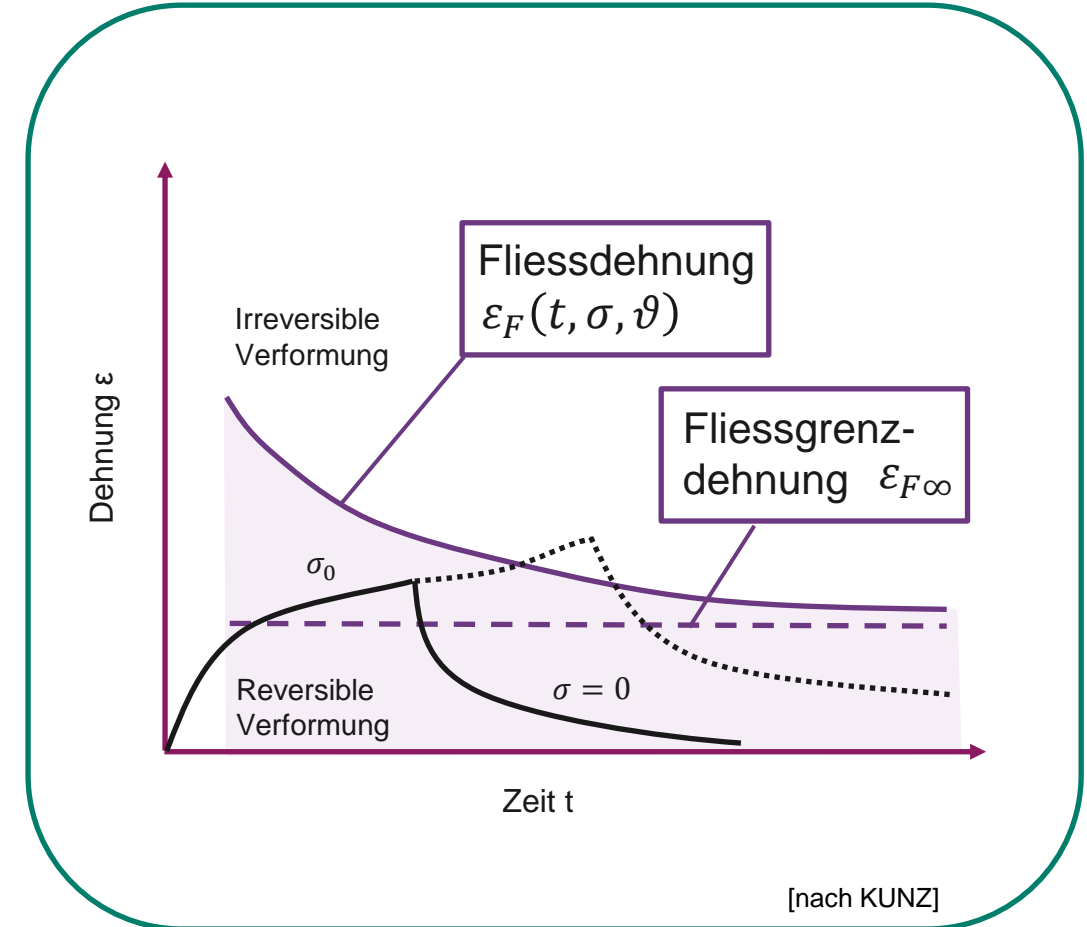
## Versagensarten

### Rissbildung

- Die bleibenden (kleinen) Verformungen und Kerben wirken als Rissursprung und sind insbesondere bei langzeitbelasteten Bauteilen kritisch.
- Um ein Versagen auszuschliessen empfiehlt sich die Auslegung bezüglich der Fließgrenzdehnung, welche weitgehend unabhängig von Zeit, Temperatur, Spannungszustand, Umgebungsmedium etc. ist.
- Kennwert aufgrund aufwendiger Messverfahren nicht verbreitet.

### Fließgrenzdehnungen von Thermoplasten

Teilkristallin:	2.0 bis 4.0 %	Teilkristallin gefüllt:	1.0 bis 2.0 %
Amorph:	0.6 bis 1.0 %	Amorph gefüllt:	0.3 bis 0.5 %



