

# Virtuelle Produktentwicklung und Craschauslegung von Stahl-Werkstoffverbundsystemen

10.10.2016 | [David Pieronek](#), Dr. Lutz Keßler, Dr. Helmut Richter, Dr. Stefan Myslowicki  
thyssenkrupp + Steel Europe

engineering.tomorrow.together.



thyssenkrupp

# Virtuelle Produktentwicklung und Craschauslegung von Stahl-Werkstoffverbundsystemen

## Agenda

### Einleitung und Zielstellung

Simulationsmethode für Stahl-Sandwichwerkstoffe

Virtuelle Produktentwicklung

Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

Validierung durch Crashversuche

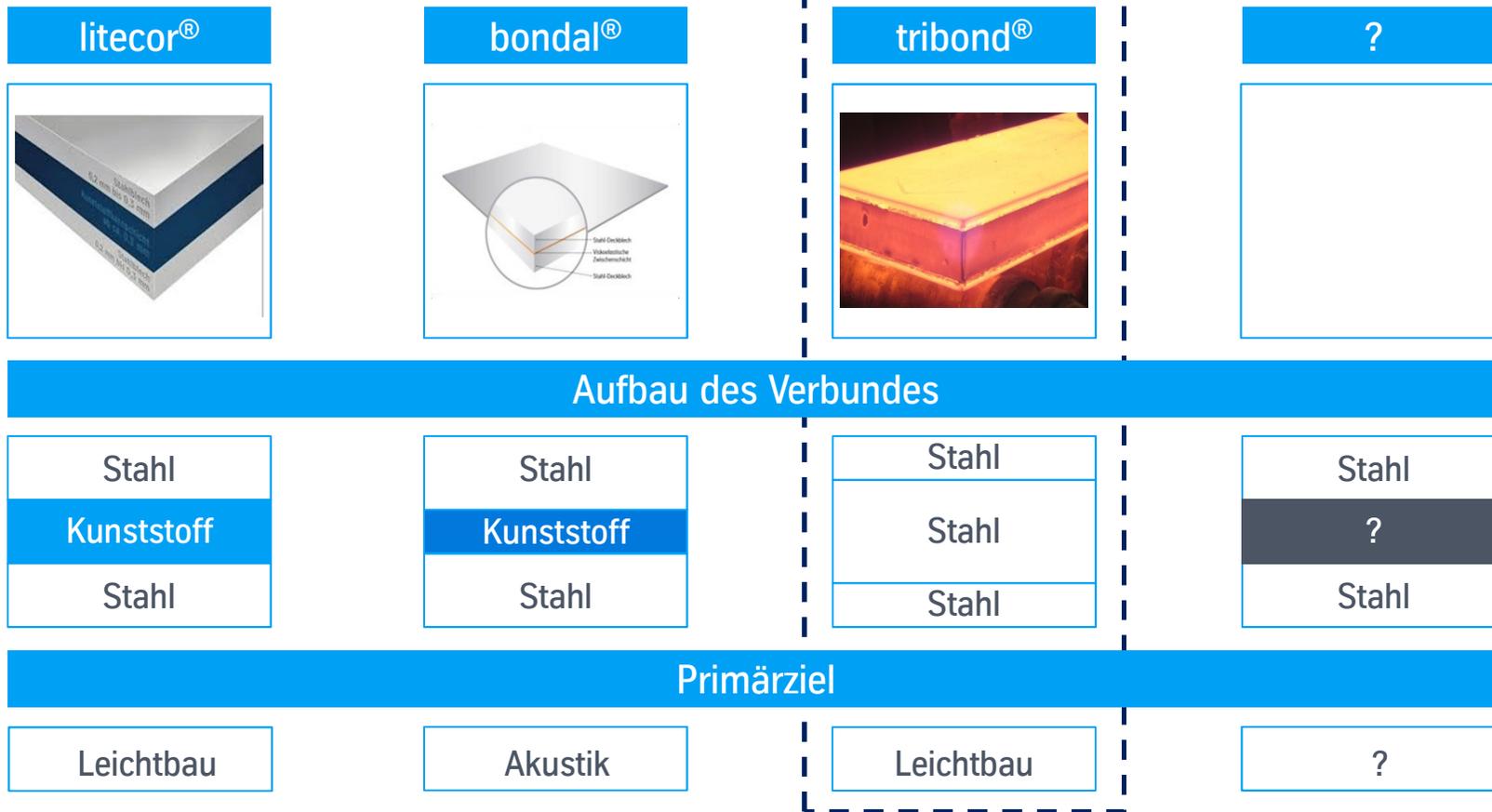
Virtuelle Potenzialanalyse

Zusammenfassung



# Werkstoffverbundsysteme bei thyssenkrupp Steel Europe

## Produktübersicht und laufende Forschungsaktivitäten



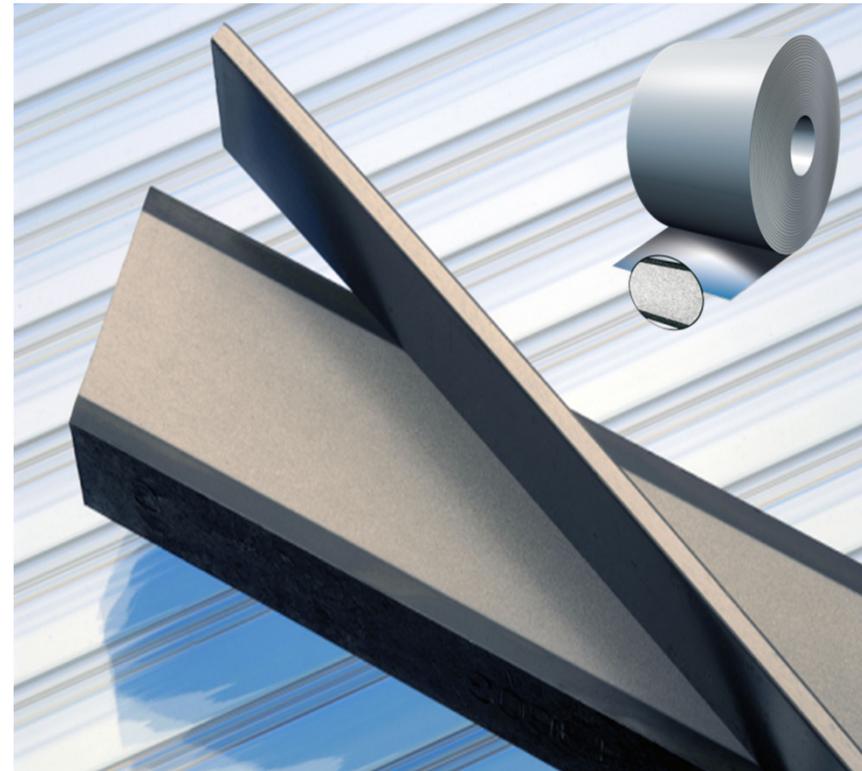
Maßgeschneiderte, innovative Eigenschaftsprofile für unterschiedlichste Einsatzbereiche



# Werkstoffverbundsysteme bei thyssenkrupp Steel Europe

Produktidee tribond®

- Funktionsoptimierte Kombination unterschiedlicher (teils konträrer) Werkstoffeigenschaften in einem Produkt
- Eigenschaften, wie sie in einem singulären Werkstoff nicht darstellbar sind
- „Baukastenprinzip“ für maßgeschneiderte Werkstoffeigenschaften
- Herstellung durch Warmwalzplattieren und Weiterverarbeitung zum Coilprodukt

