

Integrative Simulation von kurzfaserverstärkten Thermoplasten am Beispiel einer Tankklappe

M. Gramling, V. Carrillo-Gonzalez (Audi AG)

P. Reithofer, C. Wüster (4a engineering GmbH)

Integrative Simulation von kurzfaserverstärkten Thermoplasten am Beispiel einer Tankklappe

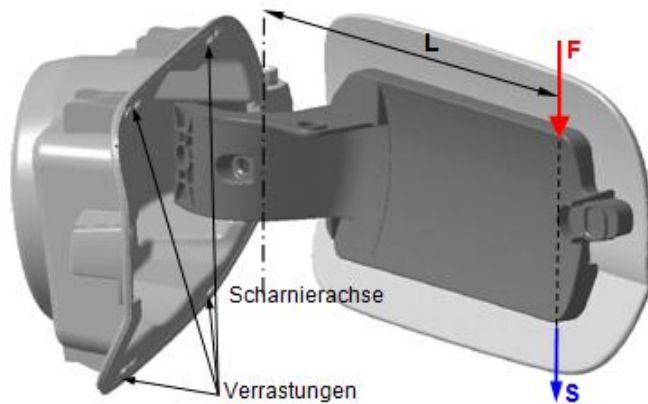
Inhalt

- ▶ Steifigkeits-/Festigkeitsanforderung
- ▶ Spritzgussimulation
- ▶ Biegeprüfung
- ▶ Materialeigenschaften
- ▶ Integrative Simulation
- ▶ Bauteil-Validierung

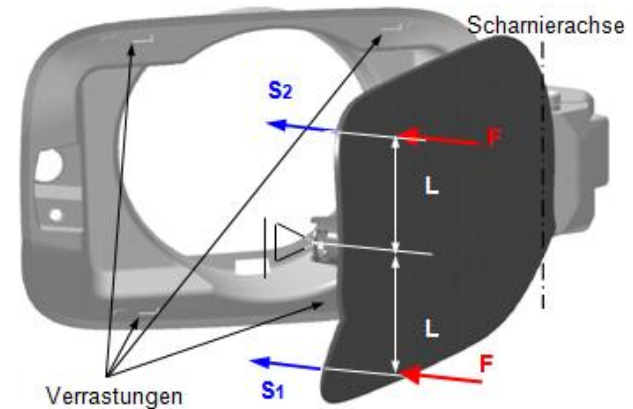
Steifigkeits-/Festigkeitsanforderung

Lastfallbeschreibung

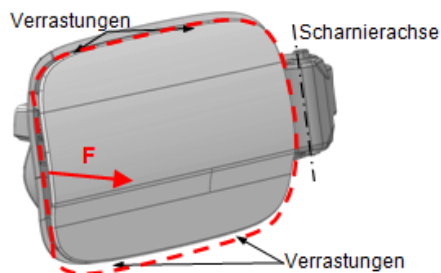
Biegesteifigkeit



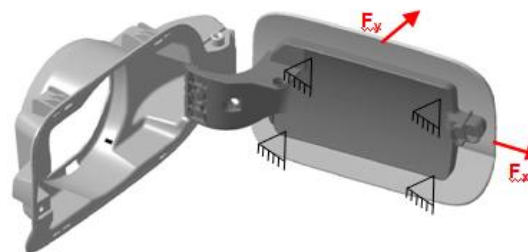
Torsionssteifigkeit



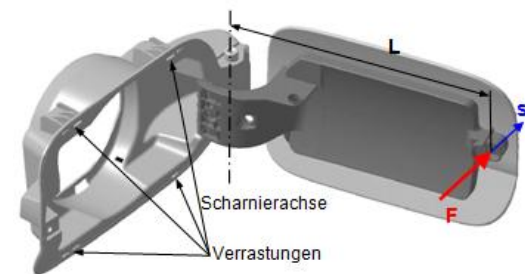
Öffnungsversuch



Abreiß-Prüfung



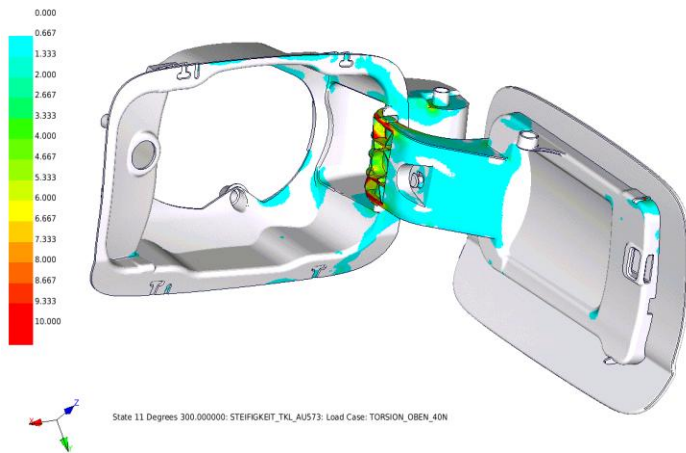
Überdrückung



Steifigkeits-/Festigkeitsanforderung Potentialanalyse

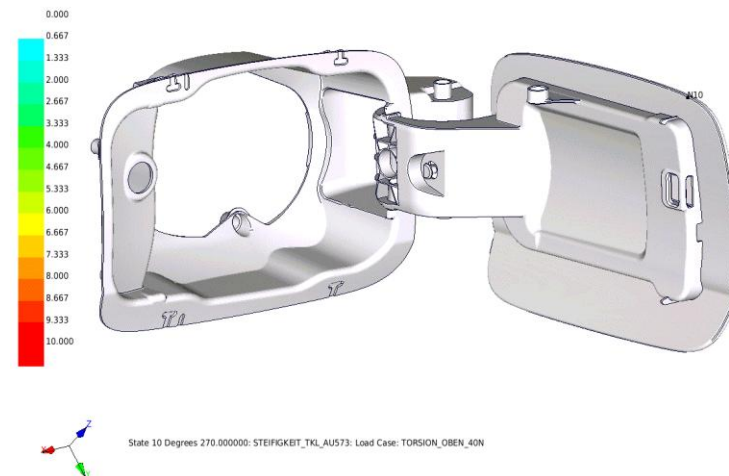
Biegesteifigkeit

[Stress components (S): Von Mises @ Max]: STEIFIGKEIT_TKL_AU573: Load Case: BIEGUNG_25N



Torsionssteifigkeit

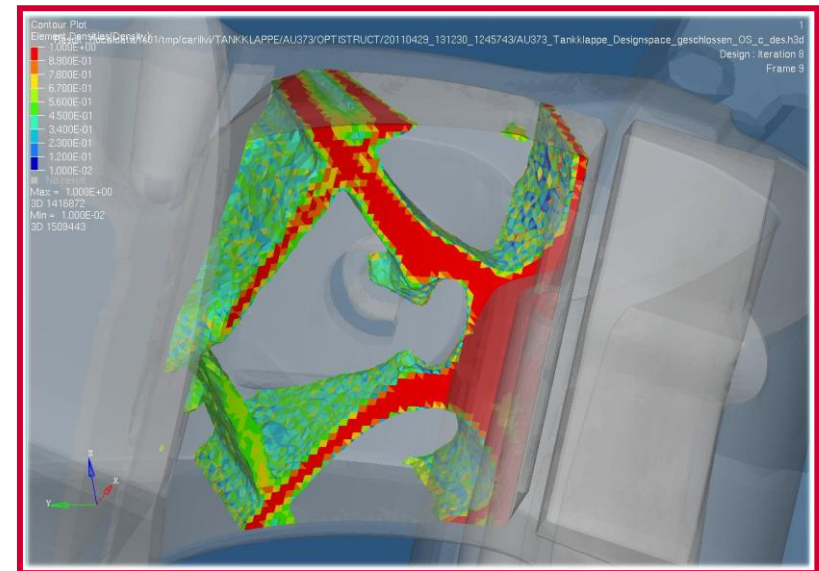
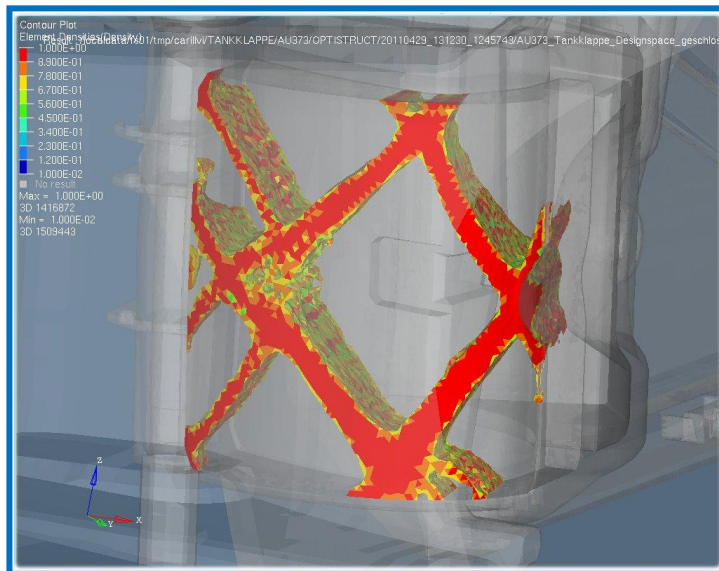
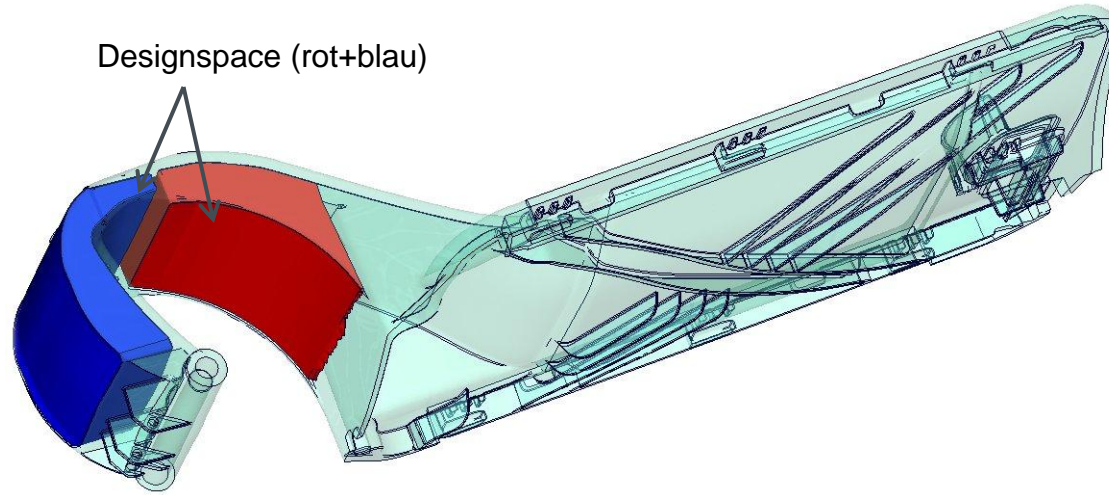
[Stress components (S): Von Mises @ Max]: STEIFIGKEIT_TKL_AU573: Load Case: TORSION_OBEN_40N