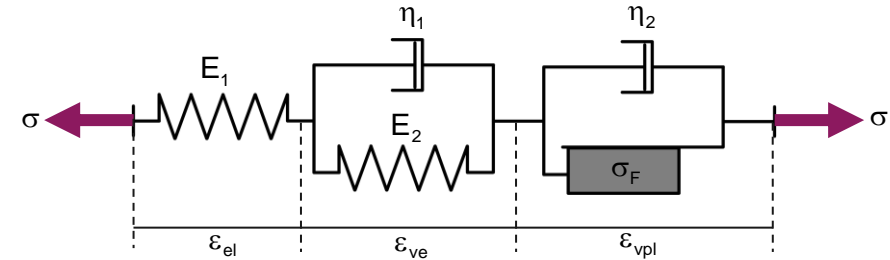
## Kunststoffmechanik

### Relevanz der Dehnung

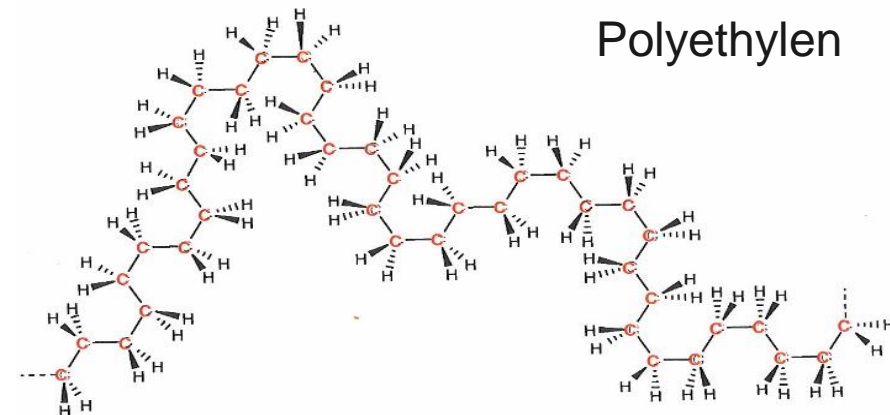
- Die Überdehnung der Molekülketten sorgt für eine Änderungen der Haupt- und Nebervalenzen und ist somit die entscheidende Grösse für die mech. Eigenschaften.

### Auslegung

- Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH) nach von Mises meiden:  
$$\sigma_{V,GEH} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}$$
- Grösstdehnungshypothese (GDH) nach Navier verwenden:  
$$\varepsilon_{V,GDH} = \max(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$$
- Oder kunststoffspezifische Verfahren ...



[Modell nach SCHOFFIELD et al.]



[W. Kaiser: Kunststoffchemie für Ingenieure, Hanser]



## Kunststoffgerechte Bauteilauslegung

### 3 verbreitete Verfahren

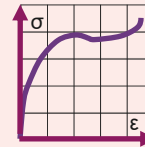
Verfahren	Empfohlener Einsatz	Material-kennwerte	Einfluss-faktoren für:
Ehrenstein	Vor Freigabe	$\sigma_Y, \sigma_B$	$\vartheta, t, \varphi, n$
Oberbach	Konzeptphase	$\sigma, \varepsilon - \text{Kurve}$	$b, n$
Menges-Kunz	Grobkonzepte	$\varepsilon_{F\infty}$	$\vartheta, t, \psi, m, n$

### Anwendung

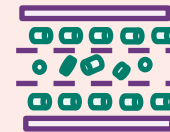
- Gültig für unverstärkte / kurzfaserverstärkte Thermoplaste
- Festigkeitsnachweis gegenüber statischen, quasistatisch und mehrmalig Belastungen

