

Höherfeste Stähle für die Karosserie.



Dr.-Ing. J. Staeves,
Metalle und Beschichtungen

BMW Group



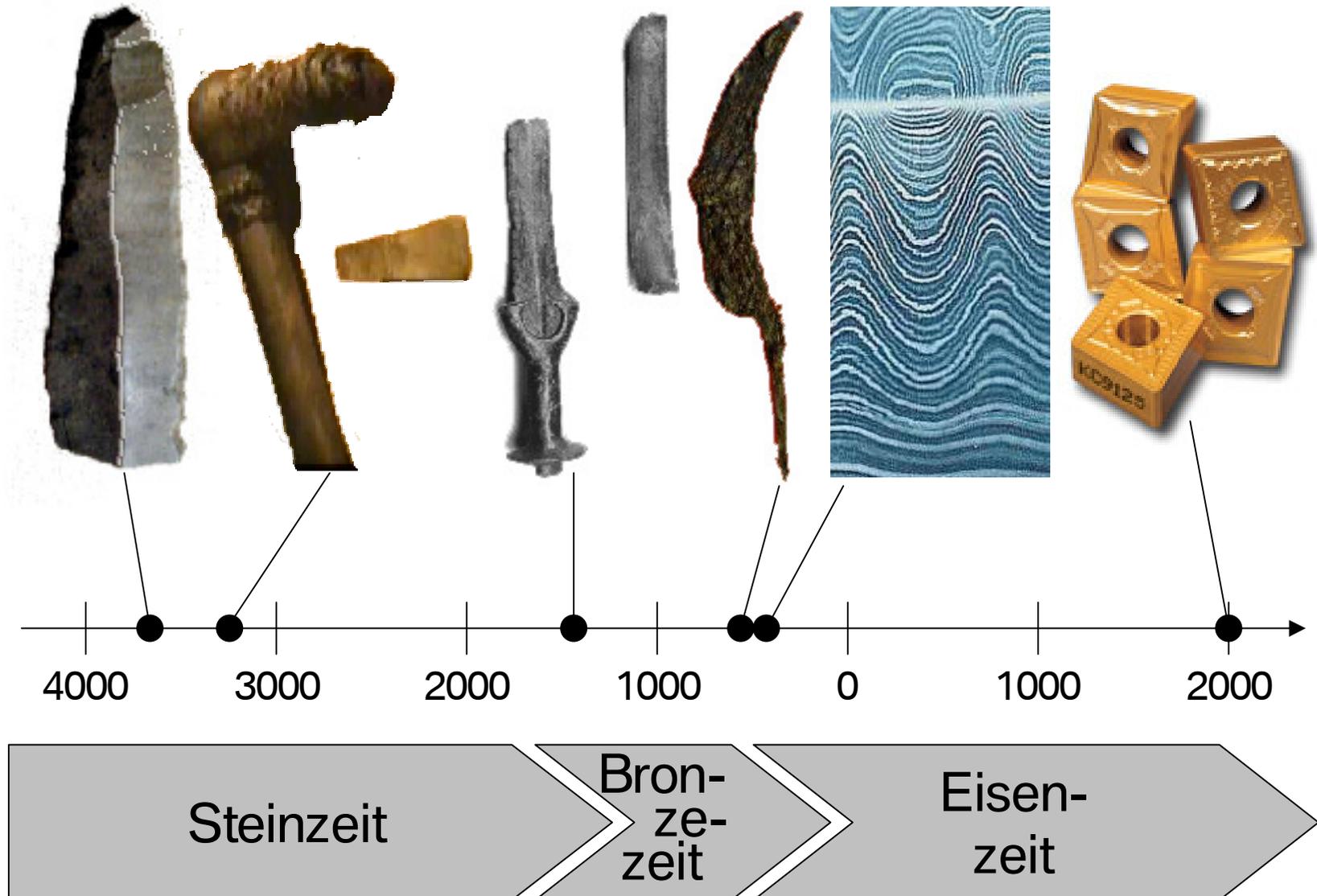
Höherfeste Stähle für die Karosserie. Inhalt.



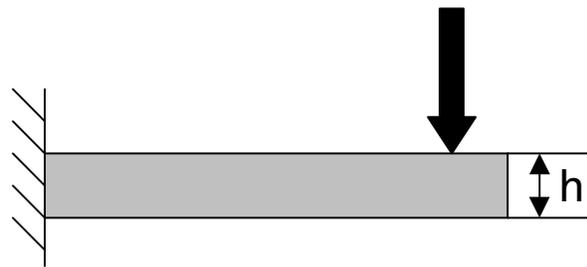
- Anforderungen und Trends
- Stahlwerkstoffe – Bezeichnung und Klassifizierung
- Anwendungsbeispiele

Höherfeste Stähle für die Karosserie.

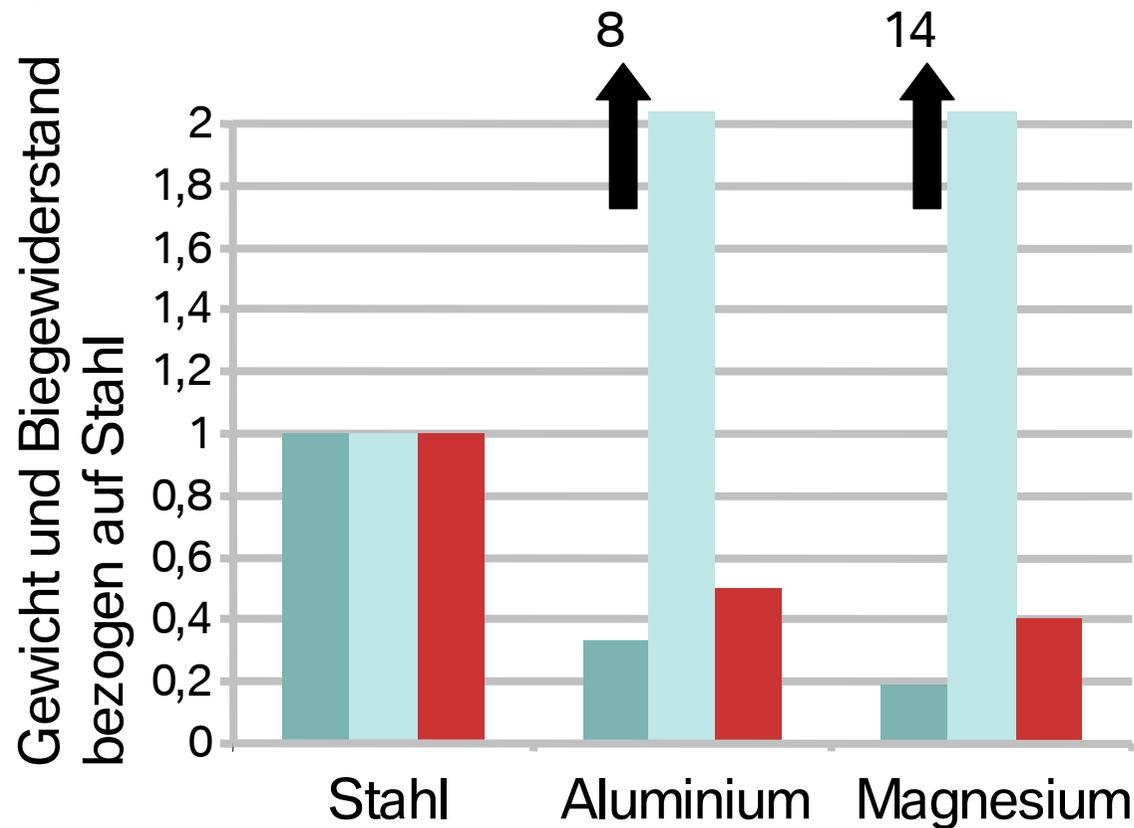
Wir leben seit über 2500 Jahren in der Eisenzeit.



Anforderungen und Trends. Biege­widerstand Blech (Beulsteifigkeit).



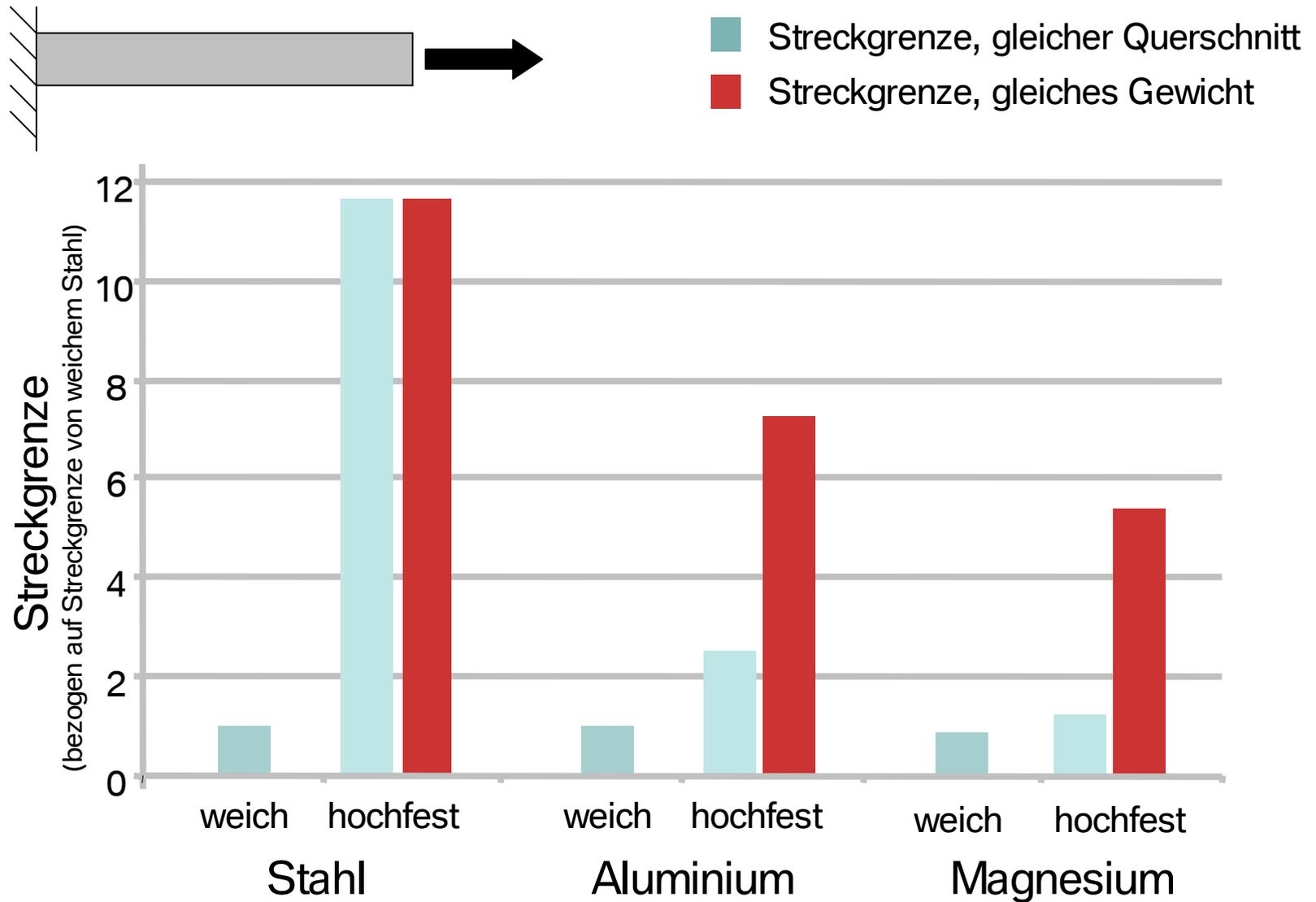
- Biege­widerstand gleiche Blechdicke
- Biege­widerstand gleiches Gewicht
- Gewicht gleicher Biege­widerstand



Beulsteifigkeit $\sim h^2$
Für stärker
gekrümmte Flächen

Beulsteifigkeit $\sim h^3$
Für wenig
gekrümmte Flächen

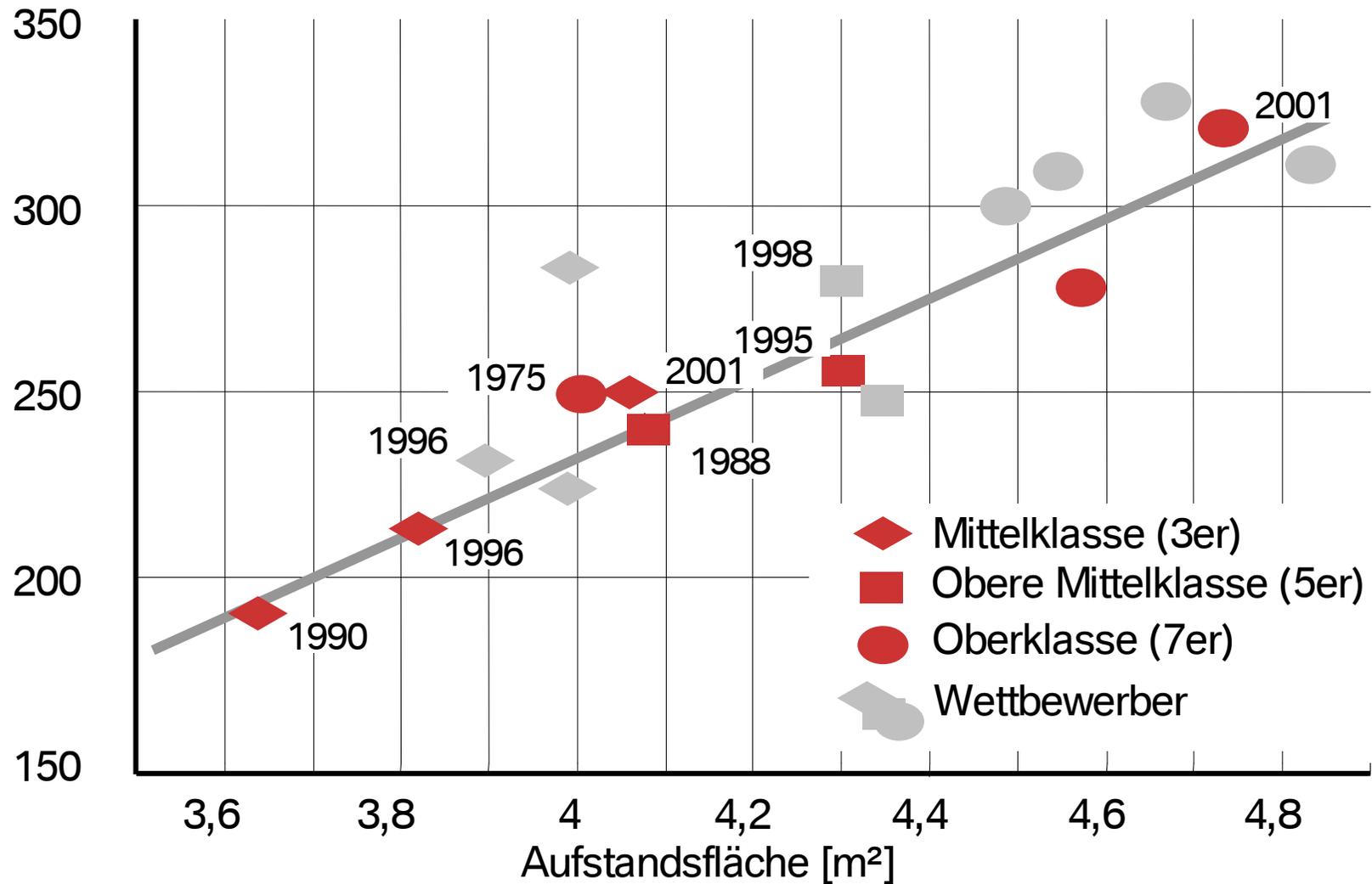
Anforderungen und Trends. Beanspruchung auf Zug.



Anforderungen und Trends.

Entwicklung von Aufstandsfläche und Karosseriegewicht.

Gewicht Karosseriegerippe [kg]



Anforderungen und Trends.