Ca. 82% der Nachgiebigkeit kommt aus dem Scharnierarm

Steifigkeits-/Festigkeitsanforderung

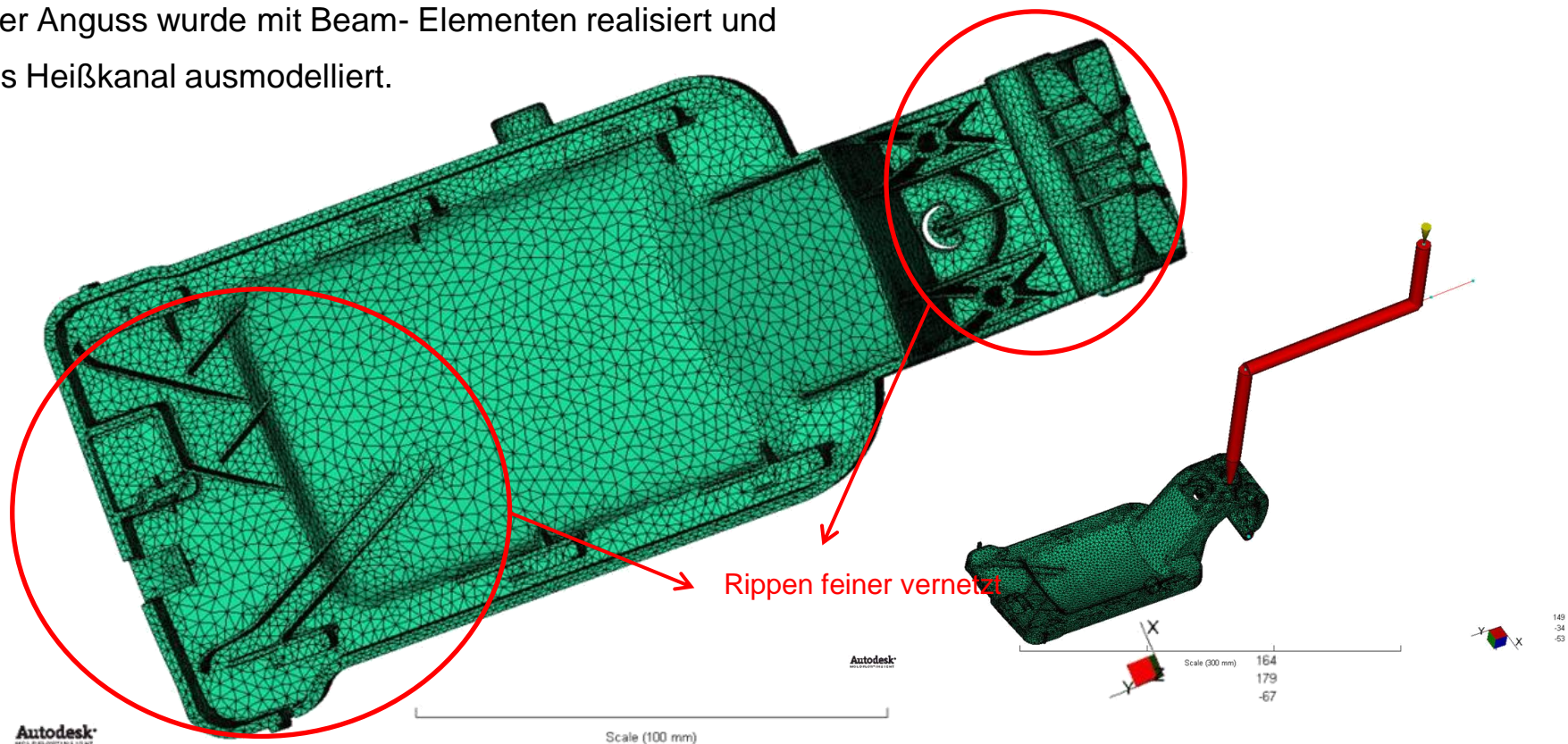
Topologieoptimierung



Spritzgusssimulation

Modellaufbau

- ▶ Fusion Modell: 60.160 Elemente (12 Layer)
- ▶ 3D-Modell: 940.187 Elemente
- ▶ Mesh Density: 0,7-2mm (abhängig vom Geometriebereich)
- ▶ Der Anguss wurde mit Beam- Elementen realisiert und als Heißkanal ausmodelliert.

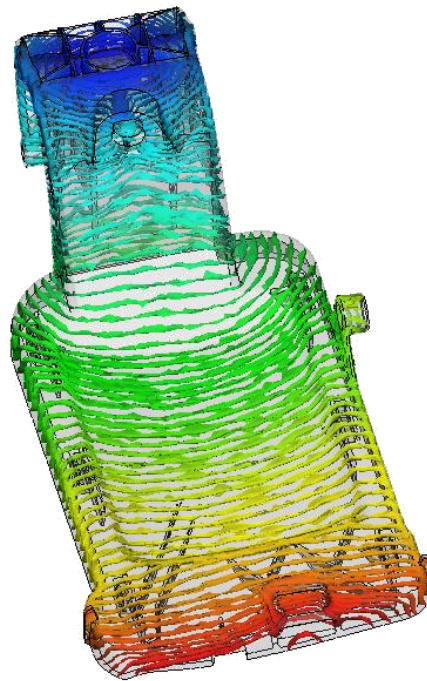


Spritzgusssimulation

Ergebnisse

- ▶ Gegenüberstellung der Füllzeiten zwischen 3D-Mesh und Fusion Modell:

Fill time
= 1.736[s]

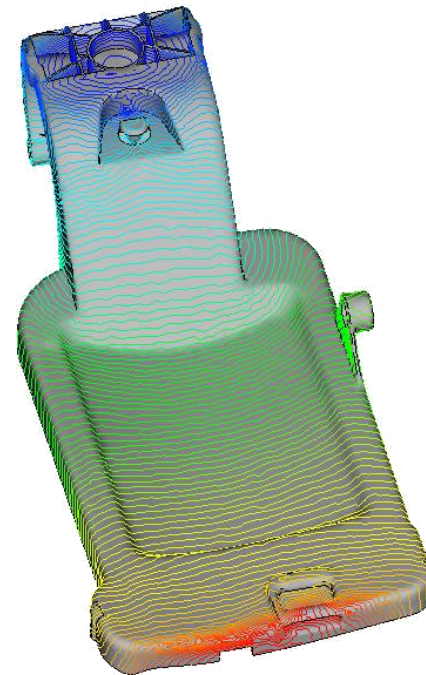
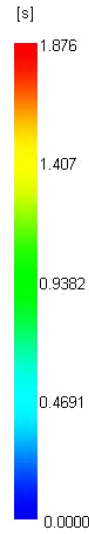


Autodesk
MOLDFLOWINSIGHT

Scale (100 mm)

Abb.: Füllzeit 3D-Mesh

Fill time
= 1.876[s]



Autodesk
MOLDFLOWINSIGHT

Scale (100 mm)

Abb.: Füllzeit Fusion

Spritzgusssimulation

Vergleich Faserorientierungen

► Detail der Faserorientierungsverteilung:

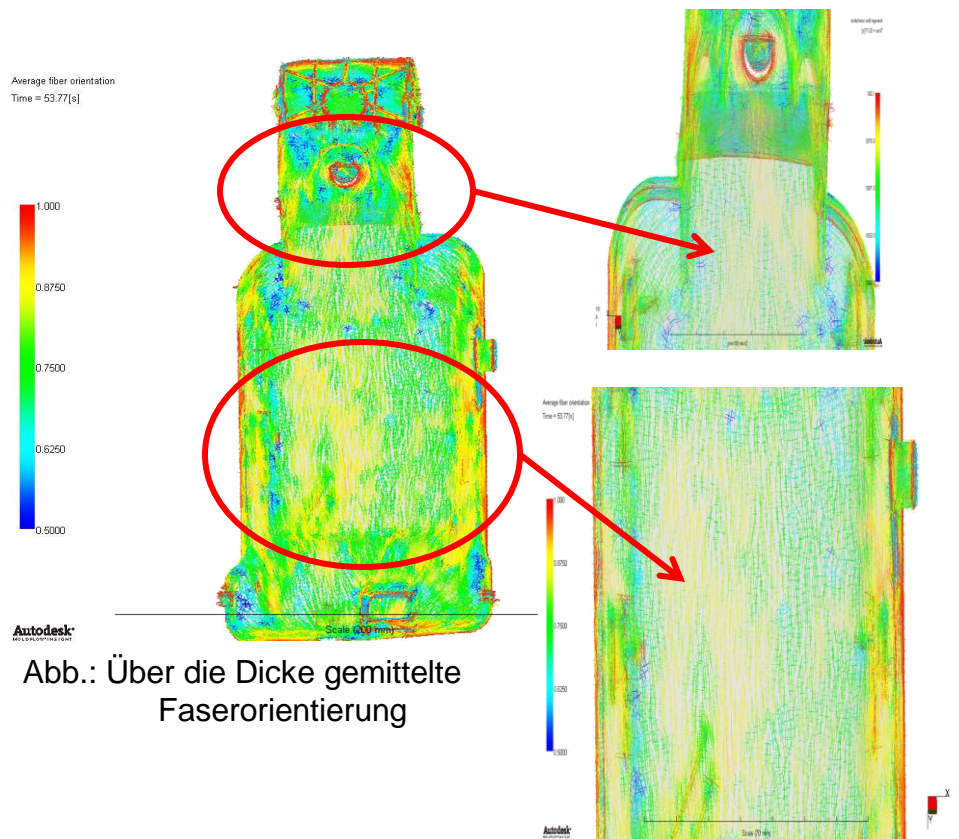


Abb.: Über die Dicke gemittelte Faserorientierung

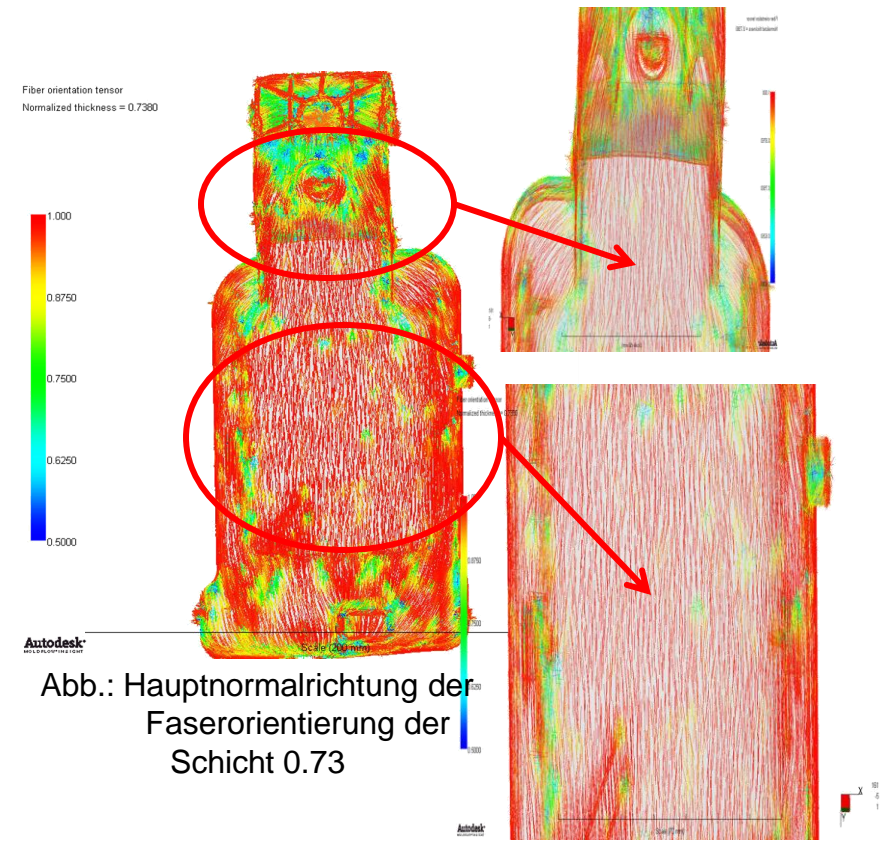


Abb.: Hauptnormalrichtung der Faserorientierung der Schicht 0.73

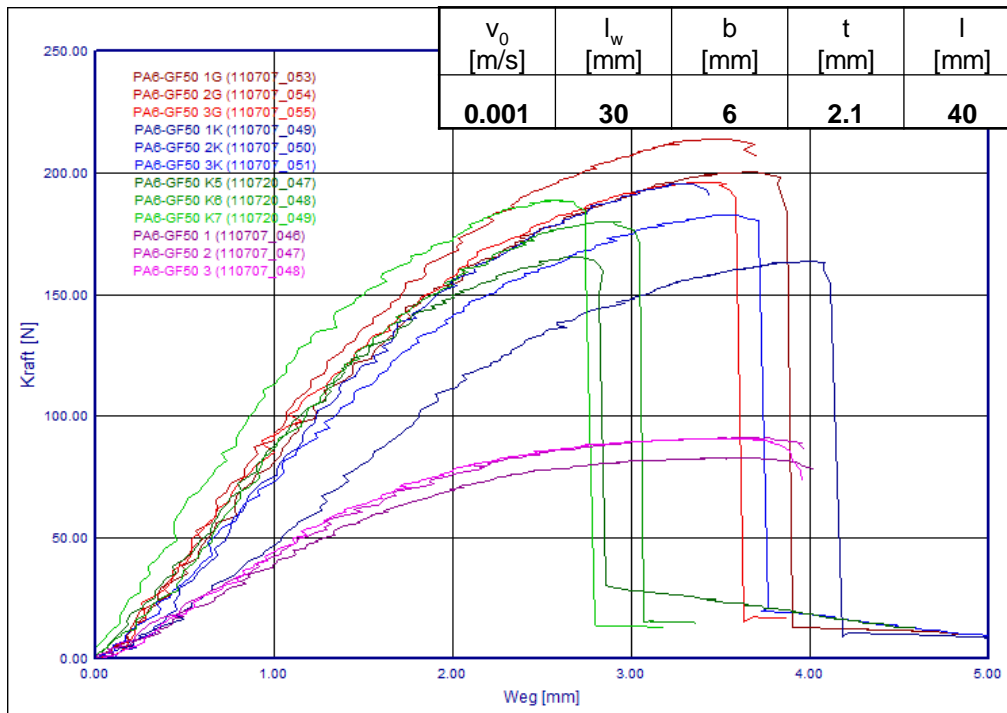
Biegeprüfung

Messergebnisse: Kraft-Weg

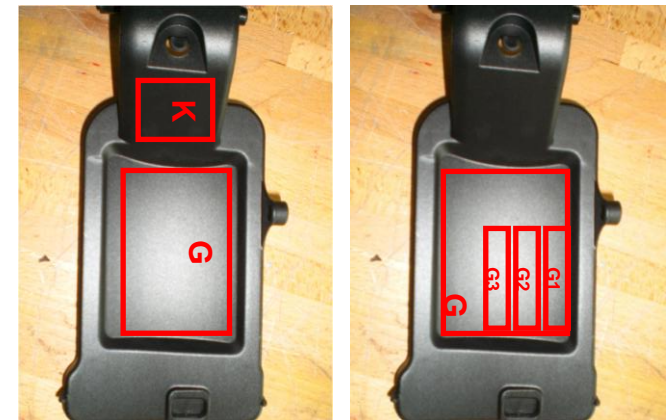
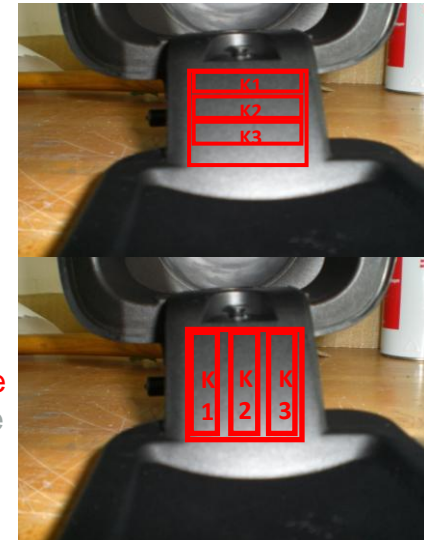
Im Diagramm sind die gemessenen Kraft-Weg Kennlinien für unterschiedliche

- ▶ Entnahmepositionen
- ▶ Konditionierungszustände (trocken, feucht wie angeliefert ~0,6%)
- ▶ Faserorientierungen

dargestellt.



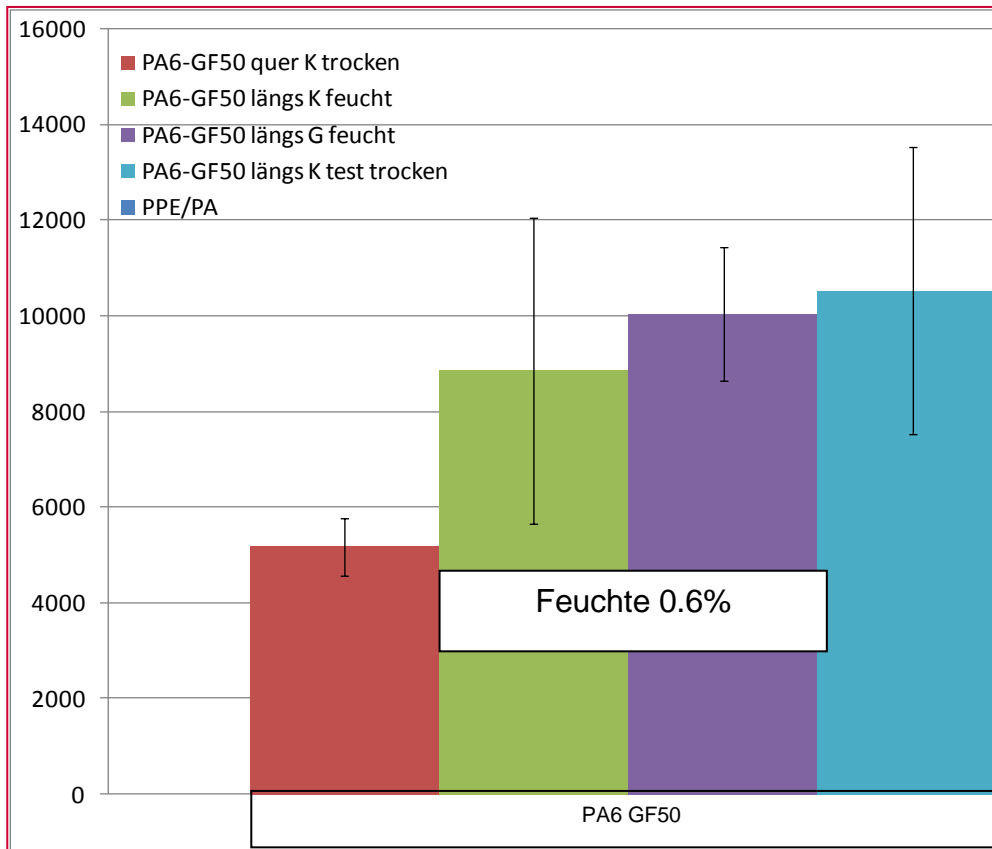
G längs 0,6% Feuchte
 K längs 0,6% Feuchte
 K längs trocken
 K quer trocken



Biegeprüfung

Messergebnis E-Modul

- Die aus den Messungen bestimmten **Moduli zeigen eine Abhängigkeit** von Feuchte und Faserorientierung. Die hohe Streubreite aus dem Bereich K des Materials PA6-GF50 wird noch näher untersucht.



Bereich	E-Modul [MPa]	STBW [MPa]
K Quer Trocken	5173	600
K Längs Trocken	10531	3000
K Längs Feucht	8867	3200
G Längs Feucht	10039	1350
Abdeckung	1946	120



Materialkennwerte

Materialdatenblatt lt. Hersteller

50% Glasfaser verstärktes PA6

Grilon BG-50 S PA6-GF50 EMS Grivory



Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	17500 / 11500	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	245 / 165	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	3 / 6	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength (+23°C)	90 / 95	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength (-30°C)	85 / 90	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	15 / 25	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	11 / 12	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	222 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	210 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (8.00 MPa)	170 / *	°C	ISO 75-1/-2
Burning Behav. at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.8 / *	mm	IEC 60695-11-10
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Volume resistivity	1E12 / 1E12	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	* / 1E12	Ohm	IEC 60093
Electric strength	40 / 37	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	- / 575	-	IEC 60112
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Water absorption	5 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	1.5 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1580 / -	kg/m ³	ISO 1183

Unverstärktes PA6

Grilon BS PA6 EMS Grivory



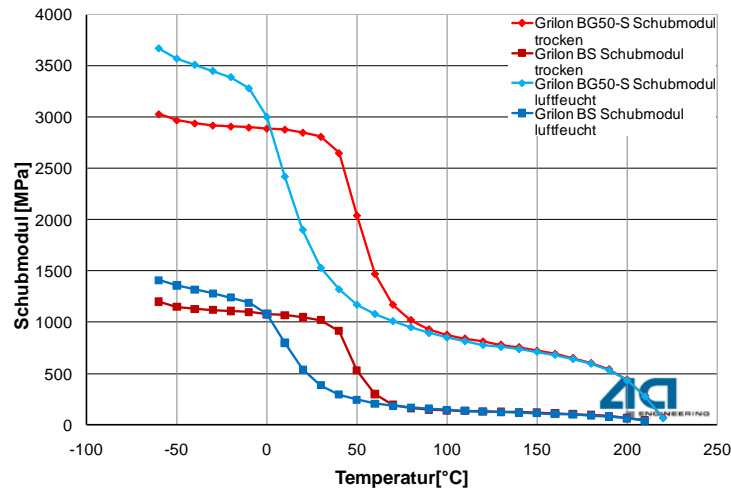
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	3000 / 1000	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	80 / 40	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	4 / 15	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	15 / >50	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength (+23°C)	N / N	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength (+23°C)	5 / 30	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength (-30°C)	5 / 4	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	222 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	60 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load (0.45 MPa)	175 / *	°C	ISO 75-1/-2
Burning Behav. at thickness h	HB / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.8 / *	mm	IEC 60695-11-10
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Volume resistivity	1E11 / 1E9	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	* / 1E11	Ohm	IEC 60093
Electric strength	30 / 27	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	600 / 600	-	IEC 60112
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Water absorption	9 / *	%	Sim. to ISO 62
Humidity absorption	3 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1130 / -	kg/m ³	ISO 1183

Quelle: Campus www.campusplastics.com

Materialeigenschaften

Einflussparameter

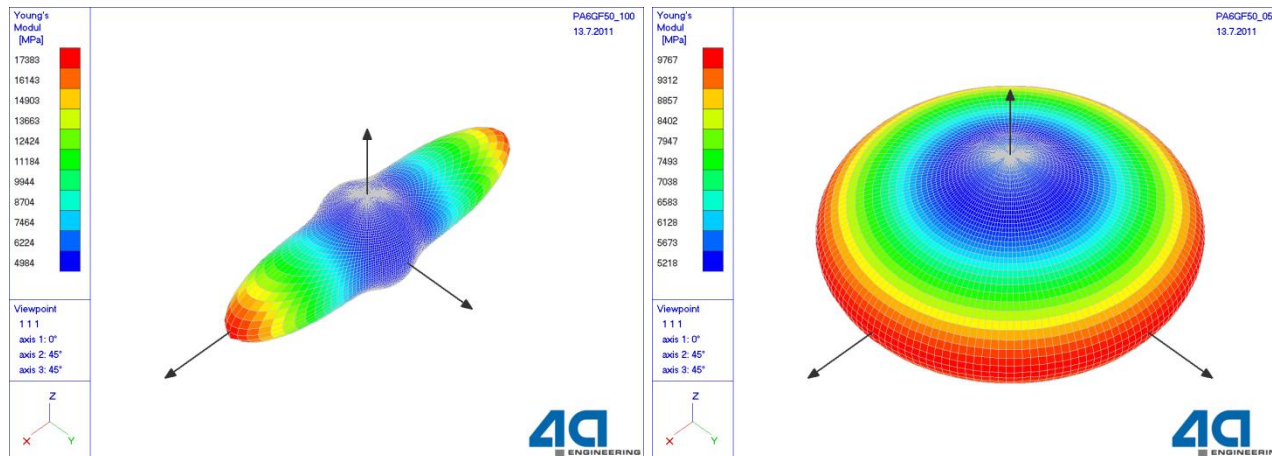
► Temperatur / Feuchte (Quelle Campus Materialdatenbank)



trocken
luftfeucht

Abnahme des Schubmoduls im luftfeuchten Zustand um ca. 30% (RT)