### Schwierigkeiten der Modellierung

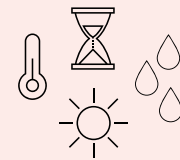
Komplexes Materialverhalten



Einfluss der Herstellung

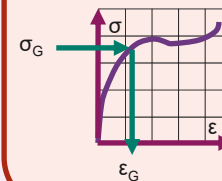


Einfluss der Umwelt

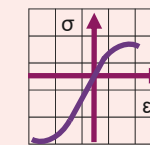


### Kunststoffgerecht

Nicht-Linearität



Asymmetrie



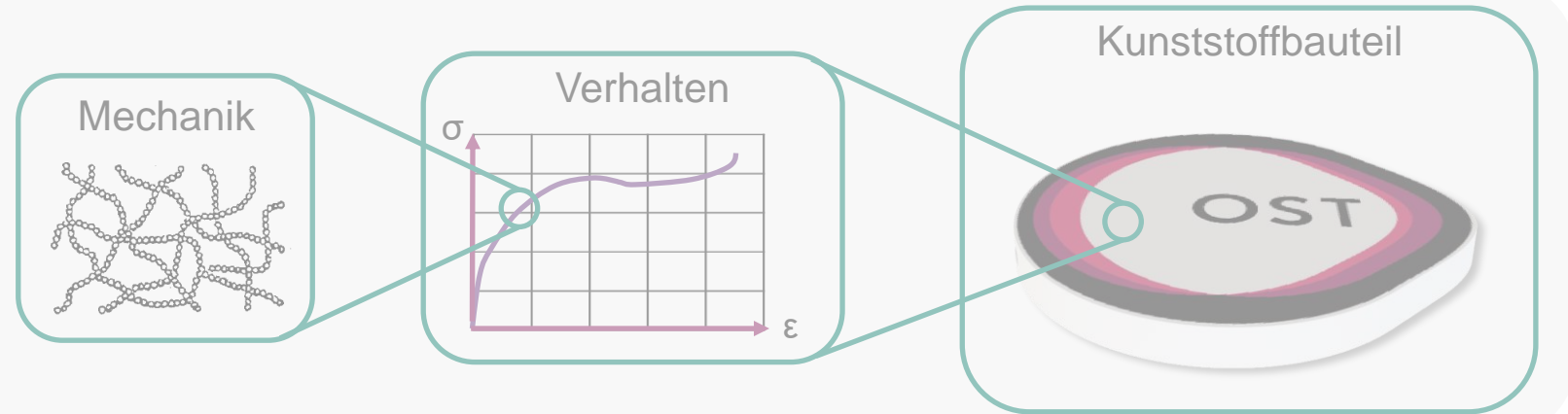
Einflüsse

$$\varepsilon_V \leq \frac{\varepsilon_G * \sum C_i}{S}$$

# Agenda

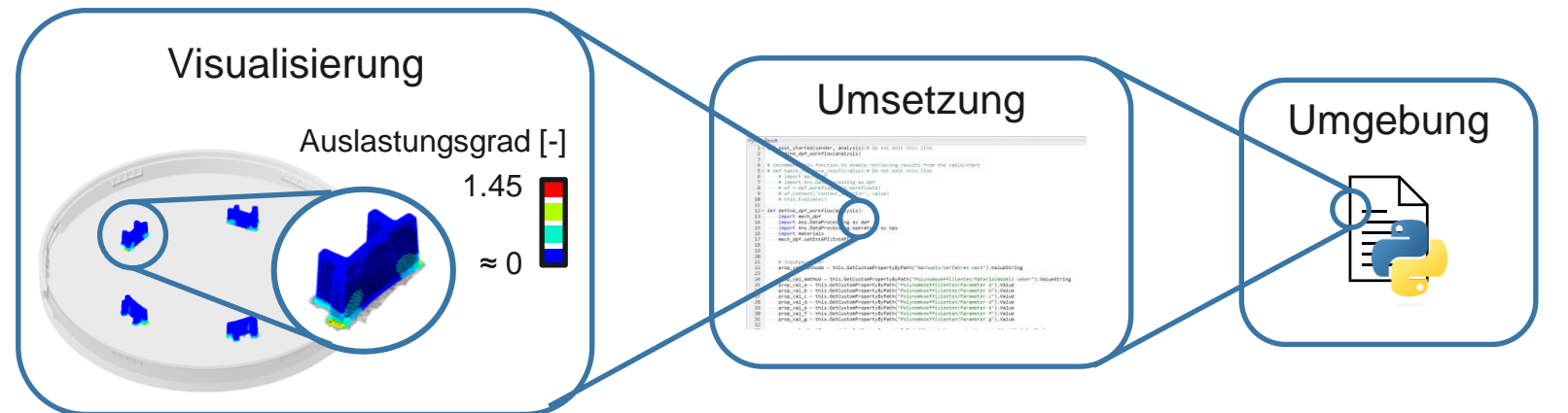
## → Kunststoffe

- Im Einsatz
- Im CAE
- Mechanik
- Versagensarten
- Auslegung

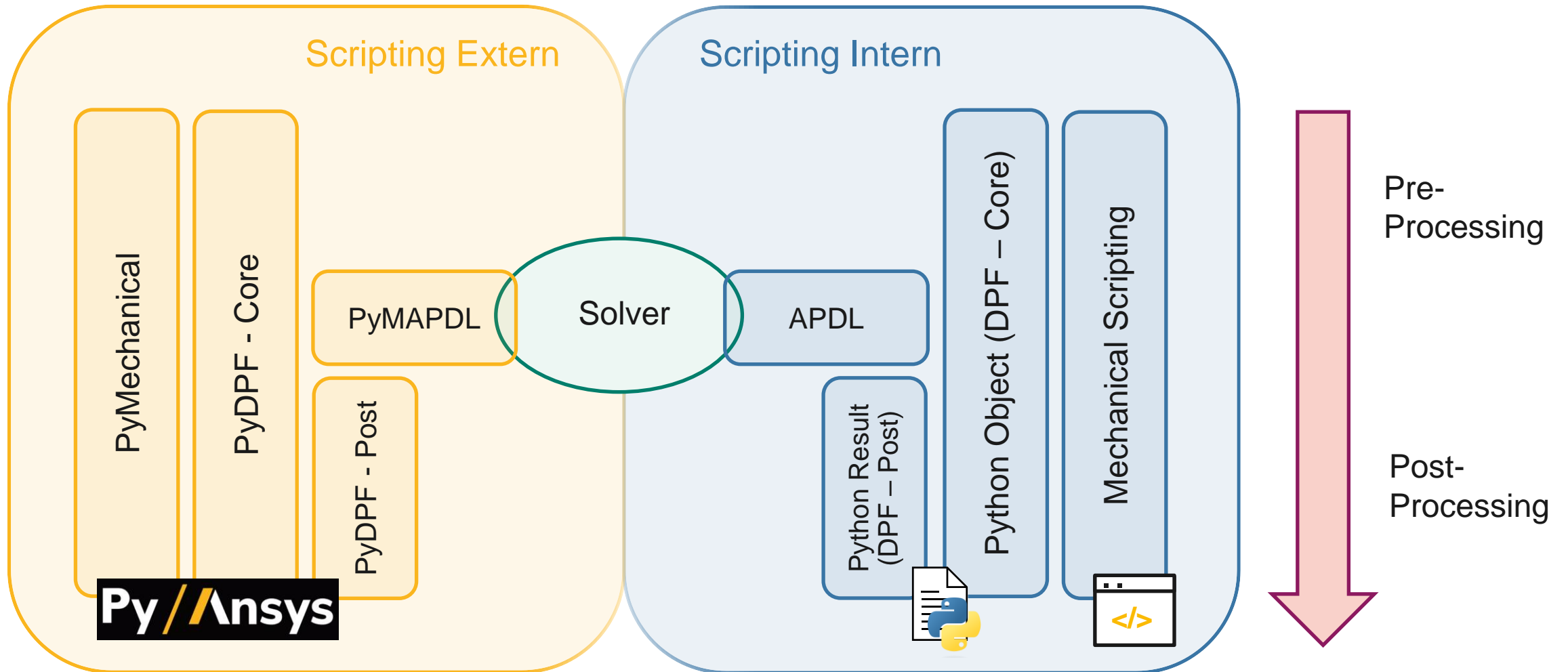


## → Python Results

- Big Picture
- DPF Umgebung
- Umsetzung
- Ausblick



# Scripting in Ansys Mechanical



## DPF-Umgebung

### DPF

- Data Processing Framework
- Unabhängig von der Physik des Solvers
- Zugriff, Transformation von Simulationsdaten
- Eigene Bibliothek mit Operatoren

