



Beitrag zur statischen Bemessung von Widerstands- punktschweißverbindungen

A contribution to static dimensioning of resistance spot-welds by means of experiment and numerical simulation

22. Werkstofftechnisches Kolloquium



Agenda

1. Aufgaben- & Zielstellung

2. Eingangsdaten

3. Konzept für die Bemessung

- Berechnungsablauf
- Parameteridentifikation

4. Numerische Modellierung

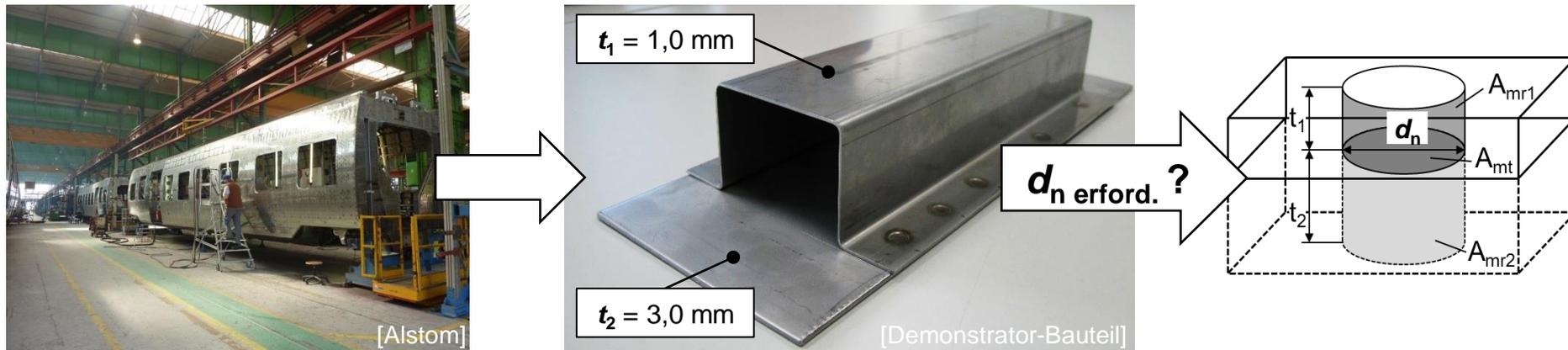
- Modellaufbau
- Ergebnisse

5. Fazit

1. Aufgaben- & Zielstellung

■ Aufgabenstellung

- Experimentelle Ermittlung der Versagenskräfte F in Abh. vom Linsendurchmesser d_n für die Werkstoffe 1.0330 & 1.4301 für Scher-, Schäl- & Kopfzugbeanspruchung an Ein- und Mehrpunktverbindungen
- Numerische Modellierung der lokalen Spannungsverteilung an der Linse (Fokus Scherbeanspruchung)
- Anwendung auf ein Demonstrator-Bauteil



■ Zielstellung

- Berechnungskonzept für die Auslegung von statisch beanspruchten Widerstandspunktschweißverbindungen mit Vorhersage vom Bruchverhalten
- Experimentelle & numerische Validierung des Berechnungskonzeptes

1. Aufgaben- & Zielstellung

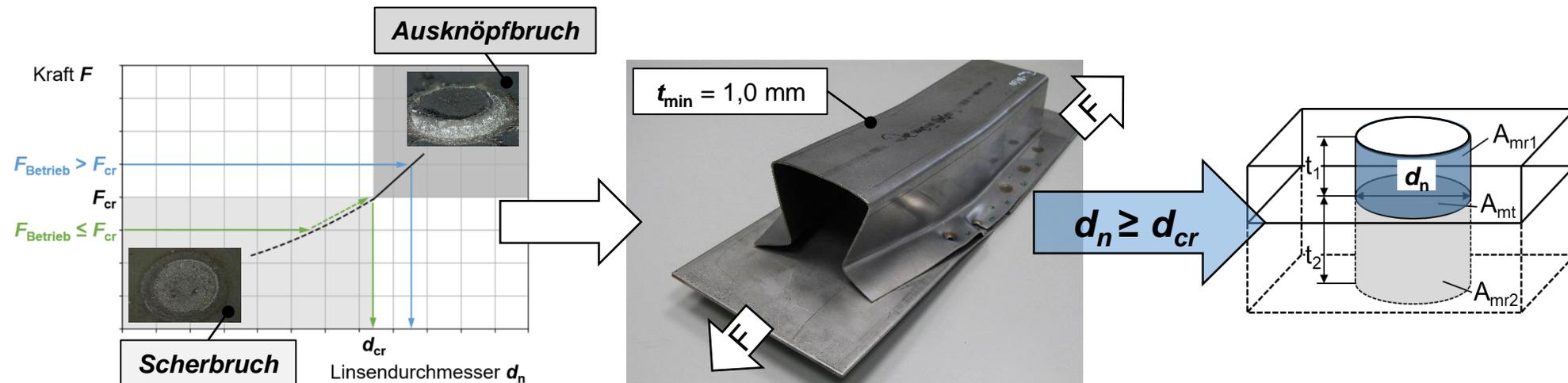
■ Bisherige Vorgehensweise

- DIN EN ISO 16432:
- Abschätzung von d_{cr} nach *Pouranvari*:
- Branchenspezifische Abschätzung:

$$F_{\max} = 2,6 \times d_n \times t_{\min} \times R_m \text{ Blech} \quad (1)$$

$$d_{cr} = 4 \times t_{\min} \quad (2)$$

$$d_n \text{ erford.} = f \times \sqrt{t_{\min}} \quad (f_{\text{Auto}} = 3,5 \text{ bzw. } f_{\text{Schiene}} = 5,0) \quad (3)$$