Bei Temperaturzunahme von 50°C (von RT) Abnahme des Schubmoduls um ca. 80% (konditioniert)



Je nach Verteilung der Faserorientierung verringert sich der E-Modul quer zur Hauptorientierungsrichtung bis zu 70% (Extremfall einheitliche Orientierung)

Materialeigenschaften

MicroMec

Input

Material Data of Components (E, α, λ)

Matrix
Reinforcements
Fillers

Data-Base

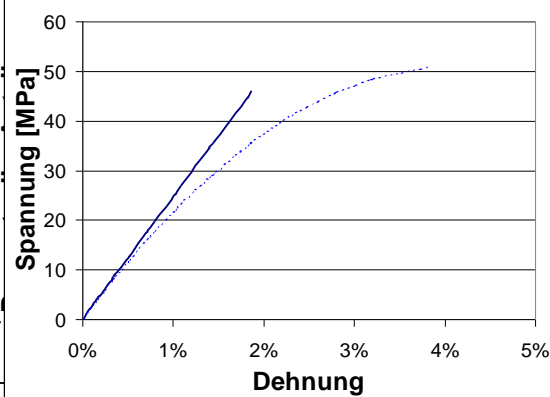
Fibre and Particle Orientation

Data-Base

Fibre and Particle Shape

Data-Base

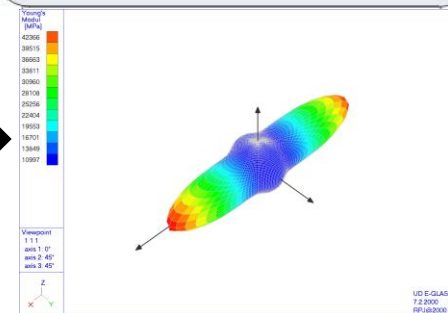
MicroMec V3.1



Virtual Material Design

Output

3D Composite Data

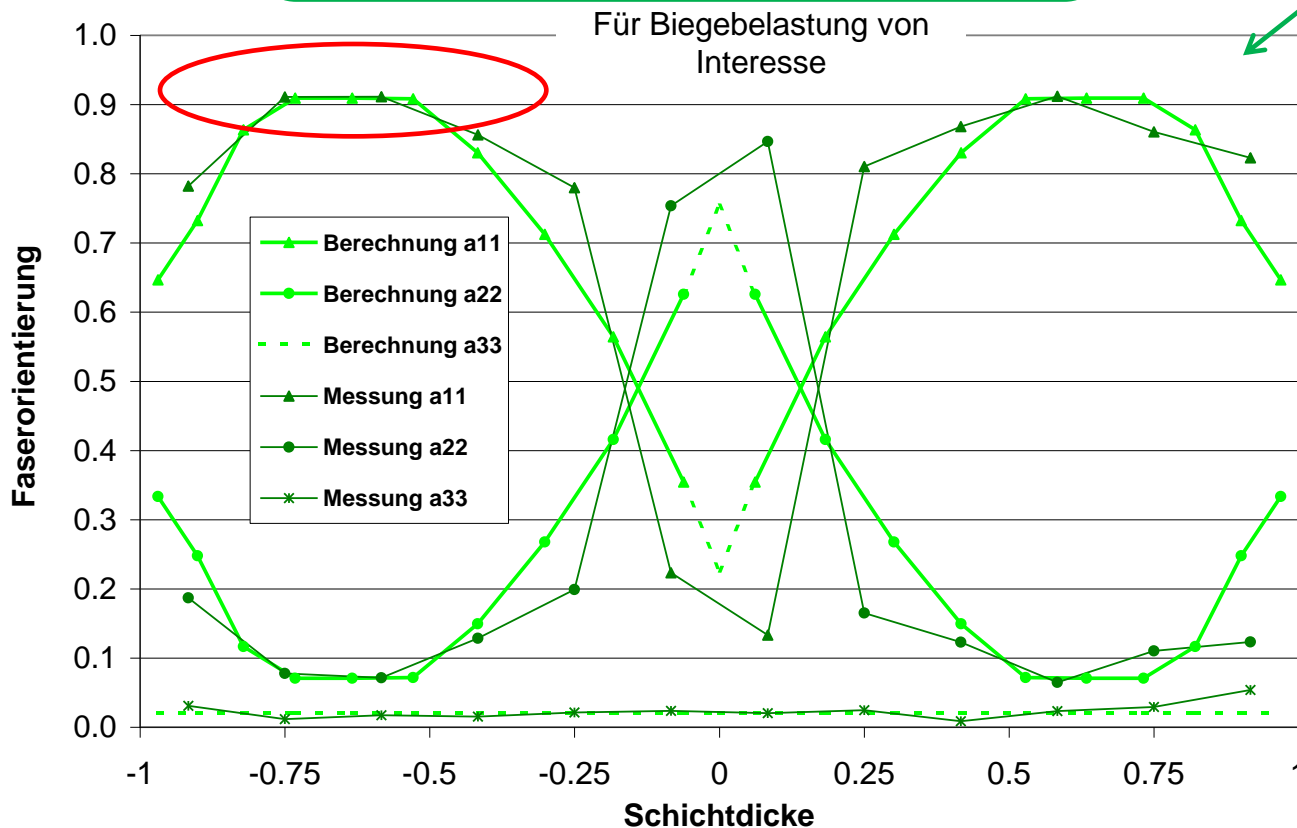
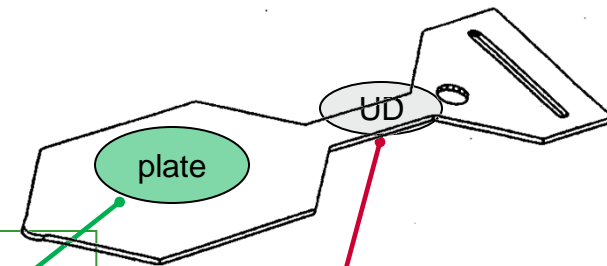
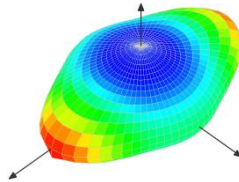


Materialeigenschaften

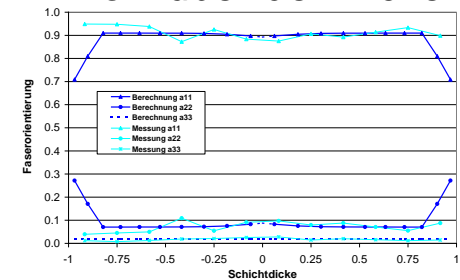
Faserorientierung in typischen Bereichen

Mittlere FO in Tensorform

$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0,66 & 0 & 0 \\ 0 & 0,32 & 0 \\ 0 & 0 & 0,02 \end{bmatrix}$$

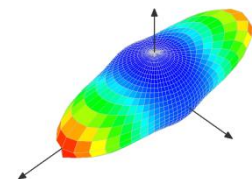


Profil über der Dicke



Mittlere FO in Tensorform

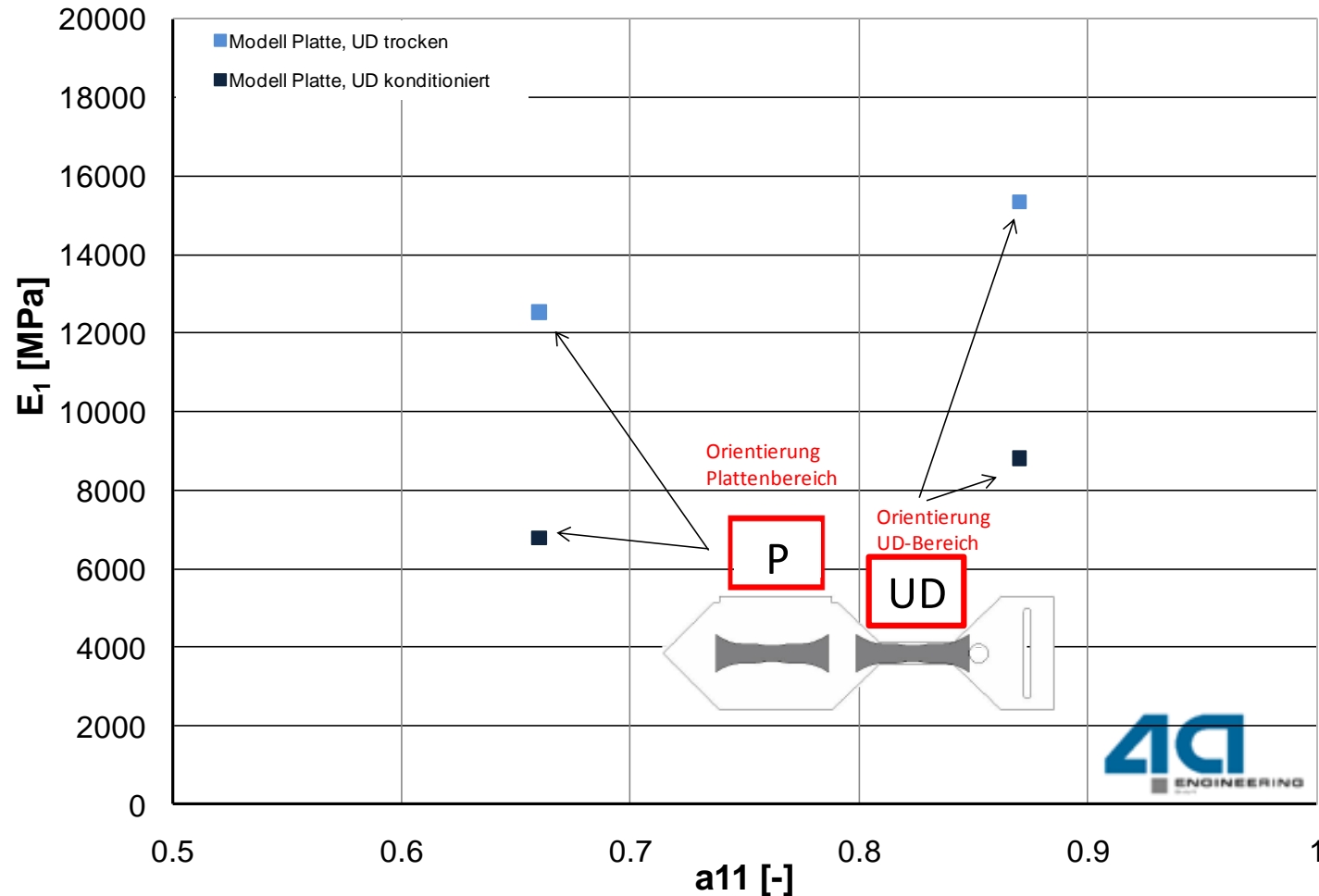
$$a_{ij} = \begin{bmatrix} 0,87 & 0 & 0 \\ 0 & 0,11 & 0 \\ 0 & 0 & 0,02 \end{bmatrix}$$