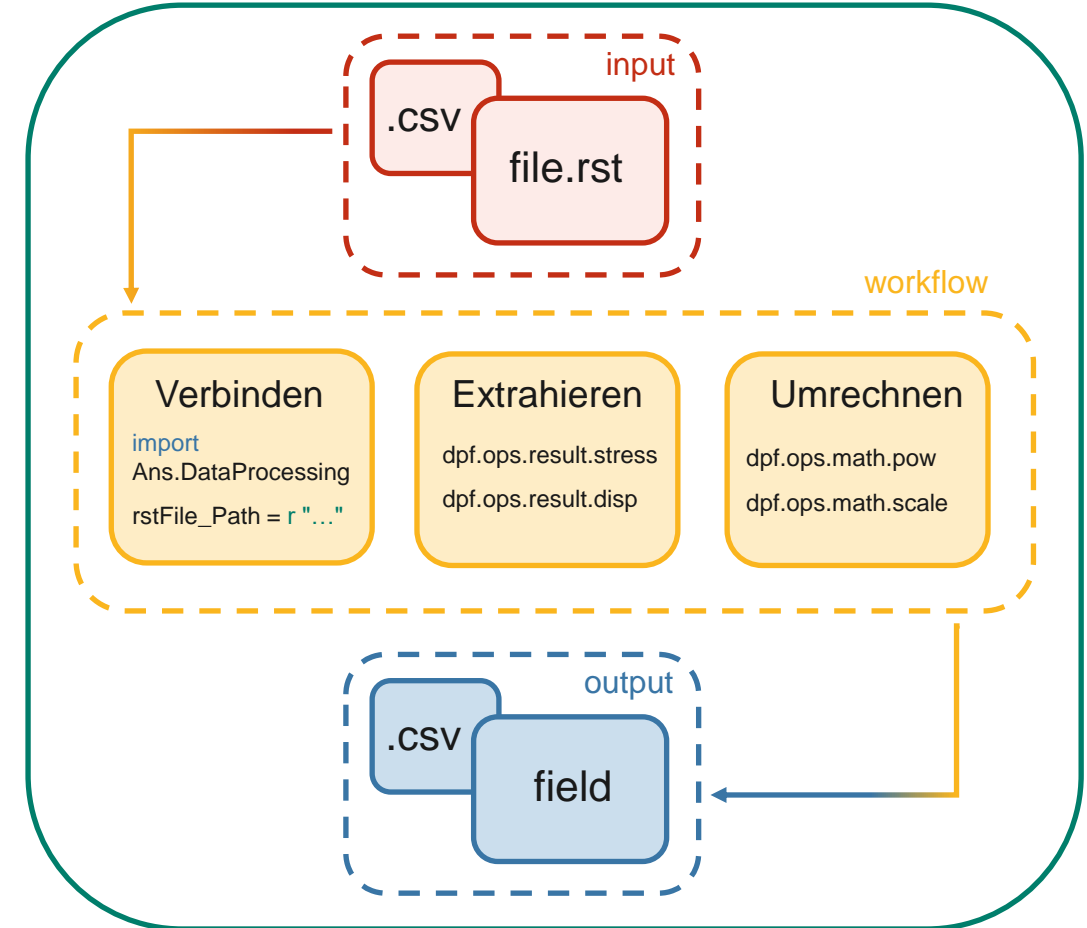
### Field

- Grundlage der Datenverarbeitung
- Daten pro Knoten
- Field Container mit Field für jeden Zeitschritt

### Field-Container

#### Field

Node-Id	Result	...
1	24.2 MPa	
2	23.6 MPa	
3	25.8 MPa	
...		





