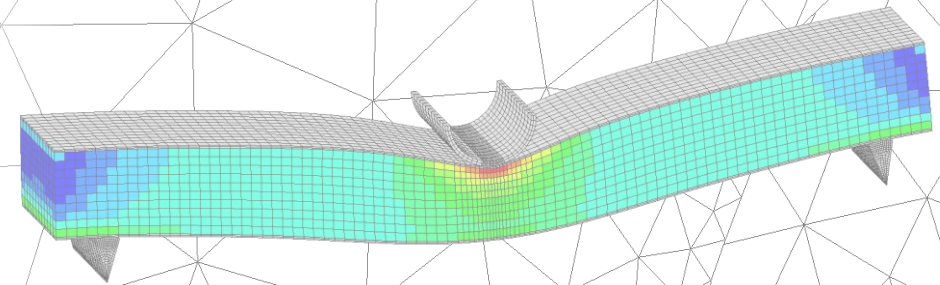


# Automatisierte Simulation von Sandwichbauteilen mit Z88Aurora®

J. Glamsch, F. Hüter, S. Tremmel

22. Bayreuther Konstrukteurstag  
15. September 2021



[www.essbe.lscad.de](http://www.essbe.lscad.de)



## Projekthalt

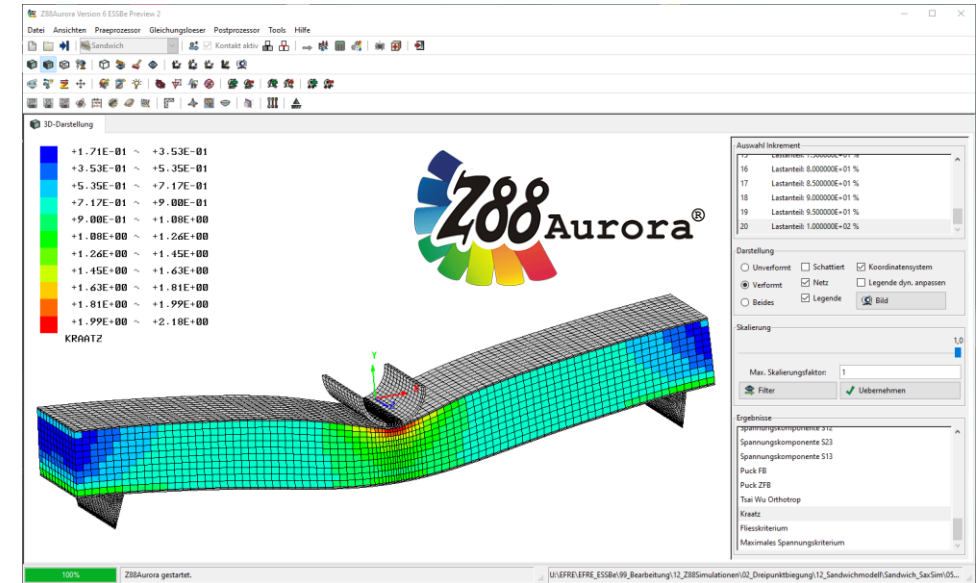
Ziel des Technologietransfervorhabens ist die Entwicklung einer Finite-Elemente basierten Berechnungssoftware zur mechanischen Auslegung von Leichtbau-Sandwichbauteilen für KMUs.

## Innovationen und Mehrwert

- Spezialisierte Berechnungsverfahren
- Intuitive Benutzeroberfläche
- Hoher Automatisierungsgrad

## Projektlaufzeit

06/2017 – 07/2022



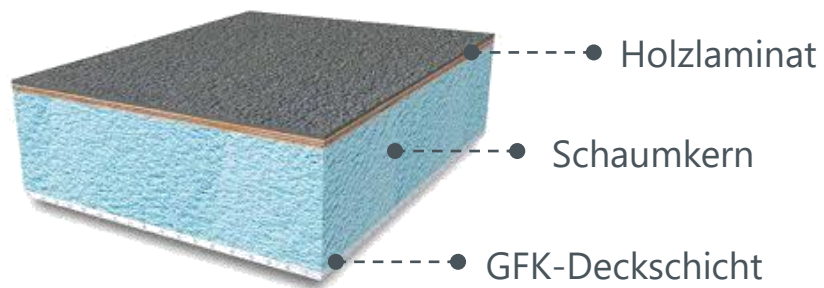
# ESSBe

Easy Sandwich Struktur Berechner für KMU



## Motivation

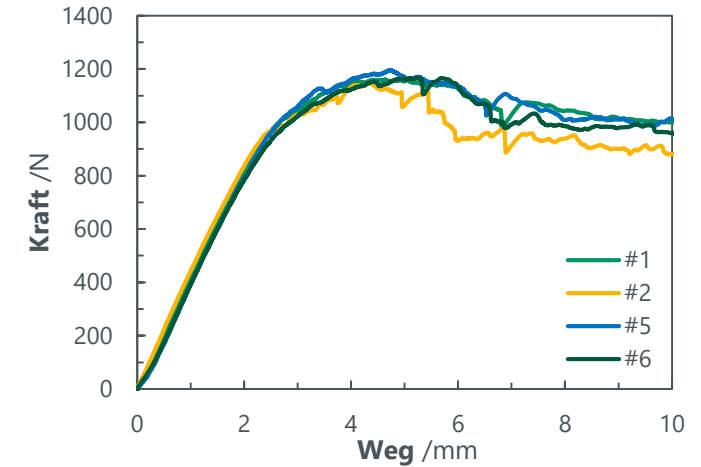
1. Komplexer Auslegungsprozess & experimenteller Aufwand
2. Einsatz von Simulationsmethoden
3. Beschleunigung des Produktentwicklungsprozesses & Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit



[www.lamilux.de](http://www.lamilux.de), [www.hydewa.de](http://www.hydewa.de)

### Typische Prüfversuche

- Dreipunktbiegeversuch
- Vierpunktbiegeversuch
- Druckstempelversuch

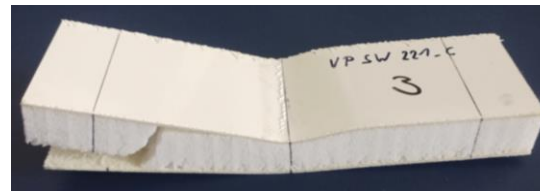


### Typische Versagensarten im Dreipunktbiegeversuch

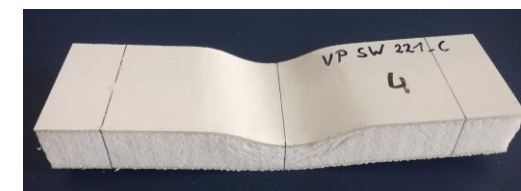
Deckschichtversagen



Klebversagen &  
Kernschubversagen



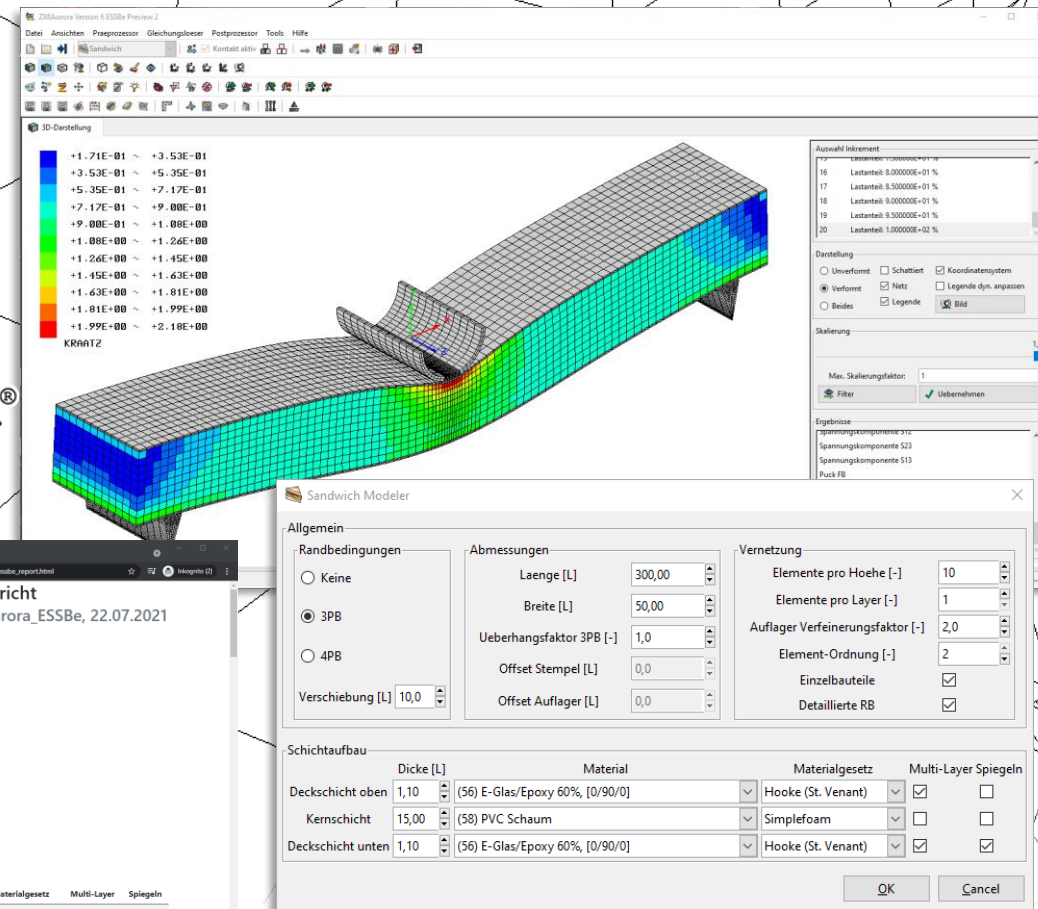
Deckschichtknittern



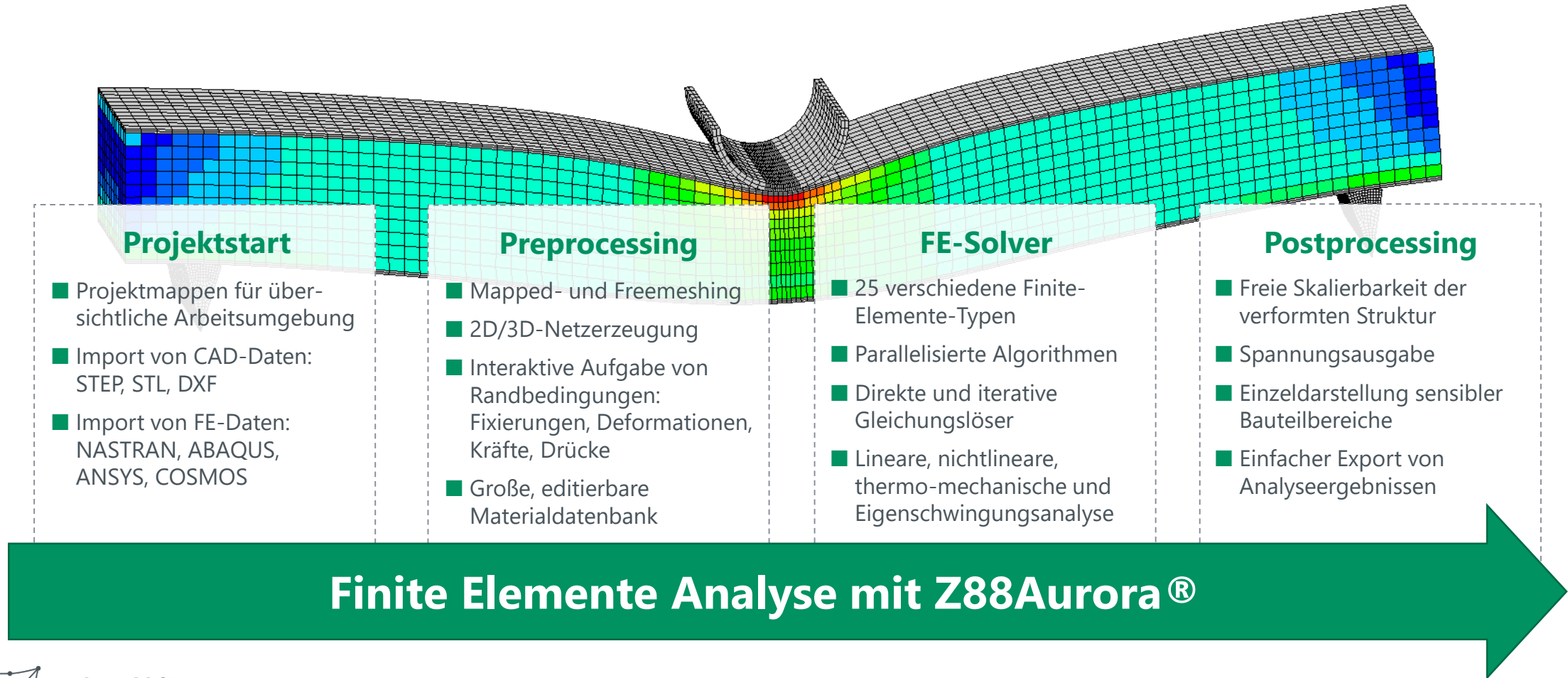
# Easy Sandwich Struktur Berechner

## Umsetzung

1. Bereitstellen verschiedener Materialmodelle & Versagenskriterien für mechanische Auslegung
2. Anwenderfreundliche Benutzeroberfläche mit automatisierter Modellgenerierung





