

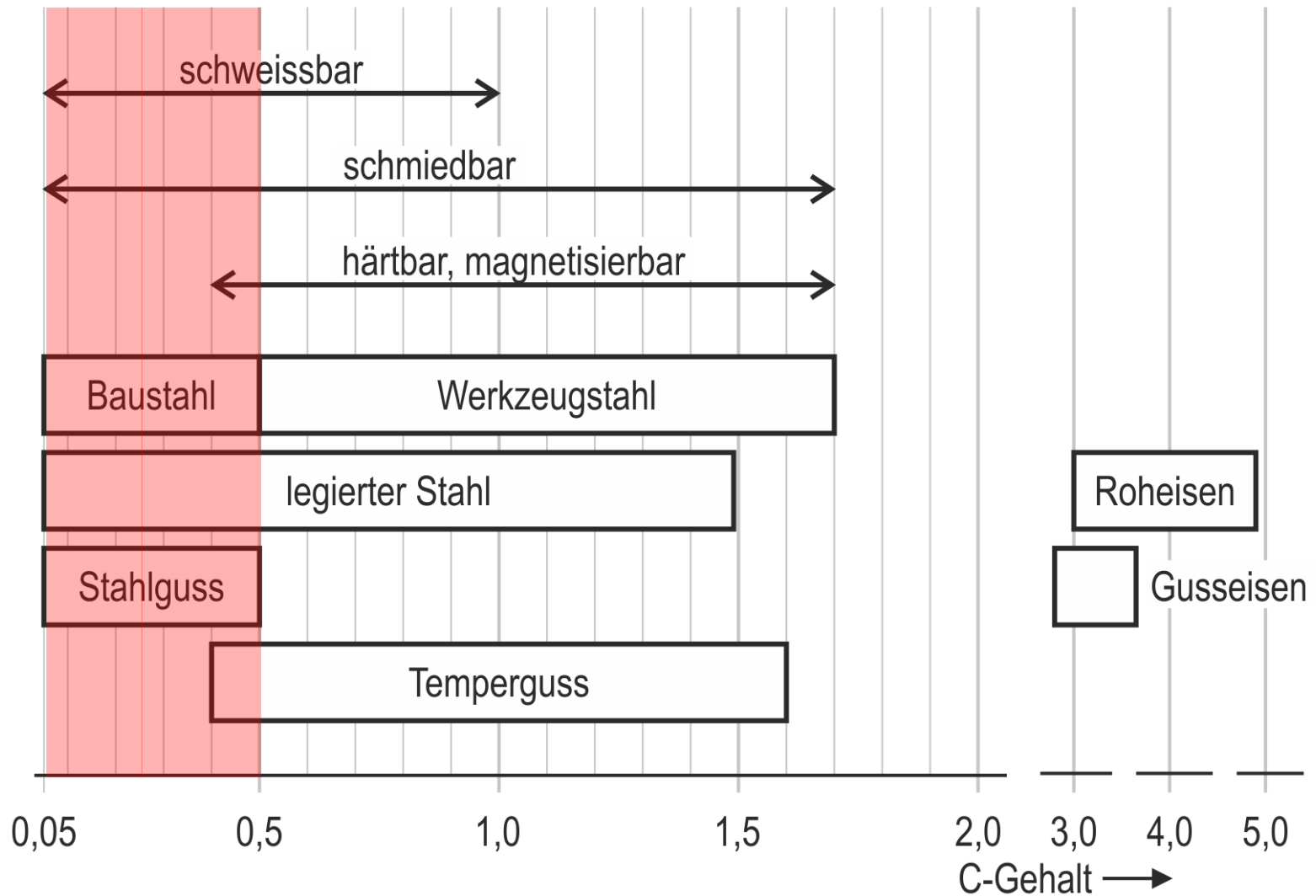
2.1.1. Einführung

2.1.2. Hauptstahlsorten für Tragwerke

2.1.3. Weitere Aspekte

2.1.4. Stahl-Differentialbauweise

Folie Einteilung der Eisenmetalle nach dem Kohlenstoffgehalt



Folie Kennzeichnung der Stähle nach DIN EN 10027-1

H: Hauptsymbol: Kennbuchstabe für Stahlgruppe + Mindeststreckgrenze in N/mm²

S 235 **JR** **+N**

Z1 **Z2**

<i>Kennbuchstabe H</i>	<i>Stahlgruppe</i>
S	Stahl für den allgemeinen Stahlbau
E	Maschinenbaustahl (Kohlenstoffstahl)
G	Stahlguss
P	Stahl für Druckbehälter
R	Stahl für und in Form von Schienen

Z1: Zusatzsymbol für Stähle: z.B. Kerbschlagarbeit u. Prüftemperatur

<i>Kennbuchstabe Z1</i>	<i>Eigenschaft</i>
JR	Kerbschlagarbeit 27 J, gepr. bei 20°C
KO	Kerbschlagarbeit 40 J, gepr. bei 0°C
N	Normalgeglüht
Q	Vergütet
W	Wetterfest

Z2: Zusatzsymbol für Stahlerzeugnisse

<i>Kennbuchstabe Z2</i>	<i>Eigenschaft</i>
+N	Normalgeglüht oder normalisierend umgeformt
+F	Feinkornstahl
+CR	Vergütet
+AT	Lösungsgeglüht

Folie Vergleich der Stahl-Bezeichner

Bezeichnung nach DIN 17 100	Werkstoff-Nummer	Bezeichnung nach EU 25	Bezeichnung nach DIN EN 10 025
St 33	1.0035	Fe 310-0	S185
St 37-2	1.0037	Fe 360 B	S235JR
USt 37-2	1.0036	Fe 360 BFU	S235JRG1
UQSt 37-2	1.0121	Fe 360 BFUKQ	S235JRG1C
RSt 37-2	1.0038	Fe 360 BFN	S235JRG2
RQSt 37-2	1.0122	Fe 360 BFNKQ	S235JRG2C
St 37-3 U	1.0114	Fe 360 C	S235J0
QSt 37-3 U	1.0115	Fe 360 CKQ	S235J0C
St 37-3 N	1.0116	Fe 360 D1	S235J2G3
	1.0117	Fe 360 D2	S235J2G4
QSt 37-3 N	1.01,18	Fe 360 D1KQ	S235J2G3C
St 44-2	1.0044	Fe 430 B	S275JR
QSt 44-2	1.0128	Fe 430 BKQ	S275JRC
St 44-3 U	1.0143	Fe 430 C	S275J0
QSt 44-3 U	1.0140	Fe 430 CKQ	S275J0C
St 44-3 N	1.0144	Fe 430 D1	S275J2G3
	1.0145	Fe 430 D2	S275J2G4
QSt 44-3 N	1.0141	Fe 430 D1KQ	S275J2G3C
	1.0045	Fe 510 B	S355JR
St 52-3 U	1.0553	Fe 510 C	S355J0
QSt 52-3 U	1.0554	Fe 510 CKQ	S355J0C
St 52-3 N	1.0570	Fe 510 D1	S355J2G3
	1.0577	Fe 510 D2	S355J2G4
QSt 52-3 N	1.0569	Fe 510 D1KQ	S355J2G3C
	1.0595	Fe 510 DD1	S355K2G3
	1.0596	Fe 510 DD2	S355K2G4
St 50-2	1.0050	Fe 490-2	E295
St 60-2	1.0060	Fe 590-2	E335
St 70-2	1.0070	Fe 690-2	E360

(Quelle: Thyssen Schulte – Normenvergleich)

Folie Einschätzung Stahl hinsichtlich Werkstoffanforderungen

Anforderung	Stahl
Festigkeit, Steifigkeit: <ul style="list-style-type: none"> – hohe Längsfestigkeit, hohe lokale Festigkeit ↔ Energieverzehbereiche – große Struktursteifigkeit (Stützweite, Überhang) ↔ definierte Elastizitäten – Strukturdämpfung 	↗
Schweißbarkeit	↗
Möglichst ebene Oberfläche¹	→
Geringe Masse → Leichtbau	↓
Wirtschaftlichkeit <ul style="list-style-type: none"> – Materialkosten – Herstellungskosten¹ → Beschleunigung der Fertigungsabläufe – Folgekosten¹ im langen Betriebszeitraum <ul style="list-style-type: none"> • Korrosionsbeständigkeit • Reparaturfreundlichkeit 	↗ ↗ → ... ↗ ↓ ... ↗ ↗