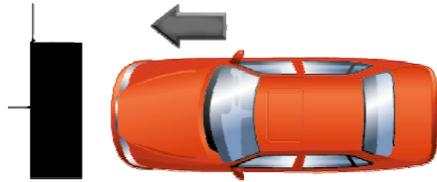
Vergleich des BMW 3,0Si von 1975 mit dem BMW 3er von 2001.



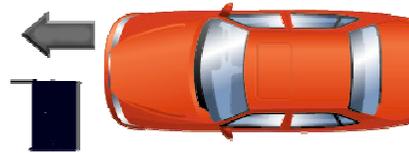
3,0Si
Baujahr 1975
3,0 l
200 PS
Seinerzeit Oberklasse
Rohkarosserie 250 kg
Steifigkeit 9000Nm/°

330i
Baujahr 2001
3,0 l
231 PS
Heute Mittelklasse
Rohkarosserie 260 kg
Steifigkeit 17500 Nm/°
erhöhte Craschanforderungen

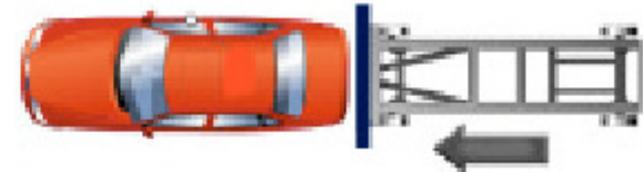
Anforderungen und Trends. Übersicht Crashversuche.



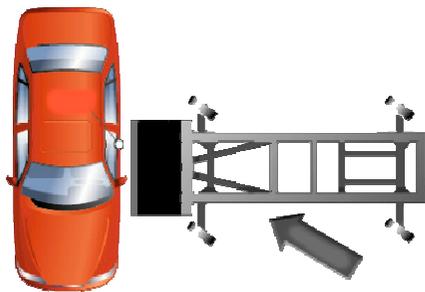
US-NCAP
Frontalaufprall
100% Überdeckung
mit 35 mph (56 km/h)



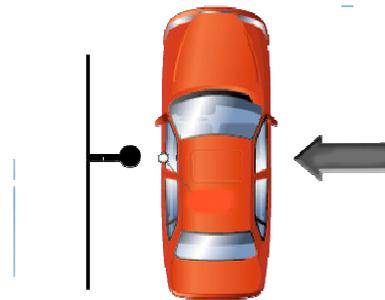
Euro-NCAP
40% Offset-
Frontalaufprall
mit 64 km/h



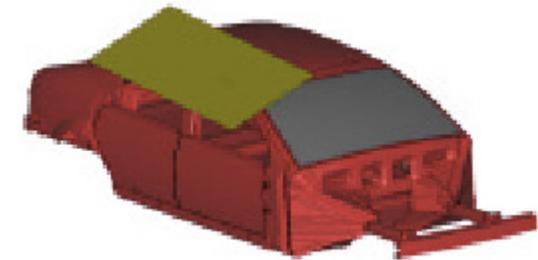
Heckaufprall
Fahrbare Barriere
mit 35 mph (56 km/h)



US-SINCAP
Seitenaufprall mit
"Krebstgang"-Barriere
mit 38.5 mph (61.6 km/h)



Pfahlaufprall
Seitenaufprall auf
festen Pfahl
mit 20 mph (32 km/h)



Dacheindrückttest /
Überrolltest
2,5faches Leergewicht

+ Reparaturcrash mit geringer Geschwindigkeit

Anforderungen und Trends. Höhere Festigkeit und Energieaufnahme mit höherfesten Stählen.



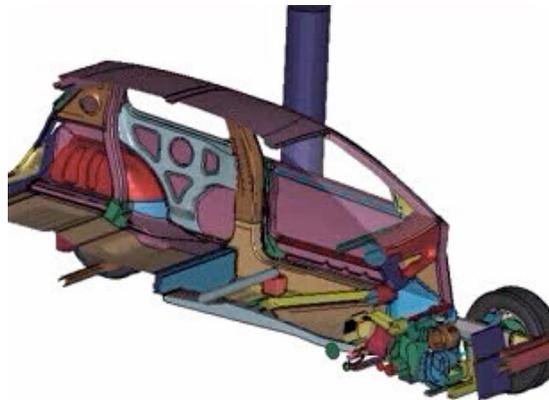
US-NCAP



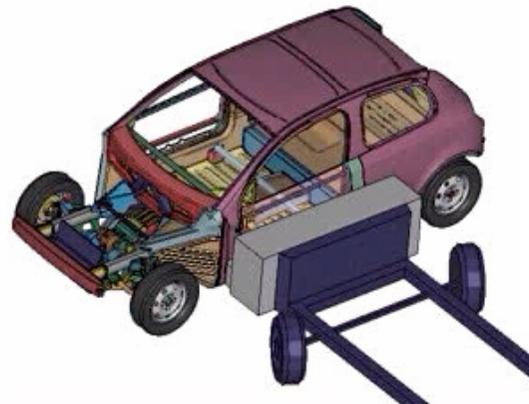
Euro-NCAP



Heckaufprall



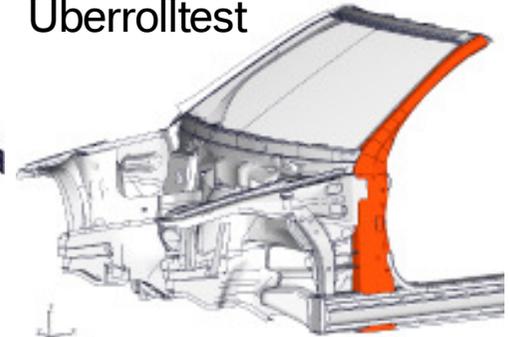
Pfahlaufprall



US-SINCAP



Dacheindrückttest /
Überrolltest



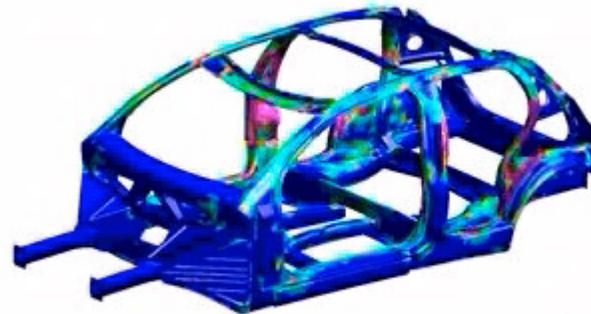
Anforderungen und Trends.

Steifigkeit: Karosseriestähle unterscheiden sich im E-Modul kaum.

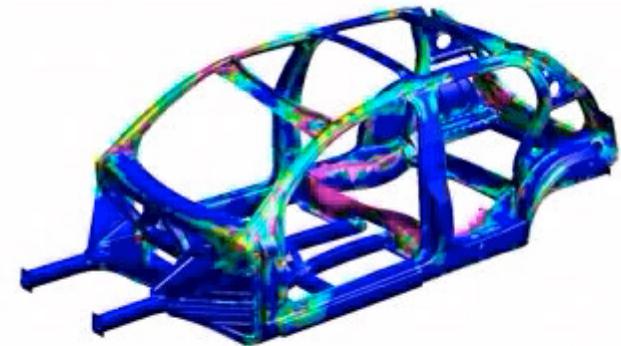
Biegung

Torsion

modal

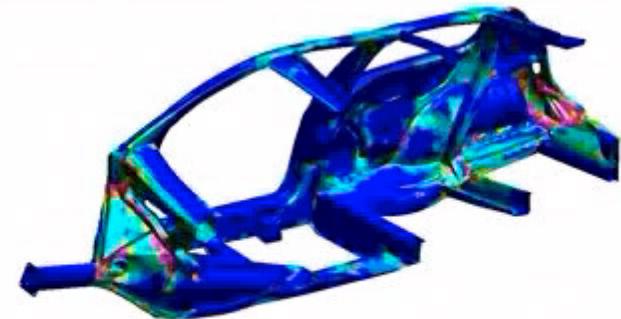
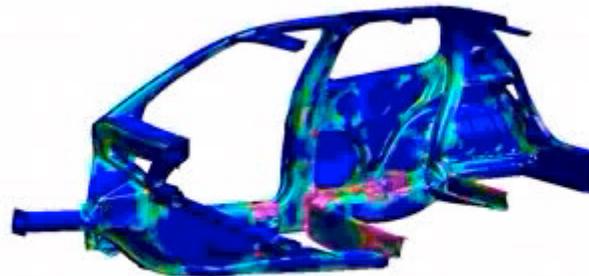


Mod 2
Freq 30.228Hz

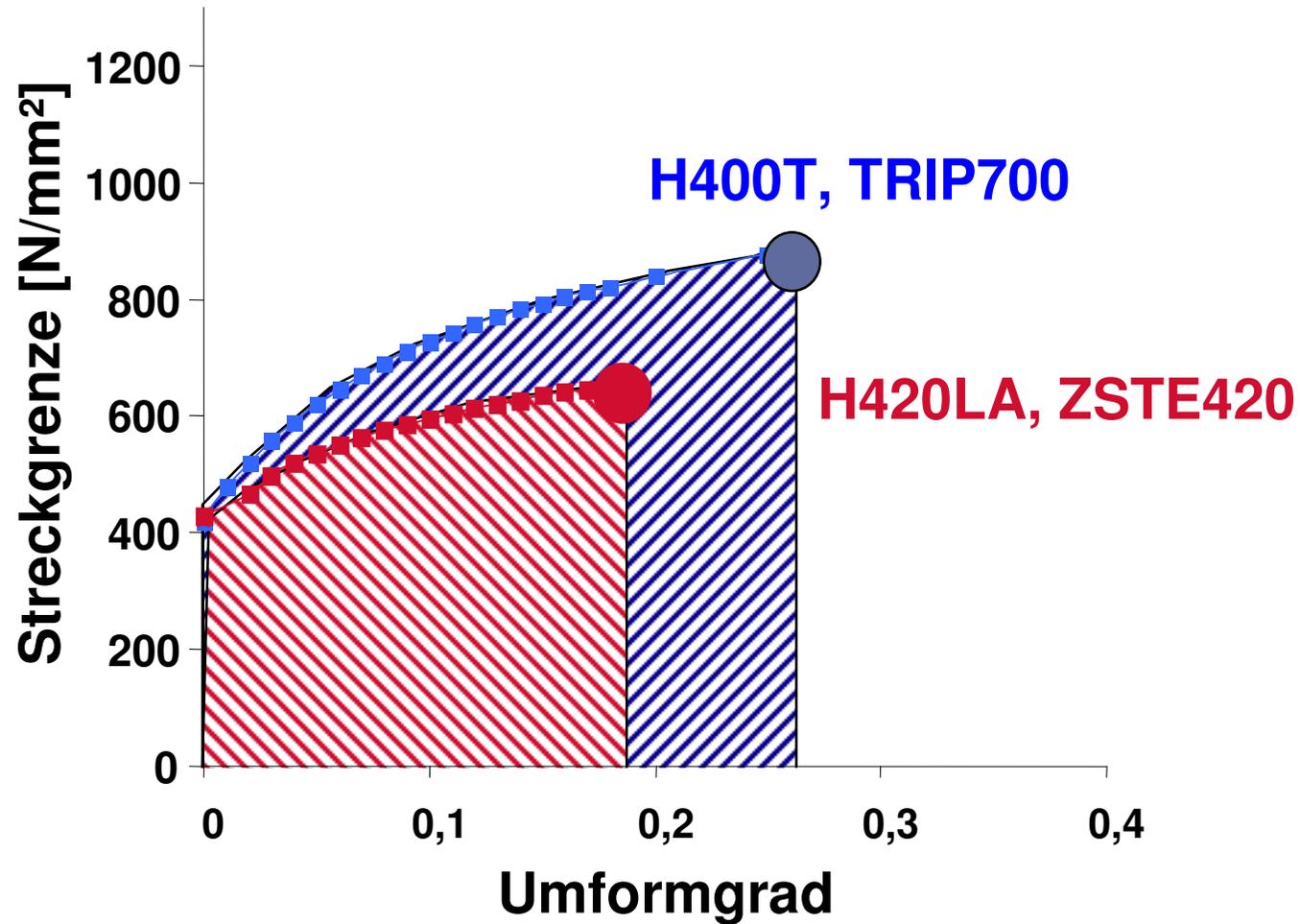


Mod 15
Freq 45.026Hz

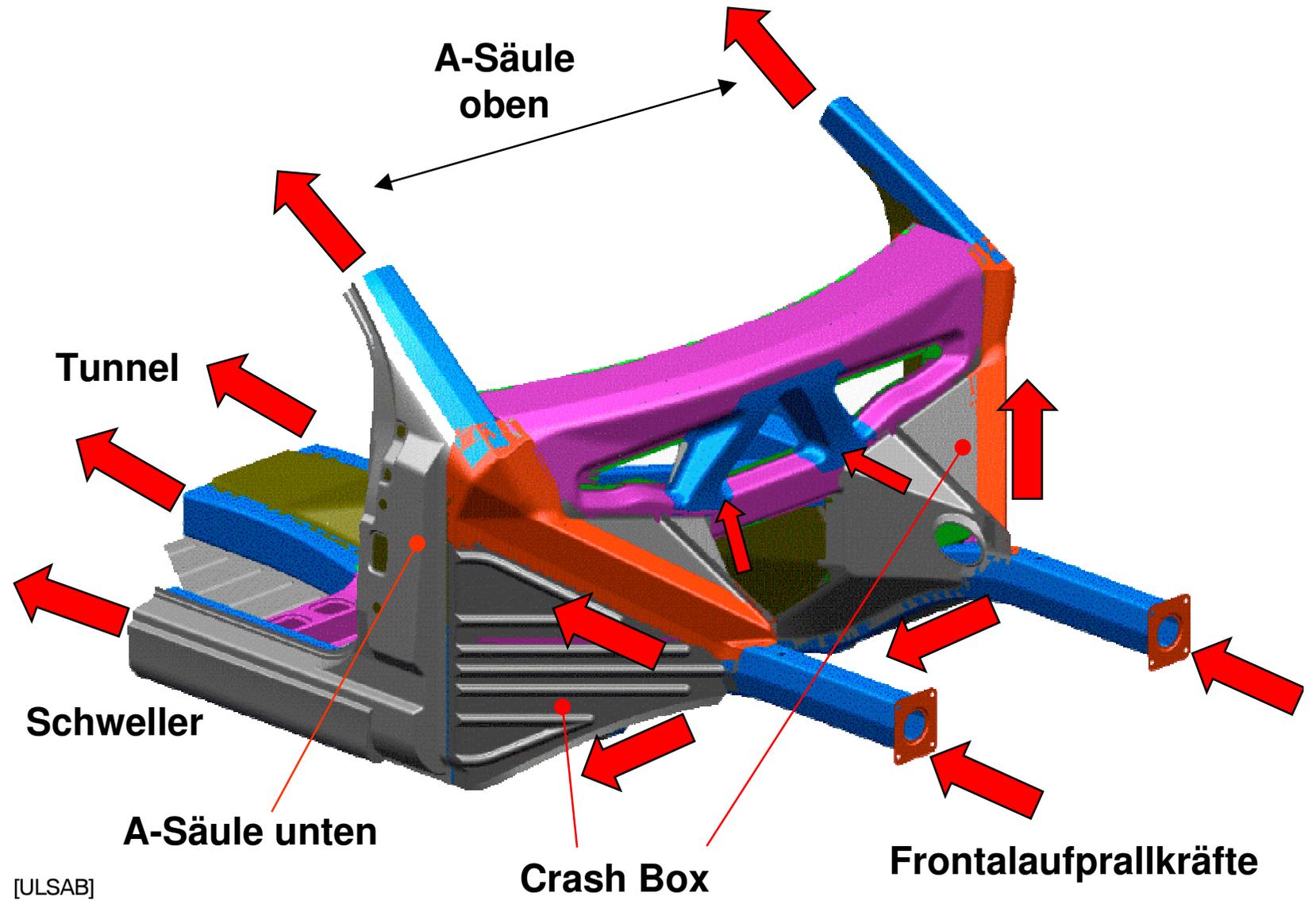
statisch



Anforderungen und Trends. Energieaufnahme von klassischen Stählen und Mehrphasenstählen.