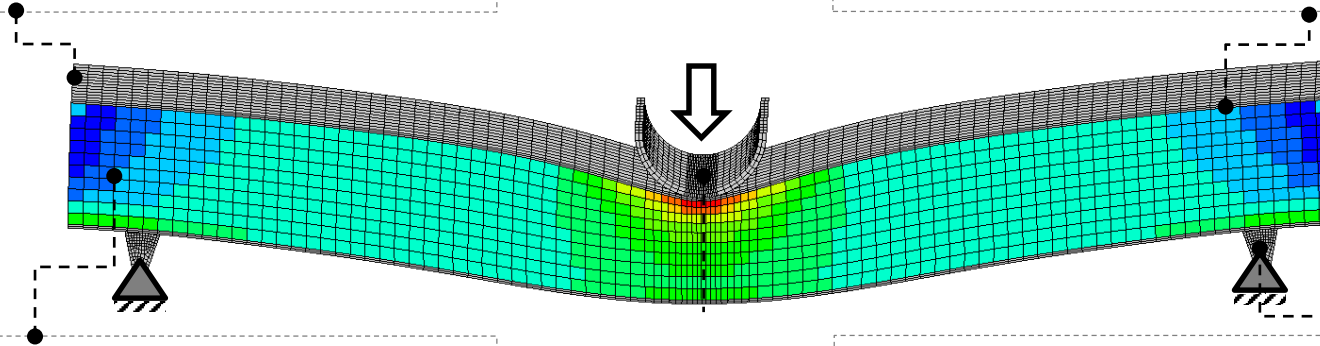


### Deckschicht

**Material** Metall, Faserverbund  
**Eigenschaften** elastisch-plastisch, anisotrop  
**Versagensbewertung**

### Klebinverbindung

**Modellierung** direkter Kontakt ohne Zwischenschicht  
**Versagensbewertung**



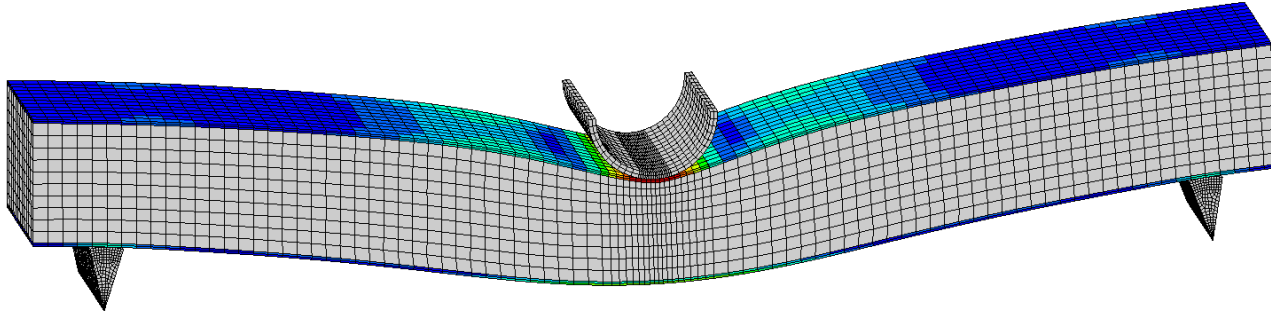
### Kernschicht

**Material** Schaumkern (PU, PVC...)  
**Eigenschaften** nichtlinear, elastisch-plastisch  
**Versagensbewertung**

### Stempel & Auflager

**Modellierung** Linienlasten & -festhaltungen/  
ausmodelliert mit Linienkontakt

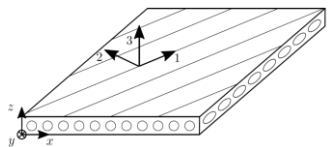




### Materialmodelle

#### ■ Faserverbundmaterialien

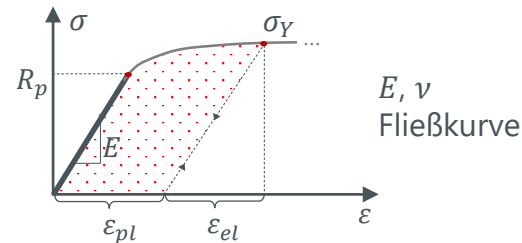
**Hooke** → linear-elastisch, anisotrop



$E_{11}, E_{22}, E_{33}$   
 $G_{12}, G_{13}, G_{23}$   
 $\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$

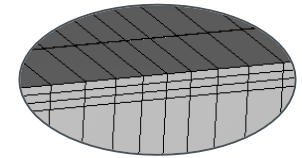
#### ■ Metalle

**Mises** → elastisch-plastisch, isotrop

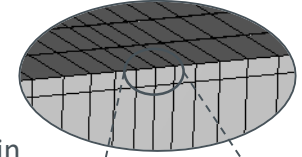


### Schichtmodellierung

#### ■ Schichtweise Modellierung



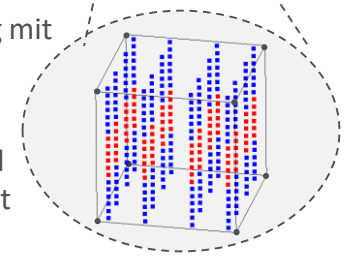
#### ■ Multi-Layer-Hex



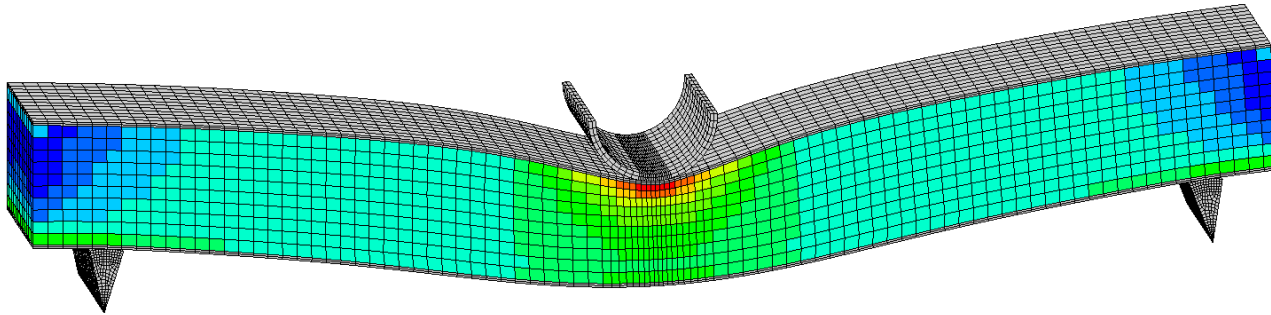
Mehrere Material-Layer in einem finiten Element