¹Einschätzung im Zusammenhang mit typischer Bauweise

DIN 5512-1:
Werkstoffe für Schienenfahrzeuge
Stähle

Teil1: Unlegierte und wetterfeste
Baustähle, warmgewalzt,

Tabelle 2: Stahlsortenauswahl

zurückgezogen 2016-06

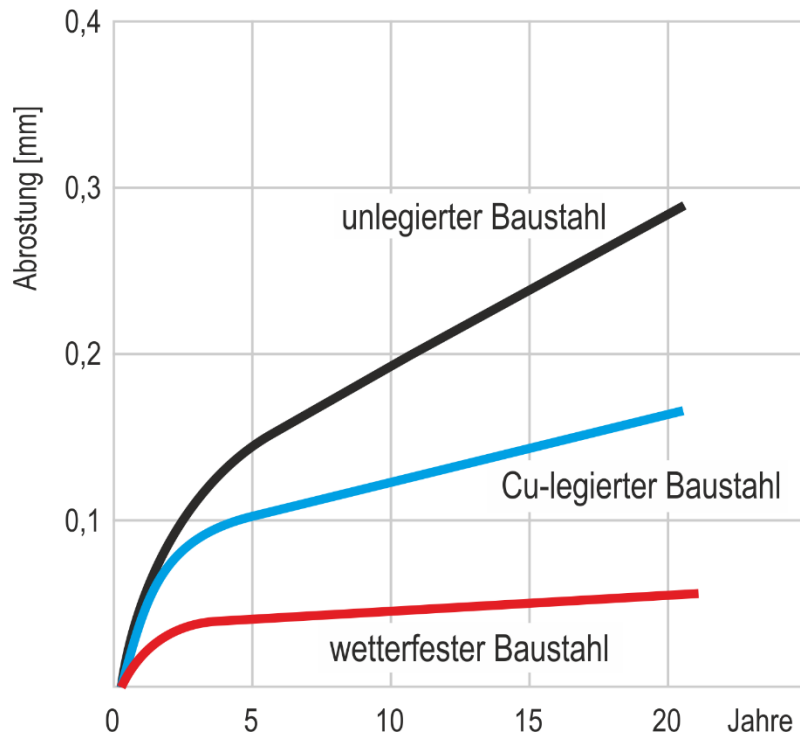
Stahlsorten	Kurzname nach DIN EN 10027-1 und DIN V 17006-100	Werkstoffnummer nach DIN EN 10027-2
Unlegierte Baustähle nach DIN EN 10025	S235JRG2	1.0038
	S235JRG2Cu ¹⁾	1.0167
	S235JRG2C ²⁾	1.0122
	S235JRG2CuC ¹⁾²⁾	1.0170
	S235J2G3	1.0116
	S235J2G3Cu ¹⁾	1.0166
	S235J2G3C ²⁾	1.0118
	S235J2G3CuC ¹⁾²⁾	1.0171
	S355J2G3	1.0570
	S355J2G3Cu ¹⁾	1.0585
	S355J2G3C ²⁾	1.0569
	S355J2G3CuC ¹⁾²⁾	1.0587
Wetterfeste Baustähle nach DIN EN 10155	S235J2W ³⁾	1.8961
	S355J2G1W ³⁾	1.8963
	S355J2WP	1.8946
<p>¹⁾ Das Cu im Kurznamen bedeutet nach 7.3.2 (zusätzliche Anforderung 4) von DIN EN 10025:1994-03 die Vereinbarung eines Massenanteils an Kupfer von 0.25 % bis 0,40%.</p> <p>²⁾ Bezeichnung mit zusätzlichem Kennbuchstaben C für die Eignung zum Abkanten nach Tabelle 7 von DIN EN 10025:1994-03.</p> <p>³⁾ Bezeichnung mit zusätzlichem Kennbuchstaben C für die Eignung zum Abkanten nach Tabelle 7 von DIN EN 10155:1993-08</p>		

Folie Vergleich Stahlwerkstoffe (I)

	Allgemeiner Baustahl	Hochfester schweißbarer Baustahl – Feinkornbaustahl	Wetterfester Baustahl	Korrosionsbeständiger „nichtrostender“ Stahl
Vorschriften	DIN 5512-...: Werkstoffe für Schienenfahrzeuge – Stähle:			
	Teil 1: Unlegierte und wetterfeste Baustähle, warmgewalzt – Auswahlnorm	Teil 4: Feinkornbaustahl zurückgezogen 2016-06	Unlegierte und wetterfeste Baustähle, warmgewalzt – Auswahlnorm	Teil 3: Flacherzeugnisse aus nichtrostenden Stählen – Auswahlnorm
	DIN EN 10025-...: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen			DIN EN 10088: „Nichtrostende Stähle – Teil 1 ... 5
	Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle	Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle	Teil 5: Technische Lieferbedingungen für wetterfeste Baustähle	
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> ca. 70 % Weltstahlproduktion Un- bzw. niedriglegierter Grund- und Qualitätsstahl C: 0,15 ... 0,50 % Sfz: nach DIN 5512: Desoxidation (beruhigen) vorgeschrieben 	<ul style="list-style-type: none"> Niedriglegierter Grund- und Qualitätsstahl C: 0,16 ... 0,20 % Hochfest = Streckgrenzen bis 460 MPa Feinkorn ← doppeltes Beruhigen mit Si u. Al Grundsätzlich normalgeglüht bzw. normalisierend gewalzt → Symbol „N“ Tieftemperatureinsatz (gute Kaltzähigkeit) → Symbol „L“ 	<ul style="list-style-type: none"> Legierter Grund- und Qualitätsstahl C: ≤ 0,16 % Wetterfest → Symbol „W“: <ul style="list-style-type: none"> Legierung von Cu, Cr, P, Si, Ni <ul style="list-style-type: none"> fest anheftende Schutzschicht erhöhte Beständigkeit gegen atmosphärische Korrosion Verzicht auf Korrosionsschutz möglich (geeignete Bedingungen!) Ausbildung Schutzschicht 1,5 ... 3,5 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> Hochlegierter Edelstahl → Symbol „X“ C: ≤ 0,1 % Korrosionsbeständigkeit: <ul style="list-style-type: none"> Cr-Gehalte > 10,5 % → chromoxidreiche sehr dünne transparente „Passivschicht“ mit Selbstreparaturmechanismus Weitere: z.B. Ni, Mo Einteilung nach Gefügeausbildung in vier Gruppen
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> Gute Festigkeit Gute Zähigkeit Korrosionsanfällig auch unter normalen Umweltbedingungen <ul style="list-style-type: none"> Korrosionsschutzmaßnahmen (Beschichtung, Cu) 	<ul style="list-style-type: none"> Höhere Festigkeit/Zähigkeit <ul style="list-style-type: none"> dünnere Querschnitte (→ Masseinsparung) elastischere Konstruktionen Hohe Verschleißfestigkeit Alterungsunempfindlichkeit (Al) Problem: temperaturinduzierte Versprödung 	<ul style="list-style-type: none"> Eigenschaften vergleichbar Feinkornbaustahl Korrosionswiderstand: <ul style="list-style-type: none"> 4...6mal normaler Baustahl 2...3mal gekupferter Baustahl Konstruktionsgrundsätze beachten → ungehinderte Bildung/Erneuerung der Oxidschicht ermöglichen 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Korrosionsbeständigkeit auch gegen aggressive Medien Hohe Dehngrenze, hohe Dehnungswerte Hohe Dauerfestigkeit bei allen Beanspruchungsfällen Hohe Abriebfestigkeit

Folie Korrosionsgeschwindigkeit Baustahl

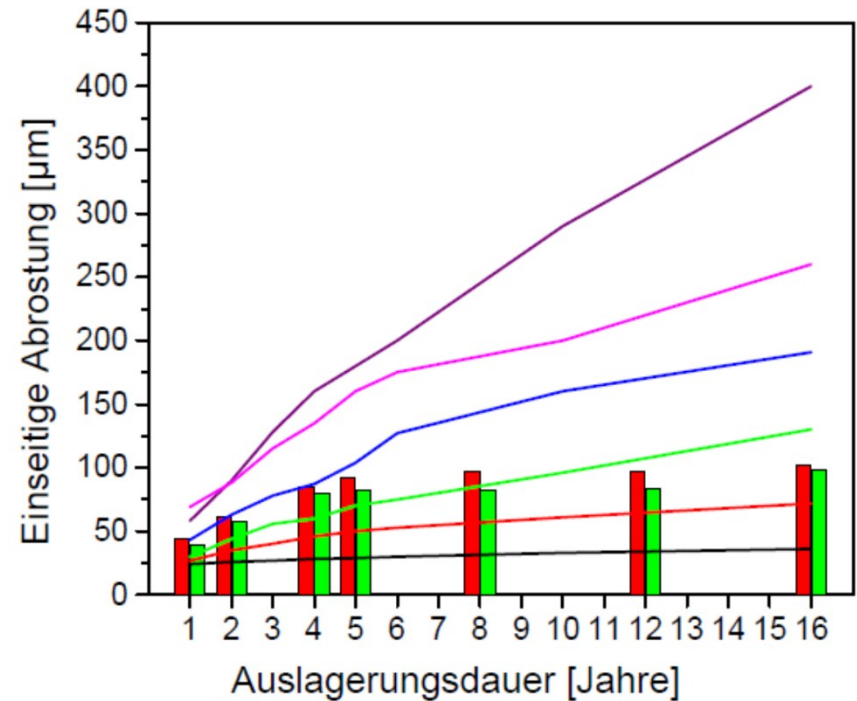
Korrosionsgeschwindigkeit Baustähle in schwefelhaltiger Umgebung