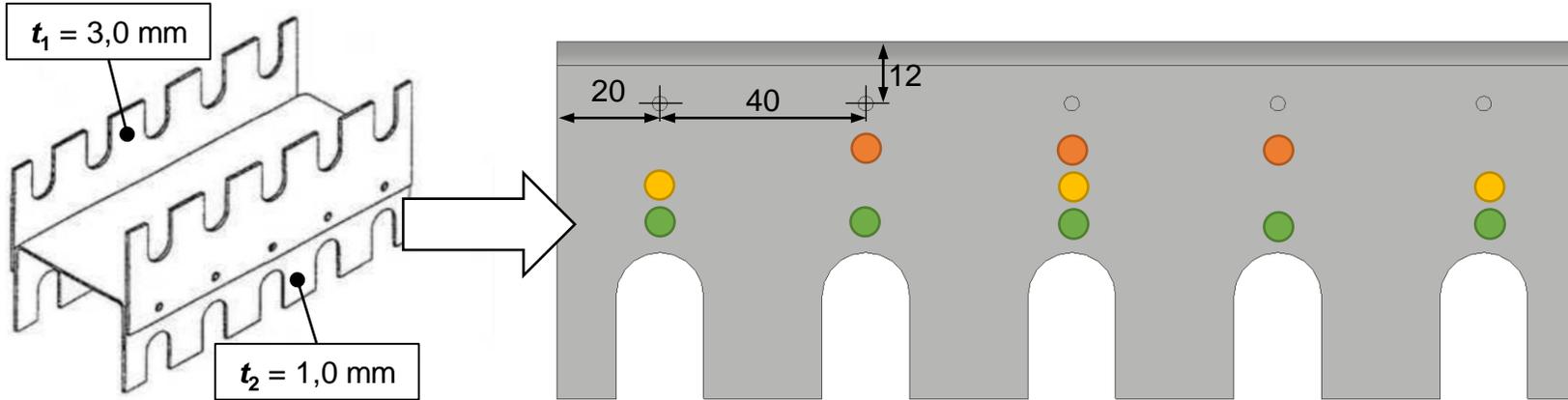


■ Konstruktionsgrundsätze:

- Beanspruchung von Widerstandspunktschweißverbindungen ausschließlich durch Scherung (Analogie zu Nietverbindungen)
- Konservative Auslegung gegen Ausknöpfbrech (Notwendigkeit der Kenntnis von d_{cr})

2. Eingangsdaten

- Geometrie am Beispiel der H-Probe nach FAT 169 - Ausführung A



Punktkonfigurationen:

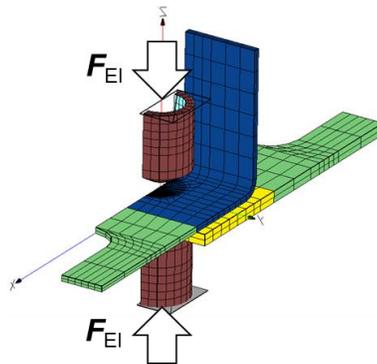
- 3 Pkt. mit $s_p = 40$ mm ●
- 3 Pkt. mit $s_p = 80$ mm ●
- 5 Pkt. mit $s_p = 40$ mm ●

- Lasten & Randbedingungen

- Schweißen

	1.4301	1.0330
F_{Ei} [kN]	8,75	4,30
t_s [ms]	630	630
I_s [kA]	8,50	9,25

(F_{Ei} - Elektrodenkraft,
 t_s - Schweißzeit, I_s - Schweißstrom)



- Scherzugversuch

$v_z = 5$ mm/s

Klemme

Symmetrie ($u_x=0$)

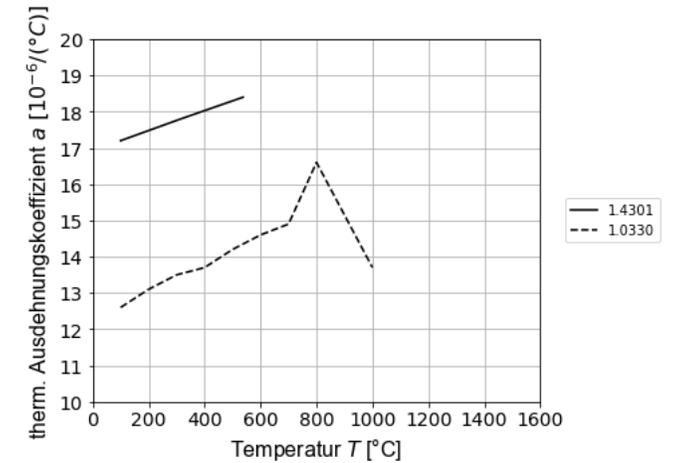
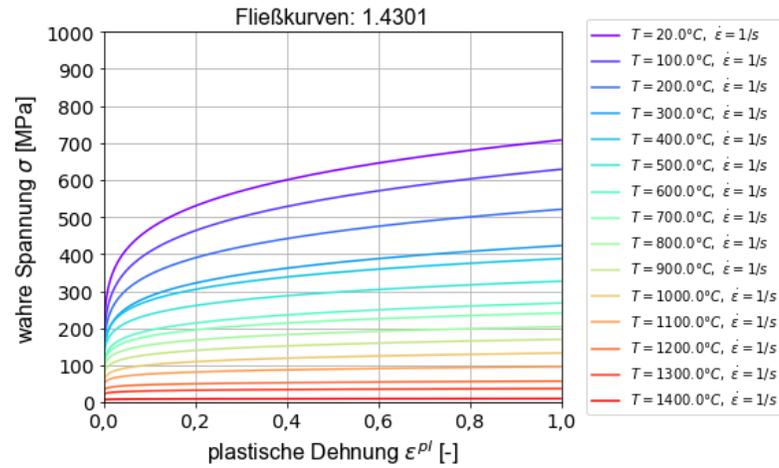
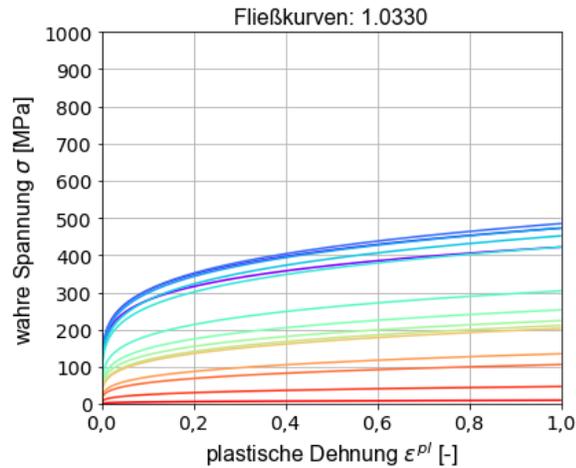
Klemme