Verformungsberechnung mit effektiver Steifigkeit des Verbunds

(+) Berechnungsaufwand  
(-) Abbildungsgenauigkeit







### Materialmodelle

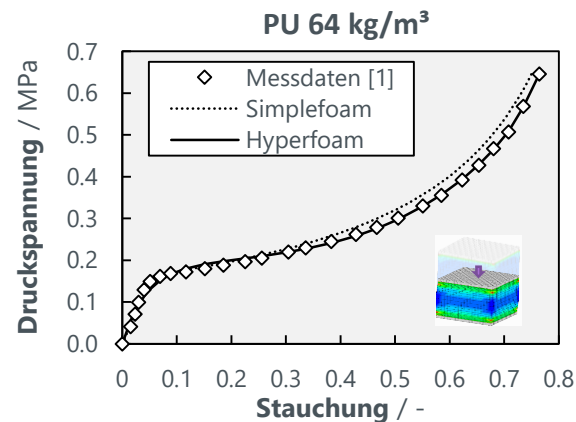
#### ■ Linear-elastisch

**Hooke** → linear-elastisch, anisotrop

#### ■ Nichtlinear

**Hyperfoam** → nichtlinear-elastisch, isotrop

**Simplefoam** → elastisch-pseudoplastisch, isotrop



### Versagensbewertung

■ spannungsbasierte und schichtweise Versagensbewertung

#### ■ Faserverbundstrukturen

##### **MAXSTRESS:**

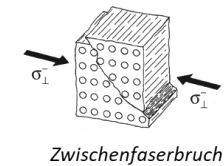
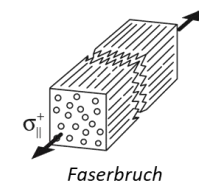
M-Schichten, betragsgrößte Spannung

##### **PUCK/VDI 2014:**

UD-Schichten, versagensartbasiert

##### **TSAI-WU:**

UD/G/M-Schichten, interaktiver Ansatz

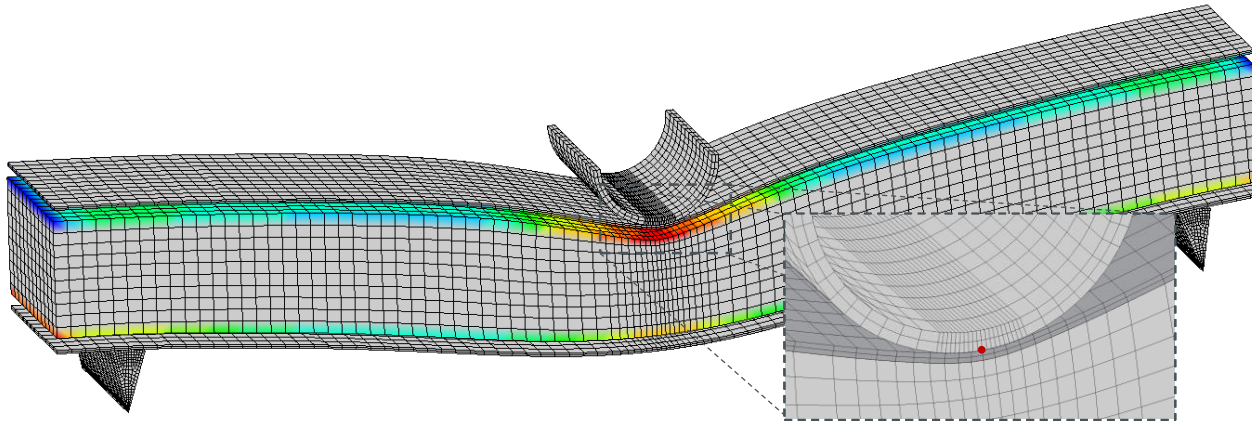


#### ■ Schaumkern

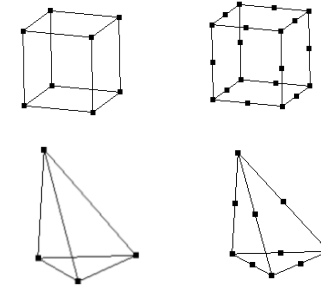
**KRAATZ** (Hartschäume)

[1] Koenig J-F, Tusim MH (2004): Developments in StrandFoam Technology. In: Blowing Agents and Foaming Processes. Hamburg, S. 147–156





### Elementtypen:

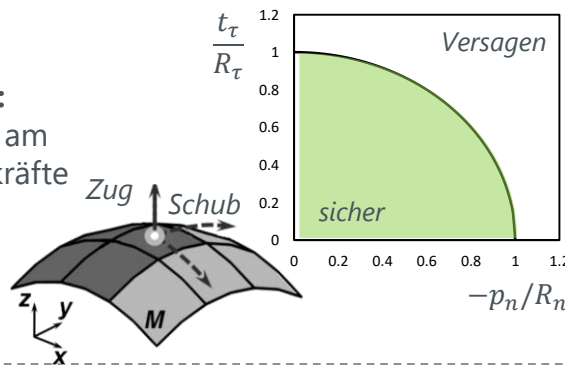


### Interface-Spannung & Versagensbewertung

■ Direkter Kontakt,  $\mu \rightarrow \infty$

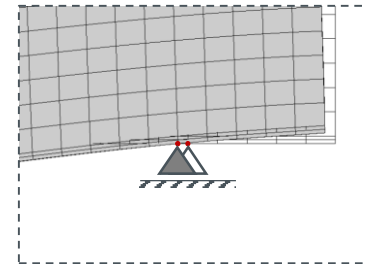
■ Normal- & Schubspannung:  
Berechnung der Spannungen am Interface anhand der Koppelkräfte zwischen den Flächenknoten

■ Quadratic Stress Criterion:

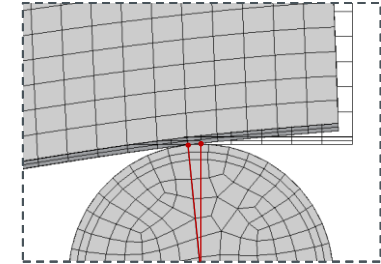


### Stempel & Auflager

■ Linienfesthaltung/-last

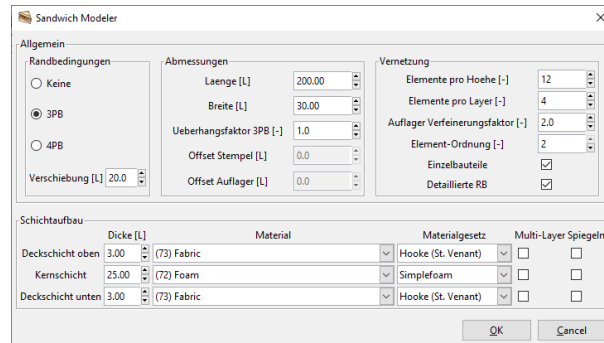


■ Linienkontakt



### Sandwich Modeler

- Eingabemaske zur automatisierten Modellgenerierung:
  - Keine Randbedingungen
  - Dreipunktbiegeversuch
  - Vierpunktbiegeversuch
- Definition der Abmessungen & Vernetzungsdaten
- Angabe des Sandwichaufbaus: Deckschichten & Kernschicht
- Implementierung basierend auf der Z88Aurora Skripting Schnittstelle



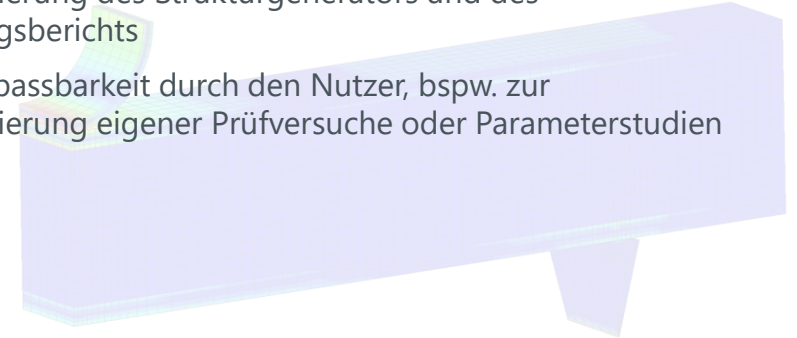
The screenshot shows the 'Sandwich Modeler' dialog box with the following settings:

- Allgemein:**
  - Randbedingungen: ☒ 3PB
  - Verschiebung [L]: 20.0
- Abmessungen:**
  - Laenge [L]: 200.00
  - Breite [L]: 30.00
  - Ueberhangsfaktor 3PB [-]: 1.0
  - Offset Stempel [L]: 0.0
  - Offset Auflager [L]: 0.0
- Vernetzung:**
  - Elemente pro Hoehe [-]: 12
  - Elemente pro Layer [-]: 4
  - Auflager Verfeinerungsfaktor [-]: 2.0
  - Element-Ordnung [-]: 2
  - Einzelbauteile: ☒
  - Detaillierte RB: ☒
- Schichtaufbau:**

	Dicke [L]	Material	Materialgesetz	Multi-Layer Spiegeln
Deckschicht oben	3.00	(73) Fabric	Hooke (St. Venant)	<input type="checkbox"/>
Kernschicht	25.00	(72) Foam	Simplefoam	<input type="checkbox"/>
Deckschicht unten	3.00	(73) Fabric	Hooke (St. Venant)	<input type="checkbox"/>

### Z88Aurora Skripting Schnittstelle

- Schnittstelle zur automatischen Generierung von Z88Aurora Projekten
  - Strukturdaten
  - Randbedingungen
  - Kontaktdefinitionen
  - Materialzuweisungen
  - ...
- Implementierung des Strukturgenerators und des Berechnungsberichts
- Leichte Anpassbarkeit durch den Nutzer, bspw. zur Implementierung eigener Prüfversuche oder Parameterstudien