## Python Result

### Python Result

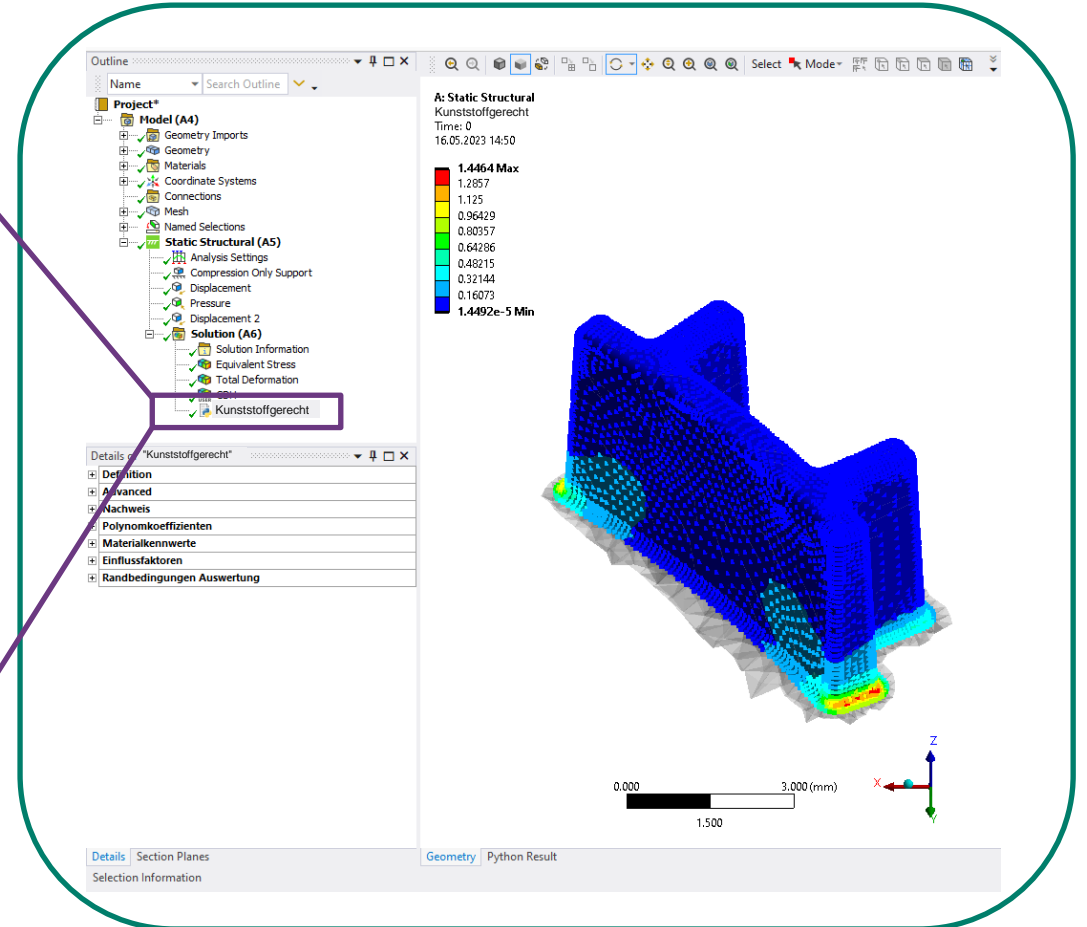
- Solution-Objekt
- Visualisierung von benutzerspez. Ergebnissen



Property Provider



Script



## Python Result

### Python Result

- Solution-Objekt
- Visualisierung von benutzerspez. Ergebnissen



### Property Provider

- Definition von parametrierbaren In-/Outputs

Input:

- Double / String
- Dropdown
- Scoping

Output:

- Double / String

### Script

The screenshot shows the Ansys Mechanical Python Result window. The tree view on the left highlights the 'Kunststoffgerecht' object under the 'Solution (A6)' branch. Two tables are displayed on the right:

Nachweis	
Verfahren nach	Menges-Kunz
	Ehrenstein
	Oberbach
	Menges-Kunz

Randbedingungen Auswertung	
Define By	Geometry Selection
Geometry Selection	296 Faces
Kritischer Zeitschritt	1
<input type="checkbox"/> Max	1.446

## Python Result

### Python Result

- Solution-Objekt
- Visualisierung von benutzerspez. Ergebnissen



### Property Provider



### Script



- DPF-Umgebung + Python Code
- Inputs aus Property Provider
- Scoping auf Geometrie und Zeitschritt
- If-Statements, For-Schleifen
- Darstellung der Ergebnisfelder