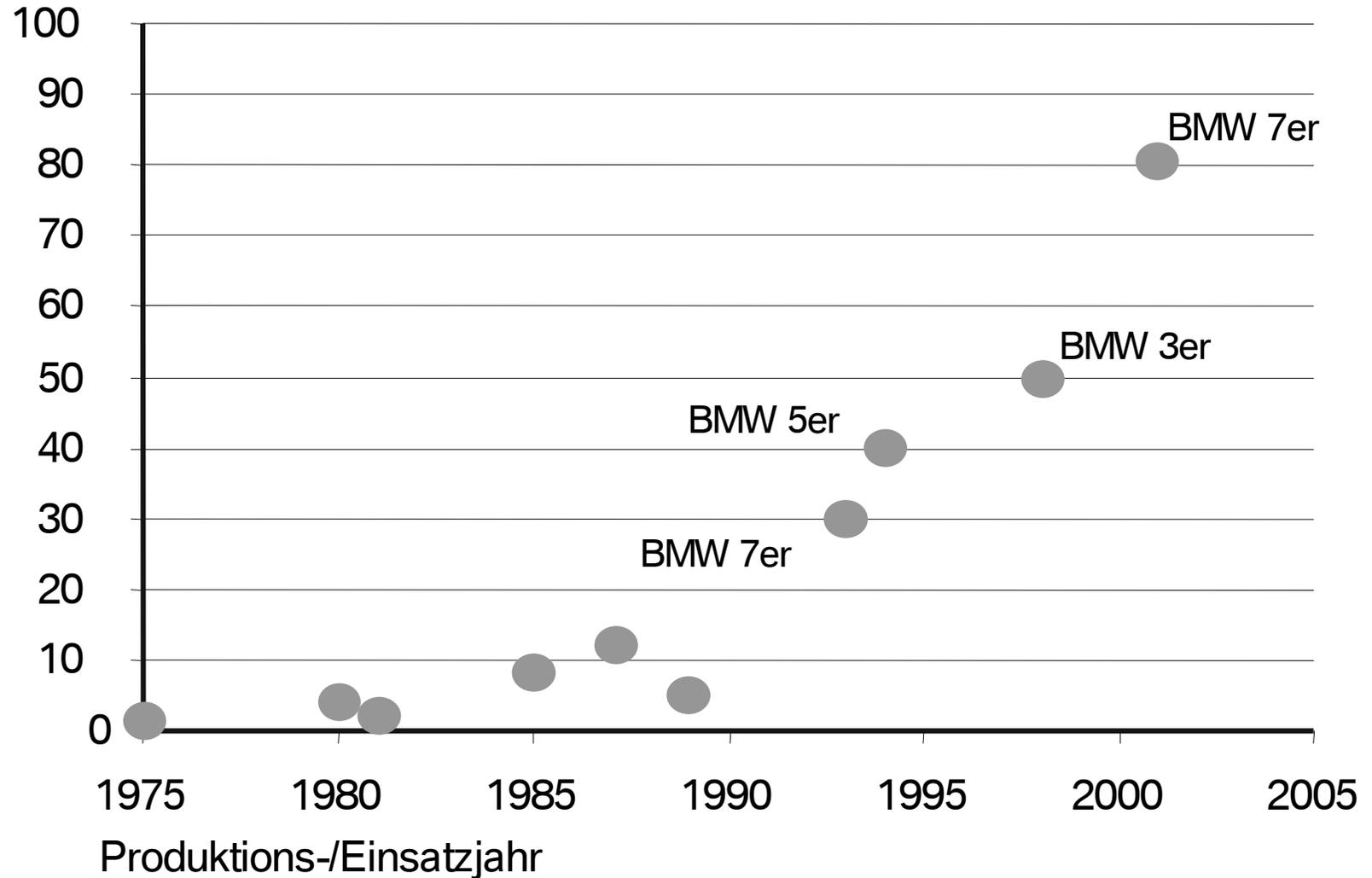


Anforderungen und Trends. Lastpfade Vorderbau.



Anforderungen und Trends. Gewichtsanteil höherfester Stähle in der Rohkarosserie.

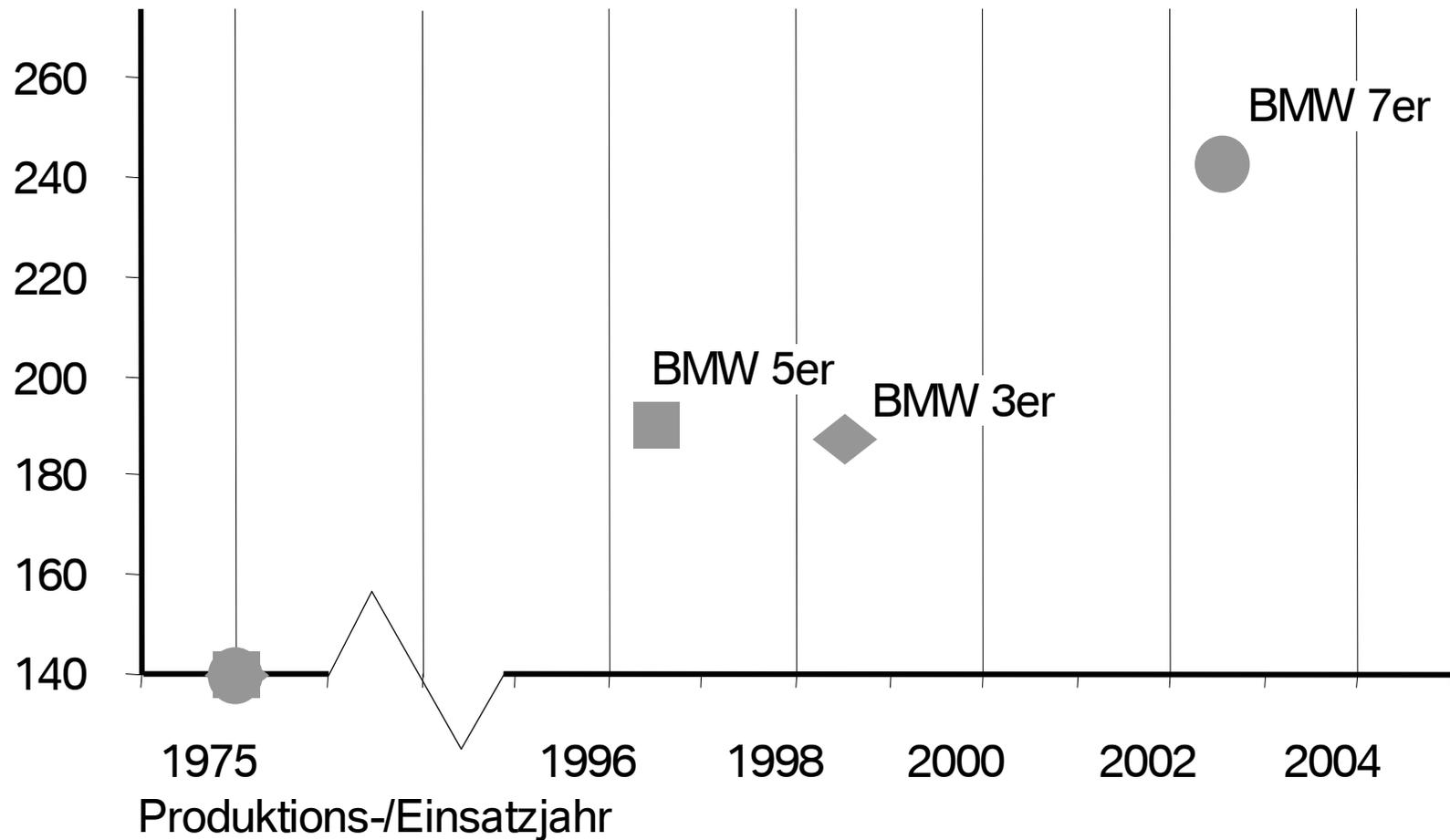
Gewichtsanteil ab Streckgrenze 180 N/mm² [%]



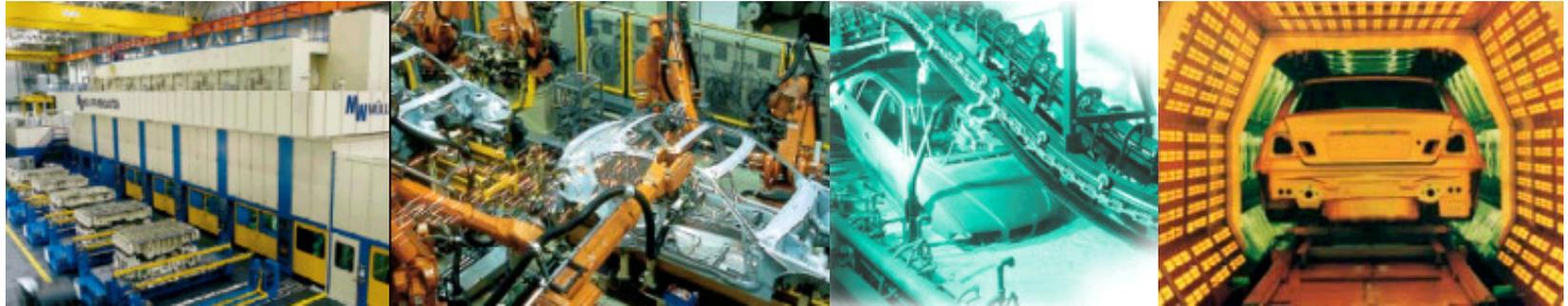
Anforderungen und Trends.

Entwicklung der mittleren Festigkeit der Stahlwerkstoffe im Karosseriegerippe.

Mittelwert Mindeststreckgrenze [N/mm²]
 $\Sigma(\text{Mindeststreckgrenze} \times \text{Bauteilgewicht}) / \Sigma \text{Bauteilgewicht}$

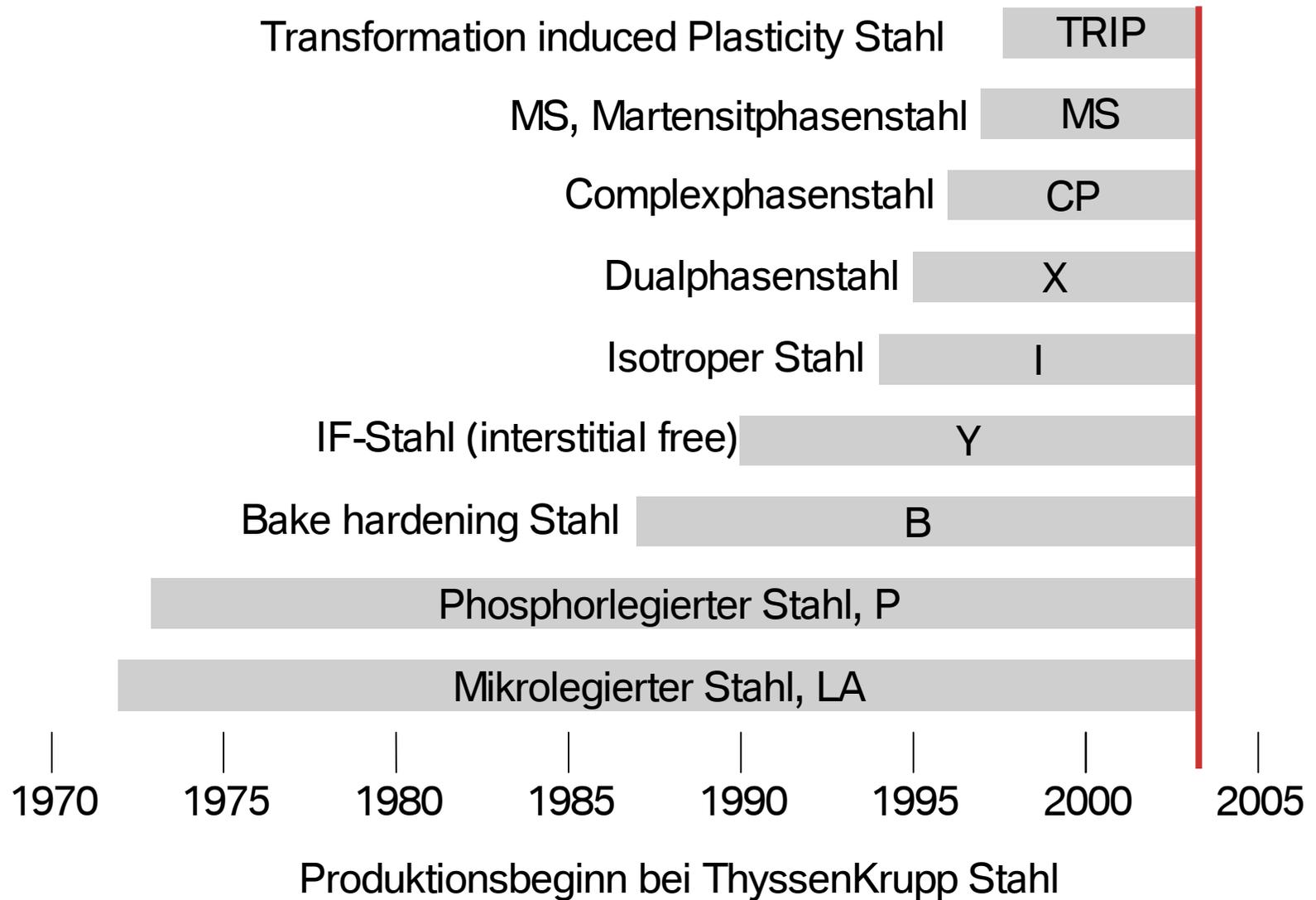


Höherfeste Stähle für die Karosserie. Inhalt.



- Anforderungen und Trends
- **Stahlwerkstoffe – Bezeichnung und Klassifizierung**
- Anwendungsbeispiele

Bezeichnung und Klassifizierung. Entwicklung neuer Stahlsorten.



Bezeichnung und Klassifizierung.

Beispiele für übliche Werkstoffbezeichnungen.