Materialeigenschaften

Steifigkeit längs in Abhängigkeit

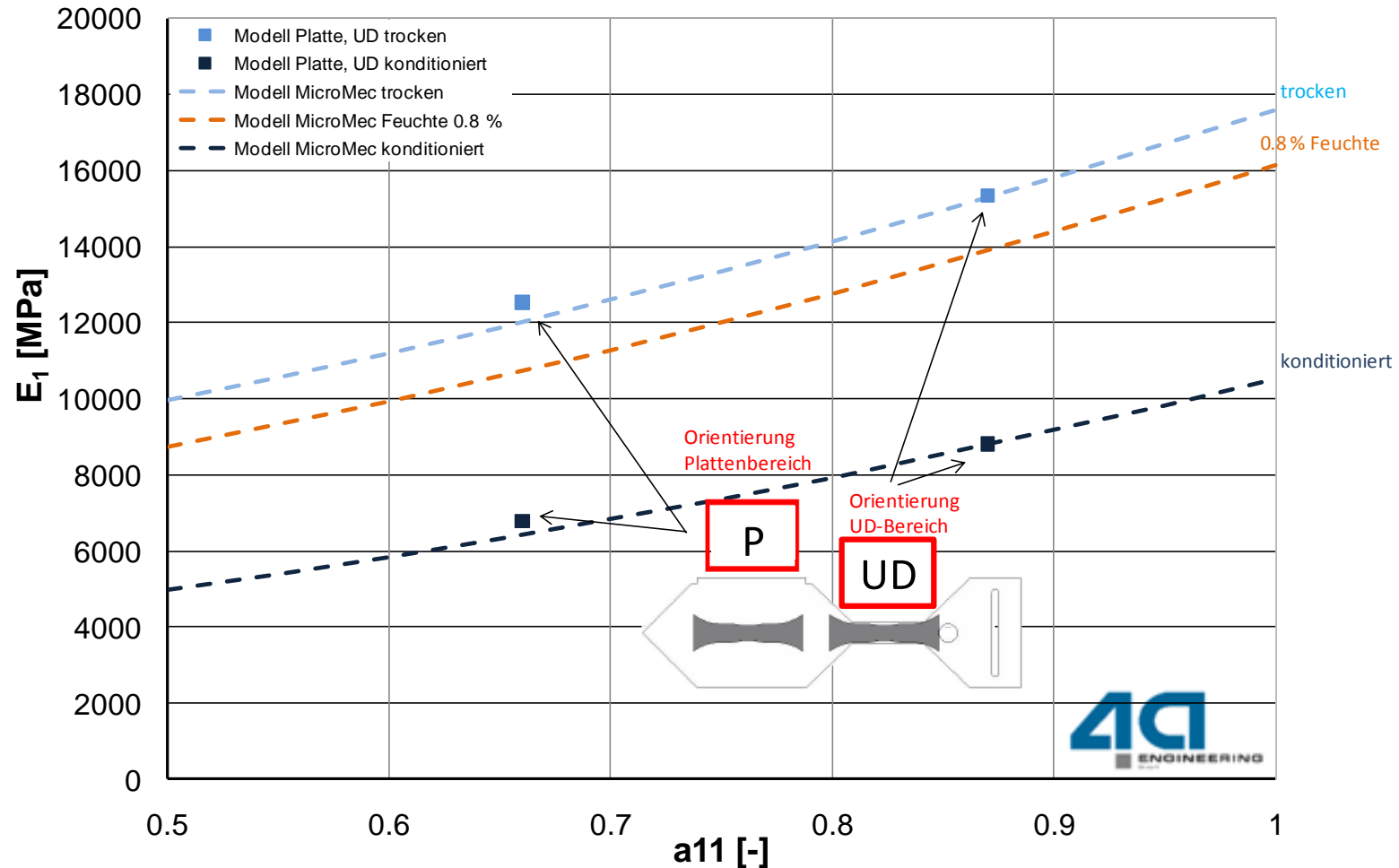
► Orientierungs- und Feuchteeinfluss



Materialeigenschaften

Steifigkeit längs in Abhängigkeit

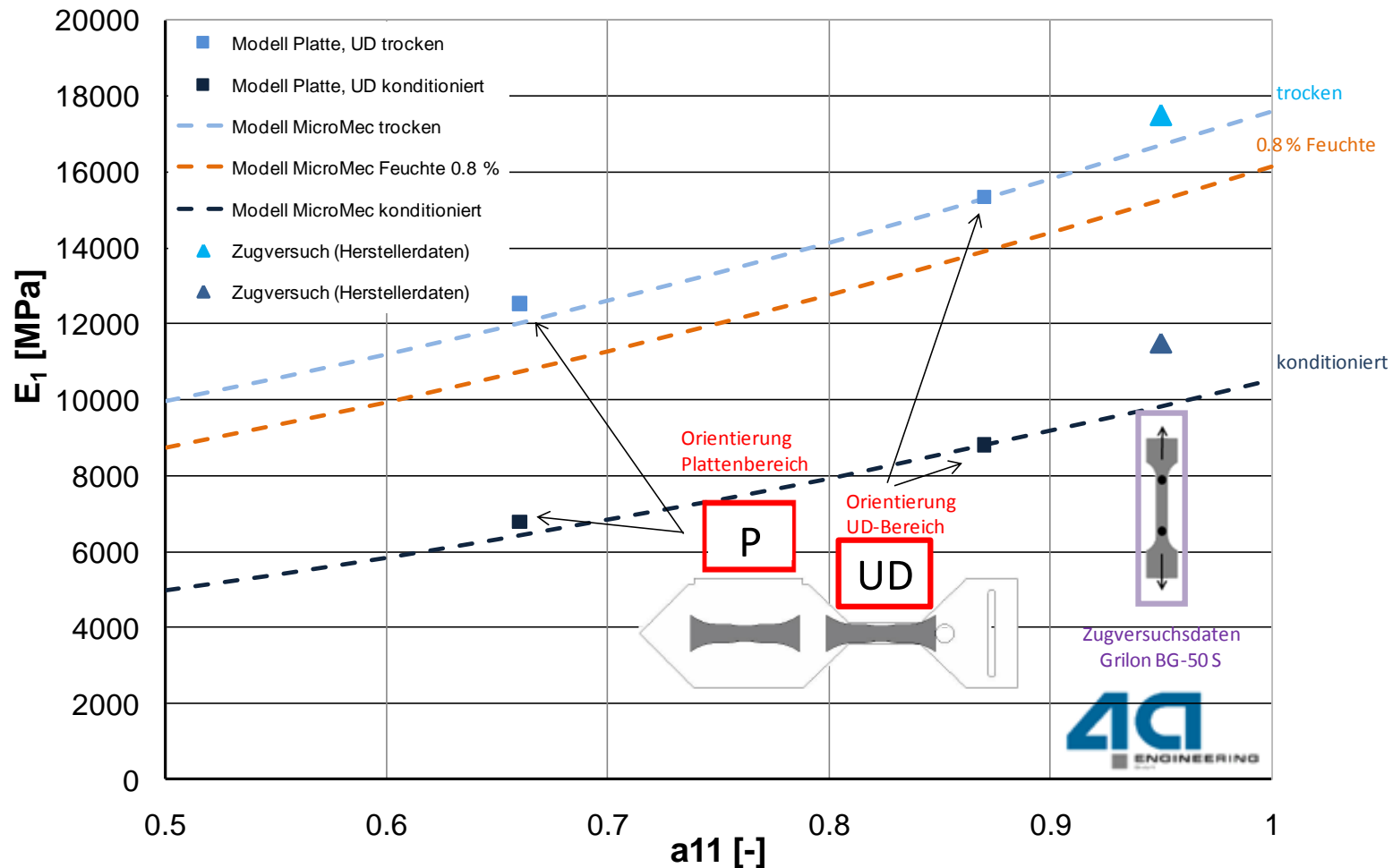
► Orientierungs- und Feuchteeinfluss



Materialeigenschaften

Steifigkeit längs in Abhängigkeit

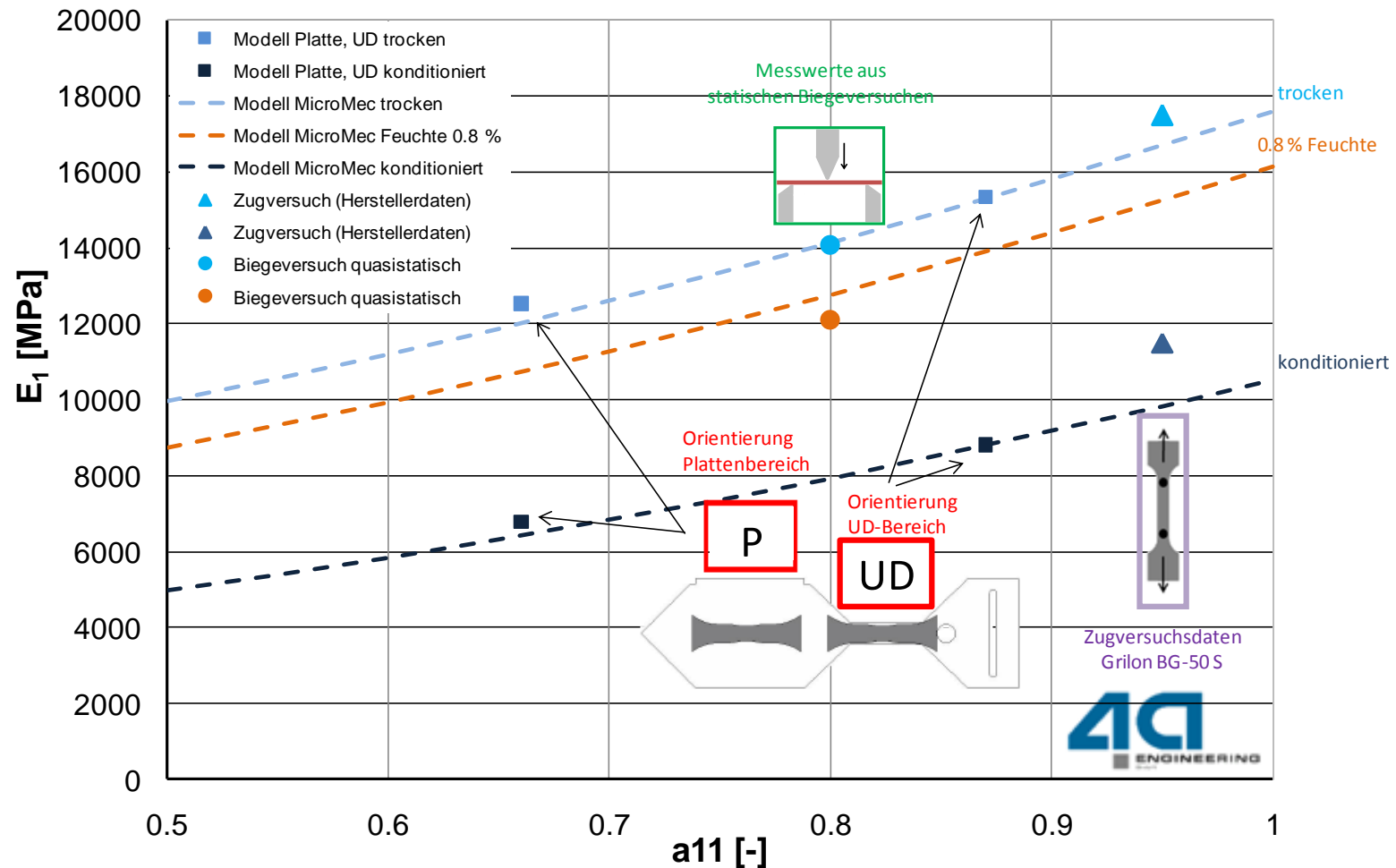
► Orientierungs- und Feuchteeinfluss



Materialeigenschaften

Steifigkeit längs in Abhängigkeit

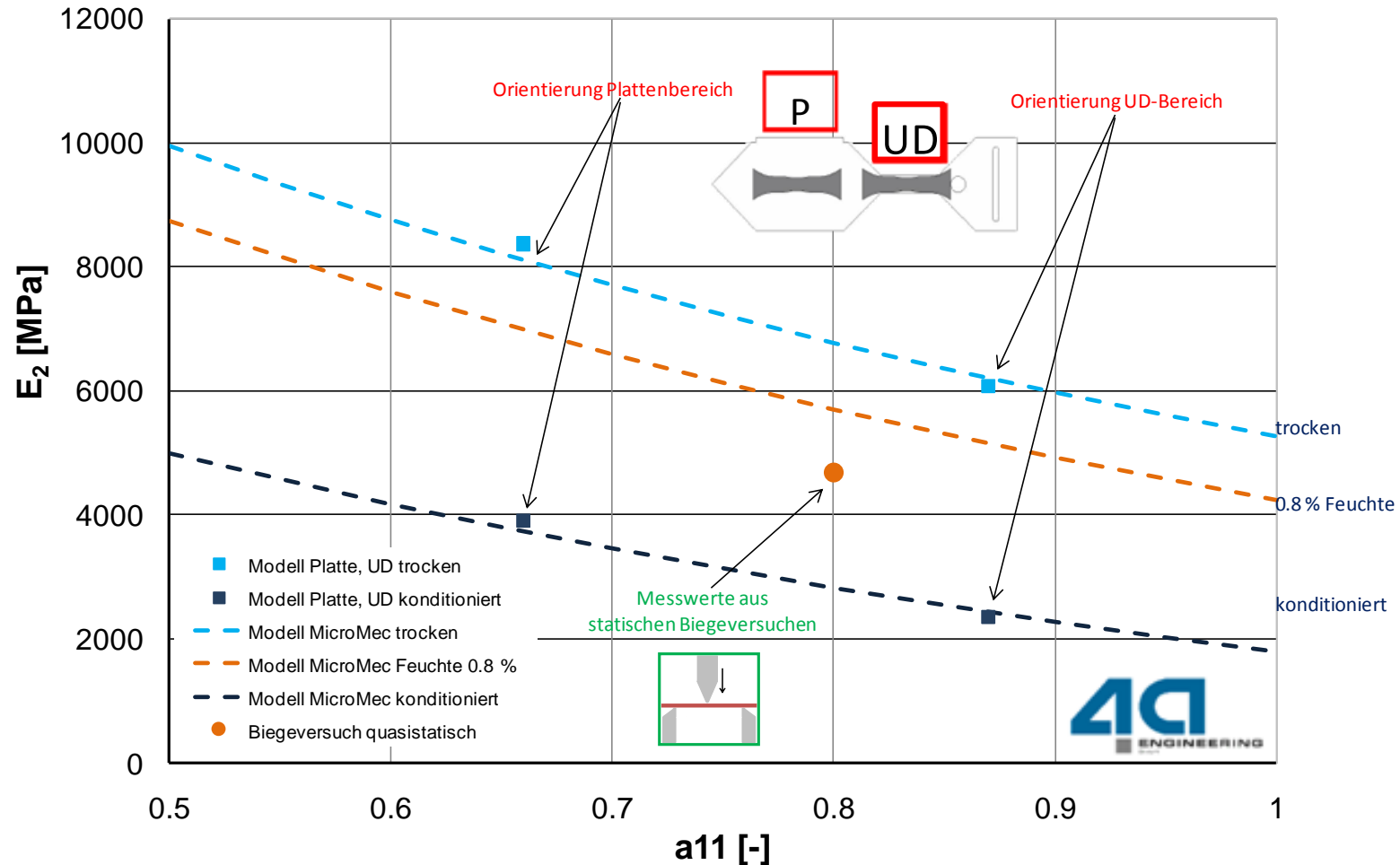
► Orientierungs- und Feuchteeinfluss



Materialeigenschaften

Steifigkeit quer in Abhängigkeit

► Orientierungs- und Feuchteeinfluss



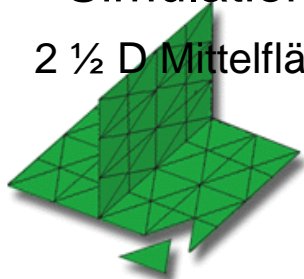
Integrative Simulation

Idealisierung, Mapping

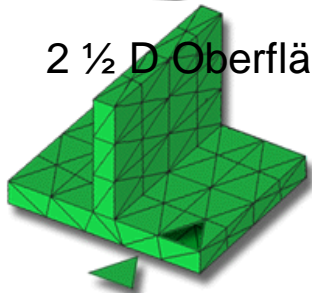