$u_i = 0$



2. Eingangsdaten - Materialeigenschaften (gemäß SORPAS 3D Materialdatenbank Version 5.81)

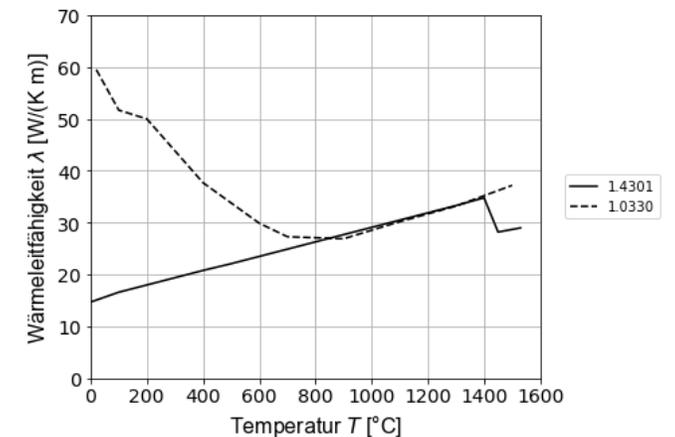
- Ausgewählte Materialeigenschaften in Abhängigkeit der Temperatur T :



- Eigenschaften bei Raumtemperatur $T = 20^\circ\text{C}$:

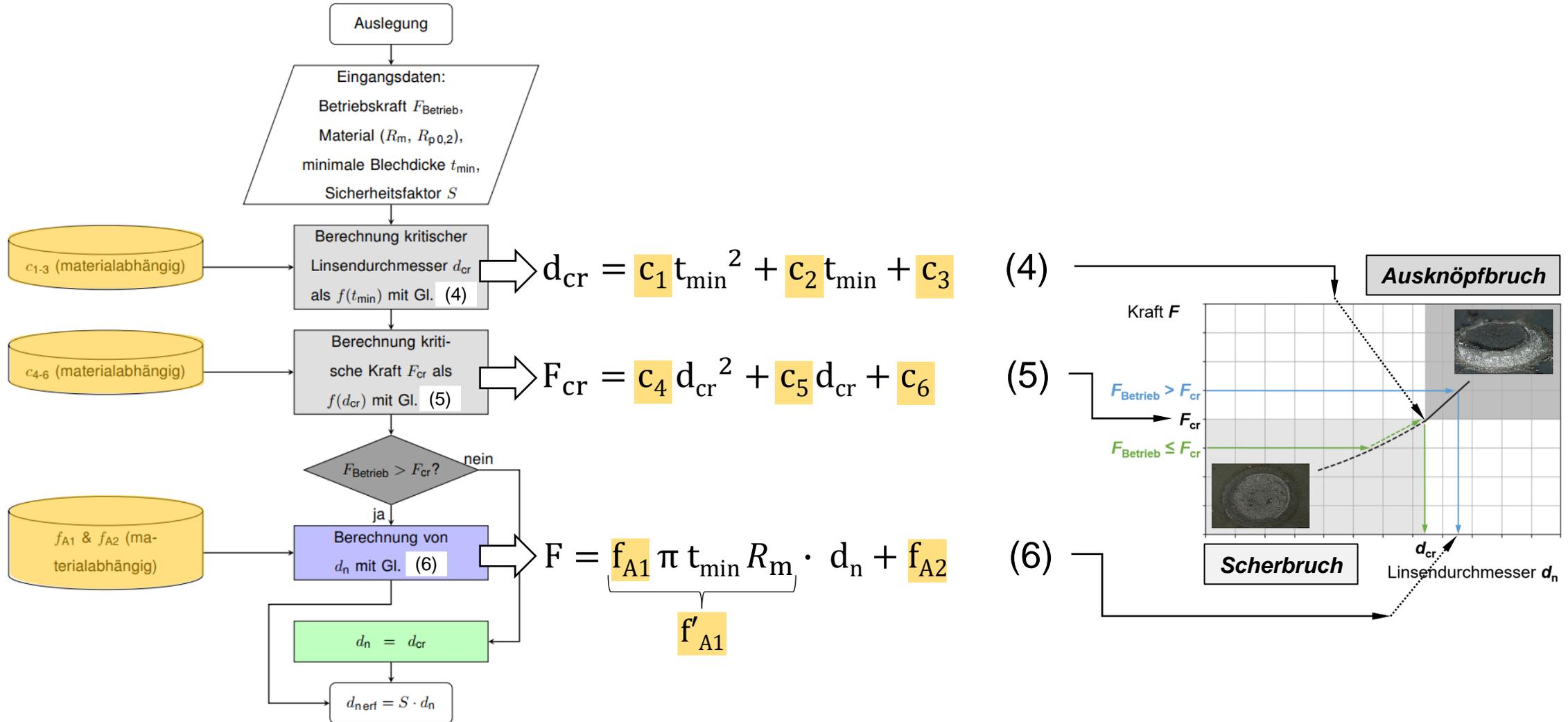
Nr.		E [MPa]	ν [-]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
1.0330	DC01	210.000	0,30	260	330
1.4301	X5CrNi18-10	193.000	0,30	303	638
A2-2	CuCrZr	117.000	0,34	270*	360*