Korrosionsgeschwindigkeit wetterfester Baustahl

L-, S-, I-: Land-, Stadt-, Industrielatmosphäre

SXX, NXX: Probenausrichtung + Neigungswinkel in Grad



Vergleich nach DAST 007

— South Bend, L-S30

— Olpe, L-S45

— Cuxhaven, S-S45

— Oberhausen, I-N90

— Herford, im Spritzwasserbereich einer Brücke

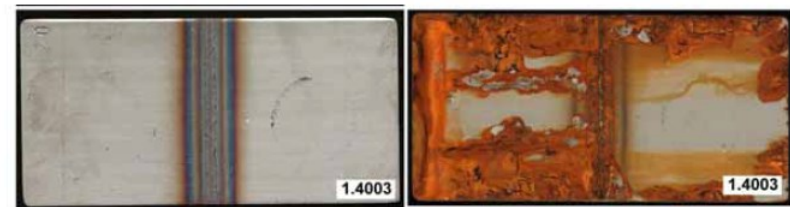
Versuche DH-GTS, Dillingen, I-S45

■ S235JRW

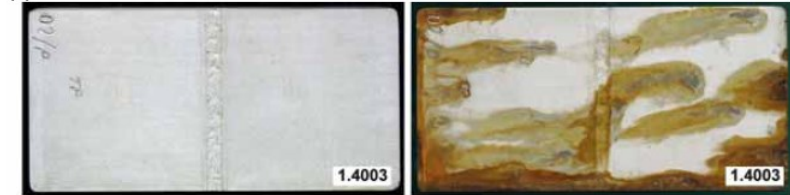
■ S355J2G1W

(Quelle: nach SSAB Swedish Steel GmbH, Dillinger Hütte GTS)

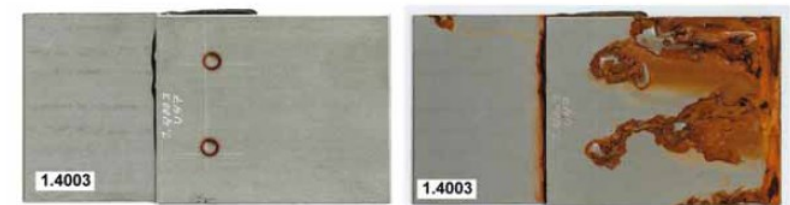
Folie Lokale Korrosion/Verfärbung



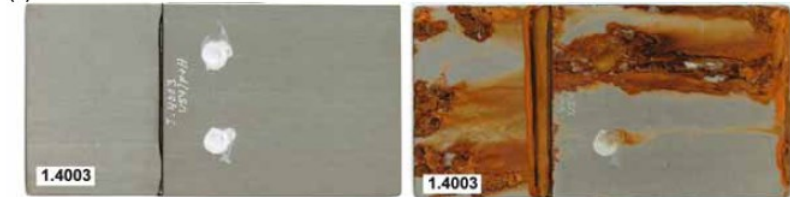
(a)



(b)



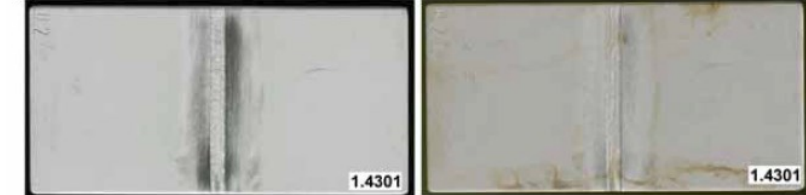
(c)



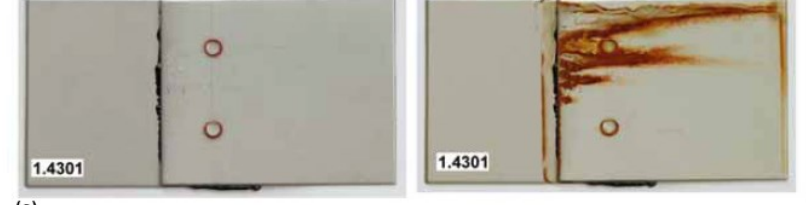
(d)



(a)



(b)



(c)



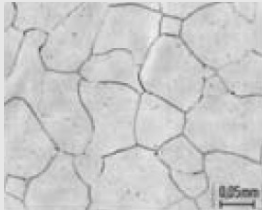

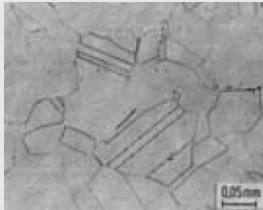
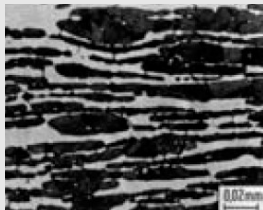
(d)

Lokale Korrosion/Verfärbung vor (jew. links) + nach (jew. rechts) 500-h-Spray-Test mit CaCl_2 (20°C)

- a) Plasma-Pulver-Schweißen, nicht nachbehandelt
- b) Plasma-Pulver-Schweißen, Nachbehandlung Beizen
- c) Punktschweißen + Kleben, nicht nachbehandelt
- d) Punktschweißen + Kleben, Nachbehandlung Beizen

(Quelle: INSAPTRANS)

Folie Typische Gefügeausbildung bei nichtrostenden Stahlsorten

Gefüge	ferritisch	martensitisch	austenitisch	austenitisch-ferritisch
C-Gehalt	ca. 0,07 %	≤ 0,1 %	≤ 0,07 %	≤ 0,07 %
Cr-Gehalt	11 % - 17 %	12 % - 18 %	≥ 18 %	≥ 18 %
Ni-Gehalt	≤ 1 %	≤ 6 %	≥ 8 %	≥ 8 %
Korrosionsbeständigkeit	gut bis sehr gut	gering bis gut	sehr gut	sehr gut
Festigkeit	gut	hoch	hoch	sehr hoch
Schweißbarkeit	gering bis gut	nicht bis gut	gut bis sehr gut	gering bis sehr gut
Bemerkungen	<ul style="list-style-type: none"> – nicht für Schwing-/Schlagbeanspruchung geeignet – magnetisch 	<ul style="list-style-type: none"> – hohe Verschleißfestigkeit (Schiffspropeller, Rasierklingen ...) – magnetisch 	<ul style="list-style-type: none"> – nicht härtbar – hohe Kaltverfestigungsneigung – problematische Spanbarkeit – größter Anwendungsbereich – nicht magnetisch 	<ul style="list-style-type: none"> – Kombination der besten Eigenschaften ferritisch + austenitisch – für dynamisch hoch belastete Strukturen (Einlassventile, ...)
Bsp.	 <p>X3CrNb17 (1.4511)</p>	 <p>X3CrNiMo13-4 (1.4313)</p>	 <p>X5CrNi18-10 (1.4301)</p>	 <p>X2CrNiMoN22-5-3 (1.4462)</p>
Sfz-Tragwerke	1.4003 (X2CrNi12/X2Cr11)		1.4301 (X5CrNi18-10) 1.4318 (X2CrNi18-7)	

(Quelle: nach Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Merkblatt 821 / 914)