SG-

Simulation:

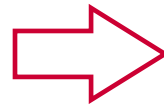
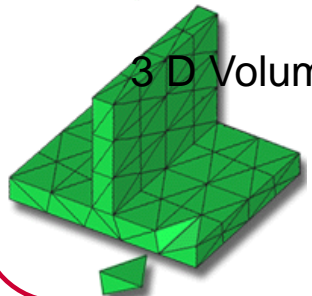
2 ½ D Mittelfläche



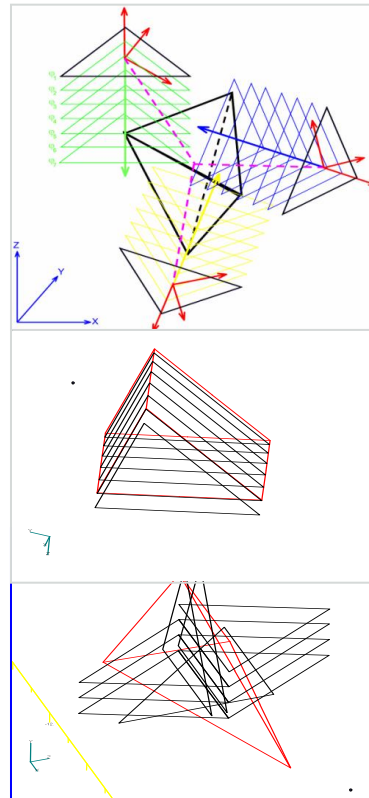
2 ½ D Oberfläche



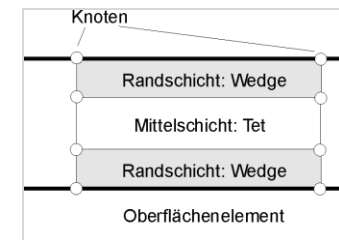
3 D Volumen



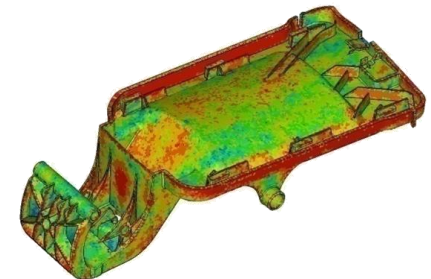
4a virtual
fibermapping



Struktursimulation
Modellierung muss
FO Verteilung repro-
duzieren können



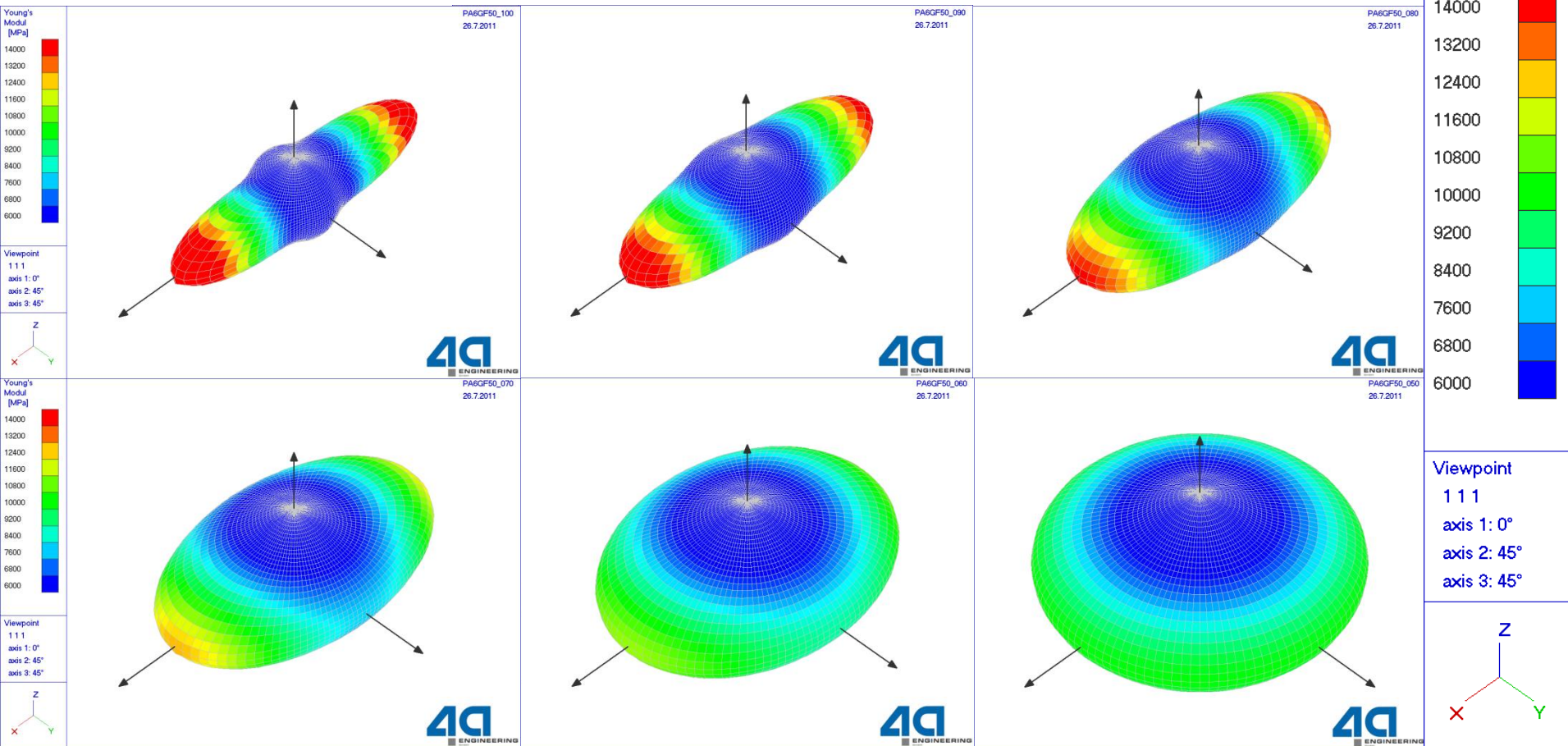
Beispiele für
übertragene
Faserorientierung:



Integrative Simulation

Orthotropes gemapptes Material

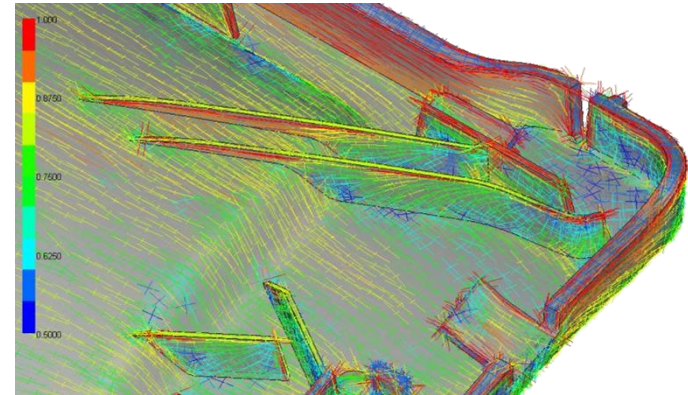
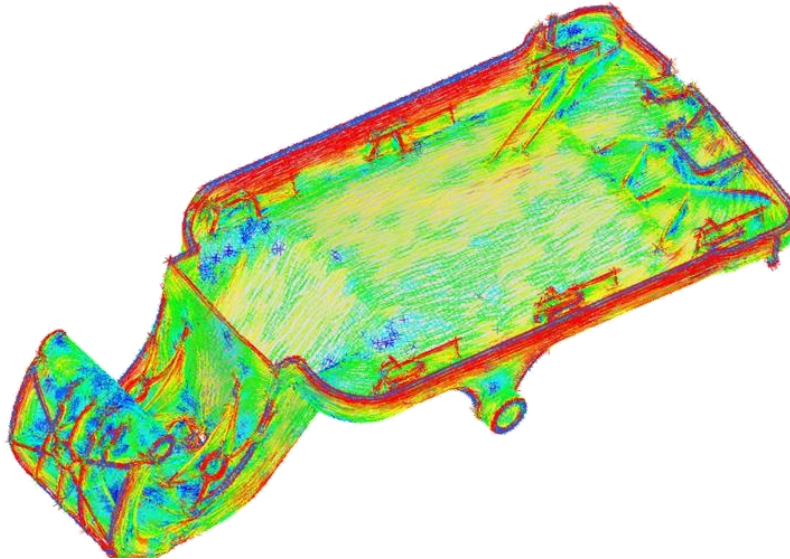
Mittlere Faserorientierung wird analog gemappt. Neben dem 1. Eigenvektor wird der 1. Eigenwert berechnet. Mittels dem 1. Eigenwert a11 wird ein Material zugeordnet.