(E - Elastizitätsmodul, ν - Querkontraktionszahl, $R_{p0,2}$ - Ersatzstreckgrenze, R_m - Zugfestigkeit, *gemäß Datenblatt)



3. Konzept für die Bemessung

- Berechnungsablauf für Scherzugbeanspruchung mit **materialabhängigen Parametern:**

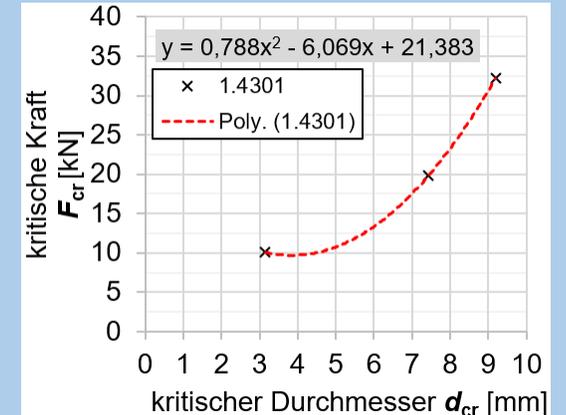
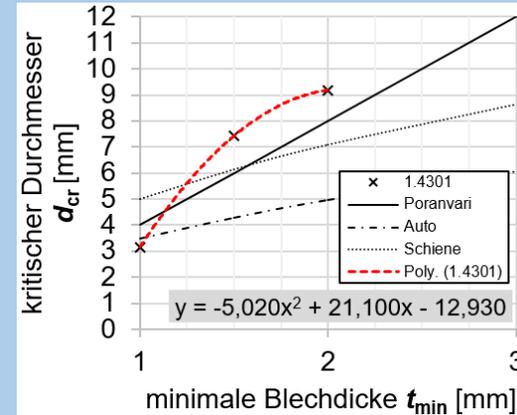


3. Konzept für die Bemessung - Parameteridentifikation

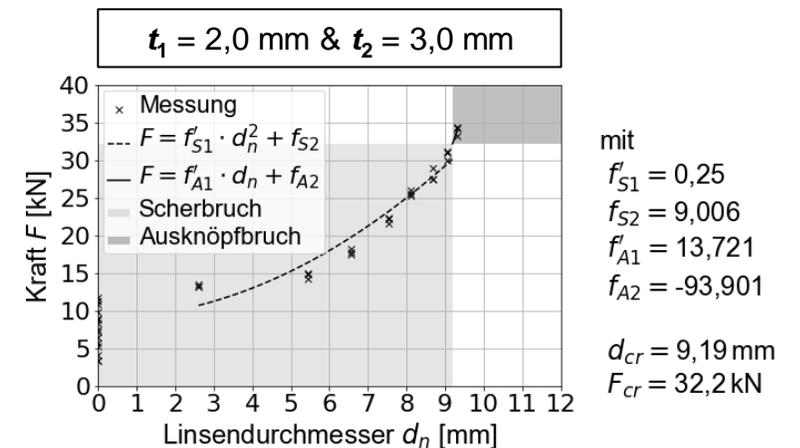
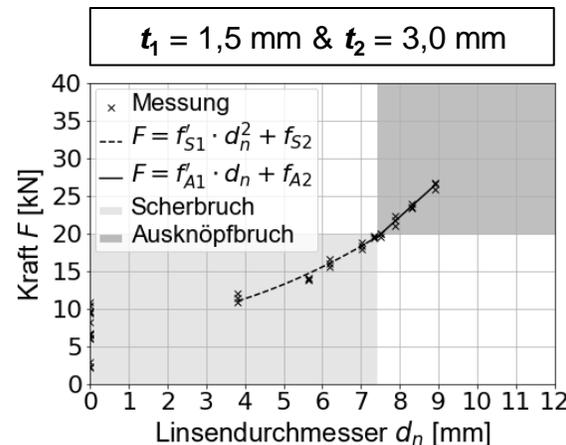
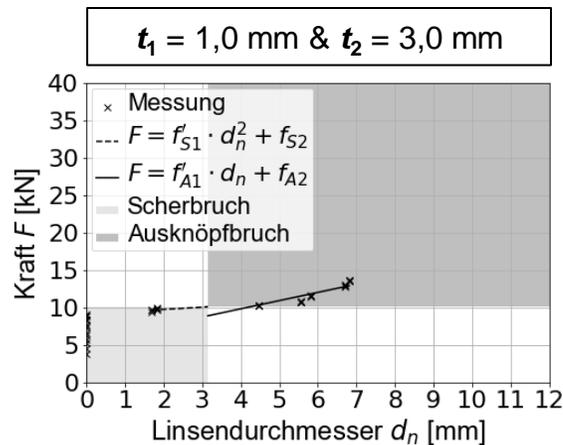
- Ergebnisse der Parameteridentifikation an Einpunktproben unter Scherzugbeanspruchung:

- Exemplarisch für 1.4301
- Abschätzung von d_{cr} nach *Pouranvari* mit $d_{cr} = 4 \times t_{min}$ unterschätzt d_{cr} um bis zu 25%

t_1	t_2	d_{cr}	F_{cr}	f'_{S1}	f_{S1}	f_{S2}	f'_{A1}	f_{A1}	f_{A2}
[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	Scherbruch			Ausknöpfbuch		
1,0	3,0	3,15	10,09	-	-	-	1,10	0,55	5,44
1,5	3,0	7,43	19,79	0,21	0,73	7,96	4,63	1,54	-14,85
2,0	3,0	9,19	32,20	0,25	0,86	9,01	13,72	3,42	-93,90