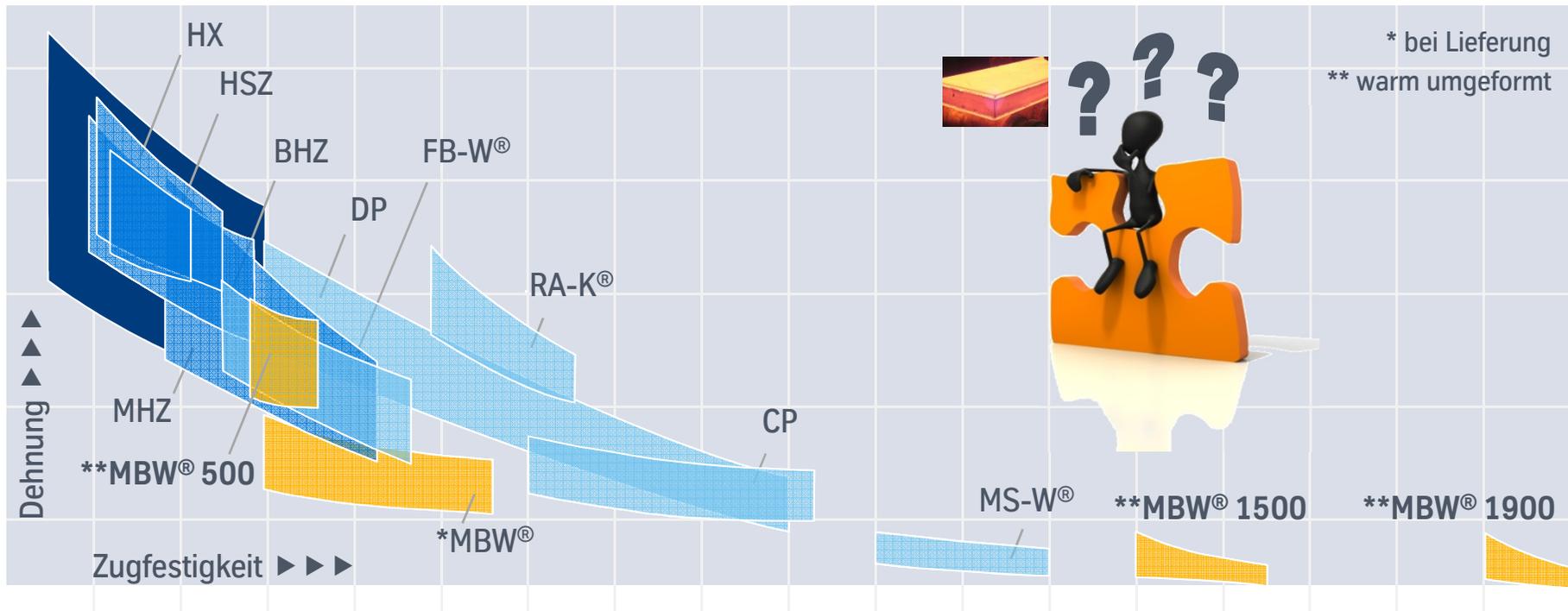
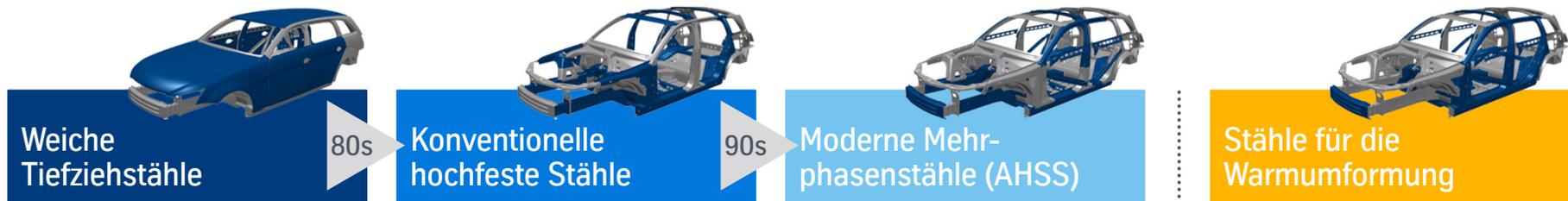


Zielstellung: Neue Anwendungsfelder im automobilen Leichtbau erschließen



# Flachstahl von thyssenkrupp Steel Europe

Das komplette Gütenpektrum für die Automobilindustrie aus einer Hand



\* bei Lieferung  
\*\* warm umgeformt

Welche Kombinationen aus dem umfangreichen Werkstoffportfolio sind für tribond<sup>®</sup> zielführend ?



# Virtuelle Produktentwicklung und Craschauslegung von Stahl-Werkstoffverbundsystemen

## Agenda

Einleitung und Zielstellung

Simulationsmethode für Stahl-Sandwichwerkstoffe

Virtuelle Produktentwicklung

Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

Validierung durch Crashversuche

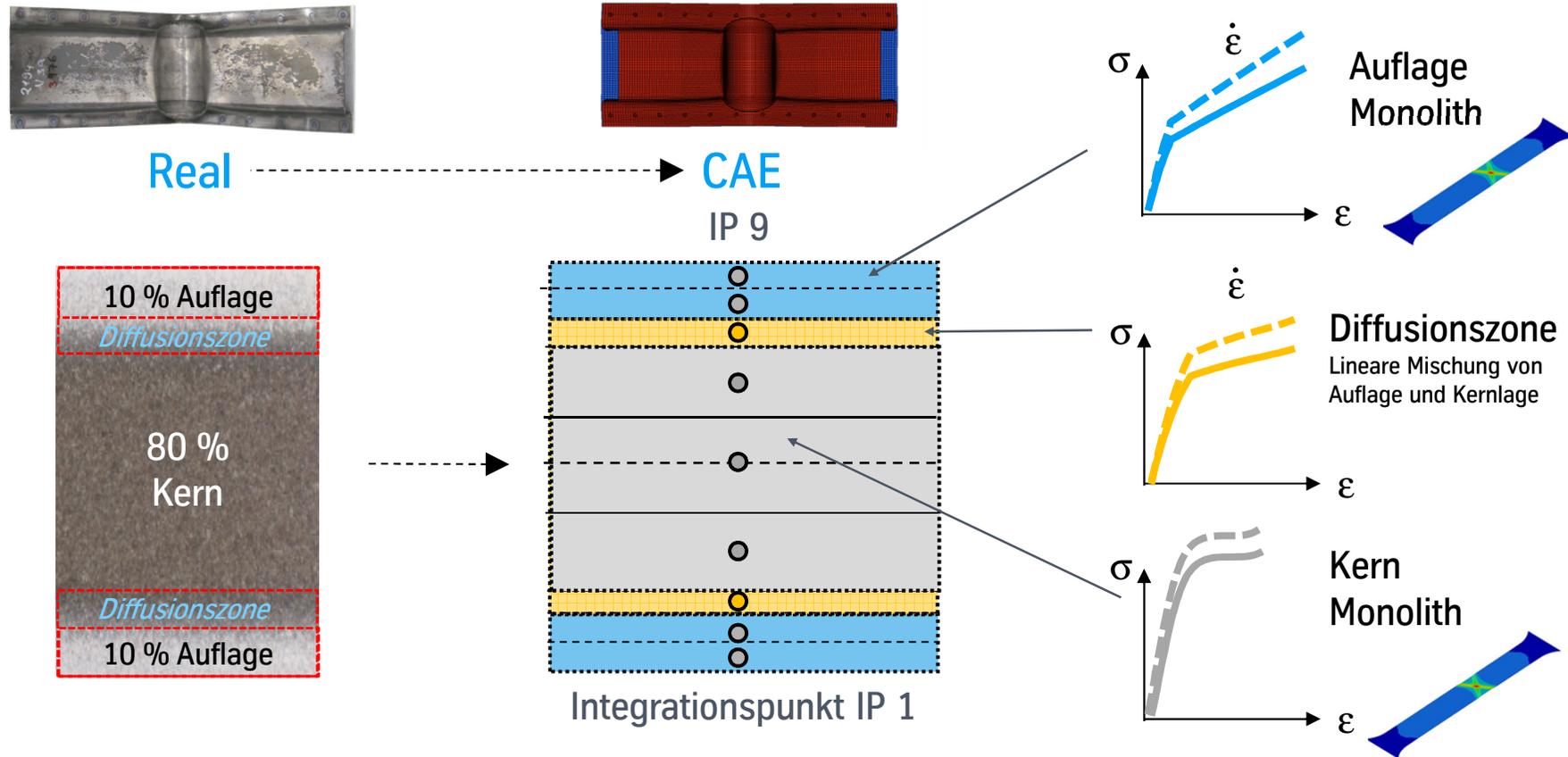
Virtuelle Potenzialanalyse

Zusammenfassung



# Simulationsmethode für Stahl-Werkstoffverbundsysteme

## Multi-Layered-Shell Ansatz

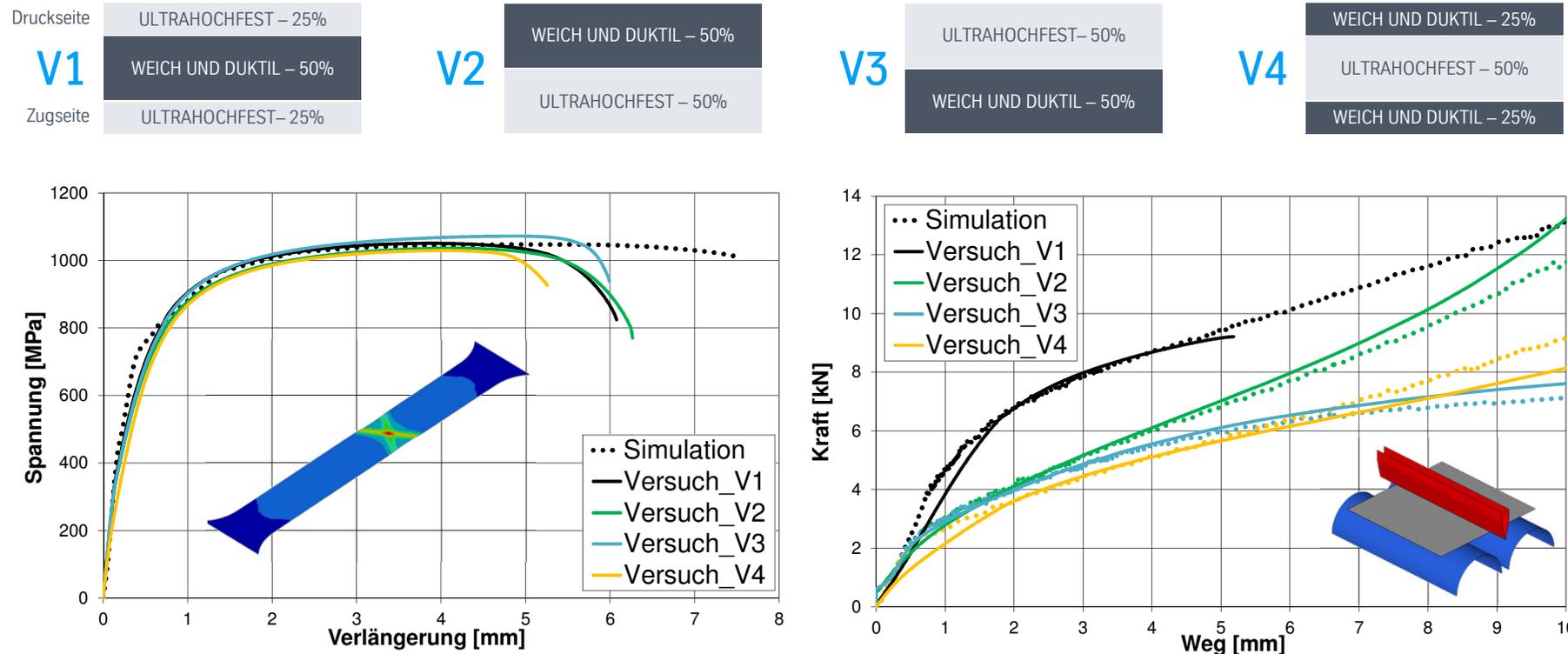


Entwicklung einer modularen Simulationsmethode für Stahl-Werkstoffverbundsysteme



# Simulationemethode für Stahl-Werkstoffverbundsysteme

## Validierung durch quasi-statische Zug- und VDA-Biegeversuche



- Differenzierung der Verbundvarianten mit gleicher Festigkeit zeigt sich deutlich im Biegeversuch
- **Nur** der Zugversuch ist zur Charakterisierung / Simulation von Werkstoffverbunden nicht ausreichend
- Nutzung der modularen Simulationemethode für die virtuelle Produktentwicklung