The screenshot shows the Ansys Mechanical interface. On the left, the 'Outline' pane shows a tree structure with 'Project\*' at the top, followed by 'Model (A4)', 'Static Structural (A5)', and 'Solution (A6)'. The 'Solution (A6)' is expanded, showing 'Solution Information', 'Equivalent Stress', 'Total Deformation', and 'CPU'. The 'Details of "Kunststoffgerecht"' table is visible, showing various material properties. On the right, the 'Python Result' window displays the following code:

```
import Ans.DataProcessing as dpf

prop_val_sigmaS = this.GetCustomPropertyByPath("Materialkennwerte/Streckspannung [MPa]").Value

timeScop = dpf.Scoping()

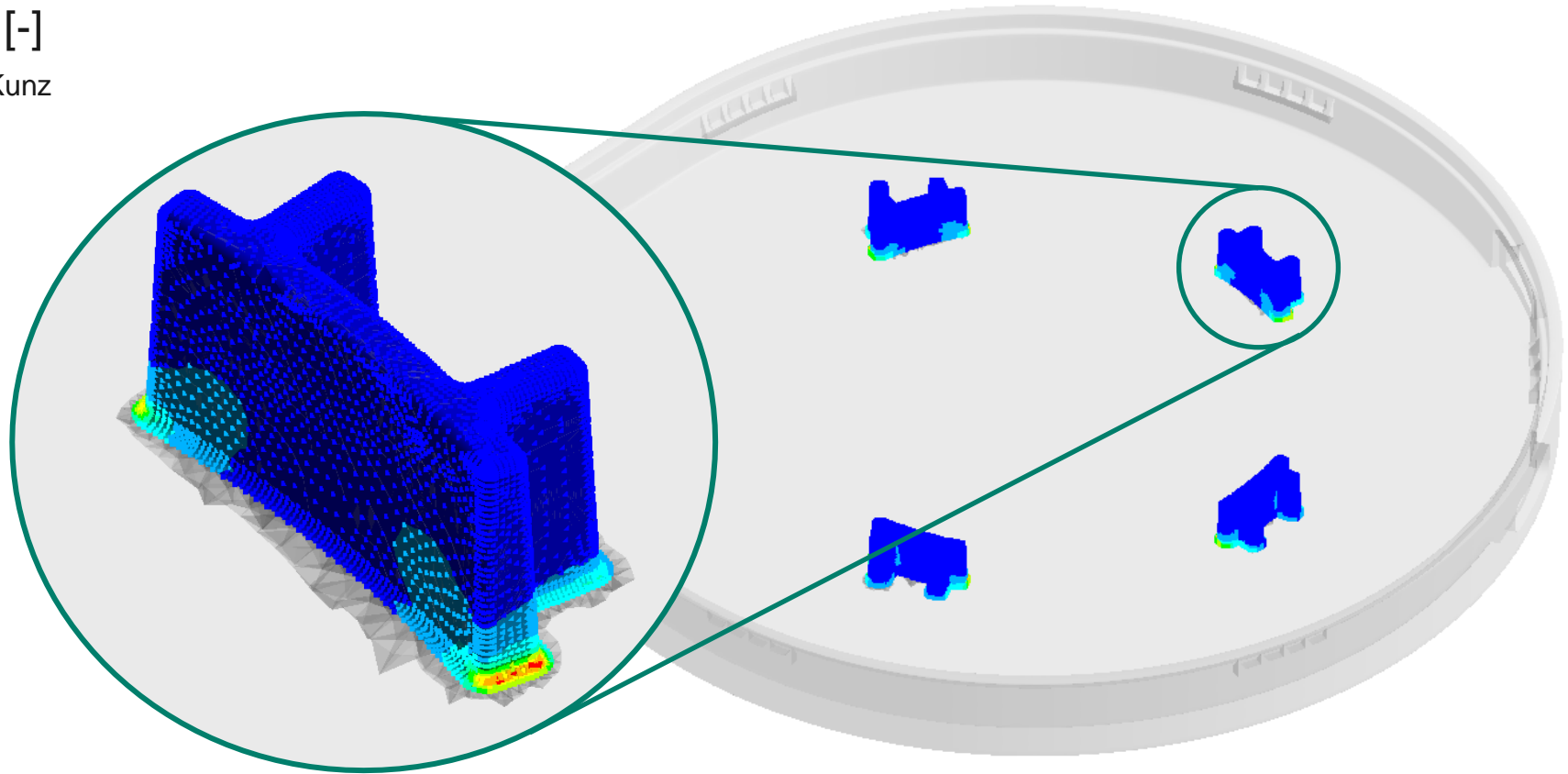
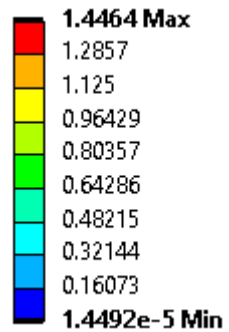
for i1 in range(len_f):
    if sigma.Data[i1] < 0:
        sigmaV_value = x
    else:
        sigmaV_value = y

dpf_workflow.SetOutputContour(field)
```

## Python Result

Auslastungsgrad [-]

Verfahren nach Menges-Kunz





## Python Results

### Excel



- Zusätzliches Dokument
- Kopieren von Daten nötig
- Keine Visualisierung am Bauteil
- Händischer Aufwand
- Einsatz: z.B. *Erstauslegung*

### User Defined Result



USER

- Nur Grundlegende mathematische Operatoren
- Vorzeichenunterscheidung nicht möglich
- Kein Zugriff auf Materialdaten
- Keine benutzerdefinierten Eingabeparameter
- Einsatz: z.B. *GDH*

### Python Result

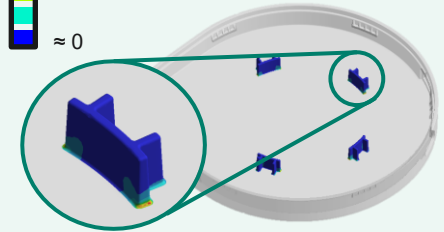


```
import Ans.DataProcessing as dpf
propValue = this.GetCustom
PropertyByPath("...")
timeScop = dpf.Scoping()
sigma = dpf.ops.result.stress
dpf.ops.math.add
for i1 in range(len_f):
    if sigma.Data[i1] < 0: sigmaV_value = x
    else: sigmaV_value = y
```



Vergleichsdehnung  
nach GDH [-]

0.013  
≈ 0



- Vereinheitlicht die Auslegung und erzeugt reproduzierbare Ergebnisse
- Zusätzlicher Mehrwert durch benutzerdefinierte Eingabeparameter und Zugriff auf Materialdaten
- Einsatz: z.B. *Kunststoffgerechte Bauteilauslegung*