Weiche Ziehgüten

ST14, FeP04, DC04, DX54

Interstitial free Stähle (Höherfeste IF)

IF220, 220IF, HSZ220, HX220, HY220, H220Y

Isotrope Stähle

HIZ260, H260i, ZStE260i

Bake Hardening Stähle

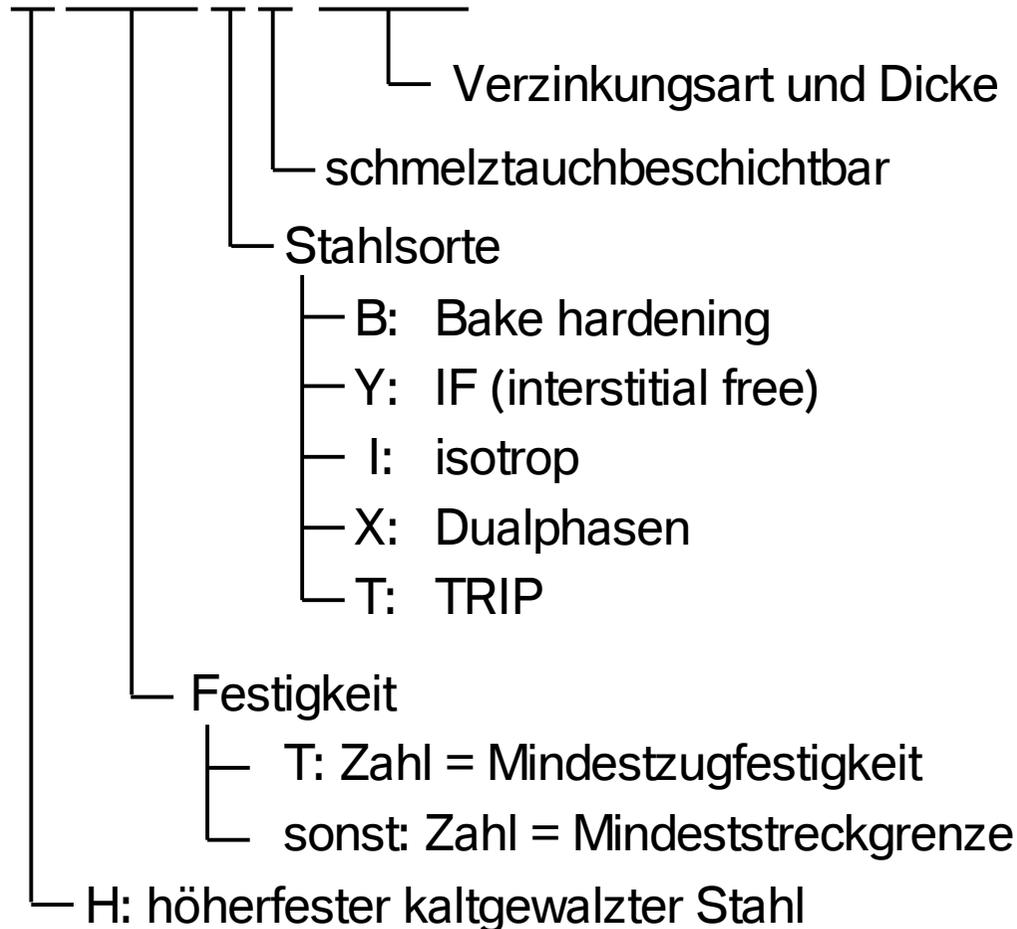
ZStE300BH, RePhos300, ZStE300, BH300, Usiplus300, H300B

TRIP-Stähle

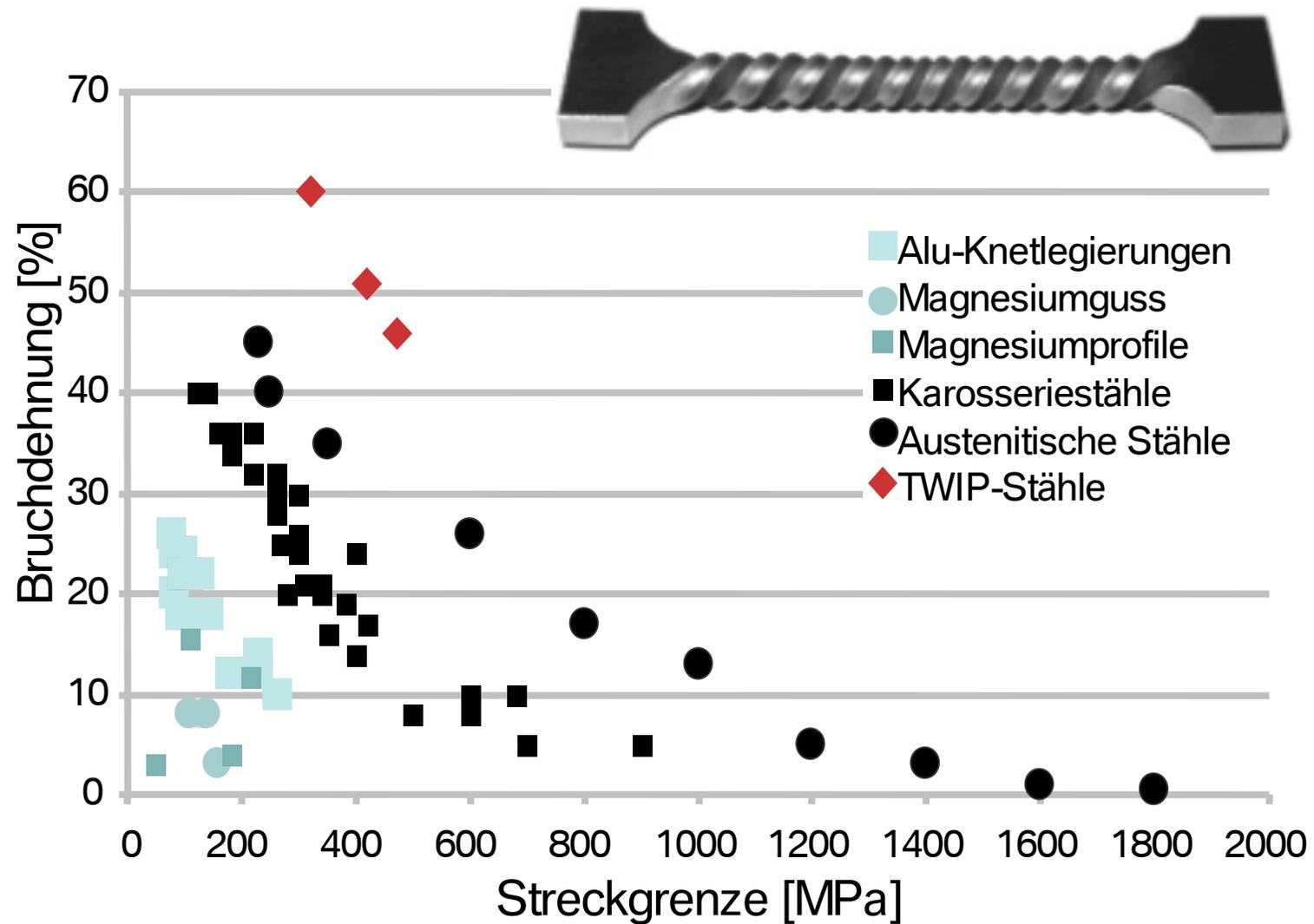
TRIP700, HT700T, H400T, RA-K 40/70, TRIP 400/700

Bezeichnung und Klassifizierung. Bezeichnungssystem höherfester Stähle.

HT700TD+Z100

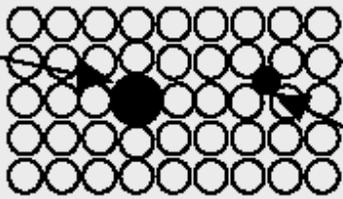
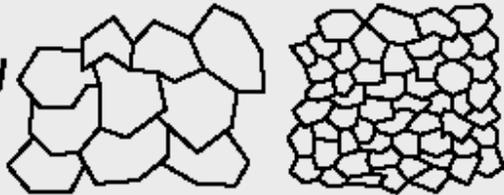
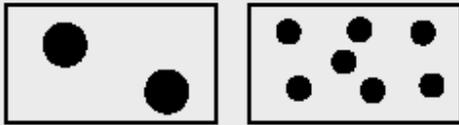


Bezeichnung und Klassifizierung. Umformbarkeit, Festigkeit oder Kosten.

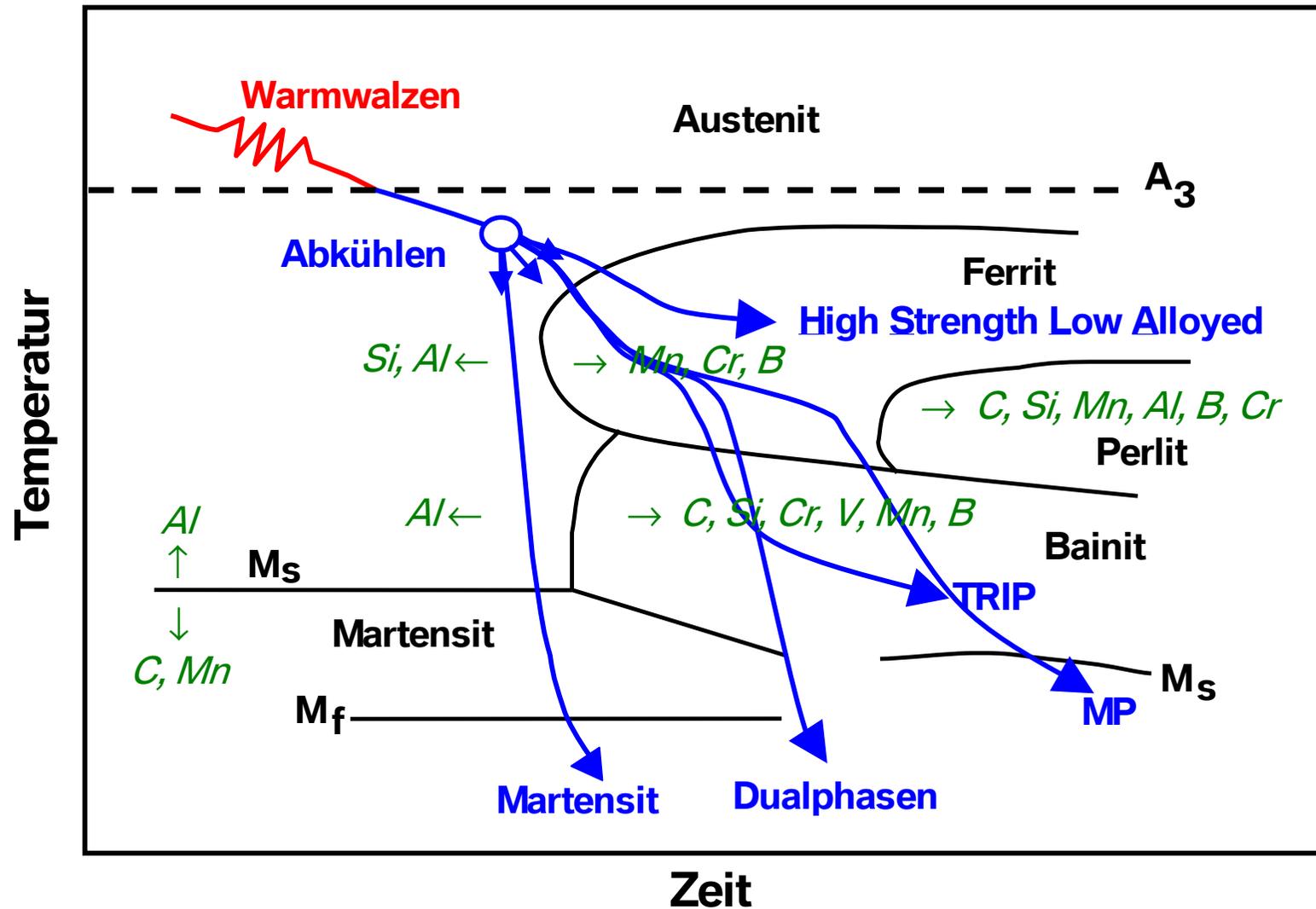


Bezeichnung und Klassifizierung.

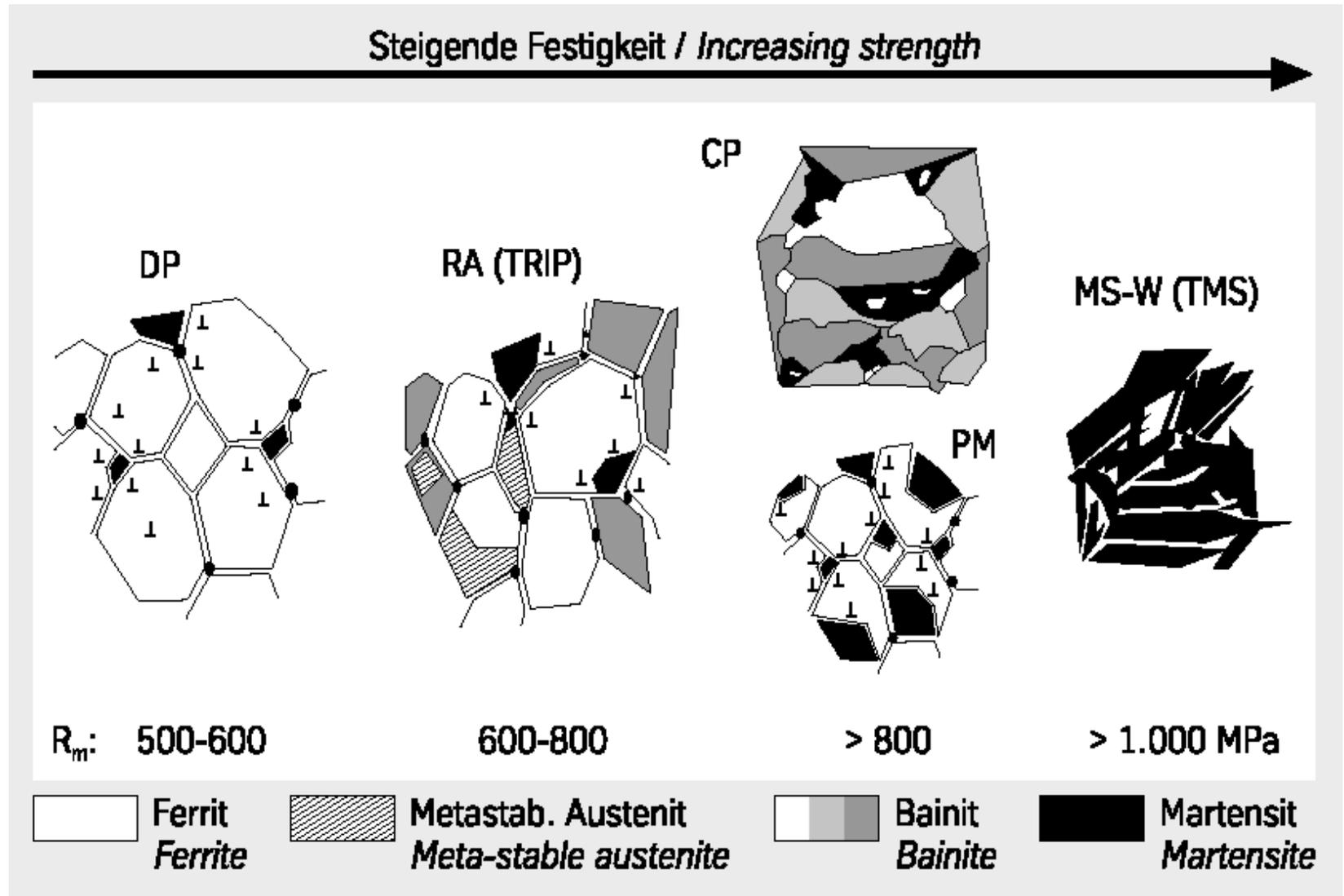
Verfestigungsmechanismen bei konventionellen Stählen.