Integrative Simulation

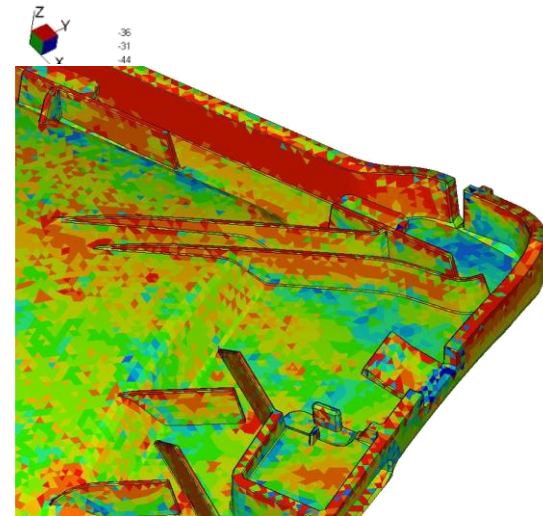
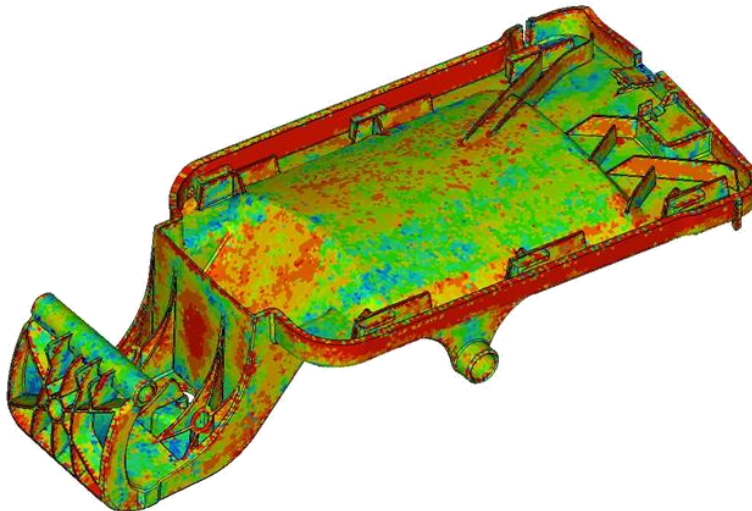
Mapping - Vergleich Strömungs- mit Struktursimulation

Average fiber orientation
Time = 53.77[s]



a11 Strömungssimulation

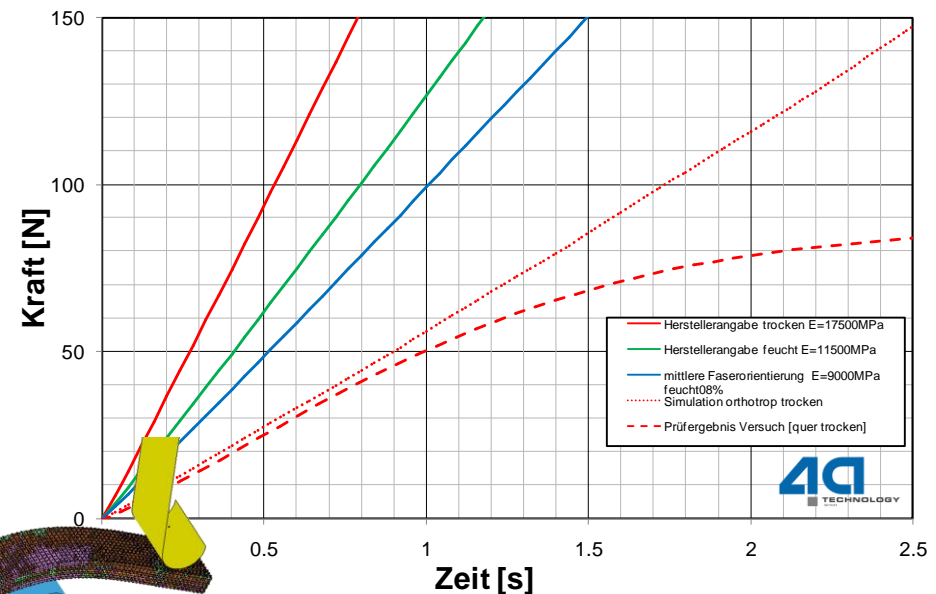
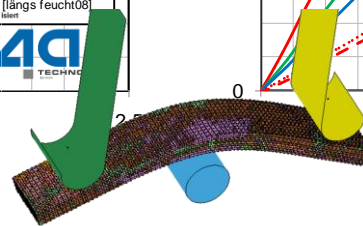
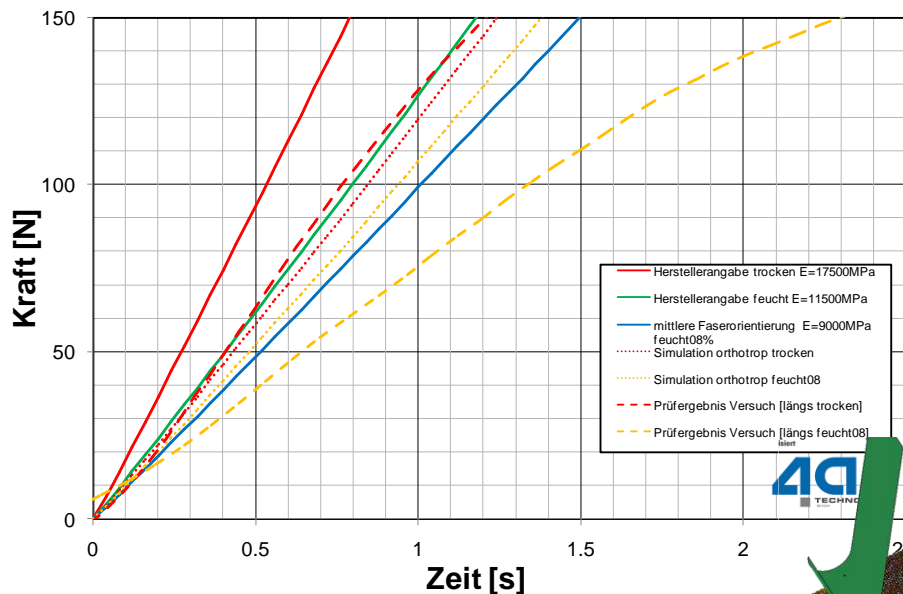
Contour Plot
A11_AZ20()
Analysis system
1.050E+00
1.000E+00
9.500E-01
9.000E-01
8.500E-01
8.000E-01
7.500E-01
7.000E-01
6.500E-01
6.000E-01
5.500E-01
5.000E-01
3.443E-01
Max = 9.800E-01
ELEMENT_SOLID 2129378
Min = 3.443E-01
ELEMENT_SOLID 2062788



Integrative Simulation

Vergleich Materialprüfung – Simulation (Herstellerangaben vs. Integrativ)

- ▶ Zum Überprüfen der Methode und zum Anpassen von Materialparametern (Matrixeigenschaften) in der Mikromechanik werden im ersten Schritt die durchgeführten 3-Punkt Biegeversuche nachsimuliert.
- ▶ Unterschiedliche Entnahmepositionen (längs vs. quer) und Probenkonditionierungen wurden für elastische isotrope bzw. orthotrope Idealisierung untersucht.
- ▶ Insbesondere im Lastfall quer kann gezeigt werden, dass sich die integrative Simulation lohnt. Im Lastfall längs feucht zeigt sich, dass die mechanischen Kenngrößen der Matrix noch angepasst werden müssen.



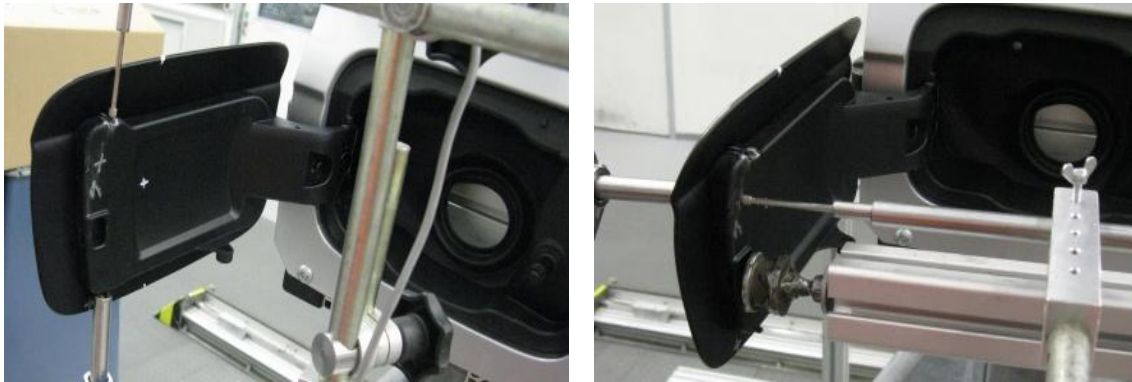
Probekörper in Längsrichtung

Probekörper in Querrichtung

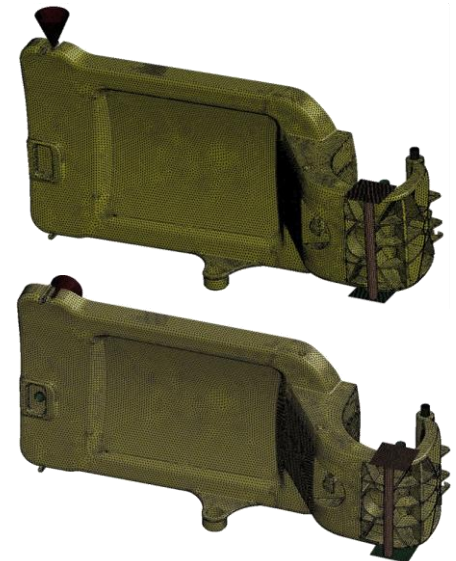
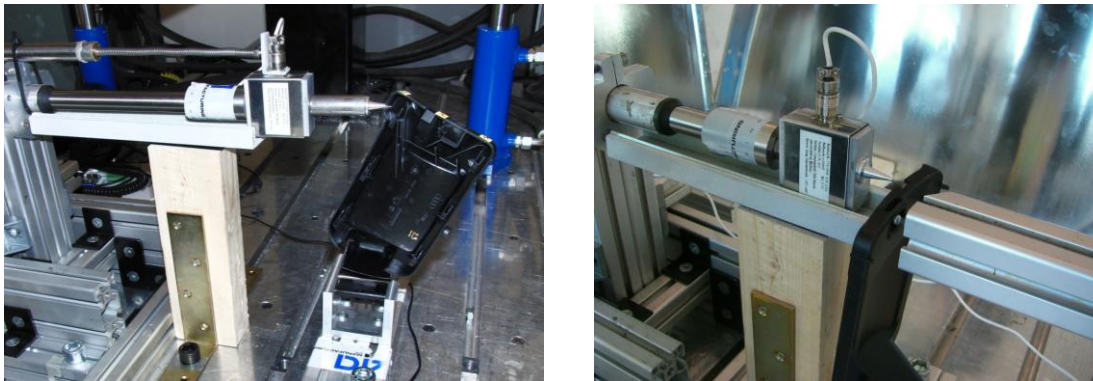
Bauteil – Validierung

Biegesteifigkeits- / Torsionssteifigkeitsprüfung

- ▶ Typischer Versuchsaufbau Gesamtfahrzeug (Systemsteifigkeit):



- ▶ Eigene Vorrichtung am Prüffeld 4a (Untersuchung Bauteilsteifigkeit):



Bauteil – Validierung

aktuelle Zwischenergebnisse Lastfall Biegung

- ▶ Die isotrope Simulation mit den Materialkennwerten laut Herstellerangaben zeigt ein zu steifes Verhalten, auch unter Berücksichtigung eines aufgrund der Faserorientierung abgeminderten E-Moduls (trocken ~10000 MPa).
- ▶ Obwohl die Werte der integrativen Simulation etwas unter den Werten der Prüfungen liegen, kann das Verhalten der Bauteile gut abgebildet werden.