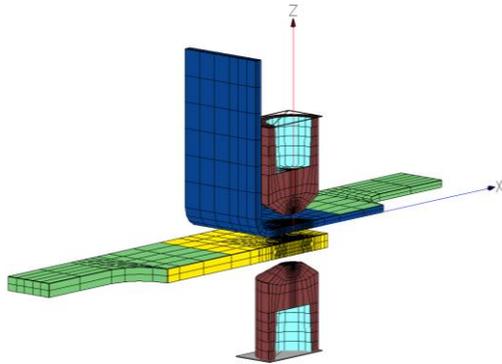


- Kurvenverläufe $F(d_n)$ am Beispiel 1.4301:



4. Numerische Modellierung - Dickenkombination $t_1 = 1,5 \text{ mm}$ & $t_2 = 3,0 \text{ mm}$

- 1 Punkt - Halbmodell H-Probe A (Scherzug)

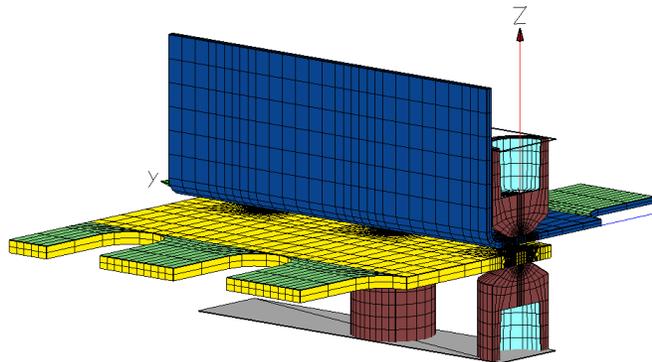


t_{sim}	5:54 h
CPU	4
Knoten	6545
Elemente	4718

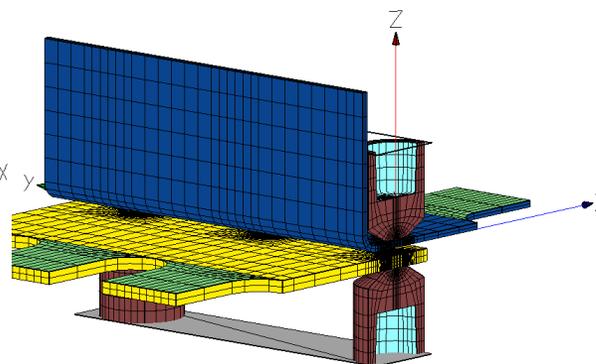
- Hinweise:

- Modellierung in SORPAS 3D Welding V5.81
- Zweistufige Berechnung mit der FEM:
 - Schweißprozesssimulation** (Thermomechanische- & Elektrische Koppelung)
 - Zugversuch** (mehrachsige Beanspruchung an der Linde mit Schädigungsmodell)

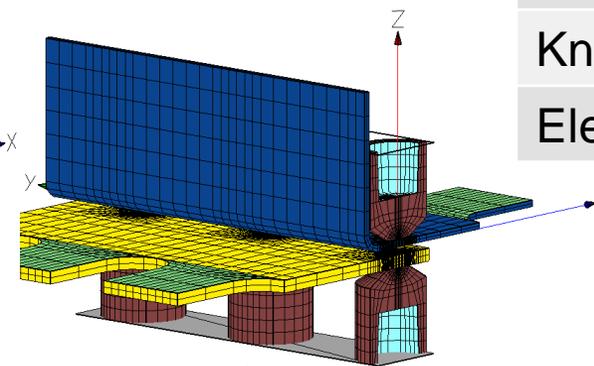
- n Punkt - Viertelmodell H-Probe A (Scherzug)



t_{sim} 64 h



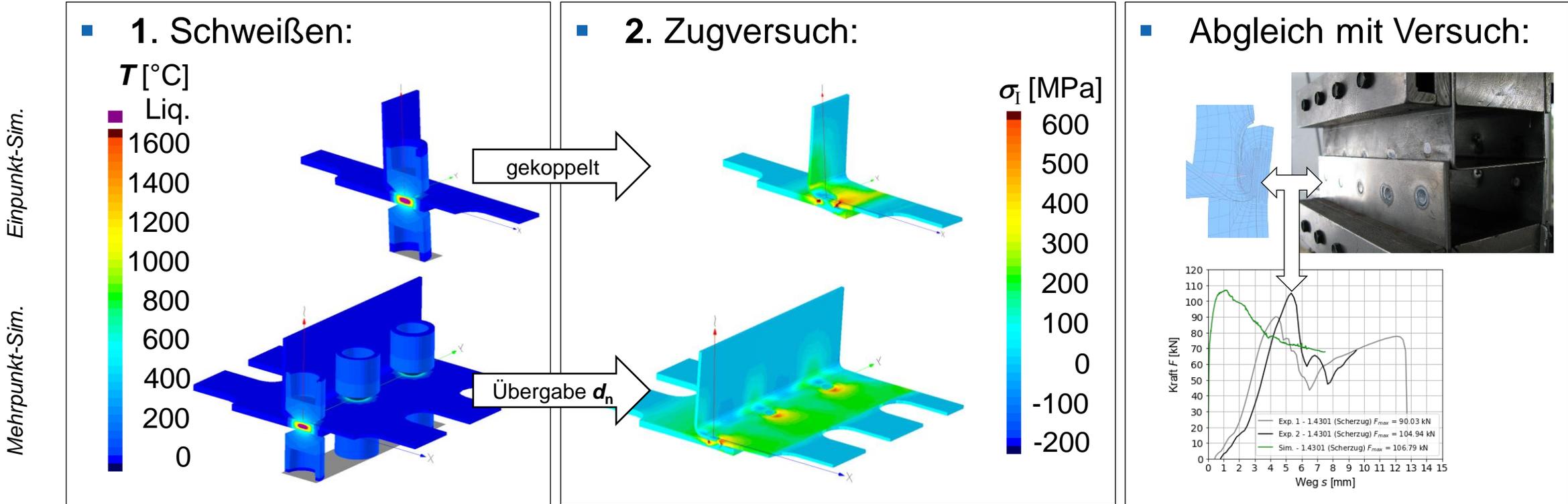
t_{sim} 43 h



t_{sim}	140 h
CPU	4
Knoten	34777
Elemente	27510

4. Numerische Modellierung - Ergebnisse

Berechnungsschritte in SORPAS 3D am Beispiel der H-Probe A (1.4301):



Einpunkt-Sim.