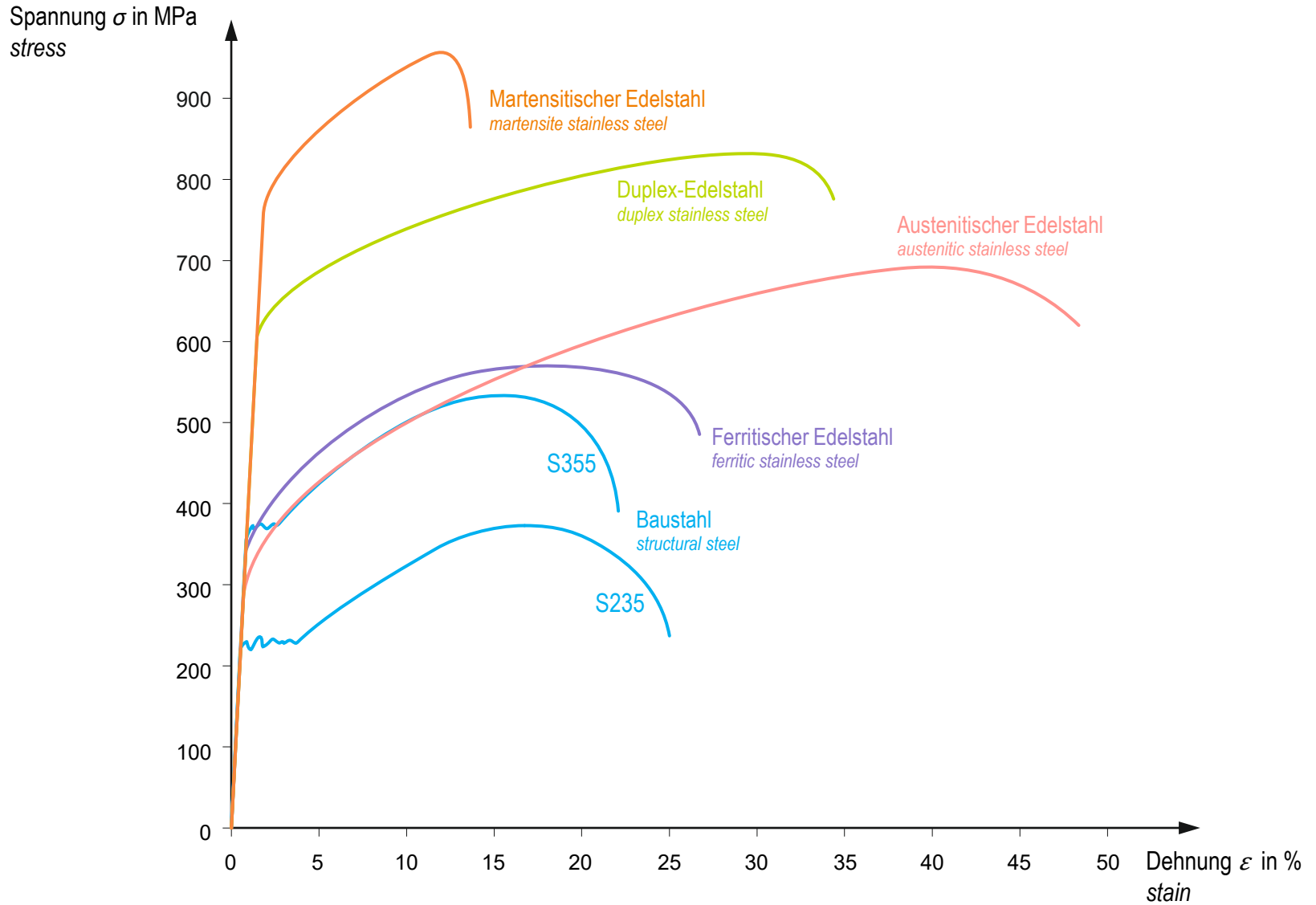
Folie Vergleich Stahlwerkstoffe (II)

	Allgemeiner Baustahl	Hochfester schweißbarer Baustahl – Feinkornbaustahl	Wetterfester Baustahl	Korrosionsbeständiger „nichtrostender“ Stahl
Verarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Verarbeitbarkeit abhängig von Gehalt an nichtmetallischen Verunreinigungen • <u>Nicht</u> uneingeschränkt schweißbar (CEV) 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhter Kraftbedarf bei Umformung, größere Biegeradien • Gute Schweißleistung, bei höheren Festigkeit (>360 MPa) und Bauteildicken ggf. vorwärmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Schweißbarkeit, aber wetterfestes Schweißgut verwenden • Besondere Vorsichtsmaßnahmen beim Schweißen und Abkanten der WP-Stahlsorten mit hohem Phosphorgehalt 	<ul style="list-style-type: none"> • Beste Verarbeitbarkeit • Schweißbarkeit (außer martensitische bei üblichen Schmelz- und Widerstandsschweißverfahren gegeben (Autogenschweißen ungünstig!) <ul style="list-style-type: none"> ○ Geeignete Schweißzusätze ○ Optimierte Schweißtechniken ○ Sorgfältige Nachbearbeitung (Anlauffarben!)
Anwendung	In allen Bereichen	<ul style="list-style-type: none"> • Anwendung günstig bei zug- und biegebeanspruchten Bauteilen ohne Stabilitätsnachweis • Fahrzeuge ← Masseinsparung • Bsp.: <ul style="list-style-type: none"> ○ IORE-Doppellokomotiven LKAB (Schweden) Wagenkasten aus S355 NL ○ Hochbelastete Rahmenbereiche Voith Gravita 	<ul style="list-style-type: none"> • Anwendung dort, wo: <ul style="list-style-type: none"> ○ äußeres Erscheinungsbild nicht leidet → dunkelbraun-violette genarbte Oberfläche ○ Eigenschaften den wesentlich teureren rostfreien Edelstahl ersetzen können • Bsp.: <ul style="list-style-type: none"> ○ Offene Gwg, Funkenschutzbleche Dachbleche ○ Reisezugwagen: Fußboden-Sickenbleche 	<ul style="list-style-type: none"> • Anwendung wegen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Korrosionsbeständigkeit ○ Günstiger Festigkeitseigenschaften • Bsp.: <ul style="list-style-type: none"> ○ Beblechung „Silberlinge“ (1961 ... 1980: 7000 Stck.) ○ ICE1/2-Triebkopf: Beblechung 1.4301 ○ BT Elektrischer Triebzug CONTESSA (Öresund-Querung): Kompletter Wagenkasten, hauptsächlich gepunktet, unlackiert
Typische Vertreter	<p>S235:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gut schweißbar • Hohes plastisches Formänderungsvermögen • Gutmütig bei dyn. Belastung 	Nach DIN 5512-4 für „fahrzeugbaulichen Teil der Schienenfahrzeuge“ als „schweißgeeignete Feinkornbaustähle ... in Frage kommend“: S275N, S275NL, S355N, S355NL	S235..W, S355...W, S355...WP	<ul style="list-style-type: none"> • 1.4003 = X2CrNi12 o. X2Cr11 → Ferrit. nichtrostender Stahl • 1.4301 = X5CrNi18-10 → Austenit. nichtrostender Stahl • 1.4318 = X2CrNi18-7 → Austenit. nichtrostender Stahl

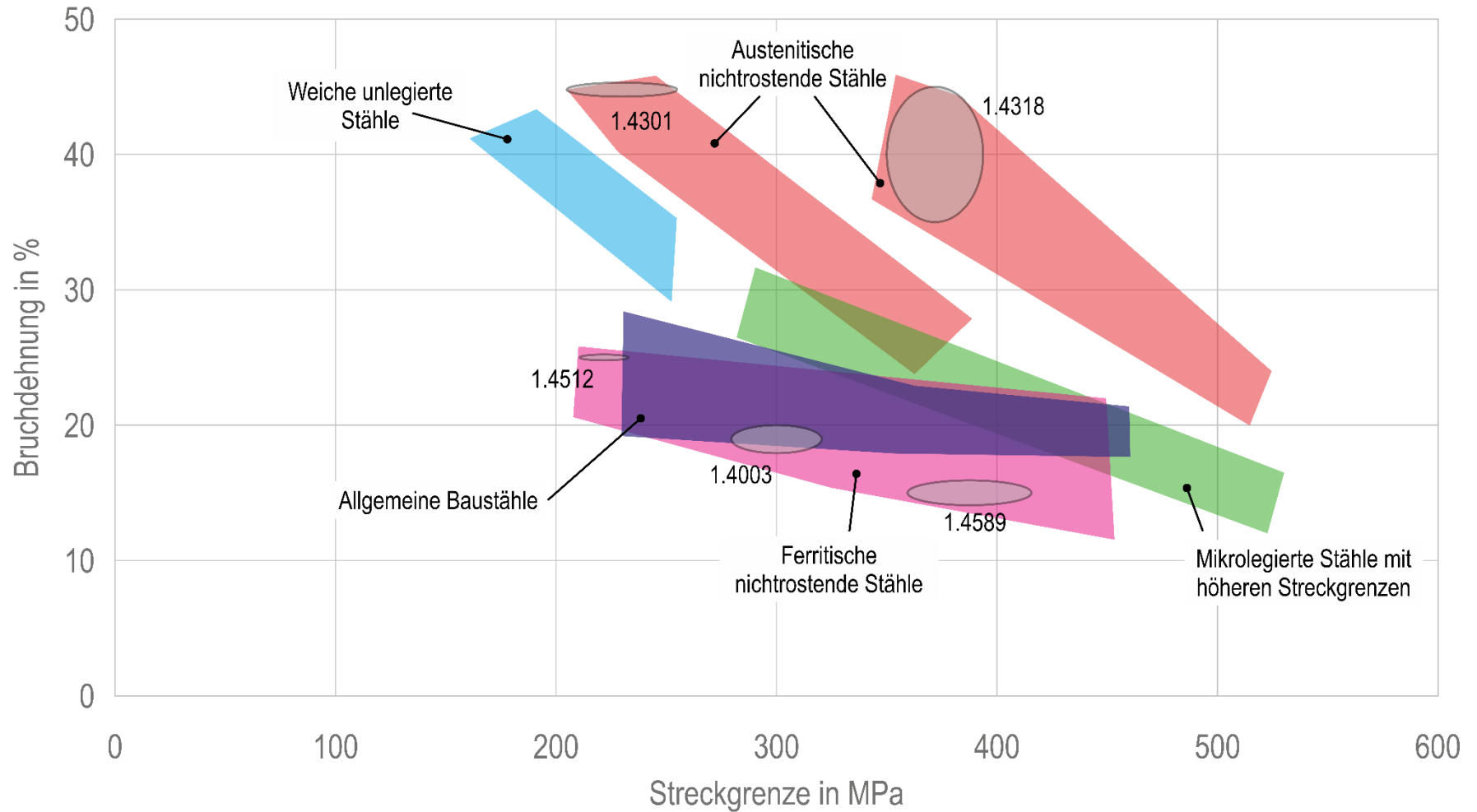
Folie Vergleich allgemeiner Baustahl – korrosionsbeständiger Stahl