# Virtuelle Produktentwicklung und Craschauslegung von Stahl-Werkstoffverbundsystemen

## Agenda

Einleitung und Zielstellung

Simulationsmethode für Stahl-Sandwichwerkstoffe

**Virtuelle Produktentwicklung**

Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

Validierung durch Crashversuche

Virtuelle Potenzialanalyse

Zusammenfassung und Ausblick

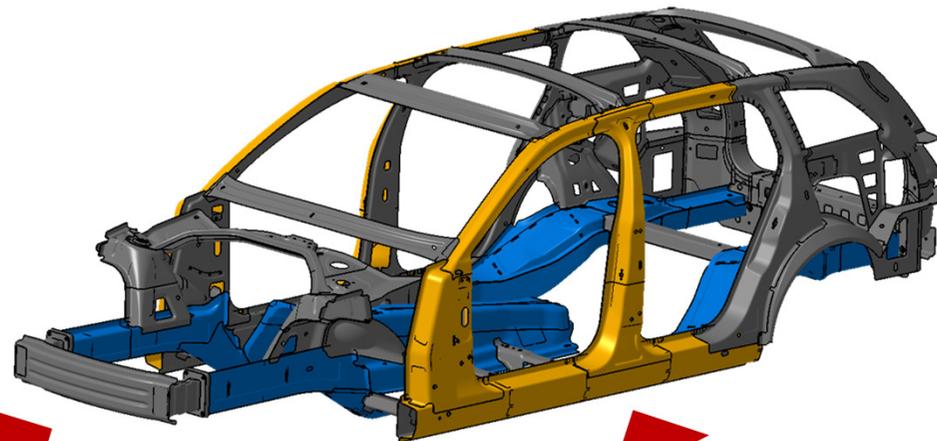
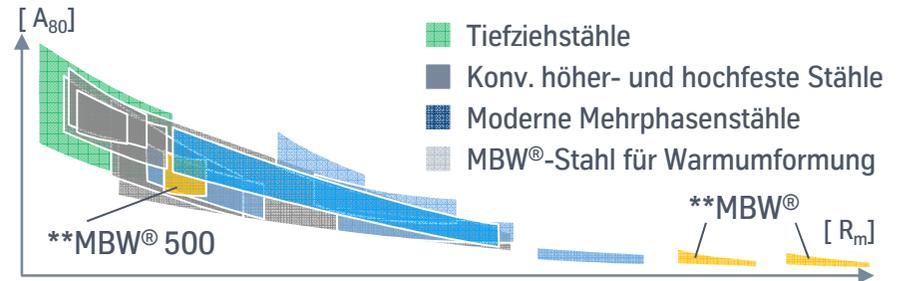


# Virtuelle Produktentwicklung

## Typische Anwendungen in der modernen Rohkarosserie

### Kaltumformung

MPS Mehrphasenstähle	
✓	Energieabsorption
✗	Verformungswiderstand
✗	Bauteilkomplexität



Frontalcrash:  
Fokus auf  
Energieabsorption

Seitencrash:  
Fokus auf  
Verformungswiderstand

### Warmumformung

Mangan-Bor	
✗	Energieabsorption
✓	Verformungswiderstand
✓	Bauteilkomplexität

**Fokus Kaltumformung auf Energieabsorption, Warmumformung auf hohem Verformungswiderstand**

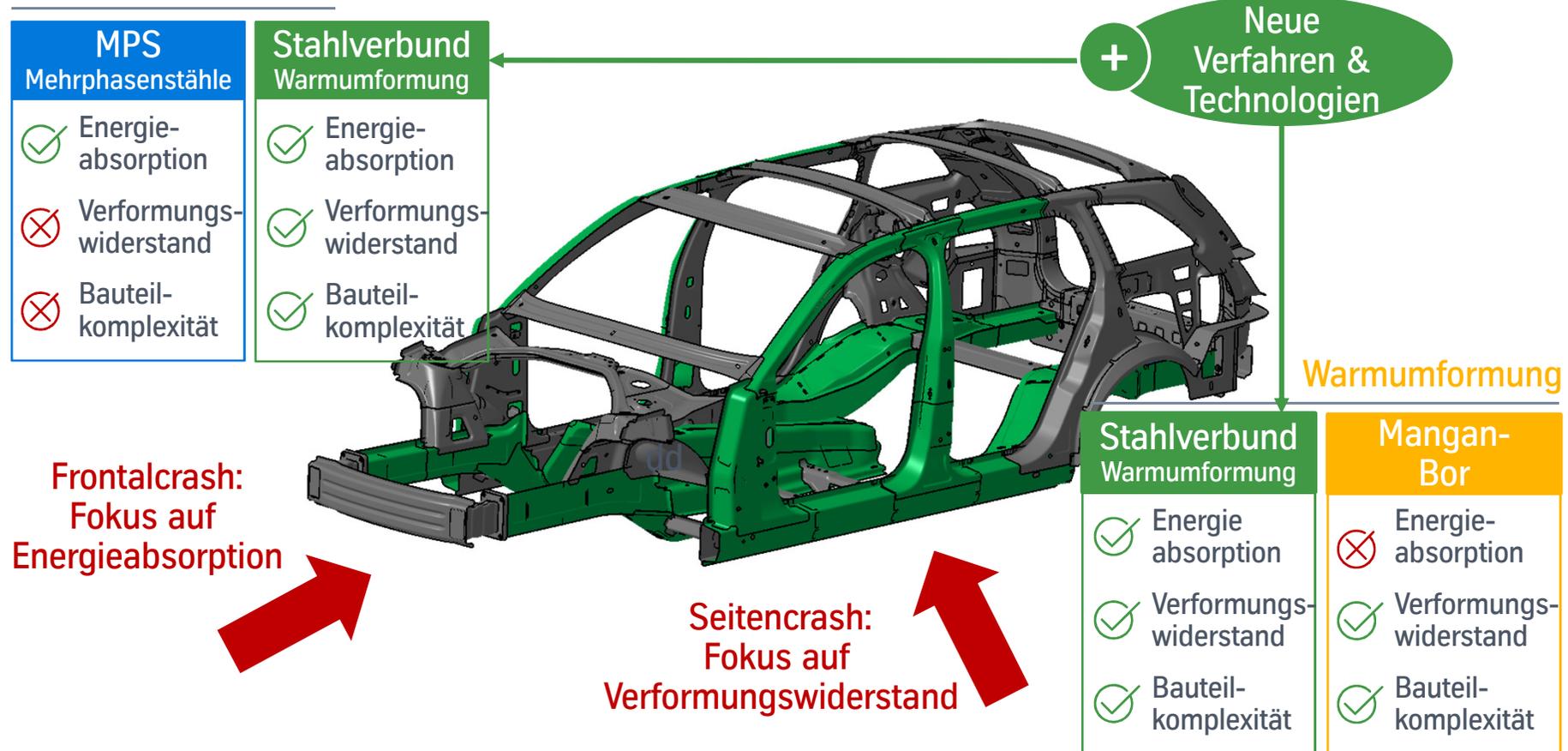
Quellen: Hot Forming in the Automotive Industry, 2013 | Materials in car body engineering, 2015 | InCar plus



# Virtuelle Produktentwicklung

## Neue Anwendungsmöglichkeiten durch Stahl-Werkstoffverbundsysteme

### Kaltumformung



Produktentwicklungsansatz tribond® : Warmumformlösungen mit hoher Energieabsorption