## Anwendungen

### Herausforderungen

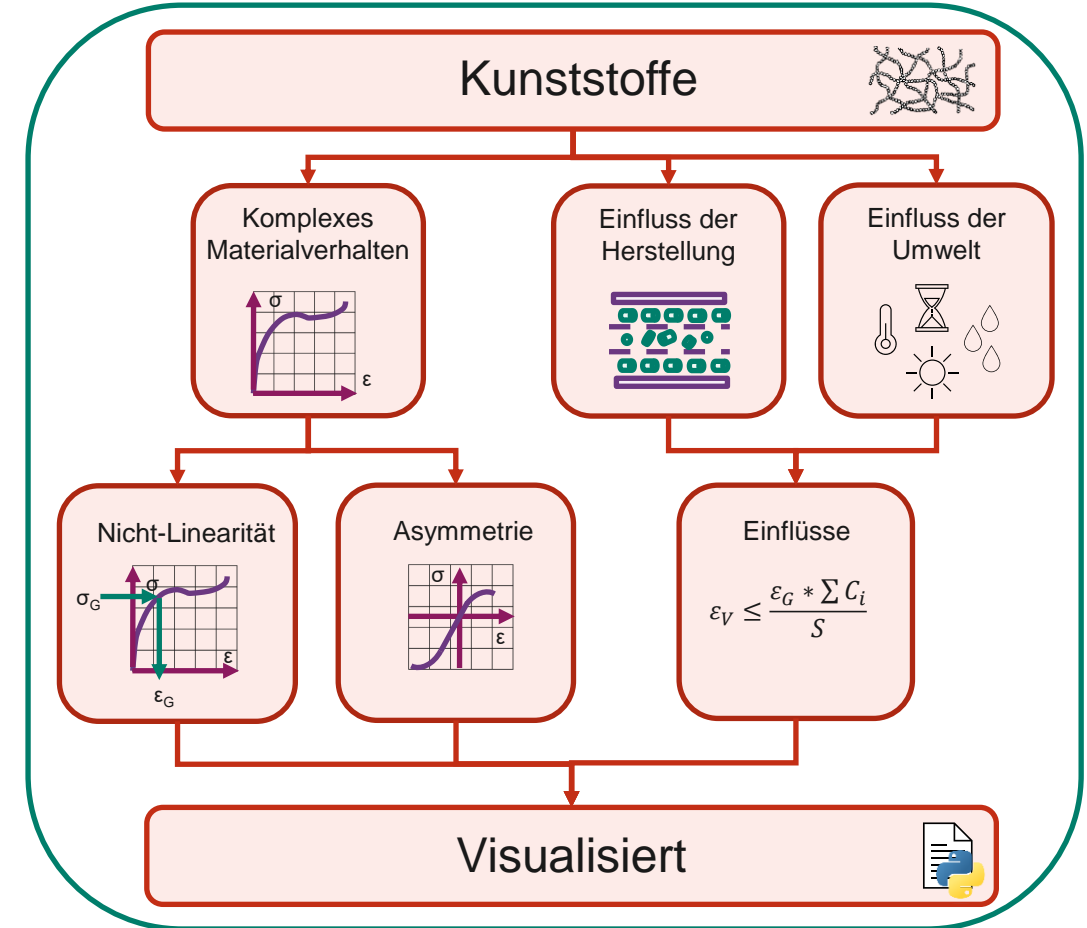
- Erhöhte Evaluationsdauer durch for-Schleifen
- Dokumentation dezentriert

### Anhaltspunkte

- [Ansys Help](#): Hilfestellung zur Implementierung und zum strukturellen Aufbau. Grundlegende Beispiele.
- [docs.pyansys.com](https://docs.pyansys.com): Umfangreiche Hilfestellung zu sämtlichen PyAnsys Modulen wie Bibliothek der DPF-Operatoren etc.

### Umsetzung

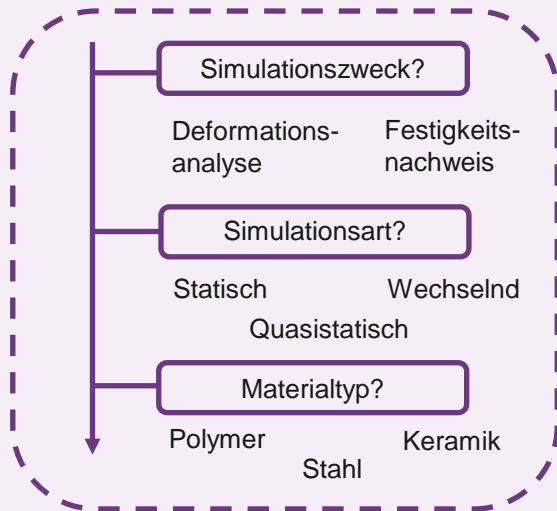
- Erfolgreiche Implementierung in die Entwicklungsumgebung der V-Zug



## Ausblick

### User Guided Simulation

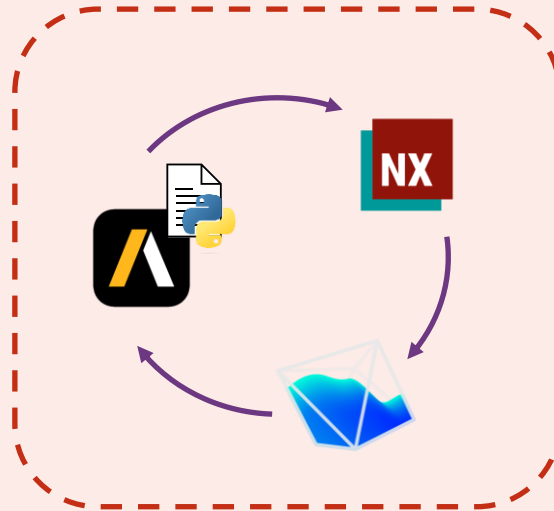
Py/Ansys



- Automatische Wahl der geeigneten Materialmodelle, Nachweisverfahren etc.