Eigenschaft		Allgemeiner Baustahl	Korrosionsbeständiger Stahl			
			ferritisch	martensitisch	austenitisch	austenitisch-ferritisch
Beispiel		S235JRG2	1.4003 (X2CrNi12)	1.4313 (X3CrNiMo13-4)	1.4301 (X5CrNi18-10)	1.4462 (X2CrNiMoN22-5-3)
Wärmeleitfähigkeit	W/m·K	50	25	25	15	15
Elektr. Widerstand	$\rho \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0,15	0,6	0,6	0,73	0,8
Wärmeausdehnung	K^{-1}	$12 \cdot 10^{-6}$	$11 \cdot 10^{-6}$	$11 \cdot 10^{-6}$	$17 \cdot 10^{-6}$	$17 \cdot 10^{-6}$
Magnetisierbarkeit		ja	ja	ja	nein	ja
Härtbarkeit		>0,3 % C	>0,3 % C	ja	nein	nein
Streckgrenze	MPa	>235	>270	>550	>195	>450
Zugfestigkeit	MPa	>360	>600	>780	>500	>650
Bruchdehnung A5	%	>25	>20	>17	>45	>30
Elastizitätsmodul	GPa	210	220	200	200	200

Folie Spannungs-Dehnungs-Diagramm Stahl

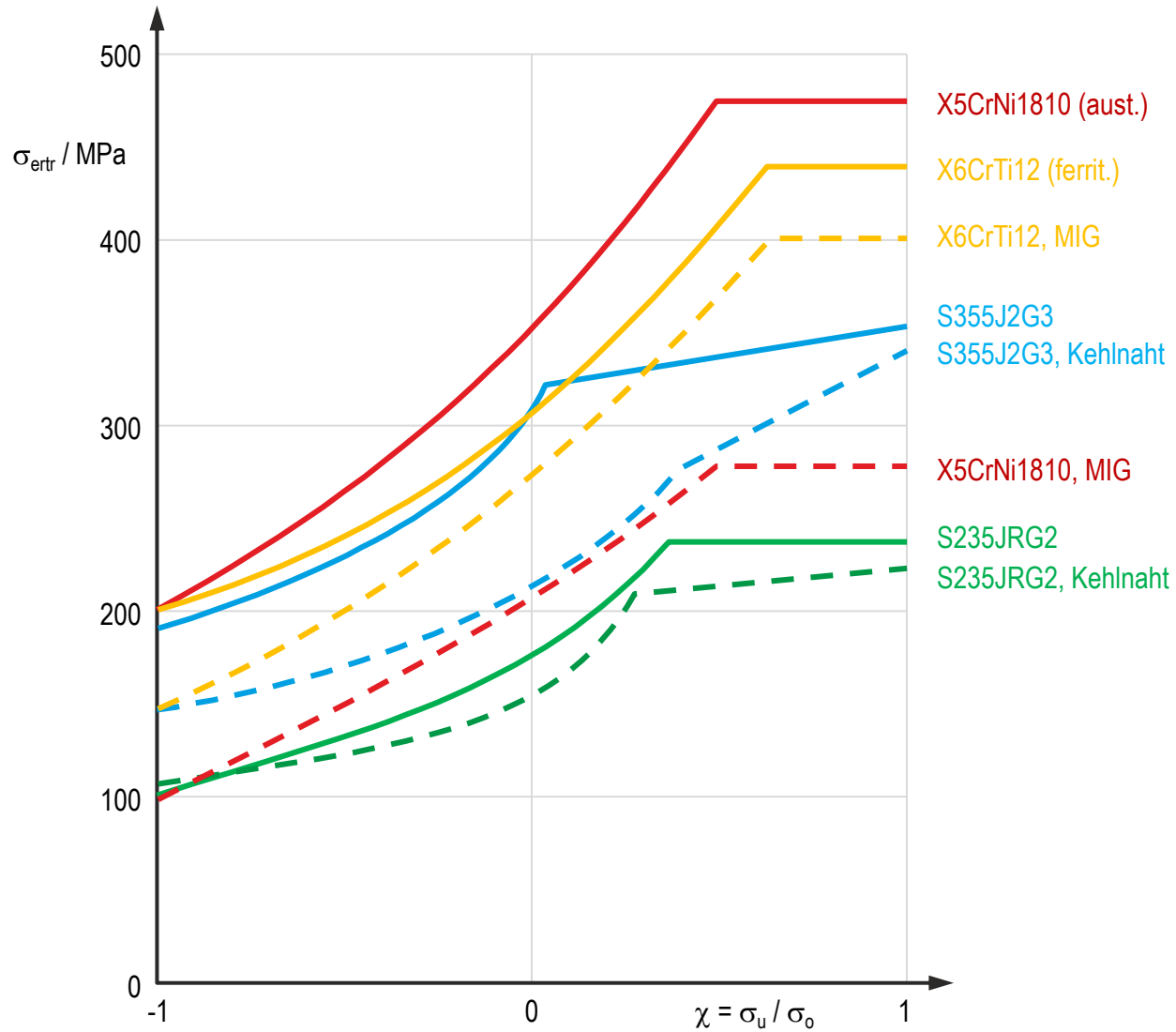


Folie Stähle im Schienenfahrzeugbau



(Quelle: nach Cabos: Werkstoffe für Schienenfahrzeuge ETR (1992)11)

Folie Vergleich unlegierter – hochlegierter Stahl – MKJ-Diagramm



Folie Mechanische Eigenschaften von unlegierten Baustählen

Tabelle 6 — Mechanische Eigenschaften – Zugversuchseigenschaften bei Raumtemperatur für Stahlsorten S235 bis S500

Bezeichnung		Mindeststreckgrenze R_{eH} ^a									Zugfestigkeit R_m ^a				
		MPa Nenn-dicken mm									MPa ^b Nenn-dicken mm				
Kurzname	Werkstoff- nummer	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400
S235JR	1.0038	235	225	215	215	215	195	185	175	165	360 bis 510	360 bis 510	350 bis 500	340 bis 490	330 bis 480
S235J0	1.0114														
S235J2	1.0117														
S275JR	1.0044	275	265	255	245	235	225	215	205	195	430 bis 580	410 bis 560	400 bis 540	380 bis 540	380 bis 540
S275J0	1.0143														
S275J2	1.0145														
S355JR	1.0045	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 bis 680	470 bis 630	450 bis 600	450 bis 600	450 bis 600
S355J0	1.0553														
S355J2	1.0577														
S355K2	1.0596														
S460JR ^b	1.0507	460	440	420	400	390	390	—	—	—	—	550 bis 720	530 bis 700	—	—
S460J0 ^b	1.0538														
S460J2 ^b	1.0552														
S460K2 ^b	1.0581														
S500J0 ^b	1.0502	500	480	460	450	450	450	—	—	—	—	580 bis 760	560 bis 750	—	—

^a Für Blech, Band und Breitflachstahl in Breiten ≥ 600 mm gilt die Richtung quer (t) zur Walzrichtung. Für alle anderen Erzeugnisse gelten die Werte in Walzrichtung (l).