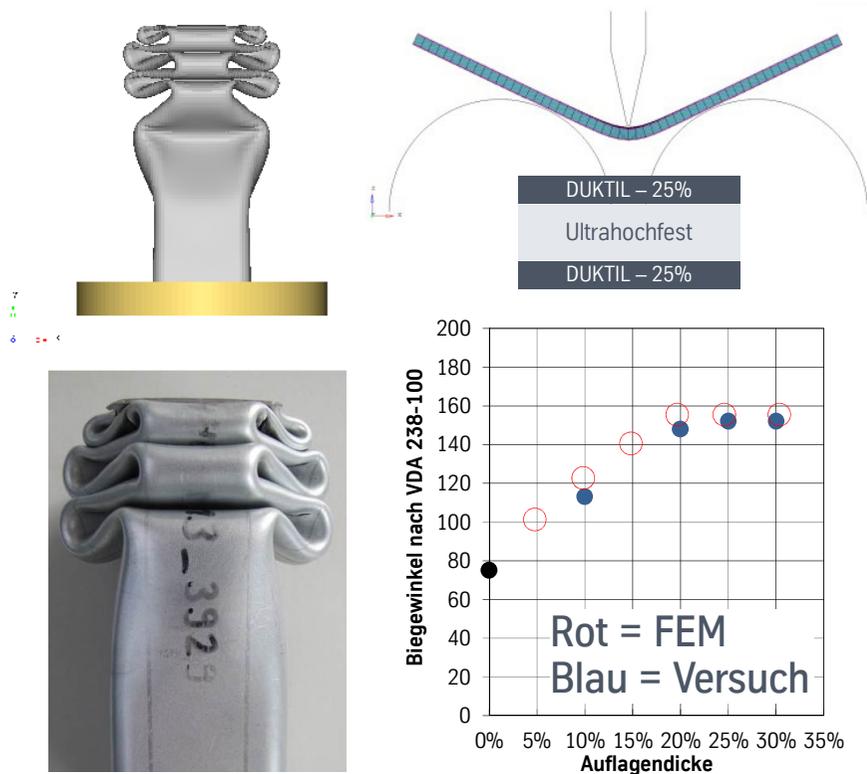
Quellen: Hot Forming in the Automotive Industry, 2013 | Materials in car body engineering, 2015 | InCar plus



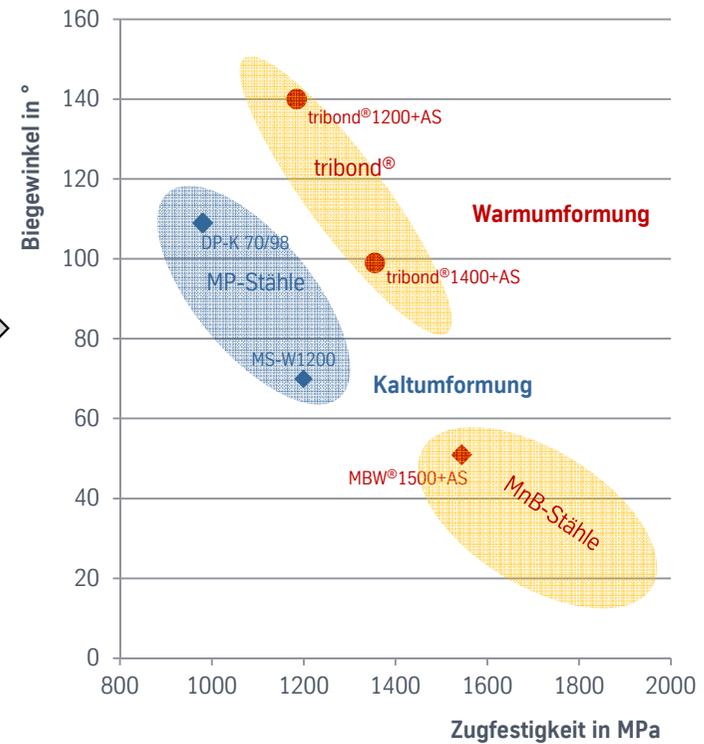
# Virtuelle Produktentwicklung

## Ableitung von zielführenden Schichtsystemen

### Virtuelle Prognose



### Experimentelle Überprüfung



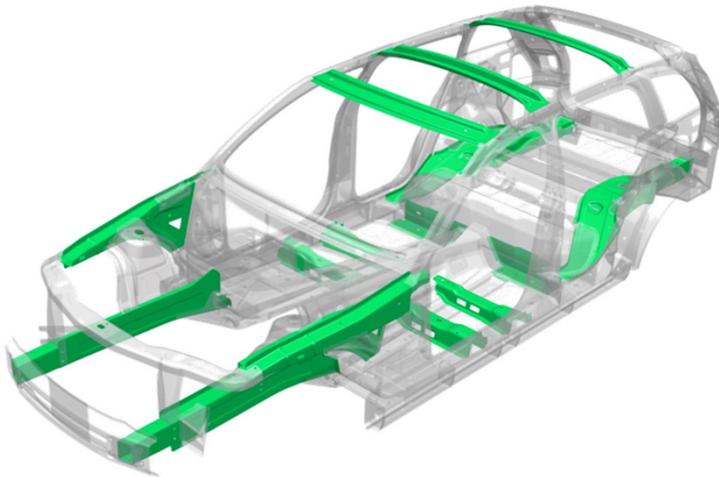
Virtuelle Optimierung der tribond®-Varianten auf hohe Biegewinkel bei gleichzeitig hoher Festigkeit



# Virtuelle Produktentwicklung

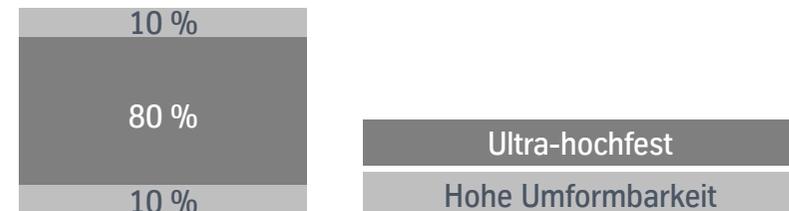
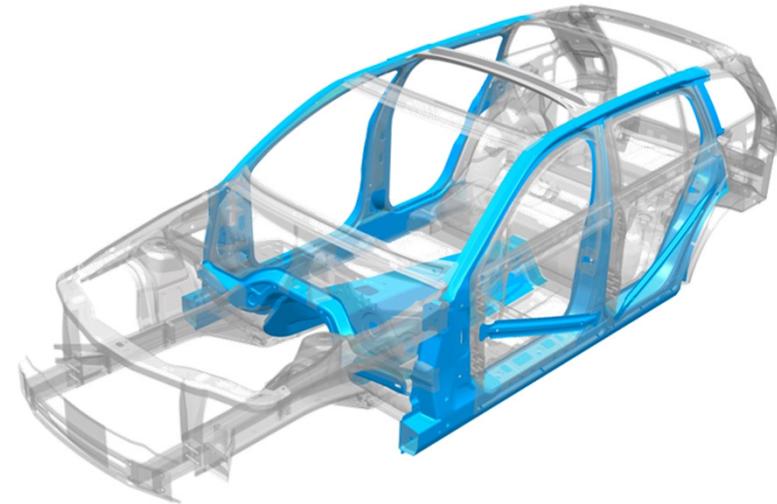
Maßgeschneiderte Lösungen für hohe Energieabsorption und Deformationswiderstand