Verfestigung durch <i>Strengthening due to</i>	Prinzipskizze <i>Schematic sketch</i>
Mischkristallbildung <i>Solid-solution formation</i>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="891 592 1249 687">Substitutionsatom <i>Substitutional atom</i></div> <div data-bbox="1272 592 1615 791">  </div> <div data-bbox="1682 592 2018 791">Matrixatom <i>Matrix atom</i> Interstitielles Atom <i>Interstitial atom</i></div> </div>
BH-Effekt <i>Bake-hardening effect</i>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="891 821 1227 917">Interstitielles Atom <i>Interstitial atom</i></div> <div data-bbox="1272 831 1525 999">  </div> <div data-bbox="1682 821 1995 917">Stufenversetzung <i>Edge dislocation</i></div> </div>
Korngrenzen <i>Grain boundaries</i>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="891 1051 1167 1147">Grobkörnig <i>Coarse-grained</i></div> <div data-bbox="1167 1051 1671 1246">  </div> <div data-bbox="1682 1051 1917 1147">Feinkörnig <i>Fine-grained</i></div> </div>
Ausscheidungen <i>Precipitations</i>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="891 1281 1111 1425">Grobdispers <i>Coarsely dispersed</i></div> <div data-bbox="1189 1297 1648 1422">  </div> <div data-bbox="1682 1281 1984 1377">Feindispers <i>Finely dispersed</i></div> </div>

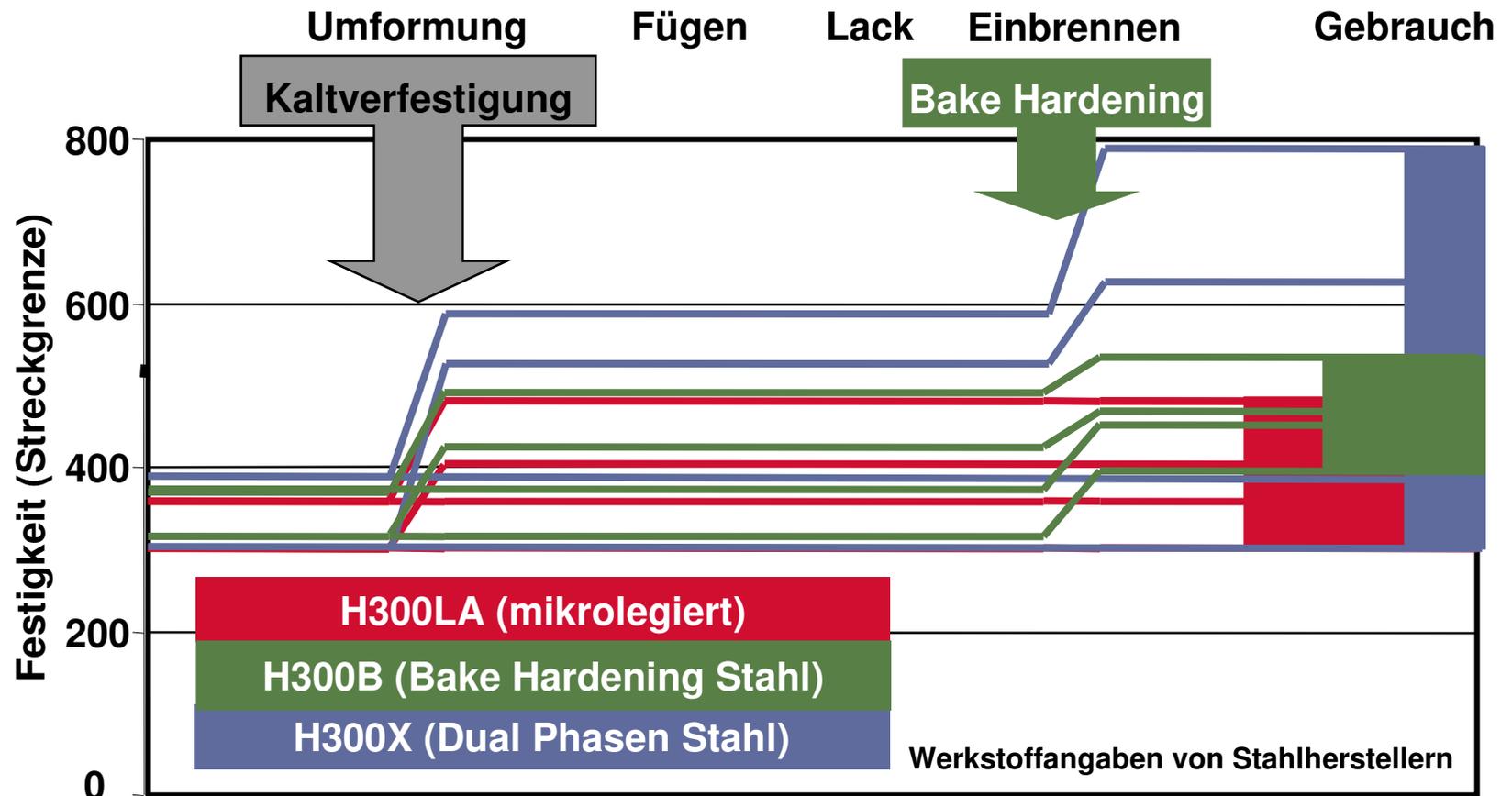
Bezeichnung und Klassifizierung. Herstellung von Mehrphasenstählen.



Bezeichnung und Klassifizierung. Verfestigung durch harte Phasen. Mehrphasenstähle.



Bezeichnung und Klassifizierung. Bake Hardening.

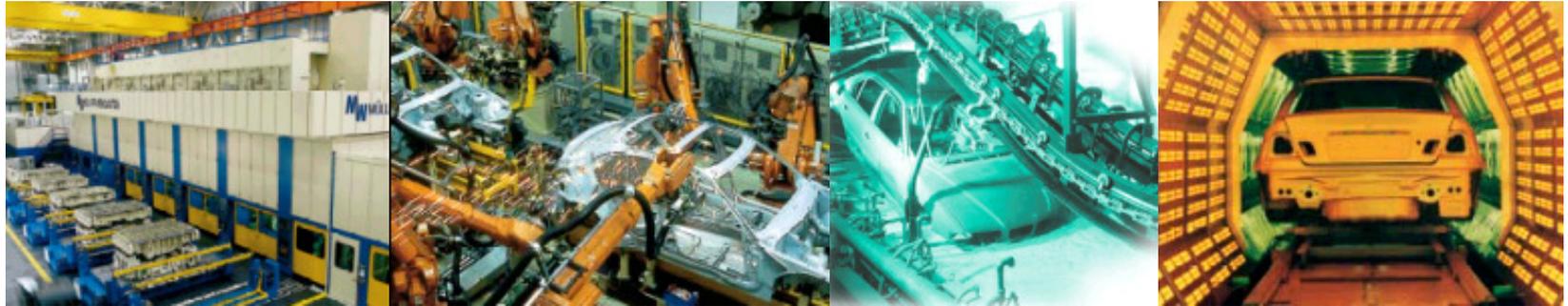


Bezeichnung und Klassifizierung.

Klassifizierung der Stahlsorten.

Mindeststreckgrenze	Referenz für Tiefziehen	Bake hardening bei geringer Umformung	Kaltverfestigung und bake hardening bei großer Umformung	Streckziehen	Verbesserte Umformbarkeit bei höheren Materialkosten	Deutlich bessere Umformbarkeit bei deutlich höheren Kosten
120	DC06, DX56				DC07, DX57	
140	DC04, DX54					
160	H160Y	H160B				
180	H180Y	H180B				
220	H220Y	H220B		H220I		
260	H260Y	H260B	H270X	H260I		
300		H300B	H300X	H300I		Edelstahl
340	H340LA		H340X			Edelstahl
380	H380LA					Edelstahl
420	H420LA		H400T		H400T	Edelstahl
500	H500X					
700	CP-W 800					
1000	MS-W 1200					Usibor, BTR

Höherfeste Stähle für die Karosserie. Inhalt.



- Anforderungen und Trends
- Stahlwerkstoffe – Bezeichnung und Klassifizierung
- **Anwendungsbeispiele**

Anwendungsbeispiele.

Festigkeitsklasse 120-220 MPa.

Mindeststreckgrenze	Referenz für Tiefziehen	Bake hardening bei geringer Umformung	Kaltverfestigung und bake hardening bei großer Umformung	Streckziehen	Verbesserte Umformbarkeit bei höheren Materialkosten	Deutlich bessere Umformbarkeit bei deutlich höheren Kosten
120	DC06, DX56				DC07, DX57	
140	DC04, DX54					
160	H160Y	H160B				
180	H180Y	H180B				
220	H220Y	H220B		H220I		
260	H260Y	H260B	H270X	H260I		
300		H300B	H300X	H300I		Edelstahl
340	H340LA		H340X			Edelstahl
380	H380LA					Edelstahl
420	H420LA		H400T		H400T	Edelstahl
500	H500X					
700	CP-W 800					
1000	MS-W 1200					Usibor, BTR

Karosserieaussenhaut.

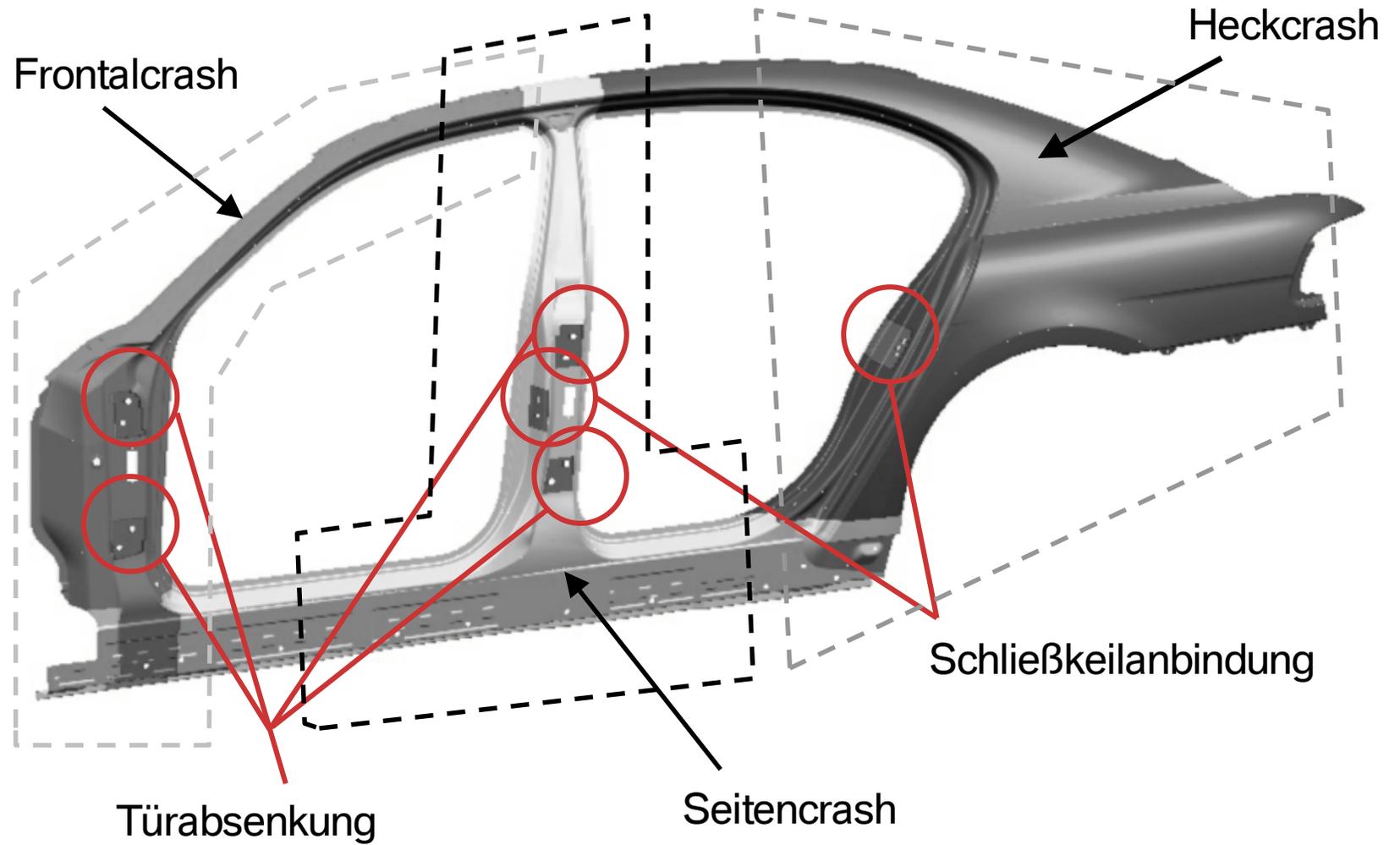
Aluminium in der Außenhaut erfordert werkstoffgerechtes Design.



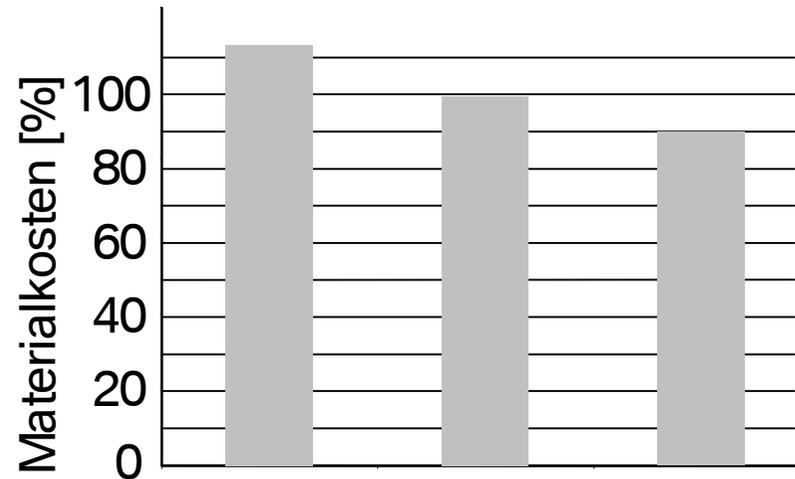
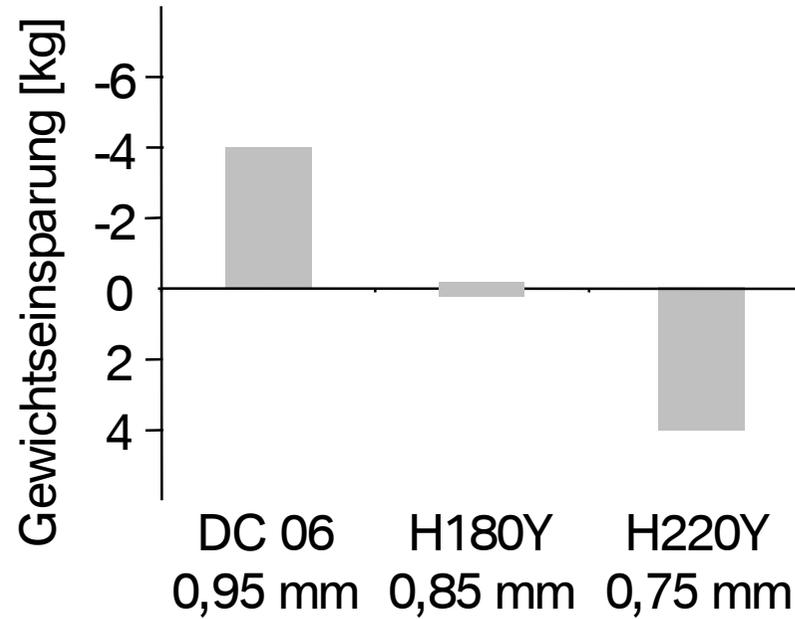
“Form follows function”



Anwendungsbeispiele. Seitenrahmen außen. Beanspruchung.



Anwendungsbeispiele. Seitenrahmen außen. Einfluss der Stahlsorte auf Gewicht und Kosten.



Risse

Oberflächenunruhen



Anwendungsbeispiele.

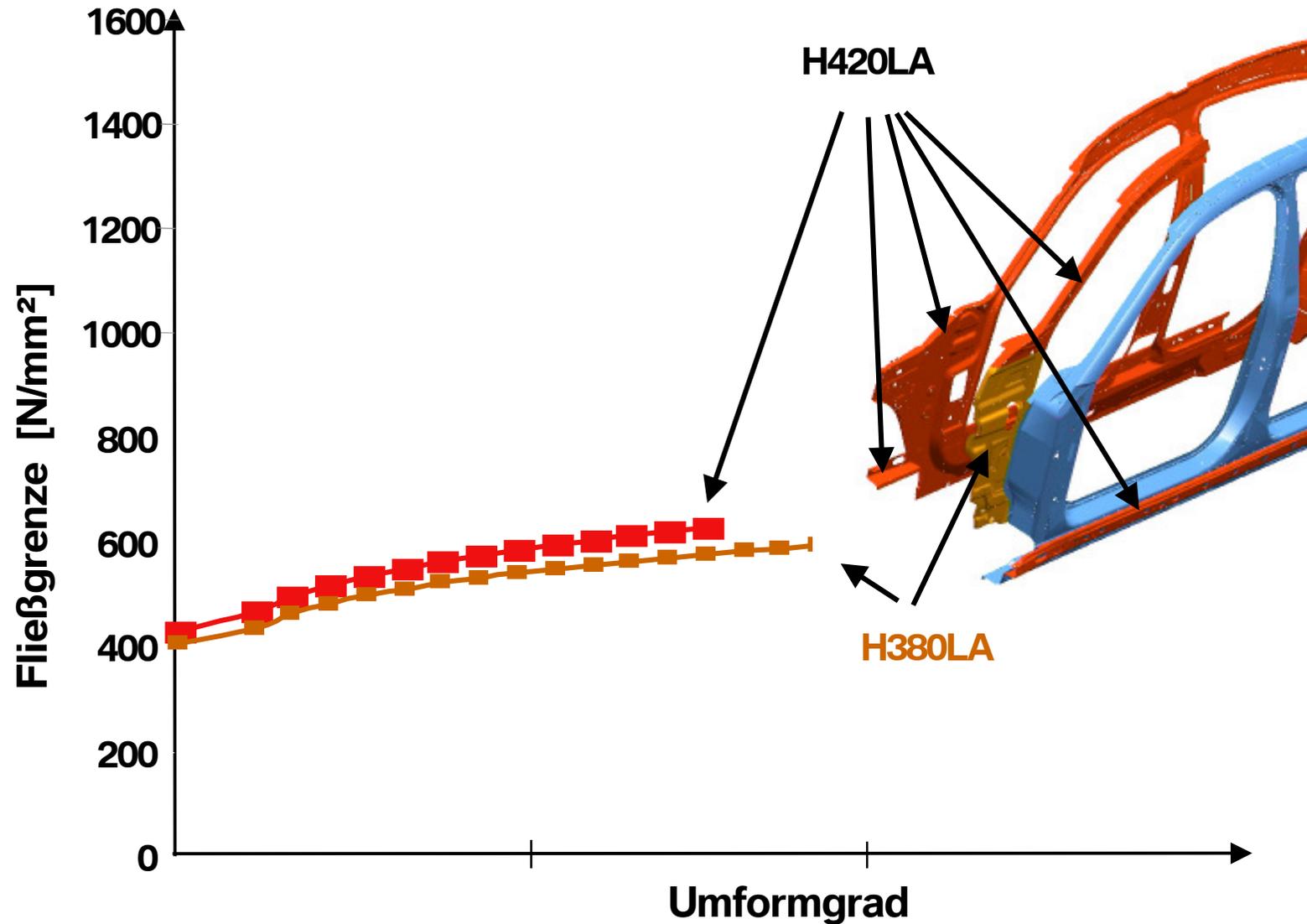
Festigkeitsklasse 340-420 MPa.