^b Nur für Langerzeugnisse anzuwenden.

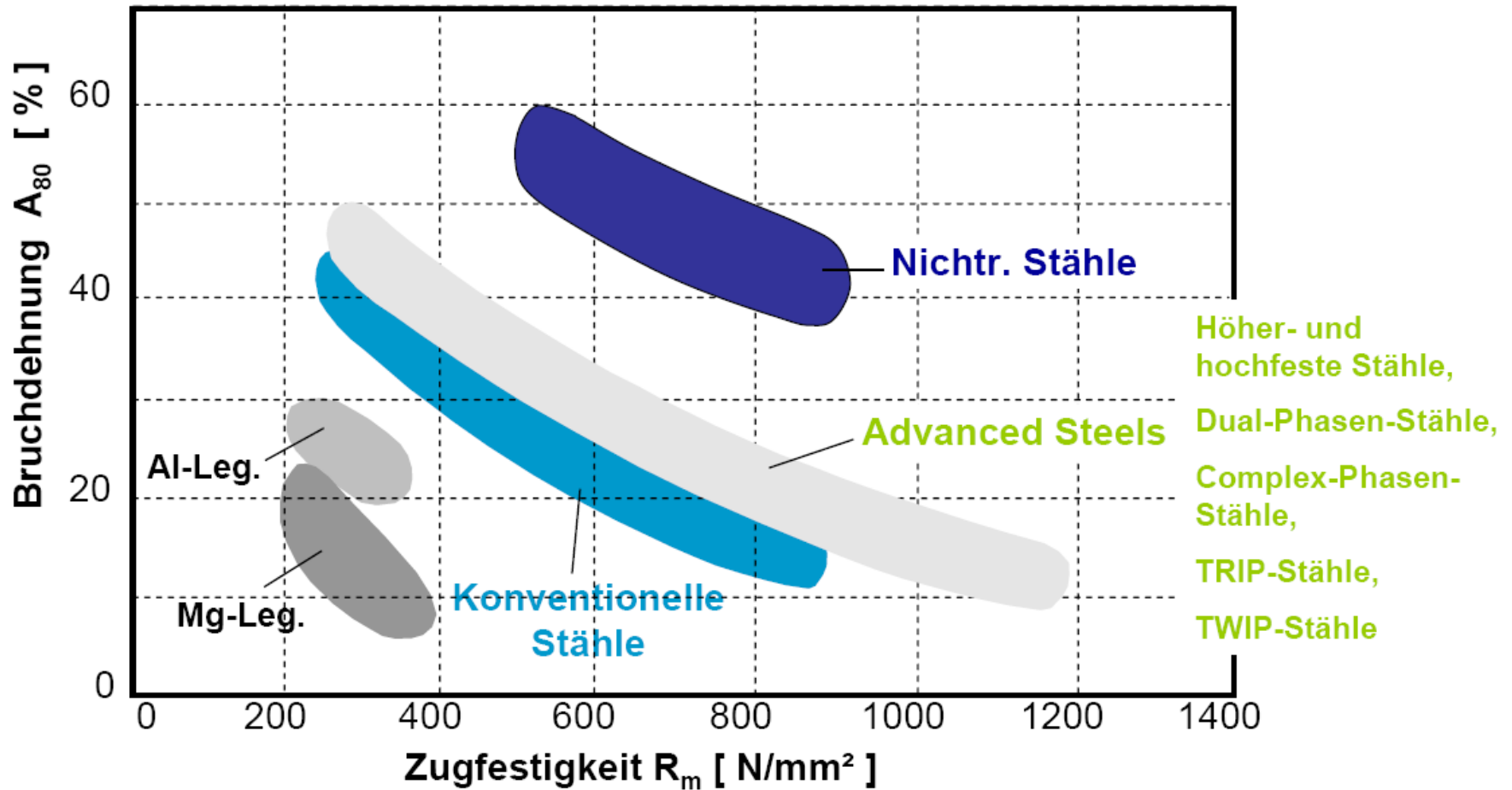
Bezeichnung		Proben- richtung a	Mindestbruchdehnung ^a											
			$L_0 = 80$ mm Nenn-dicke mm						$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ Nenn-dicke mm					
Kurzname	Werkstoff- nummer		≤ 1	> 1 ≤ 1,5	> 1,5 ≤ 2	> 2 ≤ 2,5	> 2,5 < 3	≥ 3 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400	
S235JR	1.0038	l	17	18	19	20	21	26	25	24	22	21	21	
S235J0	1.0114		t	15	16	17	18	19	24	23	22	22	21	21
S235J2	1.0117													
S275JR	1.0044	l	15	16	17	18	19	23	22	21	19	18	18	
S275J0	1.0143		t	13	14	15	16	17	21	20	19	19	18	18
S275J2	1.0145													
S355JR	1.0045	l	14	15	16	17	18	22	21	20	18	17	17	
S355J0	1.0553		t	12	13	14	15	16	20	19	18	18	17	17
S355J2	1.0577													
S355K2	1.0596													
S460JR ^b	1.0507	l	—	—	—	—	—	17	17	17	17	—	—	
S460J0 ^b	1.0538													
S460J2 ^b	1.0552													
S460K2 ^b	1.0581													
S500J0 ^b	1.0502	l	—	—	—	—	—	15	15	15	15	—	—	

^a Für Blech, Band und Breitflachstahl in Breiten ≥ 600 mm gilt die Richtung quer (t) zur Walzrichtung. Für alle anderen Erzeugnisse gelten die Werte in Walzrichtung (l). Im Fall von Blechen, verwendet für die Herstellung von warmgewalzten Blechen mit Muster, gilt die Dehnung nur für das Grundblech und nicht für die endgültig hergestellten warmgewalzten Bleche mit Muster.

^b Nur für Langerzeugnisse anzuwenden.

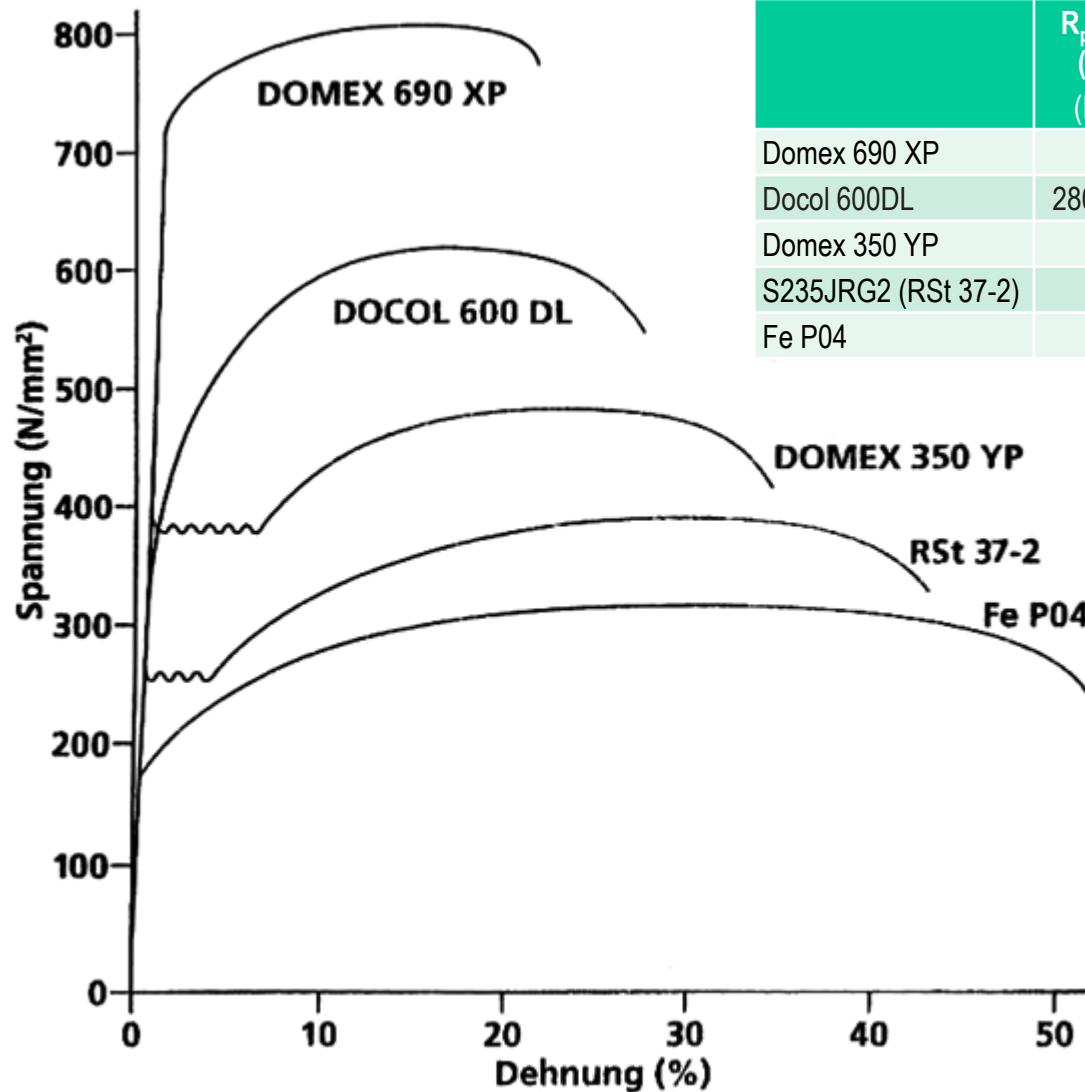
(Quelle: DIN EN 10025-2:2019-10)