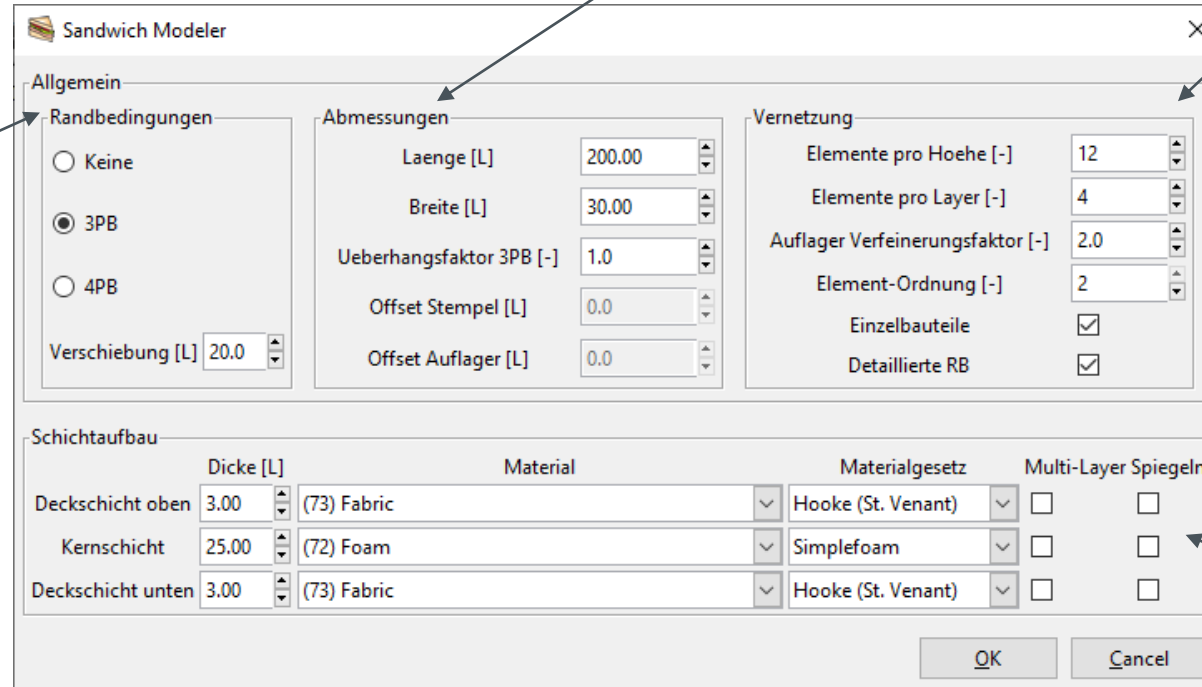
# Easy Sandwich Struktur Berechner

## Preprocessing: Sandwich Modeler

Definition der  
Randbedingungen

Angabe der  
relevanten  
Abmessungen

Definition der  
Vernetzungsparameter



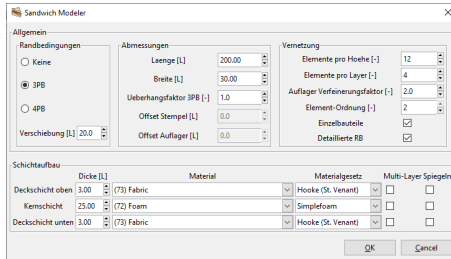
Schichtaufbau				
	Dicke [L]	Material	Materialgesetz	Multi-Layer Spiegeln
Deckschicht oben	3.00	(73) Fabric	Hooke (St. Venant)	<input type="checkbox"/>
Kernschicht	25.00	(72) Foam	Simplefoam	<input type="checkbox"/>
Deckschicht unten	3.00	(73) Fabric	Hooke (St. Venant)	<input type="checkbox"/>

Angabe des  
Schichtaufbaus

# Easy Sandwich Struktur Berechner

## Preprocessing: Sandwich Modeler

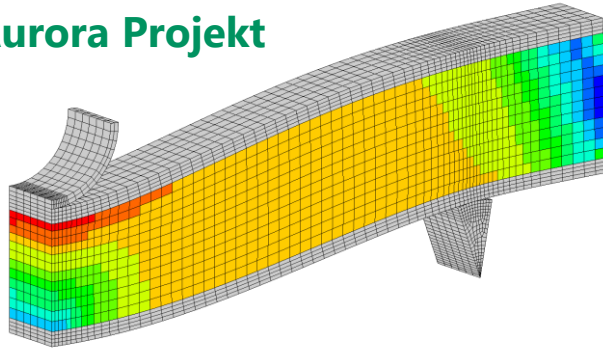
### Sandwich Modeler



### JSON-Eingabedatei

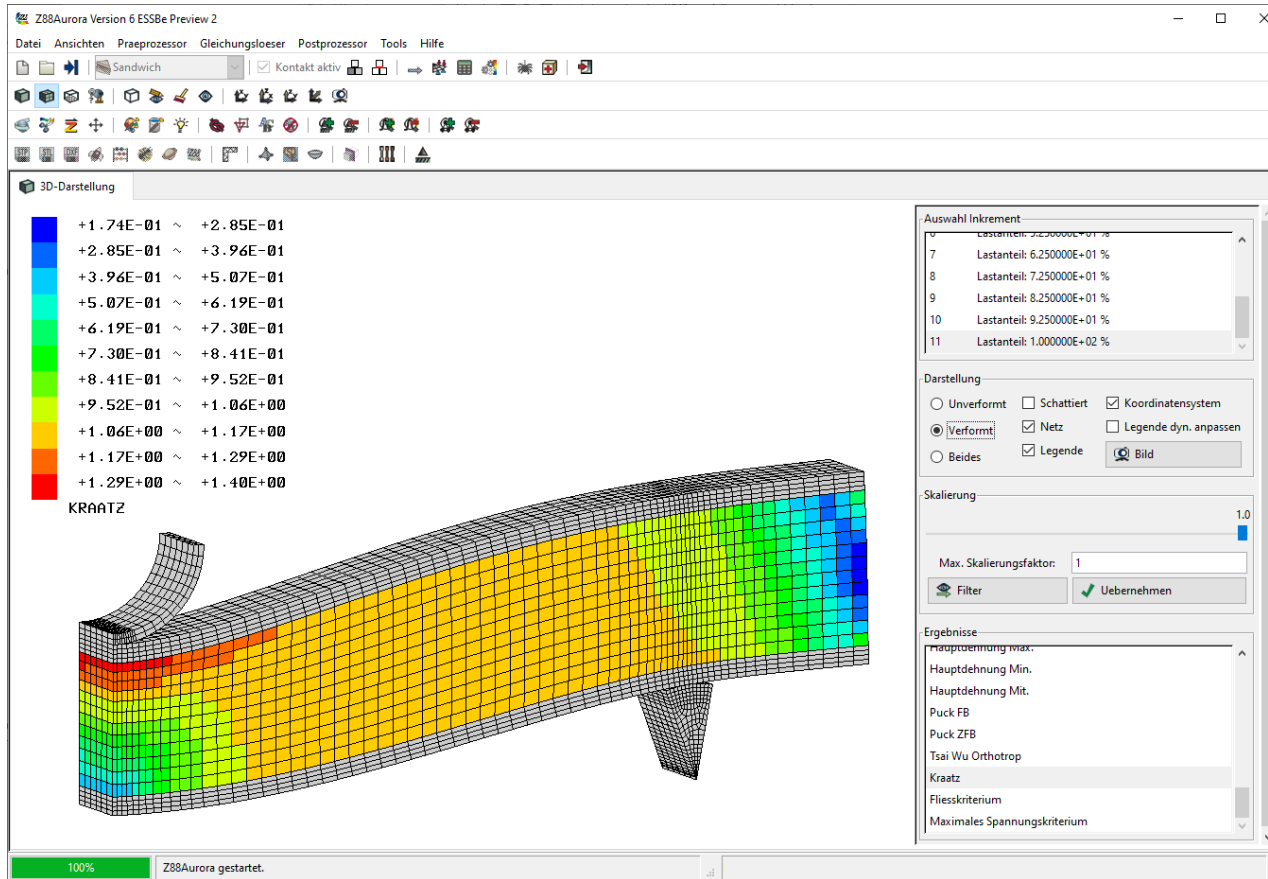
```
{
  "bc": "3pb",
  "element_order": 2,
  "length": 200.000000,
  "width": 30.000000,
  "offset_load": 0.000000,
  "offset_support": 0.000000,
  "elements_per_height": 12,
  "elements_per_face_layer": 4,
  "support_refinement_factor": 2.000000,
  "support_overlap_factor": 1.000000,
  "displacement_load": 20.000000,
  "multiple_parts": true,
  "detailed_bc": true,
  "layer": [
    {
      "thickness": 3.000000e+00,
      "material": 73,
      "material_law": 1,
      "multi_layer": false,
      "mirror_layers": false
    },
    {
      "thickness": 2.500000e+01,
      "material": 72,
      "material_law": 6,
      "multi_layer": false,
      "mirror_layers": false
    },
    {
      "thickness": 3.000000e+00,
      "material": 73,
      "material_law": 1,
      "multi_layer": false,
      "mirror_layers": false
    }
  ]
}
```