Mindeststreckgrenze	Referenz für Tiefziehen	Bake hardening bei geringer Umformung	Kaltverfestigung und bake hardening bei großer Umformung	Streckziehen	Verbesserte Umformbarkeit bei höheren Materialkosten	Deutlich bessere Umformbarkeit bei deutlich höheren Kosten
120	DC06, DX56				DC07, DX57	
140	DC04, DX54					
160	H160Y	H160B				
180	H180Y	H180B				
220	H220Y	H220B		H220I		
260	H260Y	H260B	H270X	H260I		
300		H300B	H300X	H300I		Edelstahl
340	H340LA		H340X			Edelstahl
380	H380LA					Edelstahl
420	H420LA		H400T		H400T	Edelstahl
500	H500X					
700	CP-W 800					
1000	MS-W 1200					Usibor, BTR

Anwendungsbeispiele.

Festigkeitsklasse 340 bis 420 N/mm².

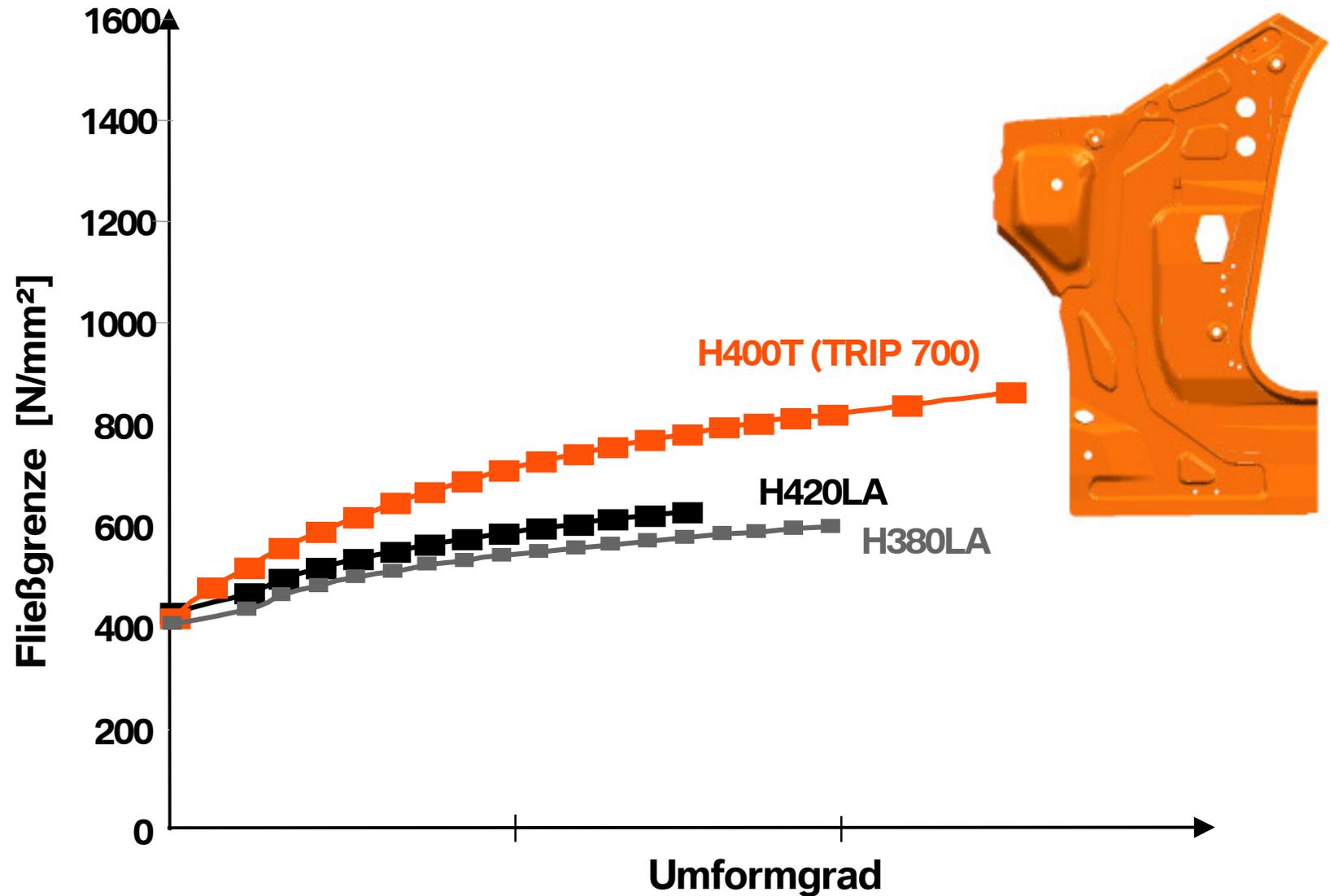
Seitenrahmen innen des BMW 7er.



Anwendungsbeispiele.

Festigkeitsklasse 340 bis 420 N/mm².

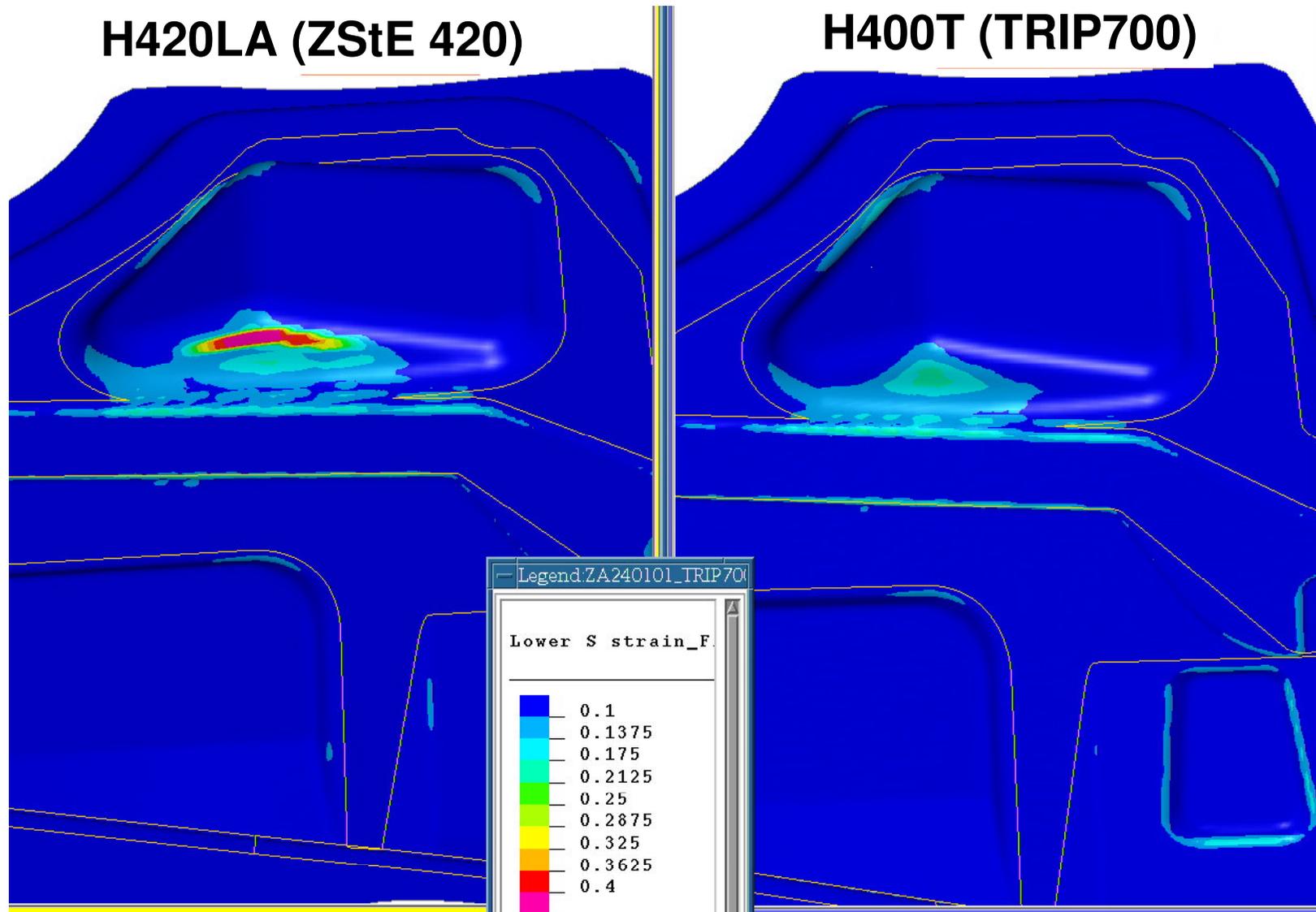
A-Säule innen.



Anwendungsbeispiele.

Festigkeitsklasse 340 bis 420 N/mm².

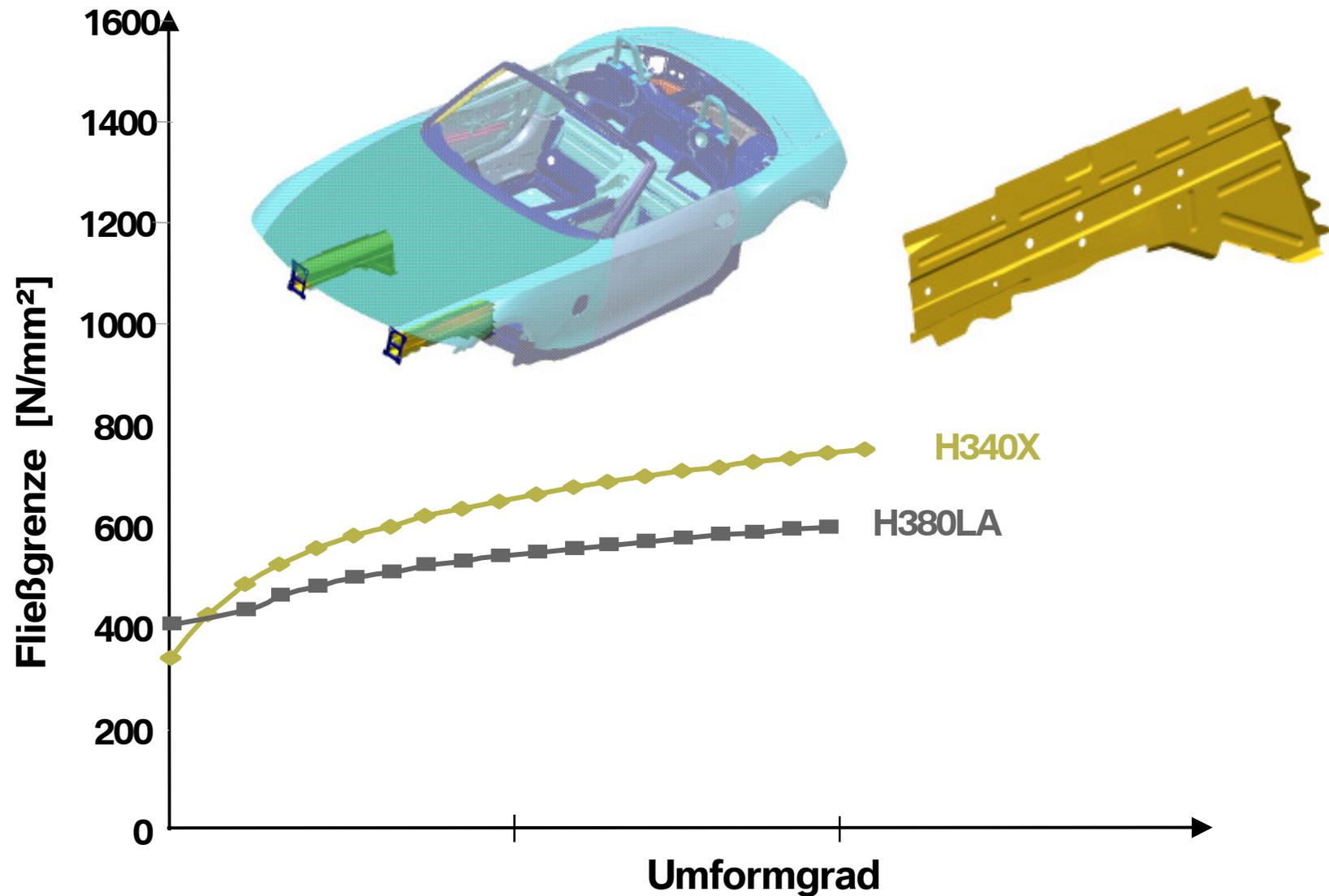
Vergleich von mikrolegiertem und TRIP-Stahl.



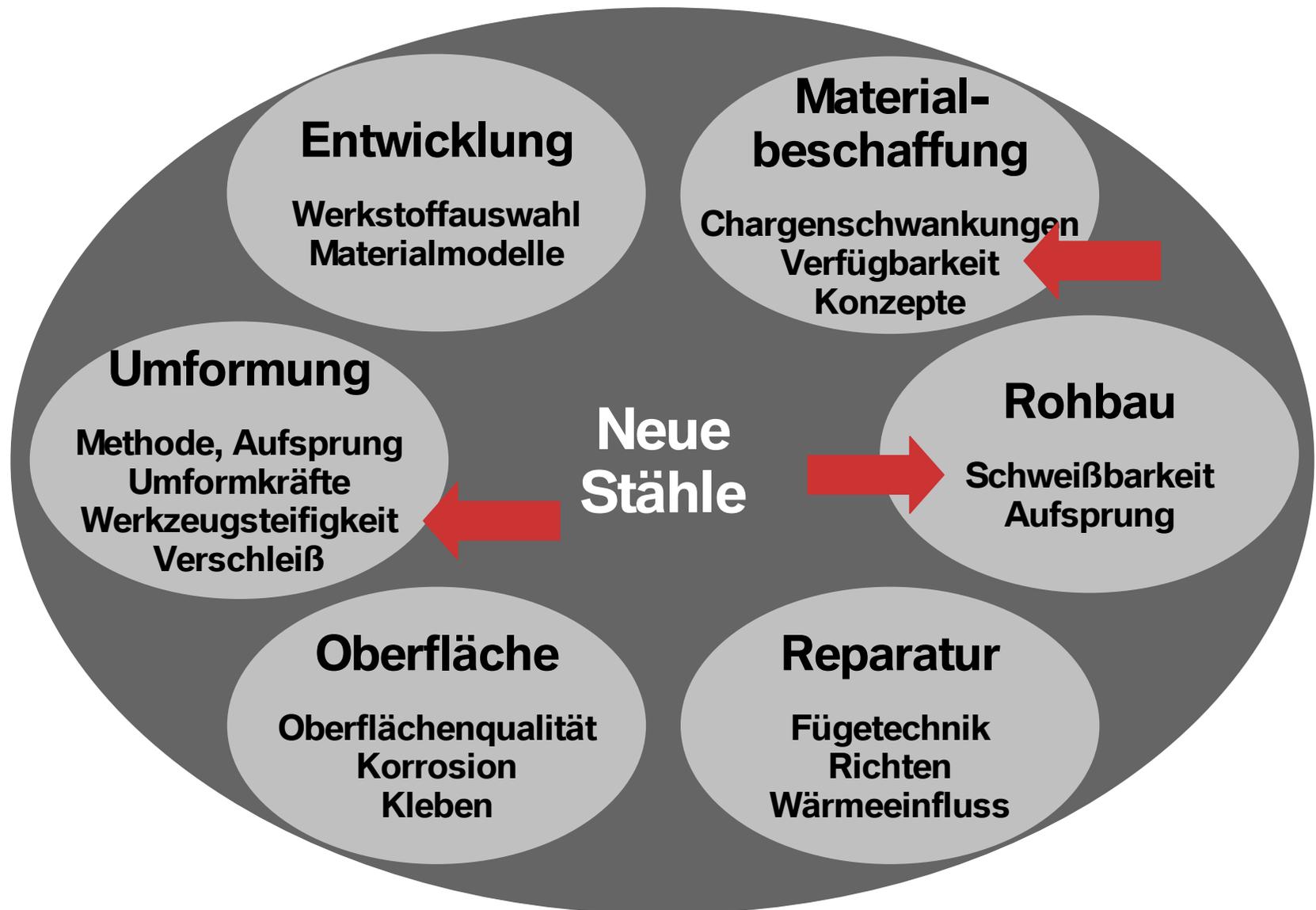
Anwendungsbeispiele.