tribond® 1200



Hohe Energieabsorption

tribond® 1400



Erhöhter Deformationswiderstand



# Virtuelle Produktentwicklung und Craschauslegung von Stahl-Werkstoffverbundsystemen

## Agenda

Einleitung und Zielstellung

Simulationsmethode für Stahl-Sandwichwerkstoffe

Virtuelle Produktentwicklung

Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

Validierung durch Crashversuche

Virtuelle Potenzialanalyse

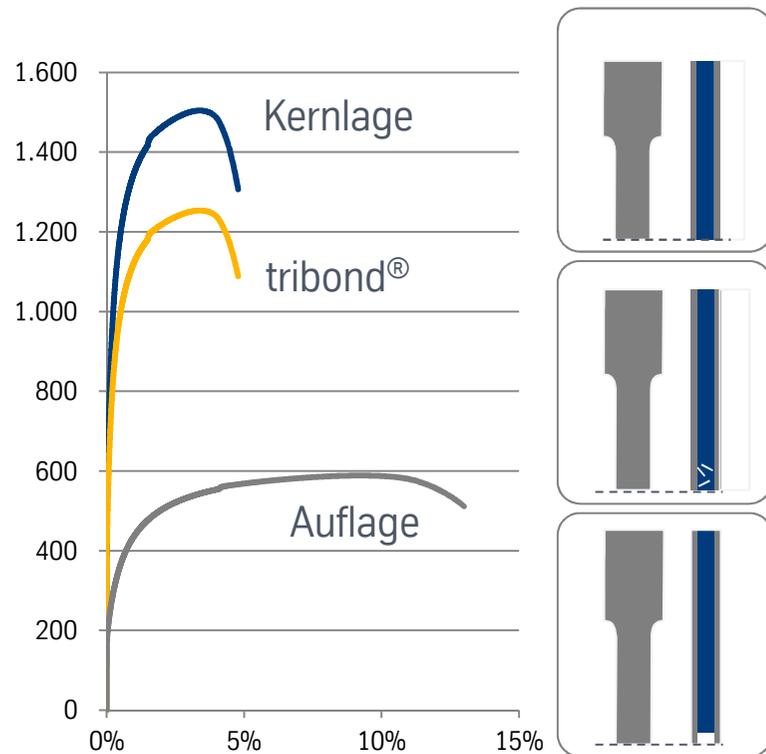
Zusammenfassung und Ausblick



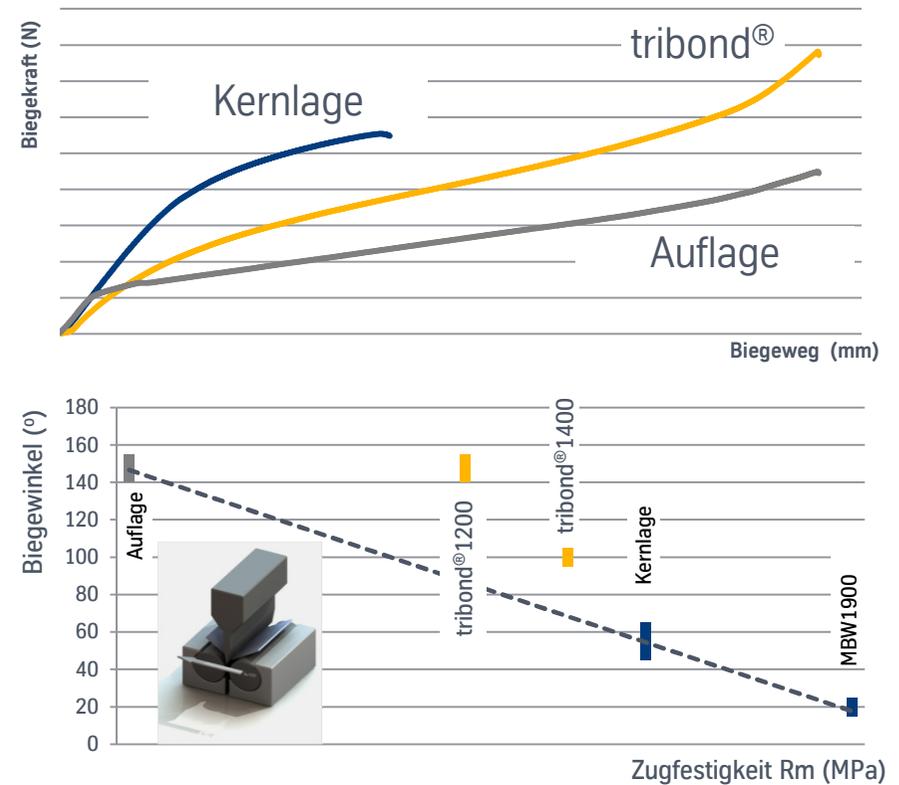
# Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

## Mechanisches Verhalten von tribond® versus Monolith

Zugversuch



Biegeversuch



Versagensverhalten von tribond® wird durch die Duktilität der Kernlage bestimmt

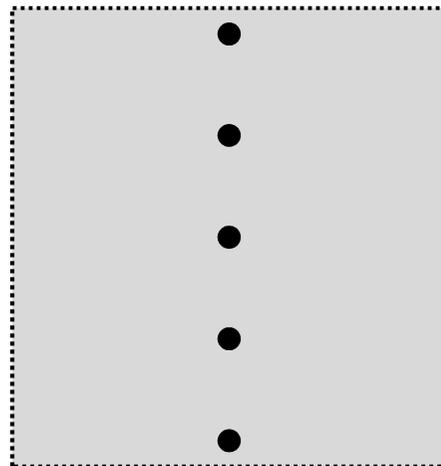


# Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

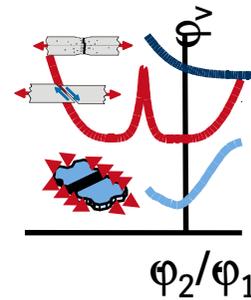
## Integration in die Simulation

Kernlage

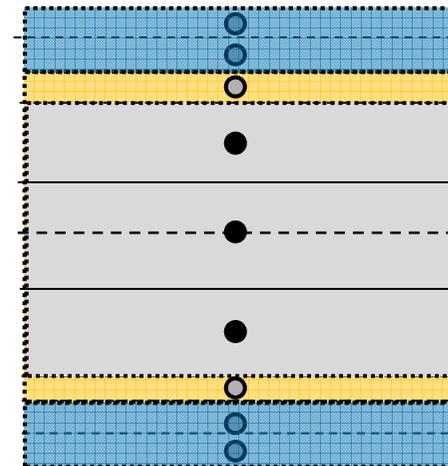
tribond®



Integrationspunkte  
IP 1 – IP 5



CrashFEM,  
GISSMO, ..



Auflage  
(ohne Schädigung)

Kernlage  
mit Schädigung  
IP 4 – IP 6

Diffusionszone  
(ohne Schädigung)

Integrationspunkte  
IP 1 – IP 9

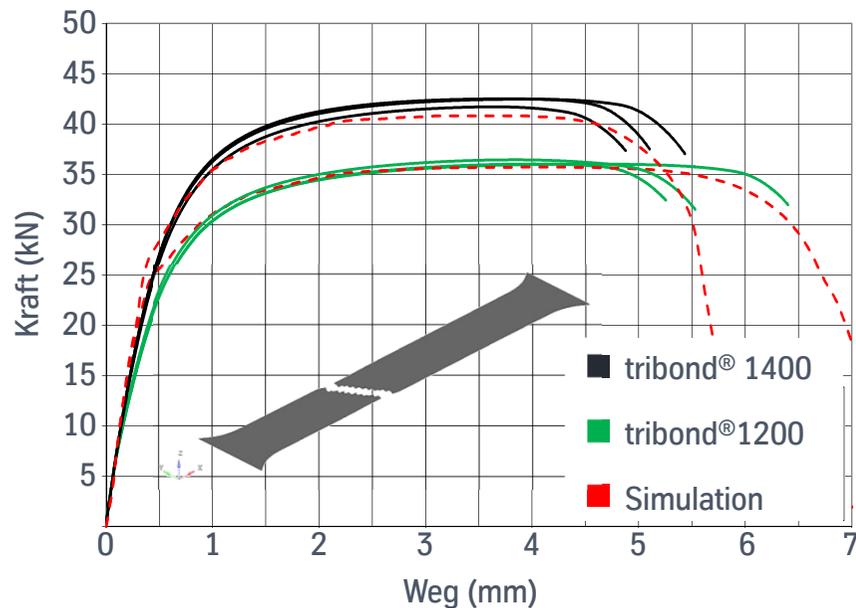
Numerischer Ansatz: tribond® versagt, wenn die Kernlage versagt



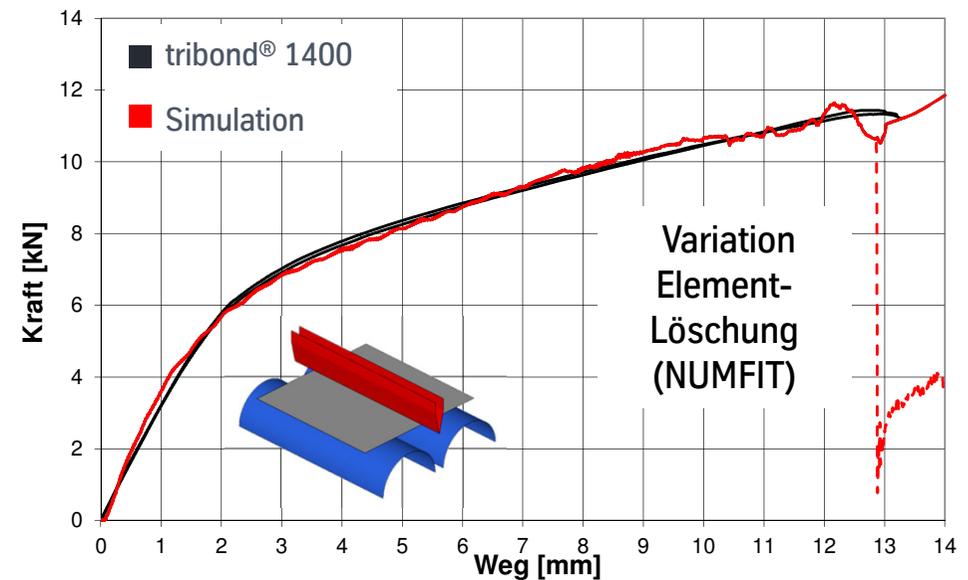
# Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

Validierung mit GISSMO durch quasi-statische Zug- und VDA-Biegeversuche

Zugversuch



VDA-Biegeversuch

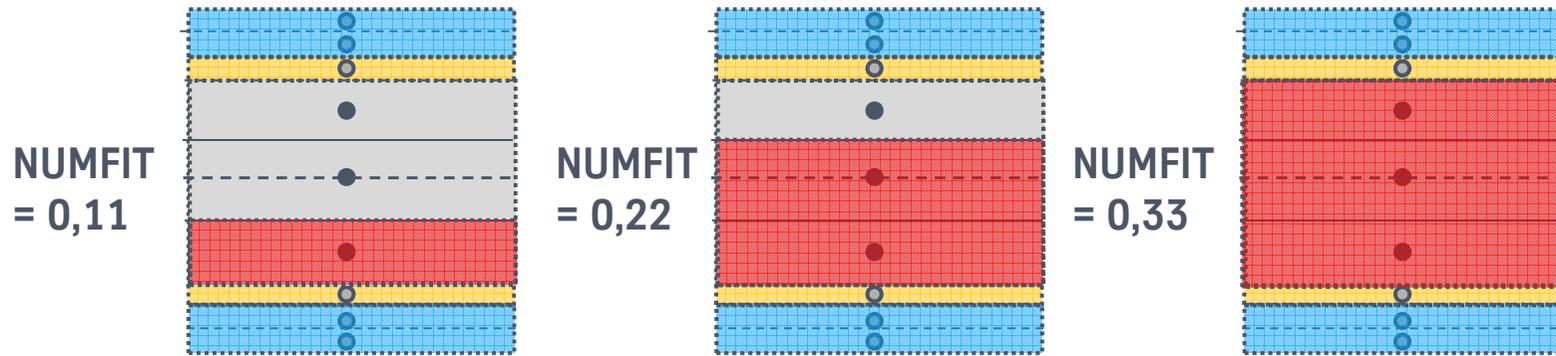


- Die integrierte Versagensmodellierung zeigt eine gute Übereinstimmung zum Realversuch
- Eine genau Abbildung des VDA-Biegeversuches erfordert eine Anpassung der Löschungskriterien
- Zukünftig sind erweiterte Versagensmodelle für Sandwichwerkstoffe unter Biegelast notwendig



# Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

## Einfluss der Löschungskriterien bei GISSMO im VDA-Biegeversuch

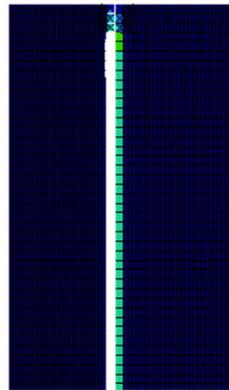


Contour Plot  
Extra Shell History(Var 6, Max)

- 1.000E+00
- 8.889E-01
- 7.778E-01
- 6.667E-01
- 5.556E-01
- 4.444E-01
- 3.333E-01
- 2.222E-01
- 1.111E-01
- 0.000E+00
- No result

Max = 4.584E-01  
ELEMENT\_SHELL 155508  
Min = 0.000E+00  
ELEMENT\_SHELL 140528

Damage D

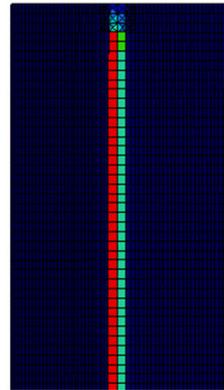


Contour Plot  
Extra Shell History(Var 6, Max)

- 1.000E+00
- 8.889E-01
- 7.778E-01
- 6.667E-01
- 5.556E-01
- 4.444E-01
- 3.333E-01
- 2.222E-01
- 1.111E-01
- 0.000E+00
- No result

Max = 1.001E+00  
ELEMENT\_SHELL 156826  
Min = 0.000E+00  
ELEMENT\_SHELL 140528

D = 1

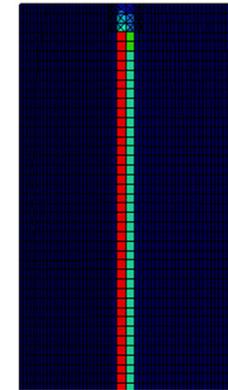


Contour Plot  
Extra Shell History(Var 6, Max)

- 1.000E+00
- 8.889E-01
- 7.778E-01
- 6.667E-01
- 5.556E-01
- 4.444E-01
- 3.333E-01
- 2.222E-01
- 1.111E-01
- 0.000E+00
- No result

Max = 1.001E+00  
ELEMENT\_SHELL 156826  
Min = 0.000E+00  
ELEMENT\_SHELL 140528

D = 1



NUMFIT spielt bei der Versagensmodellierung / Elementlöschung eine entscheidende Rolle



# Virtuelle Produktentwicklung und Craschauslegung von Stahl-Werkstoffverbundsystemen

## Agenda

Einleitung und Zielstellung

Simulationsmethode für Stahl-Sandwichwerkstoffe

Virtuelle Produktentwicklung

Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

Validierung durch Crashversuche

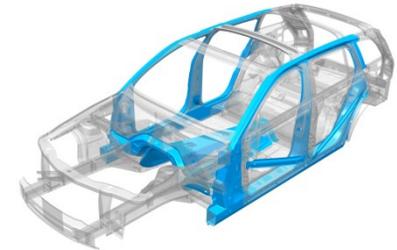
Virtuelle Potenzialanalyse

Zusammenfassung

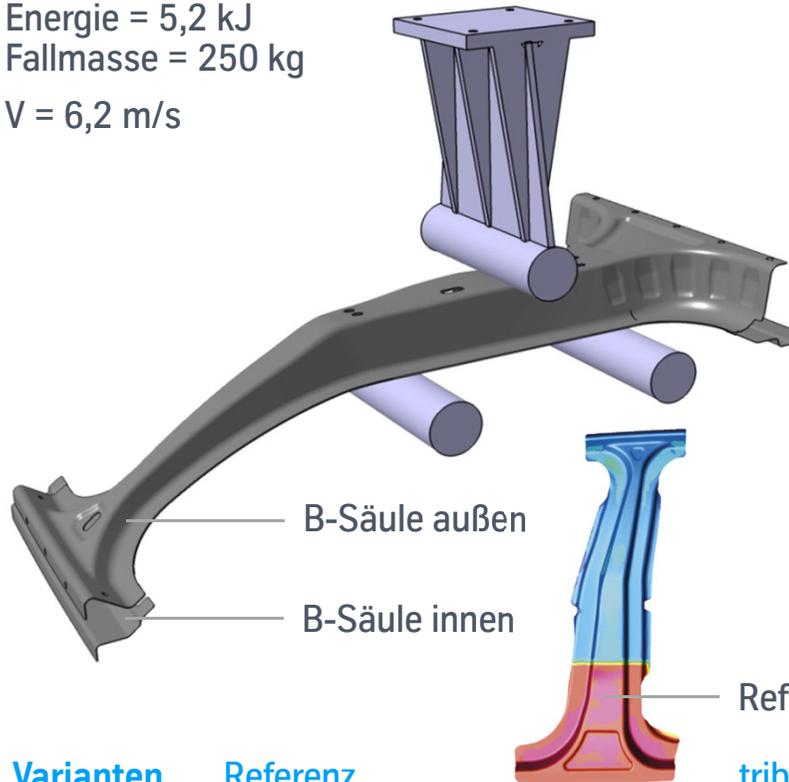


# Validierung durch Crashversuche

## Dynamische Drei-Punkt-Biegung von B-Säulen



Energie = 5,2 kJ  
 Fallmasse = 250 kg  
 V = 6,2 m/s

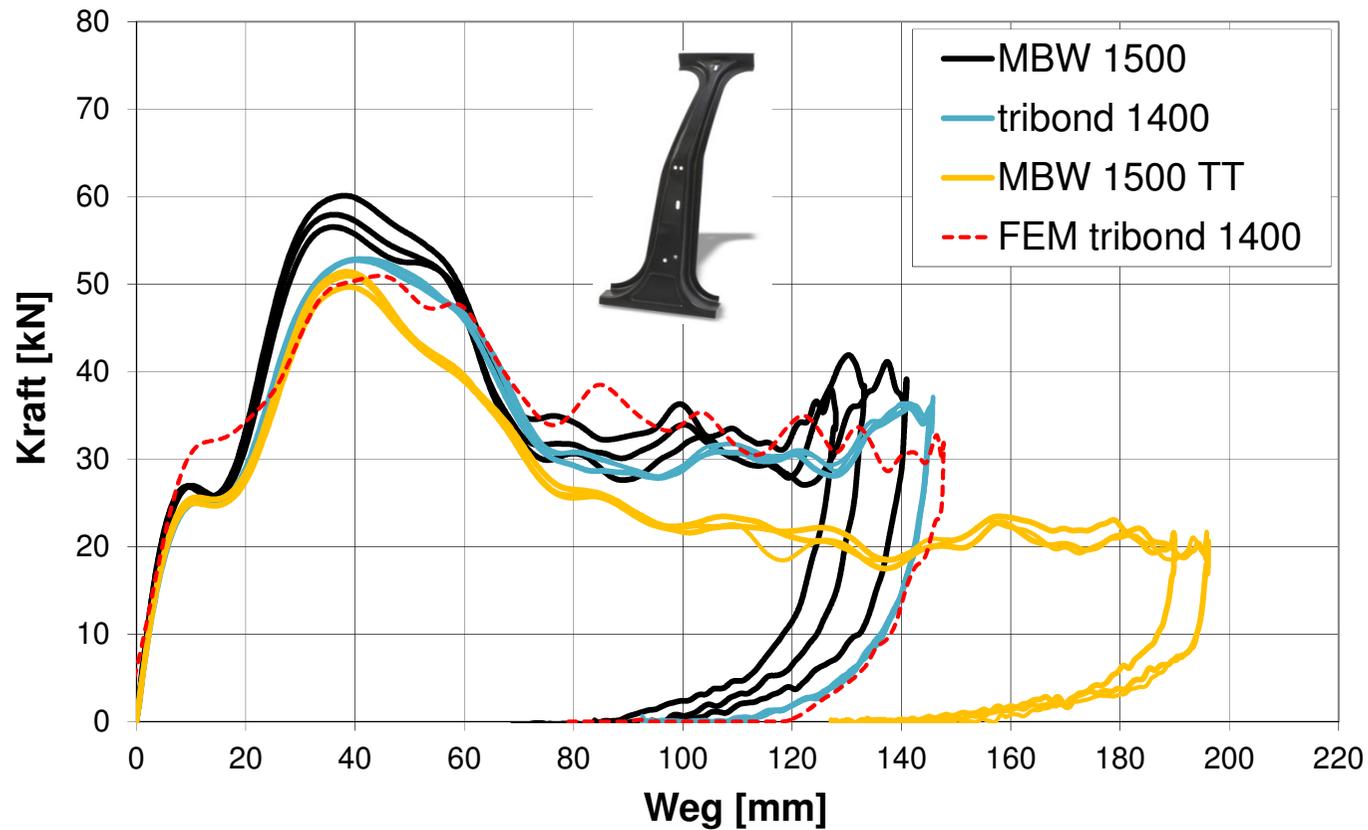
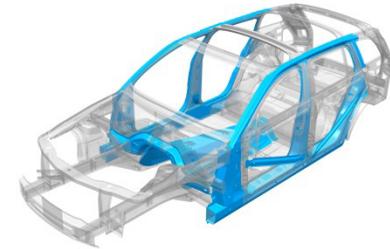