Mehrpunkt-Sim.

Ergebnisse (u.a.)

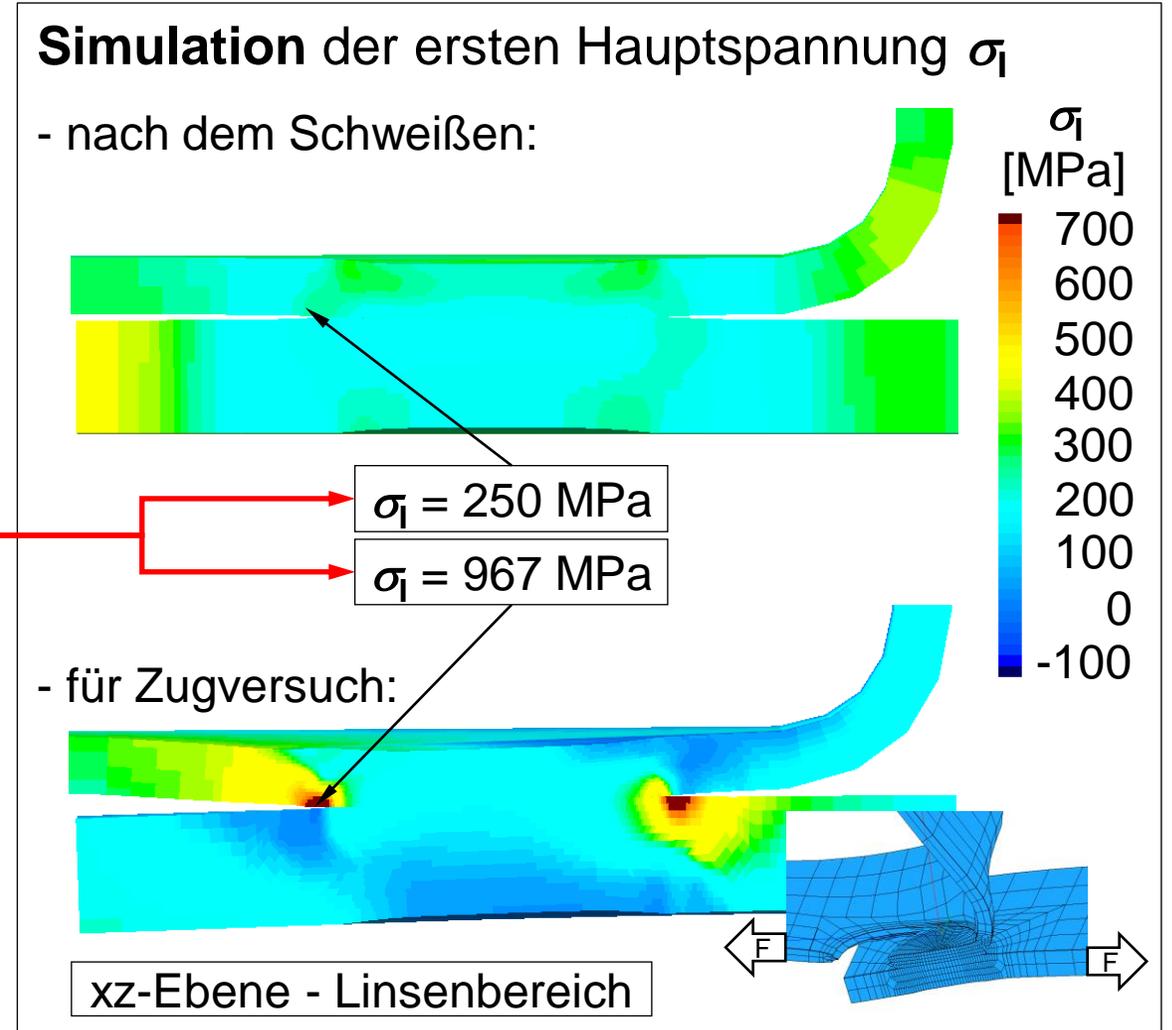
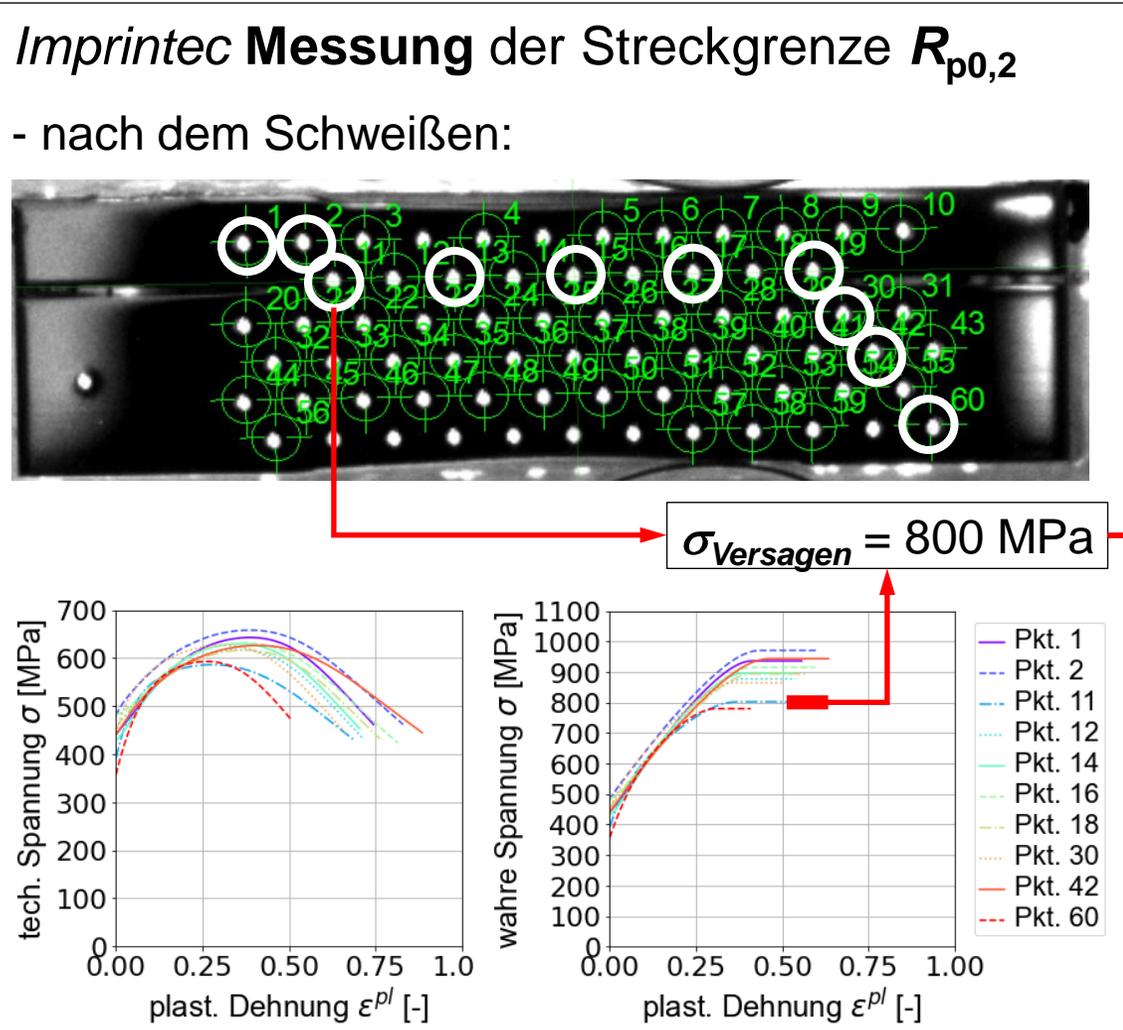
- Temp.- & Härteverteilung
- Linsendurchmesser d_n
- Schweißbereich