Neue Stahlsorten bieten ein einzigartiges Leistungsspektrum



(Quelle: Floßdorf, Wieland, 2003)

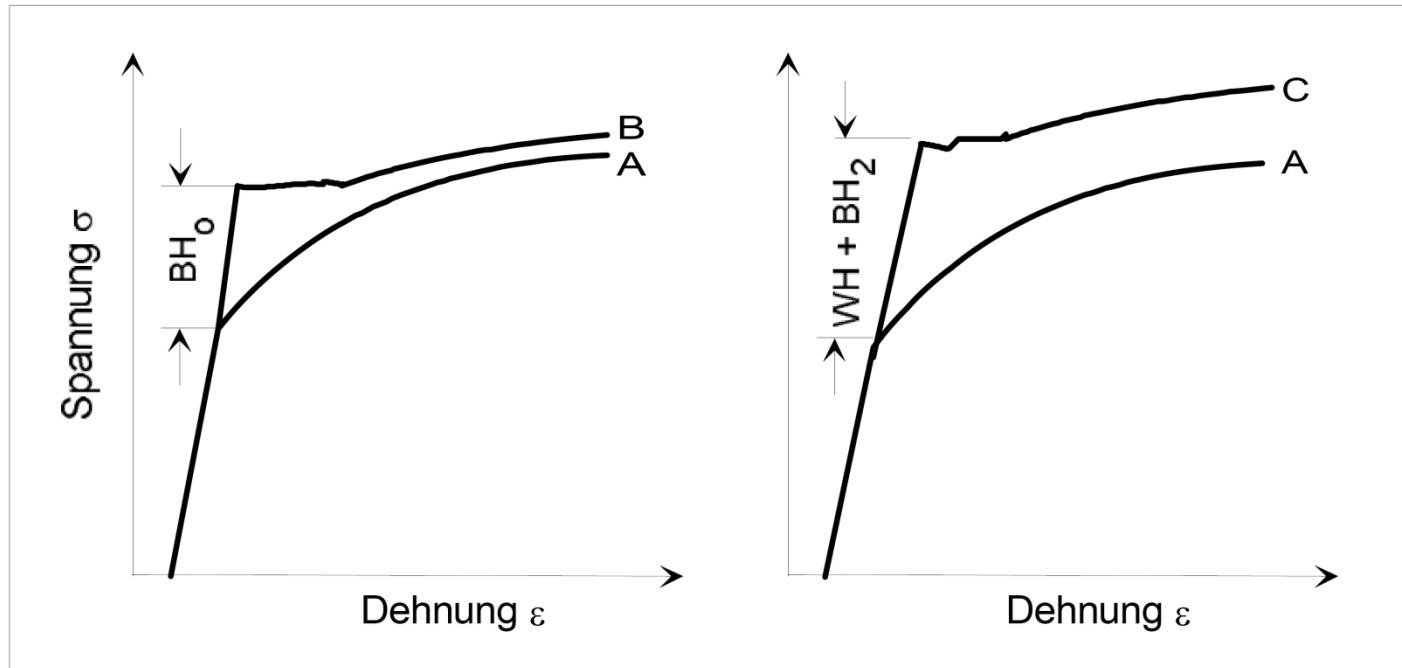
Folie Spannungs-Dehnungs-Kennlinien einiger Stähle im Zugversuch



	$R_{p0,2}, R_e$ (min) (MPa)	$R_{p2,0+BH}$ (min) (MPa)	R_m (MPa)	A_5 (min) (%)	A_{80} (min) (%)	CEV
Domex 690 XP	690	-	750	15	-	0,32
Docol 600DL	280-(360)	450	600-700		20	
Domex 350 YP	350	-	430	26	-	0,17
S235JRG2 (RSt 37-2)	235		355			
Fe P04	140		270		38	

(Quelle: Stahlblechhandbuch der Fa. SSAB)

Folie "Bake-Hardening" - Effekt im Spannungs-Dehnungs-Schaubild



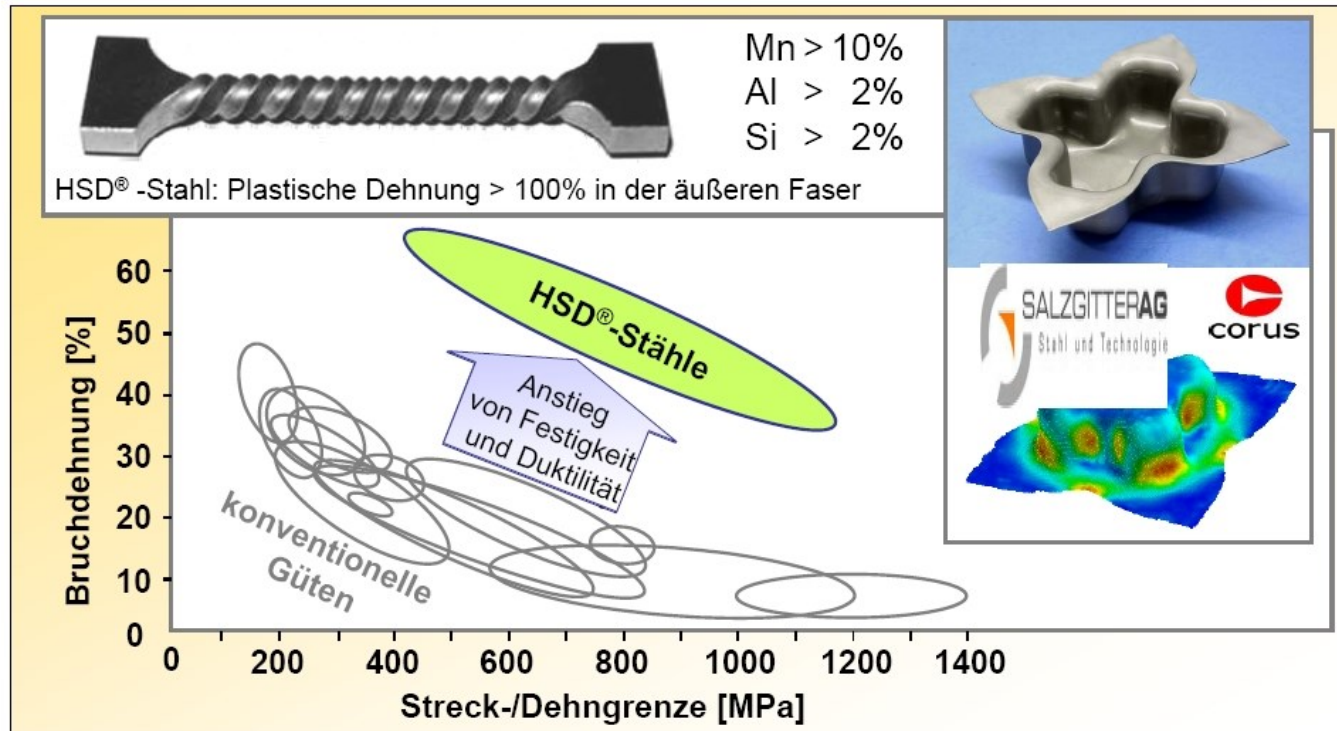
- A $\sigma - \epsilon$ - Linie des Werkstoffs im dressierten (kaltgewalzten) Anlieferungszustand
- B Anstieg der Streckgrenze durch Wärmebehandlung um den Betrag $\Delta R_e = BH_0$
- C $\sigma - \epsilon$ - Linie des um 2% vorverformten Werkstoffs (durch Umformung zum Bauteil):
Streckgrenzerhöhung resultiert aus:
WH: Streckgrenzerhöhung durch Kaltverformung; für Prüfzwecke: $\epsilon_v = 2\%$
BH₂: Streckgrenzerhöhung durch Wärmebehandlung bei $\epsilon_v = 2\%$