Varianten	Referenz	tribond®	MBW® 1500 - Variante
B-Säule außen	MBW® 1500 (1,70 mm) Tailored Tempering	tribond® 1400 (1,70 mm) Vollständige Presshärtung	MBW® 1500 (1,70 mm) Vollständige Presshärtung



# Validierung durch Crashversuche

## Dynamische Drei-Punkt-Biegung von B-Säulen

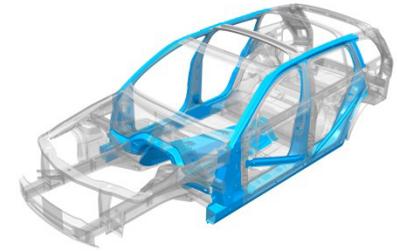


- Deformationswiderstand bei tribond® 1400 nur leicht geringer als beim MBW 1500
- Entwickelte Simulationsmethode zeigt für tribond® 1400 eine hohe Prognosegüte



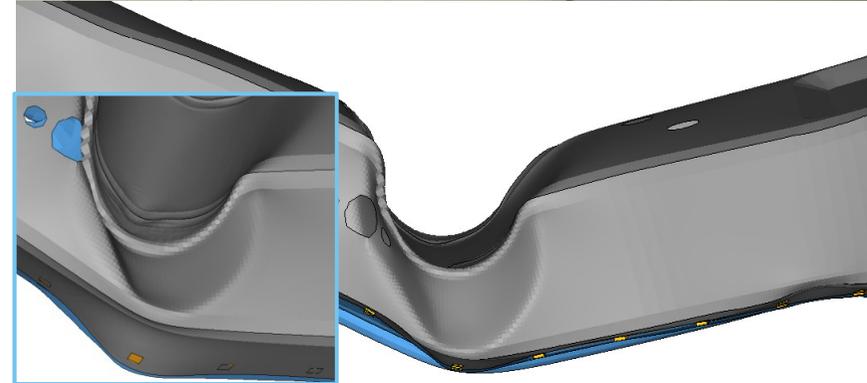
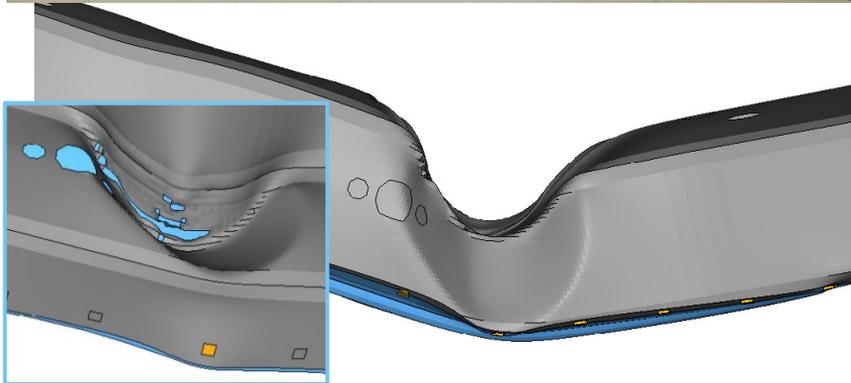
# Validierung durch Crashversuche

## Dynamische Drei-Punkt-Biegung von B-Säulen



MBW® 1500 (Voll Pressgehärtet → Misuse)

tribond® 1400



Sichere Crashauslegung erfordert die Berücksichtigung der Versagensmodellierung



# Validierung durch Crashversuche

Kein Versagen der TRIBOND<sup>®</sup>-Probekörper unter Last

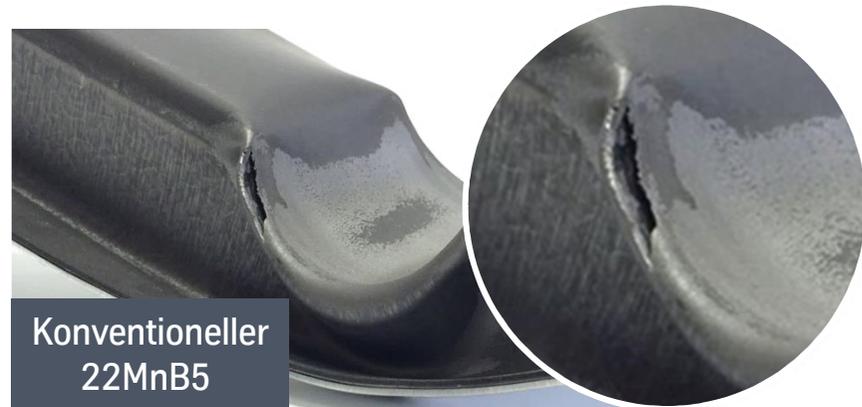
## Fallturmtest

tribond<sup>®</sup>  
1200

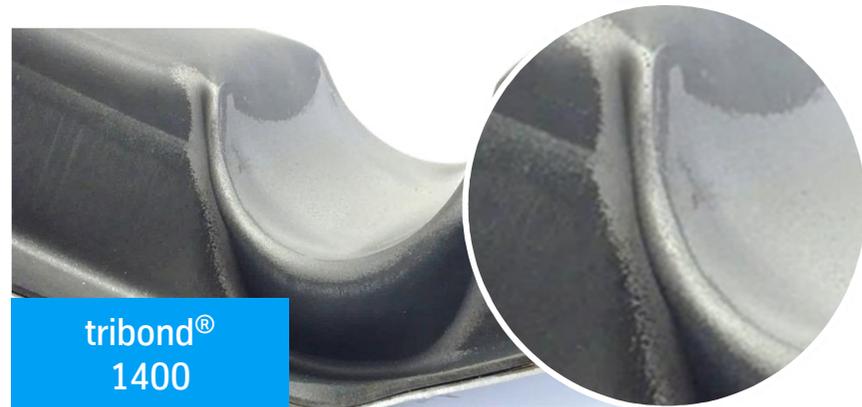
Konventioneller  
22MnB5



## 3-Punkt-Biegeversuch



Konventioneller  
22MnB5

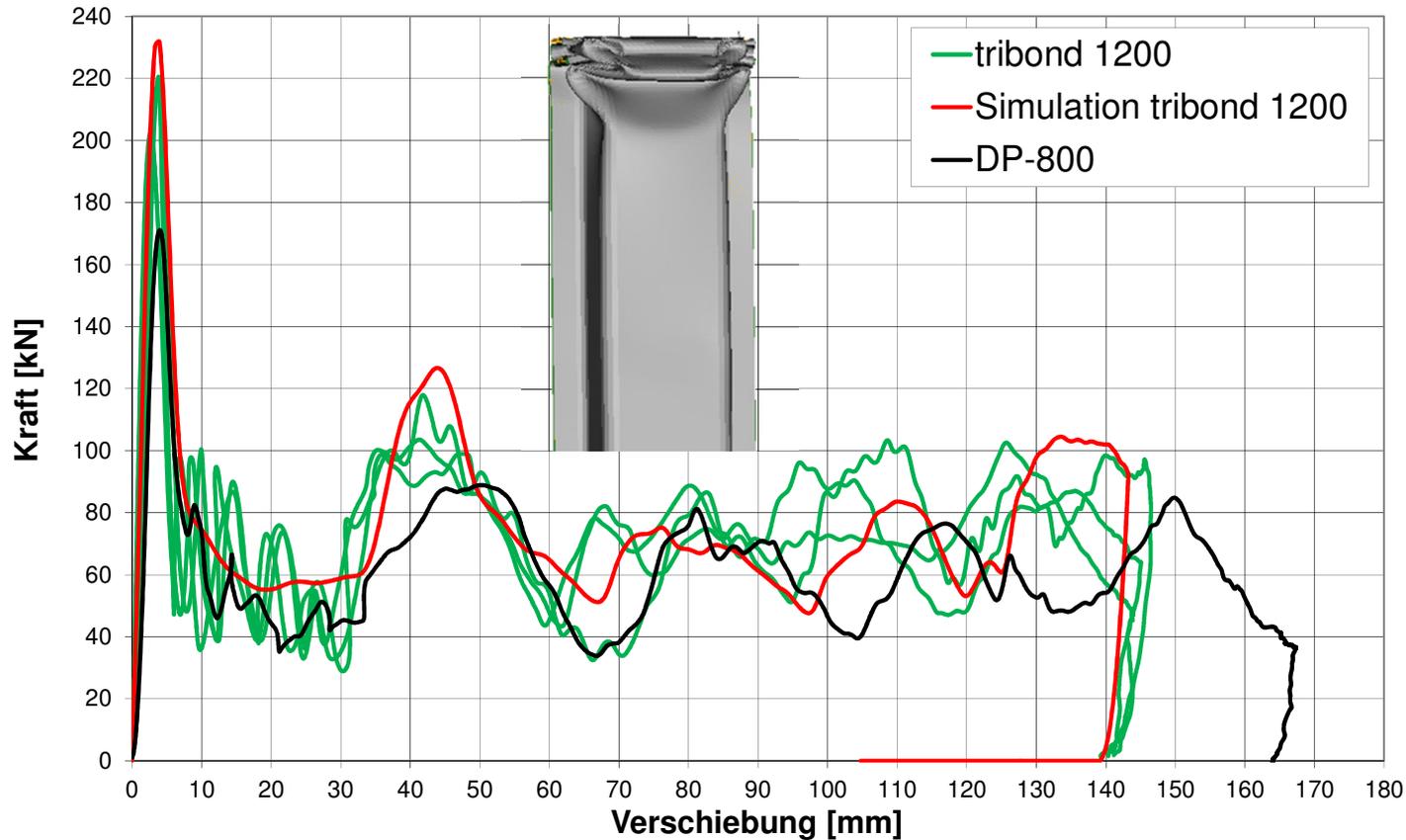
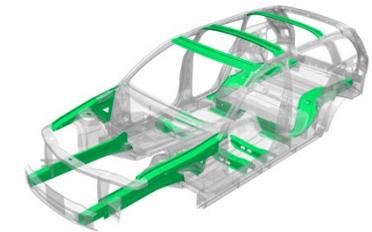


tribond<sup>®</sup>  
1400



# Validierung durch Crashversuche

Axialcrash bei gleichem Energieeintrag und Bauteilmasse



Hohe Energieabsorption und Leichtbaupotenzial von tribond® 1200 im Axialcrash gegeben