### Z88Aurora Projekt



Z88Aurora Skripting  
Schnittstelle





- Wahl des Lastinkrements & der Darstellungsart
- Ein- und Ausblenden von Element-Sets & Bauteilen
- Visualisierung und Export versch. Ausgabegrößen:
  - Knotenverschiebung
  - Spannungen (Vergleichsspannungen, Hauptspannungen, Spannungskomponenten)
  - Knotenkräfte
  - Hauptdehnungen
  - Plastische Vergleichsdehnung
  - Interfacespannungen
  - Versagenskriterien
    - Puck
    - Tsai Wu Orthotrop
    - Kraatz
    - Fließkriterium
    - Max. Spanningskriterium

### ESSBe Berechnungsbericht

ESSBe\_Projekttreffen, 26.08.2021 - 15:24:22

#### Eingabedaten

##### Modellaufbau

- **Randbedingungen:** Dreipunkt-Biegeversuch
- **Verschiebung [L]:** 20.00
- **Breite [L]:** 30.00
- **Länge [L]:** 200.00
- **Überhangsfaktor 3-Punkt-Biegung:** 1.00

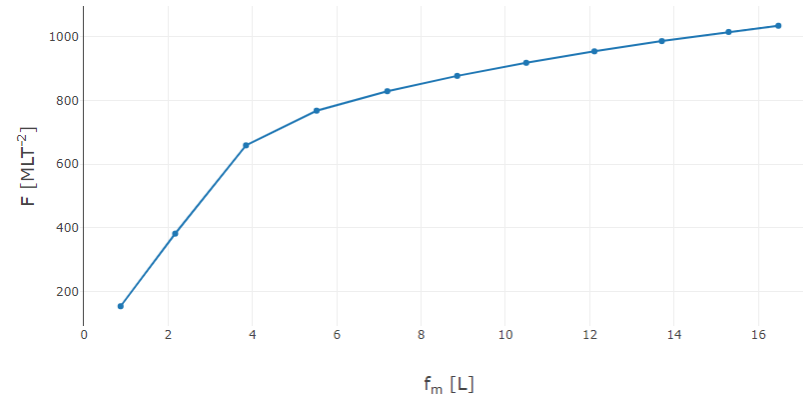
##### Vernetzung

- **Elementtyp:** Quadratische Hexaeder
- **Elemente pro Hoehe [-]:** 12
- **Elemente pro Layer [-]:** 4
- **Auflager Verfeinerungsfaktor [-]:** 2
- **Einzelbauteile:** ✓
- **Detaillierte Randbedingungen:** ✓

- Automatische Generierung durch die Z88Aurora Skripting Schnittstelle
- Implementierung für den Drei- und Vierpunktbiegeversuch
- Zusammenfassung der Eingabedaten
  - Modellaufbau
  - Vernetzung
  - Sandwichaufbau
  - Materialdaten

#### Berechnungsergebnisse

##### Kraft-Weg-Diagramm



- Auswertung von Praxisrelevanten Kenndaten:

- Kraft-Weg-Diagramm
- Deckschichtspannungen
- Spannungen im Schaumkern
- ...