Festigkeitsklasse 340 bis 420 N/mm².

Motorträger außen beim BMW Z4.



Anwendungsbeispiele. Herausforderungen beim Einsatz neuer Stähle.



Anwendungsbeispiele.

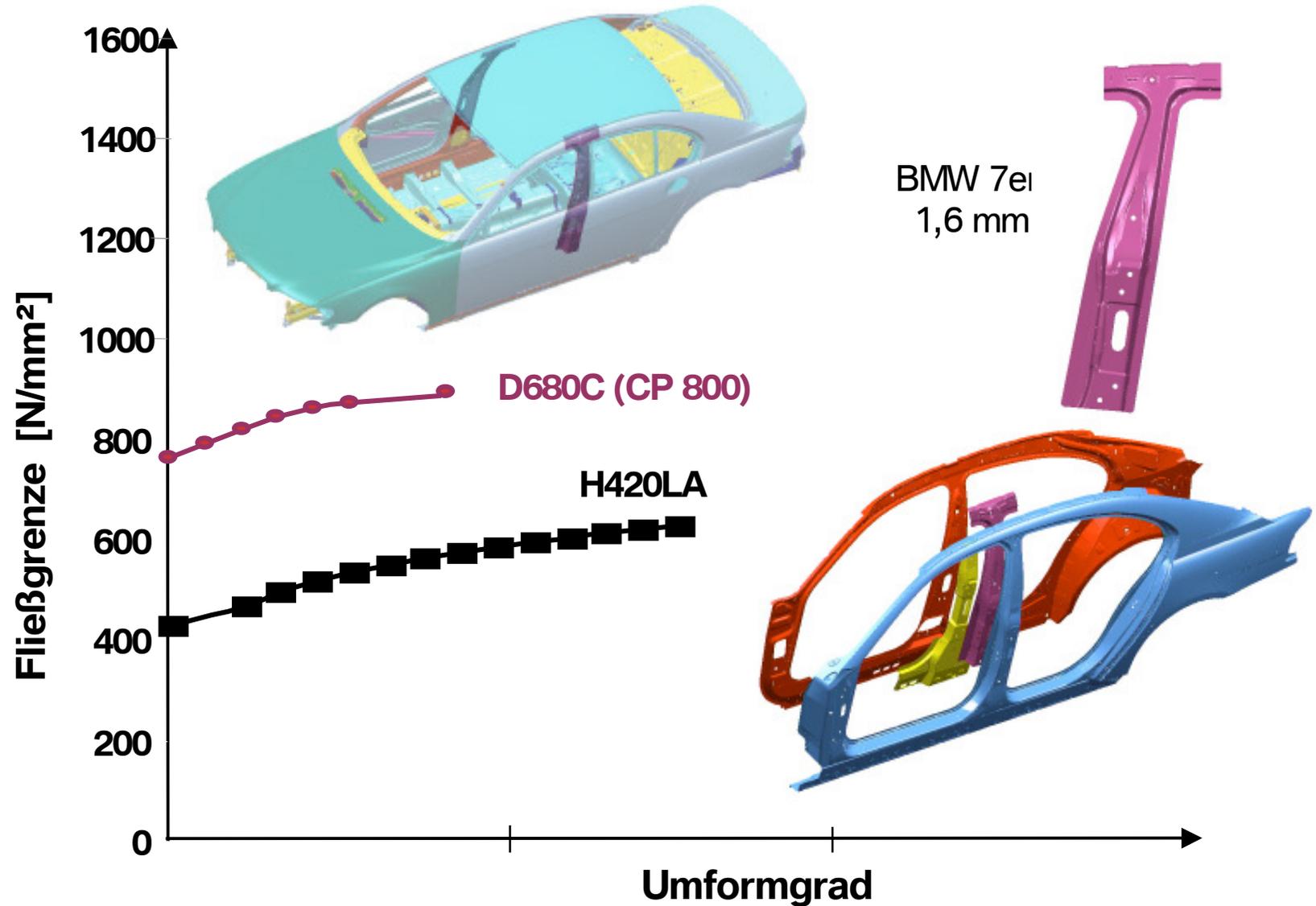
Festigkeitsklasse 500-700 MPa.

Mindeststreckgrenze	Referenz für Tiefziehen	Bake hardening bei geringer Umformung	Kaltverfestigung und bake hardening bei großer Umformung	Streckziehen	Verbesserte Umformbarkeit bei höheren Materialkosten	Deutlich bessere Umformbarkeit bei deutlich höheren Kosten
120	DC06, DX56				DC07, DX57	
140	DC04, DX54					
160	H160Y	H160B				
180	H180Y	H180B				
220	H220Y	H220B		H220I		
260	H260Y	H260B	H270X	H260I		
300		H300B	H300X	H300I		Edelstahl
340	H340LA		H340X			Edelstahl
380	H380LA					Edelstahl
420	H420LA		H400T		H400T	Edelstahl
500	H500X					
700	CP-W 800					
1000	MS-W 1200					Usibor, BTR

Anwendungsbeispiele.

Festigkeitsklasse 500 bis 700 N/mm².

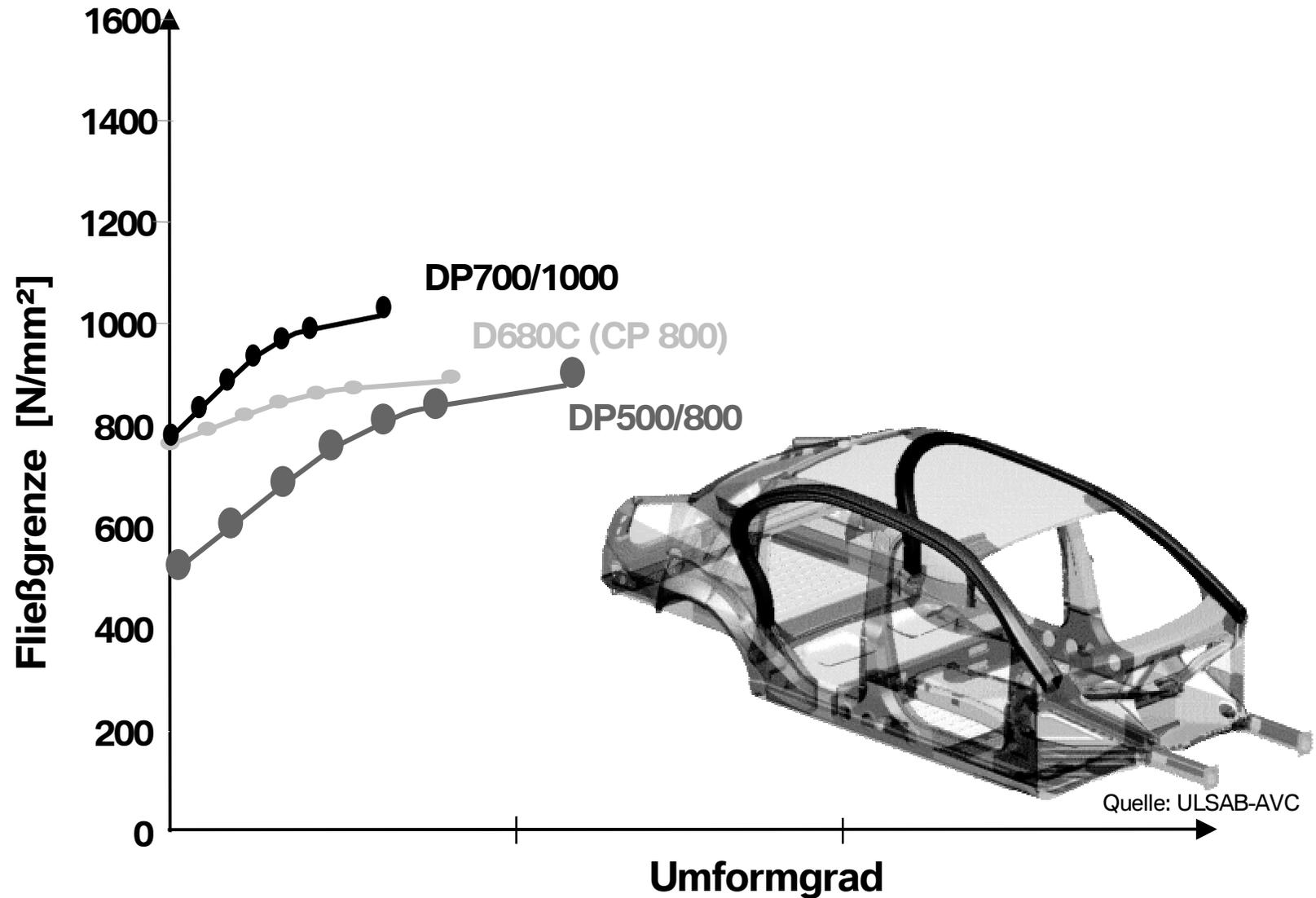
B-Säulenverstärkungen.



Anwendungsbeispiele.

Festigkeitsklasse 500 bis 700 N/mm².

Stähle aus der Studie Ulsab AVC.

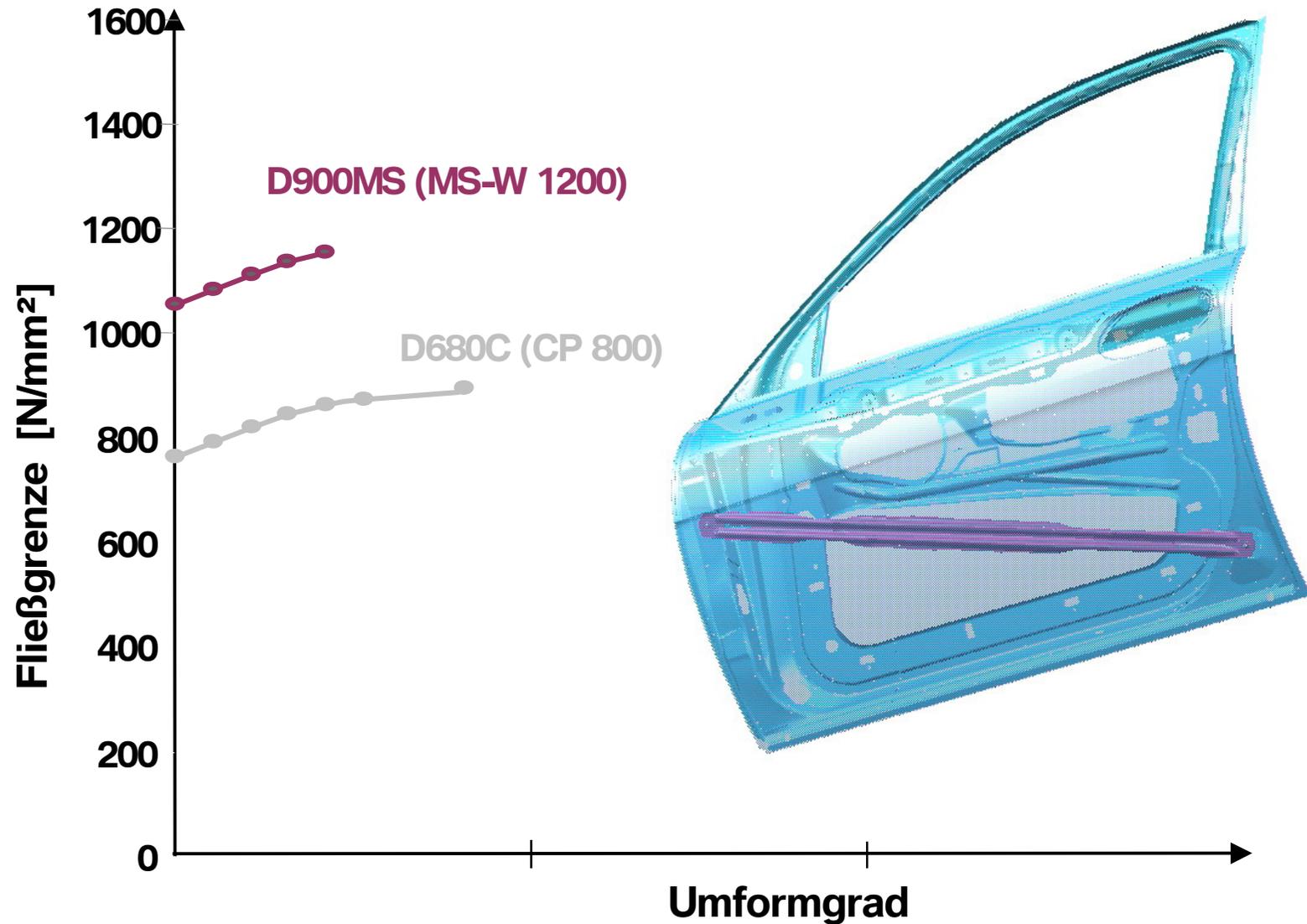


Anwendungsbeispiele.

Festigkeitsklasse über 900 N/mm².