- Deformationen
- Spannungen
- Schädigung & Scherzugkraft F

- Kraft-Weg-Kurven
- Bruchverhalten

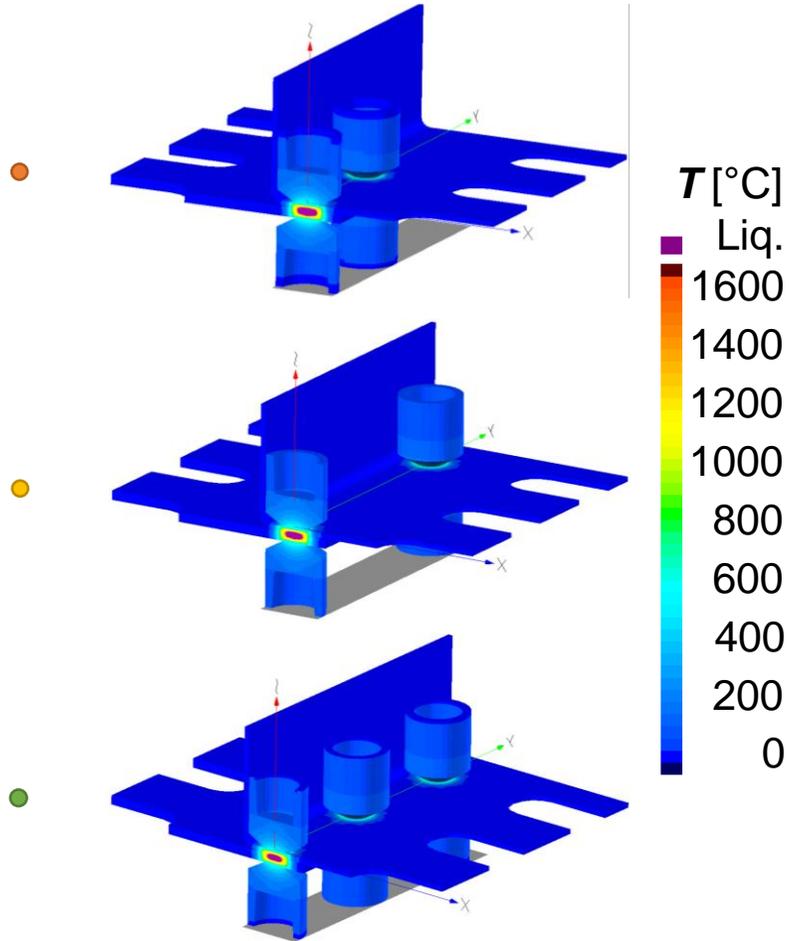
4. Numerische Modellierung - Ergebnisse

- Abgleich Messung/Simulation mit dem 1 Punkt - Halbmodell

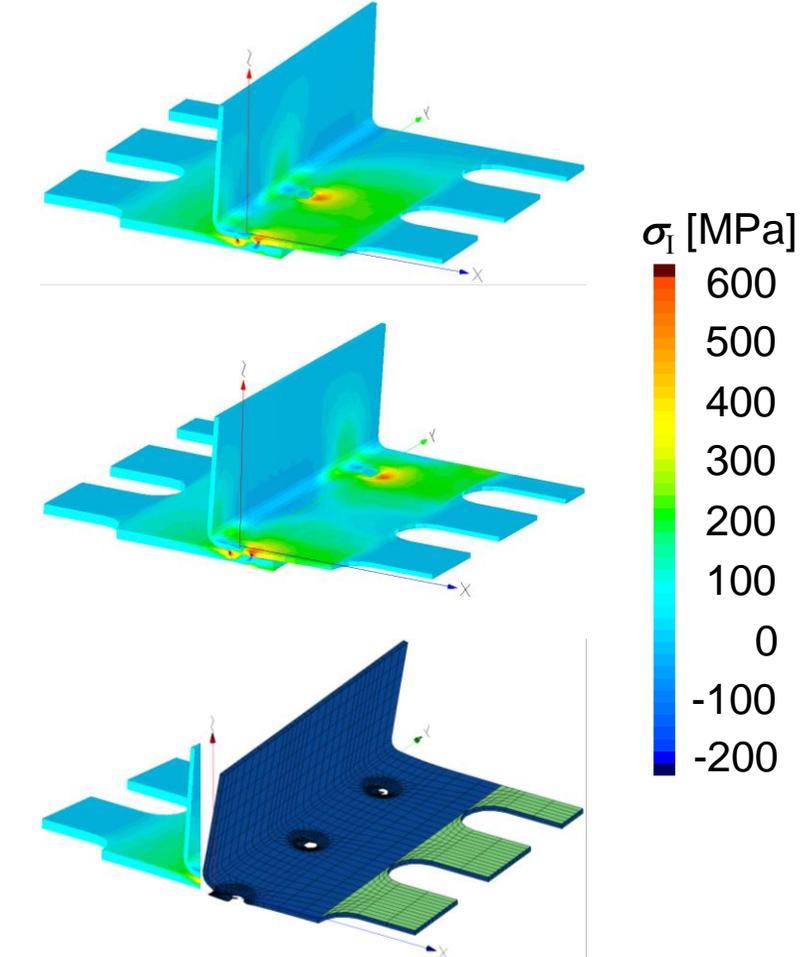


4. Numerische Modellierung - Ergebnisse

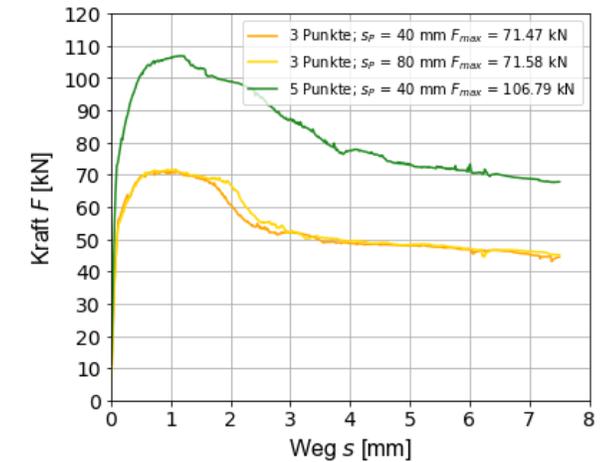
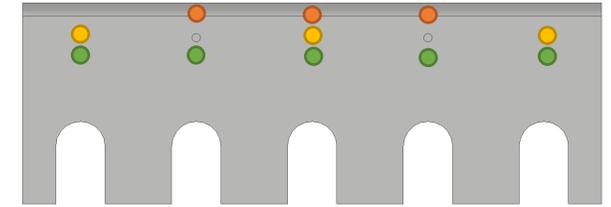
Schweißen:



Scherzugversuch:



(Spannungsverteilung für den Anriss-Zeitpunkt)



	s_p [mm]	d_n [mm]	F_{max} [kN]	σ_I [MPa]	
●	3	40	6,7	71,47	654
●	3	80	6,6	71,58	673
●	5	40	6,2	106,79	691

5. Fazit

- Ergebnisse
 - Analytisches Bemessungskonzept mit identifizierten Parametern für 1.0330 & 1.4301
 - Numerisches Berechnungsmodell in SORPAS für Ein- und Mehrpunktverbindungen
 - Ergebnisübersicht zu den gemessenen und simulierten Versagenskräften F_V für 1.4301:

n	s_P [mm]	$d_{n \text{ Sim.}}$ [mm]	$F_{V \text{ Sim. 1 Pkt}}$ [kN]	$F_{V \text{ Sim. n Pkt}}$ [kN]	$F_{V \text{ Messung}}$ [kN]
3	40	6,7	106,6	71,5	84,3
3	80	6,6	106,6	71,6	102,6
5	40	6,2	177,7	106,8	97,5

(Sim. 1 Pkt - 1 Punkt - Halbmodell, Sim. n Pkt. - n Punkt - Viertelmodell)

- Abgleich der Simulation mit Versuchsdaten hinsichtlich der Linsendurchmesser und lokaler Beanspruchbarkeit zeigt hinreichende Genauigkeit der Simulation
- Erfolgreiche Anwendung des Bemessungskonzeptes auf ein Demonstrator-Bauteil
- Empfehlung / Ausblick
 - Anwendung und Erweiterung der Modellierung auf weitere Blechwerkstoffe
 - Übertragung der Erkenntnisse auf zyklisch beanspruchte Verbindungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

- Danksagung
 - Das Projekt „Statische Bemessung Widerstandspunktschweißen“ (Laufzeit 03/2018 – 08/2020) wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie - Förderkennzeichen: 49VF170030.
 - Die Ermittlung der lokalen Fließkurven mit dem Eindruckverfahren nach DIN SPEC 4864 wurde in Kooperation mit der Imprintec GmbH durchgeführt.