# Virtuelle Produktentwicklung und Craschauslegung von Stahl-Werkstoffverbundsystemen

## Agenda

Einleitung und Zielstellung

Simulationsmethode für Stahl-Sandwichwerkstoffe

Virtuelle Produktentwicklung

Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

Validierung durch Crashversuche

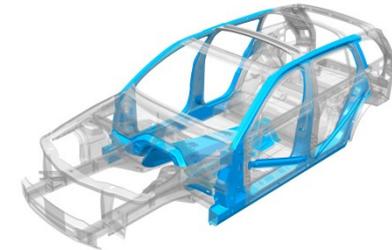
Virtuelle Potenzialanalyse

Zusammenfassung

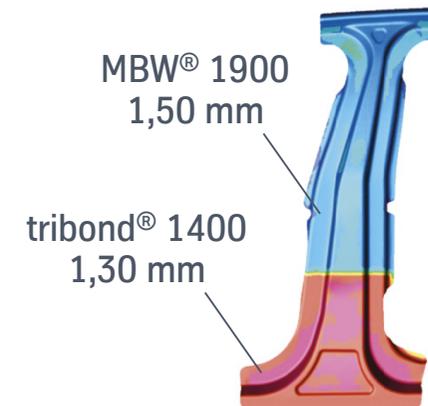
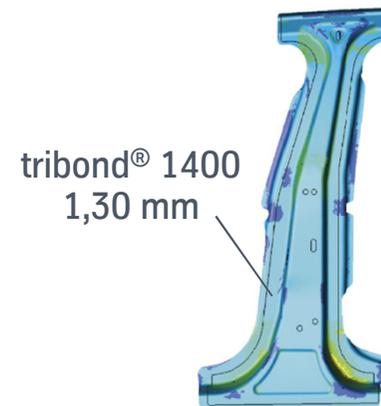
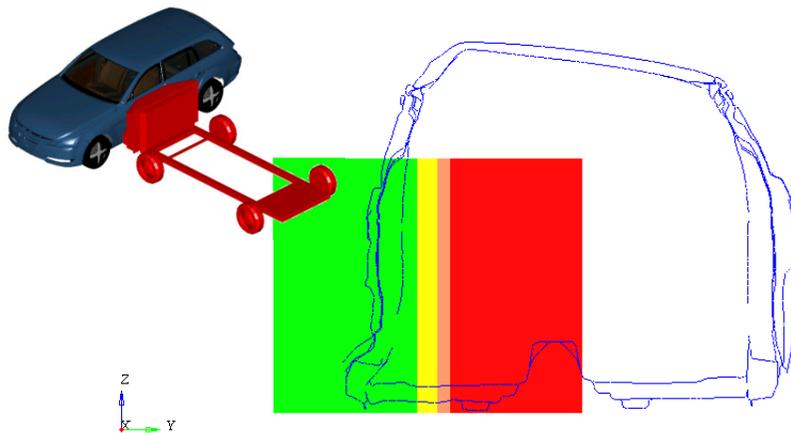


# Virtuelle Potenzialanalyse

tribond® 1400 für die B-Säule außen



Varianten	Referenz	tribond®-Konzept 1		tribond®-Konzept 2	
B-Säule außen	MBW® 1500 (1,70 mm) Tailored Tempering	tribond® 1400 Monoblank		MBW® 1900 / tribond® 1400 Tailor Welded Blank (TWB)	
B-Säule Verstärkung	MBW® 1500 (2,10 mm)	15,4 kg	MBW® 1500 (2,55 mm)	14,1 kg	MBW® 1500 (2,10 mm)
					13,6 kg

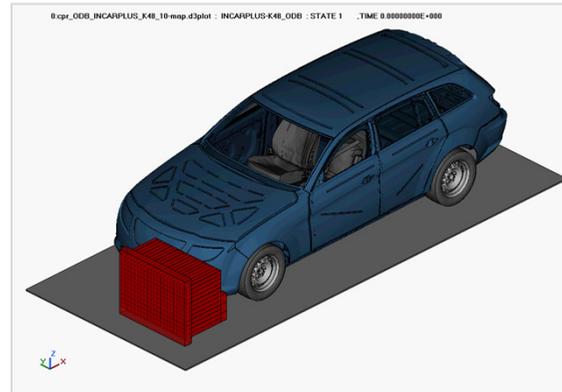
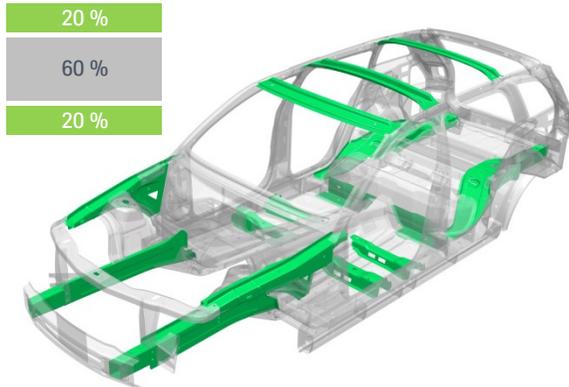
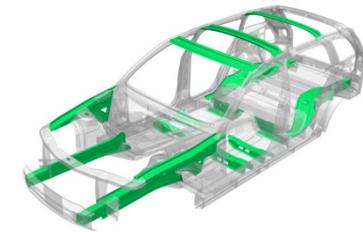


tribond® 1400 ermöglicht im Vergleich zur Referenz ein Leichtbaupotenzial von ca. 10 %

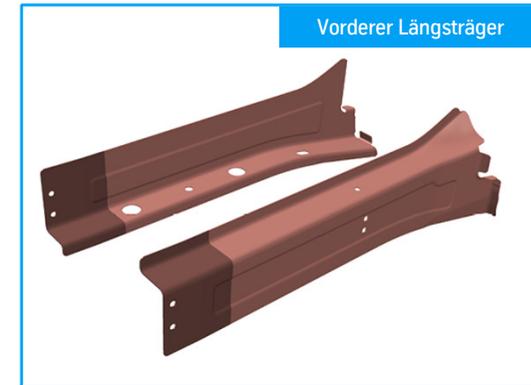


# Virtuelle Potenzialanalyse

tribond® 1200 für die vorderen Längsträger



ODB-Lastfall



Varianten	Längsträger außen		Längsträger innen		Gewicht
	Tailor welded blank: DP-K®440Y780T DP-K®440Y780T	2,00 mm 1,80 mm	Tailor welded blank: DP-K®440Y780T DP-K®440Y780T	2,00 mm 1,80 mm	
Referenz					7,53 kg
Konzept 2	Monoblank: tribond®1200	1,60 mm	Monoblank: tribond®1200	1,60 mm	6,58 kg

tribond®1400 ermöglicht im Vergleich zur Referenz ein Leichtbaupotenzial von ca. 15 %



# Virtuelle Produktentwicklung und Craschauslegung von Stahl-Werkstoffverbundsystemen

## Agenda

Einleitung und Zielstellung

Simulationsmethode für Stahl-Sandwichwerkstoffe

Virtuelle Produktentwicklung

Versagensmodellierung von Stahl-Sandwichwerkstoffen

Validierung durch Crashversuche

Virtuelle Potenzialanalyse

Zusammenfassung



# tribond® – Werkstoffverbund für die Warmumformung

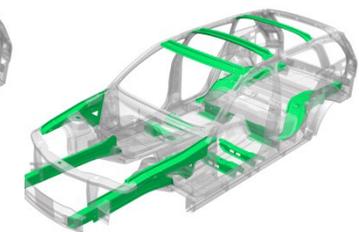
## Zusammenfassung

- Funktionsoptimierte Kombination höchstfester und duktiler Stähle in einem Werkstoffverbund
- Erfolgreiche Entwicklung einer modularen Simulationsmethode für die Crashberechnung
- Integration der Versagensmodellierung in die bestehende Simulationsmethode
- Leichtbaupotenzial von tribond durch Realversuche nachgewiesen
- Optimal geeignet für Strukturbauteile mit hohen Anforderungen an Energieabsorption
- Zukünftige Entwicklung liegt auf tribond® mit Festigkeiten über 1500 MPa

tribond®-Brammenpaket

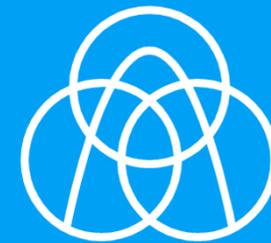


Serien-  
material  
VERFÜGBAR



**Vielen Dank**  
für Ihre Aufmerksamkeit!

Ihre Fragen beantworten wir  
Ihnen gerne, sprechen Sie uns an.



thyssenkrupp

engineering.tomorrow.together.