Mindeststreckgrenze	Referenz für Tiefziehen	Bake hardening bei geringer Umformung	Kaltverfestigung und bake hardening bei großer Umformung	Streckziehen	Verbesserte Umformbarkeit bei höheren Materialkosten	Deutlich bessere Umformbarkeit bei deutlich höheren Kosten
120	DC06, DX56				DC07, DX57	
140	DC04, DX54					
160	H160Y	H160B				
180	H180Y	H180B				
220	H220Y	H220B		H220I		
260	H260Y	H260B	H270X	H260I		
300		H300B	H300X	H300I		Edelstahl
340	H340LA		H340X			Edelstahl
380	H380LA					Edelstahl
420	H420LA		H400T		H400T	Edelstahl
500	H500X					
700	CP-W 800					
1000	MS-W 1200					Usibor, BTR

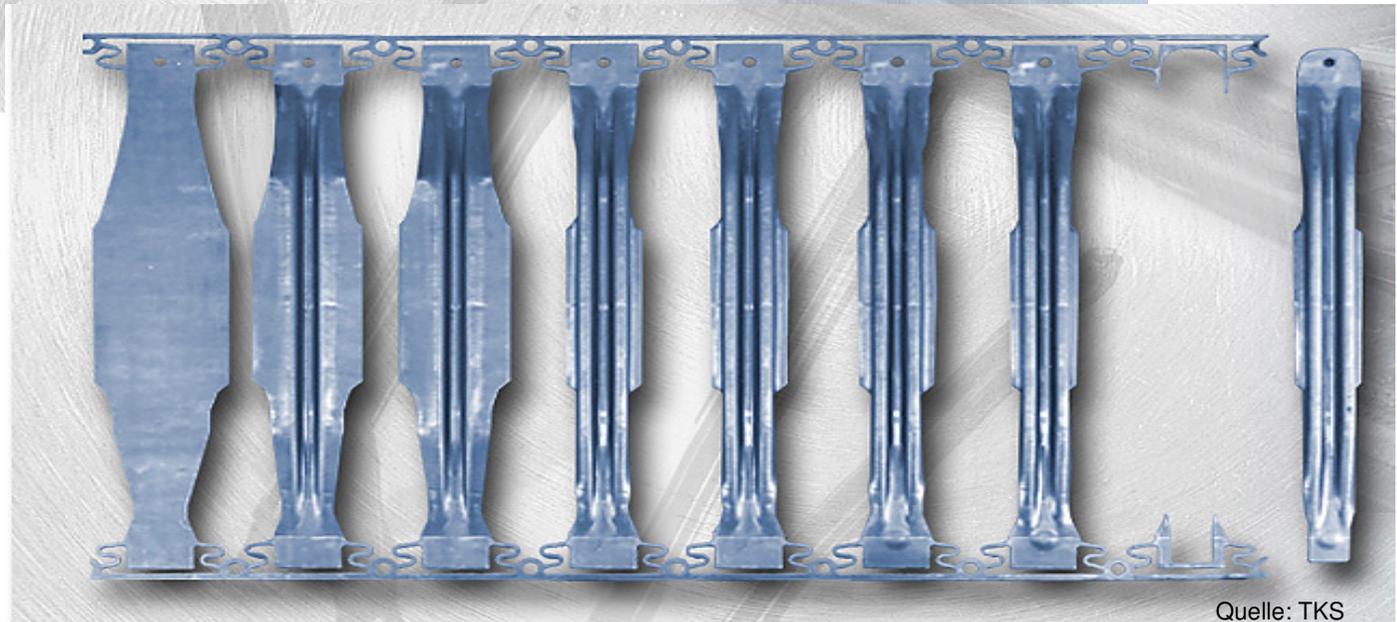
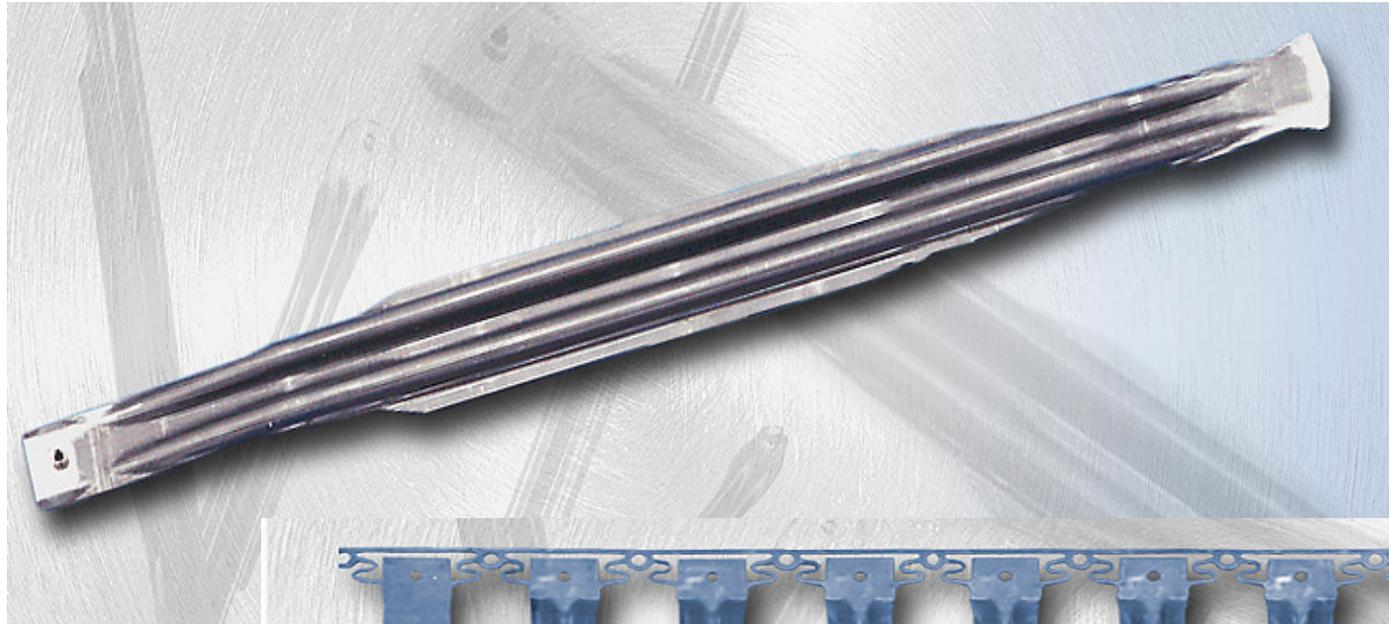
Anwendungsbeispiele. Festigkeitsklasse über 900 N/mm². Seitenaufprallträger.



Bauteilbeispiele.

Festigkeitsklasse über 900 N/mm².

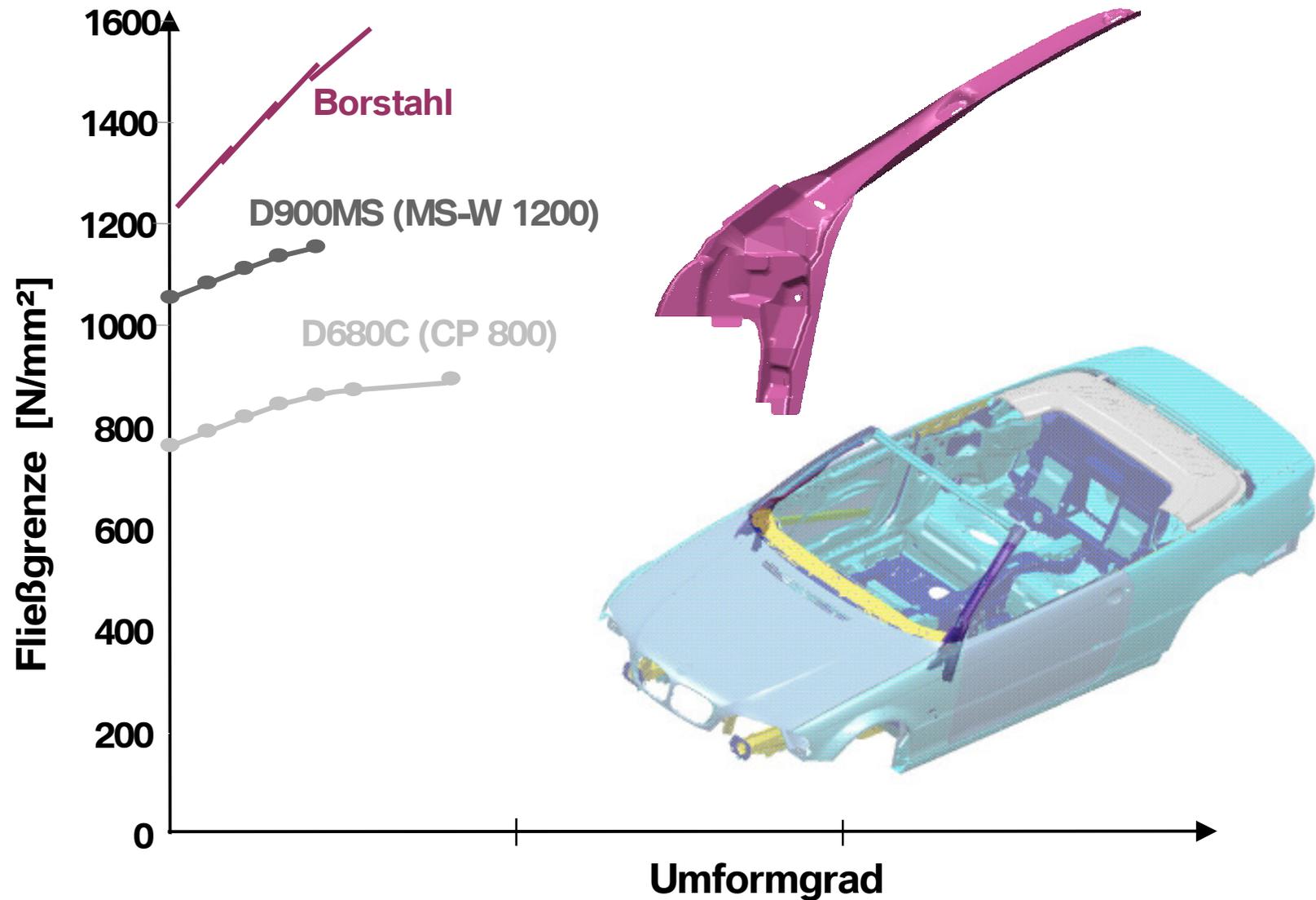
Türverstärkungen in MS-Stahl D900M.



Anwendungsbeispiele.

Festigkeitsklasse über 900 N/mm².

Warm umgeformte Verstärkung A-Säule.



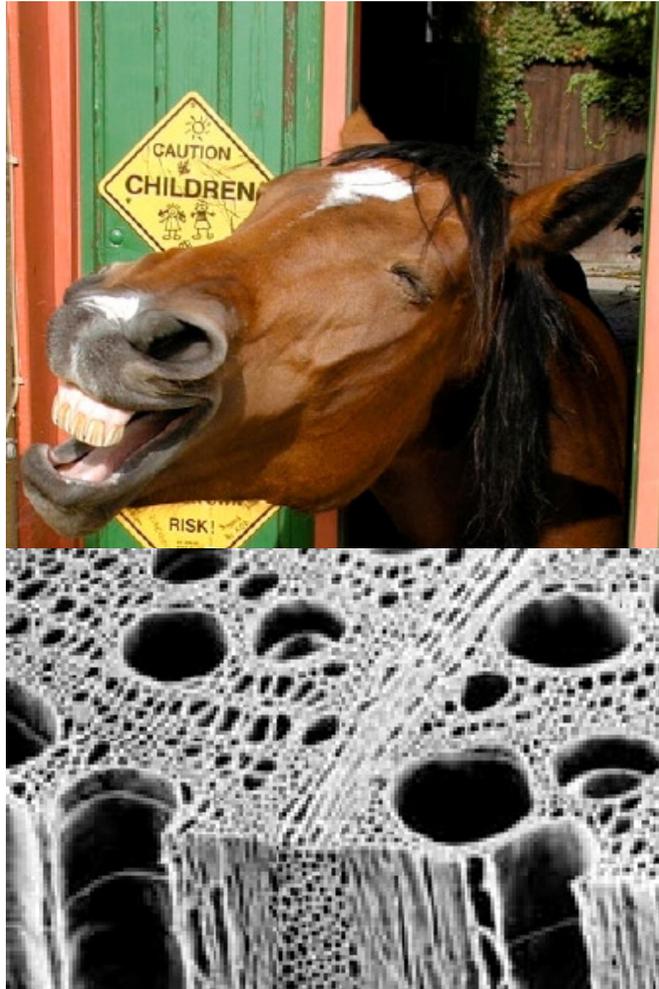
Zusammenfassung (1/3).

- Stahlleichtbau in der Karosserie ist heute Realität.
- Aktuelle und zukünftige Stahlwerkstoffe bieten zusätzliches Potenzial für kostenorientierten Stahlleichtbau.
- Die zunehmende Zahl der Werkstoffe erschwert die Werkstoffauswahl in der Konstruktion und die Absicherung der Prozesse in der Fertigung.
- Die Begrenzung der Werkstoffauswahl führt zu erhöhtem Karosseriegewicht.

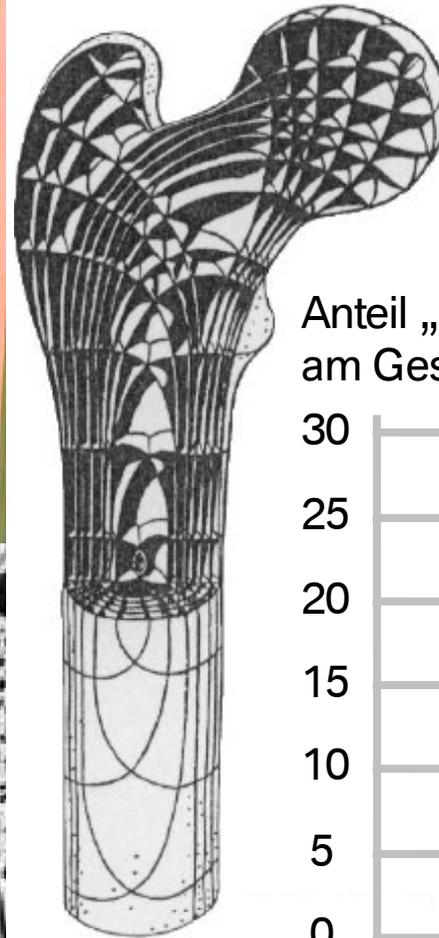
„Die Strukturen und die Produktion der Zukunft müssen Komplexität effizient beherrschen ...“

Professor Milberg 1997

Zusammenfassung (2/3). Die Natur kann es besser.

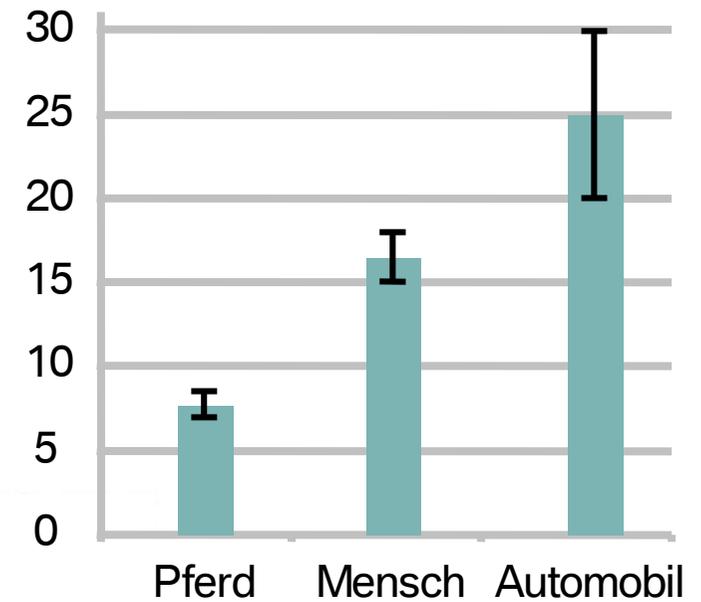


Holz



Hüftknochen

Anteil „Karosseriegewicht“
am Gesamtgewicht [%]



Quellen: EK Übergang 13.0-14.0 1. OG,
Prof. Nachtigall, pbpress

Zusammenfassung (3/3).

Wir brauchen alle Metalle.

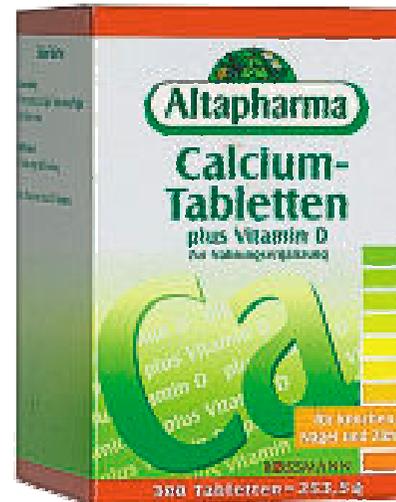
Metall-Mischbau auch im Menschen.



Bei Magenbeschwerden



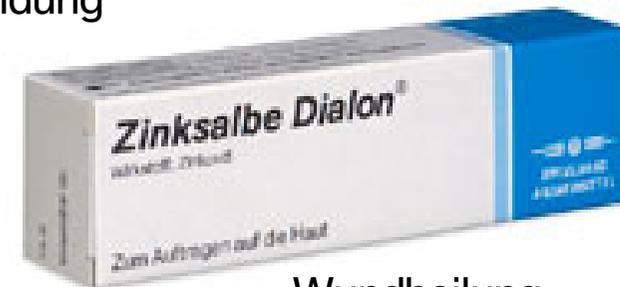
Rote Blutkörperchen



Knochenbildung



Bei körperlichen Belastungen



Wundheilung