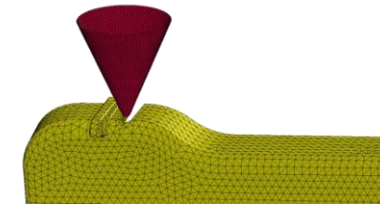
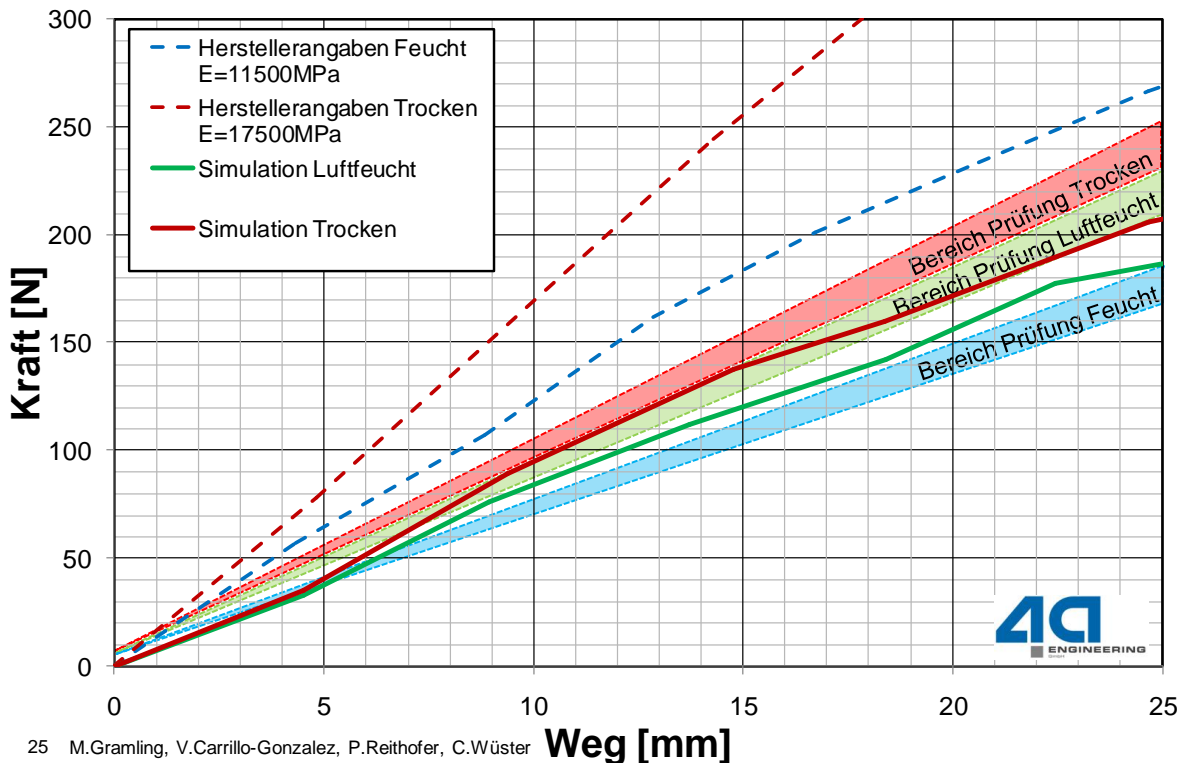
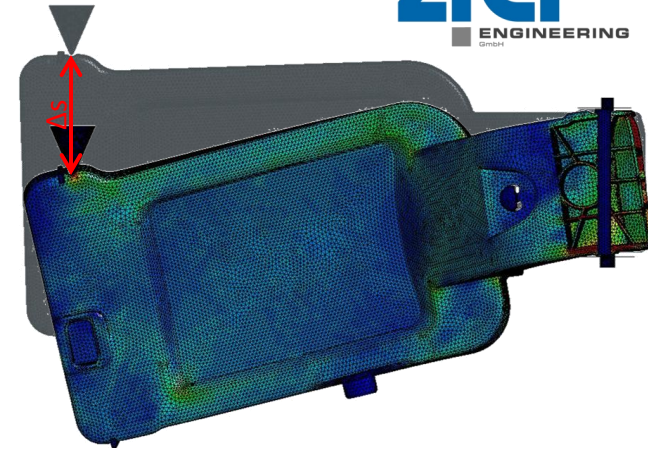


Abb.: Randbedingung Biegung



Abb.: Bereich Scharnierachse

Bauteil – Validierung

aktuelle Zwischenergebnisse Lastfall Torsion

- ▶ Die isotrope Simulation mit den Materialkennwerten laut Herstellerangaben zeigt ein zu steifes Verhalten, auch Unterberücksichtigung eines aufgrund der Faserorientierung abgeminderten E-Moduls (trocken ~10000 MPa)
- ▶ Obwohl die Werte der integrativen Simulation etwas unter den Werten der Prüfungen liegen, kann das Verhalten der Bauteile gut abgebildet werden.

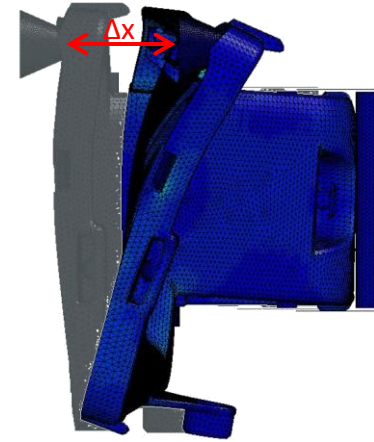


Abb.: Verschiebung Torsionssimulation

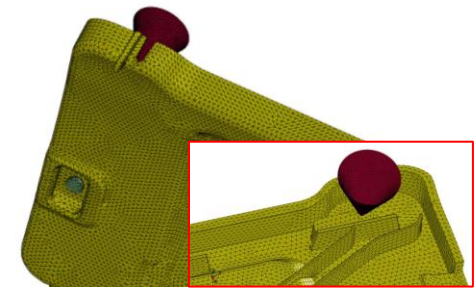
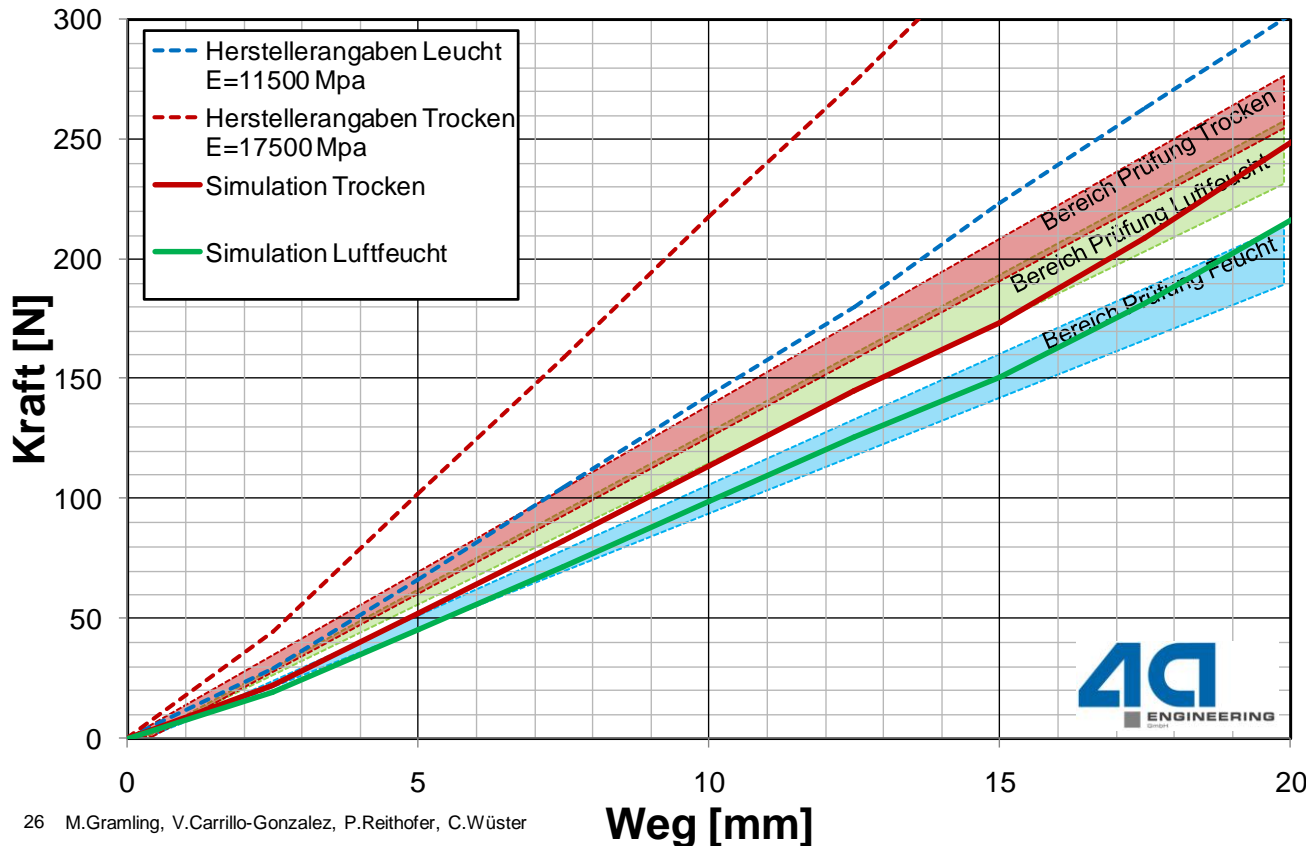


Abb.: Randbedingungen Torsion

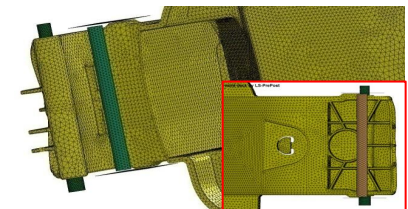


Abb.: Bereich Scharnierachse

Integrative Simulation von kurzfaserverstärkten Thermoplasten am Beispiel einer Tankklappe

Vielen Dank!