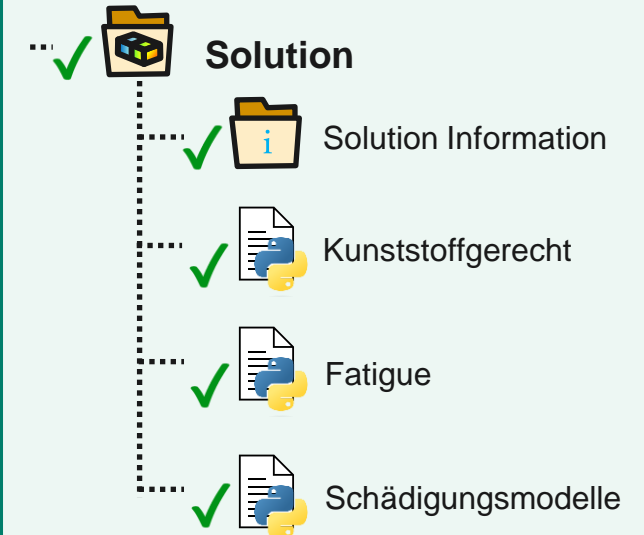
### Optimierungsroutinen

Py/Ansys



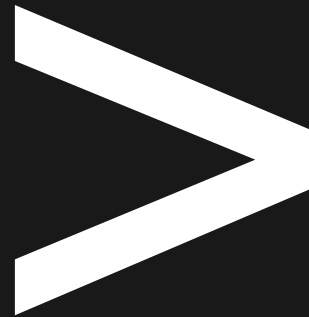
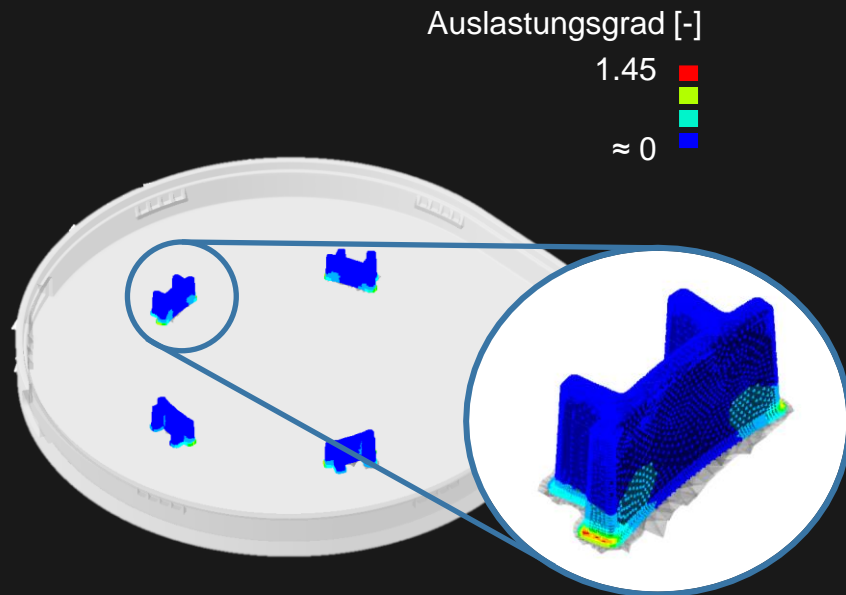
- Kopplung verschiedener Analysen z.B. Prozess- und Struktursimulation

### Komplexe Auswertungen



- Integration von weiteren komplexen Auswertungen in die Simulationsumgebung

# Festigkeitsnachweis von Bauteilen aus unverstärkten und kurzfaserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen



$$\sigma_{V,GEH} = \sqrt{(1/2 \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2])}$$

$$\sigma_V = f_1(\sigma_{V,GEH}) \text{ für } \sigma > 0$$

$$\sigma_V = f_2(\sigma_{V,GEH}) \text{ für } \sigma < 0$$

Für den Festigkeitsnachweis im Nachweispunkt des Bauteils werden die i.a. mehraxialen Beanspruchungskomponenten in eine äquivalente, uniaxiale Vergleichsbeanspruchung umgerechnet

$$\varepsilon_V = \varepsilon(\sigma_V)$$

$$C_C = \Pi C_{C,i} = C_{C,t\vartheta} \cdot C_{C,f} \cdot C_{C,w} \cdot C_{C,n}$$

$$\varepsilon_{zul} = \varepsilon_{FGD} \cdot C_C / S_C$$

$$a = \varepsilon_V / \varepsilon_{zul}$$

Ermittlung und Beurteilung des Auslastungsgrades



## Fragen