(Quelle: Prof. Kötting, Prof. Peterseim: FH Münster)

Stahl-Zentrum



Perspective HSD®-steels (High Strength and Ductility)



HSD®-Stahl: höchstfester Stahl mit außergewöhnlicher Tiefziehfähigkeit

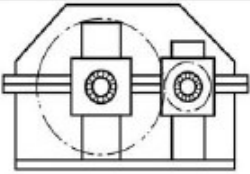
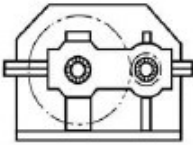
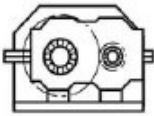
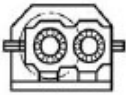
➔ Quantensprung für Möglichkeiten beim Bauteildesign

Stahl-Zentrum, 11.10.2007



(Quelle: Ameling, Vortrag 12. Dresdner Leichtbausymposium, 2008)

Entwicklung der Baugrößen von Getrieben mit gleichem Drehmoment

Werkstoff (Ritzel und Rad)	C45	42CrMo4	31CrMoV9	20MnCr5
Baugröße (Gehäuse geschweißt)				
Wärmebehandlung	normalisiert	vergütet	gasnitriert	einsatzgehärtet
Bearbeitung	walzgefräst	walzgefräst	feinstgefräst	geschliffen
Wälzlagergewicht (kg)	95	95	105	120
Gesamtgewicht (kg)	8505	4860	2620	1581
Gesamtgewicht (%)	100	57	31	19
Preis (%)	100	76	59	48

(nach Niemann, Winter)

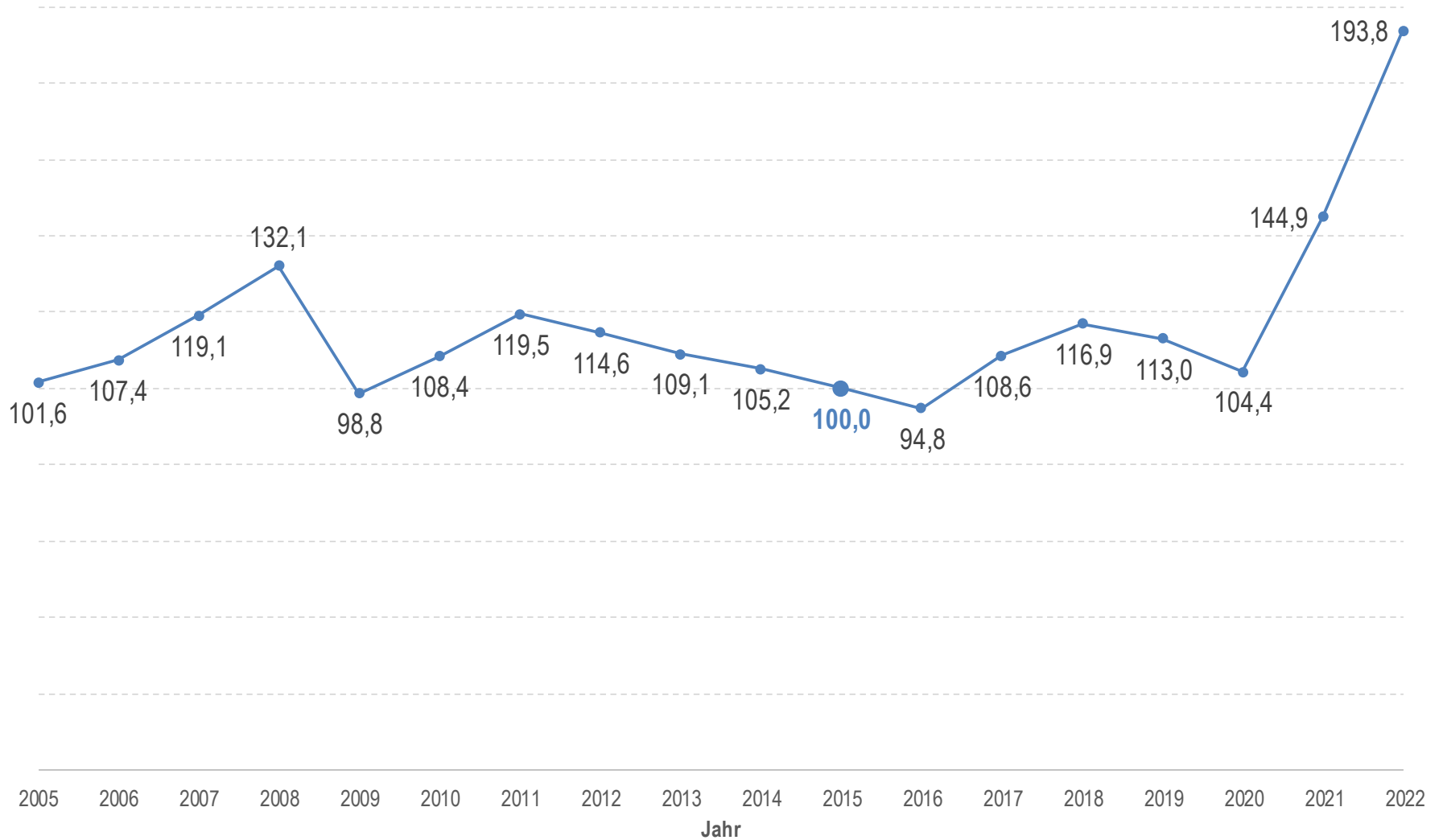
(Quelle: Ameling, Vortrag 12. Dresdner Leichtbausymposium, 2008)

Blech	
S235JR warmgewalzt	≈ 1.750 €/t
S355J2 warmgewalzt	≈ 1.800 €/t
S355J2WP warmgewalzt	≈ 2.050 €/t
X2Cr11 (1.4003) warmgewalzt	≈ 8.500 €/t
X5CrNi18-10 (1.4301) warmgewalzt	≈ 9.200 €/t
EN AW-6082 T6	≈ 11.000 €/t
T-Profil	
S235JR warmgewalzt	≈ 2.700 – 3.300 €/t
X5CrNi18-10 (1.4301) warmgefertigt	≈ 10.200 – 11.300 €/t
EN AW-6060 T66	≈ 9.000 – 9.900 €/t

<http://www.mcbdeutschland.de>, 2018-04

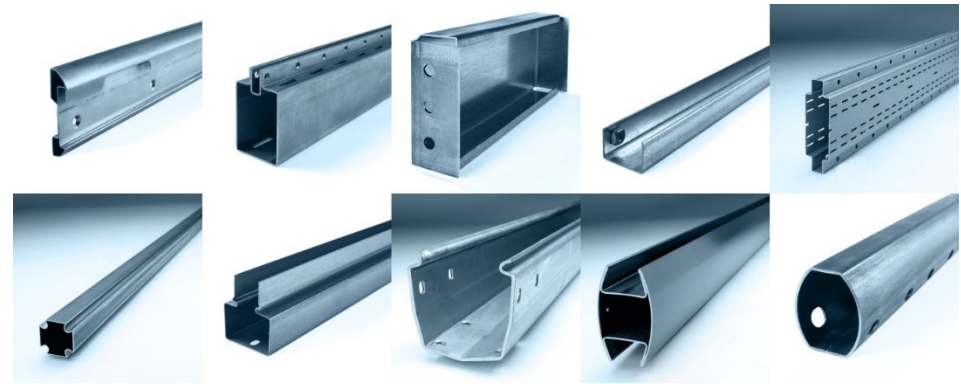
Folie Stahlpreisentwicklung in Deutschland

Erzeugerpreisindex Roheisen, Rohstahl, Walzstahl, Ferrolegierungen in Deutschland



(Quelle: Statistisches Bundesamt März 2023)

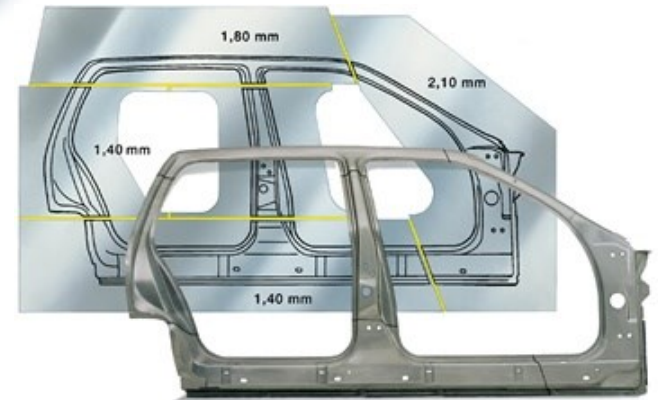
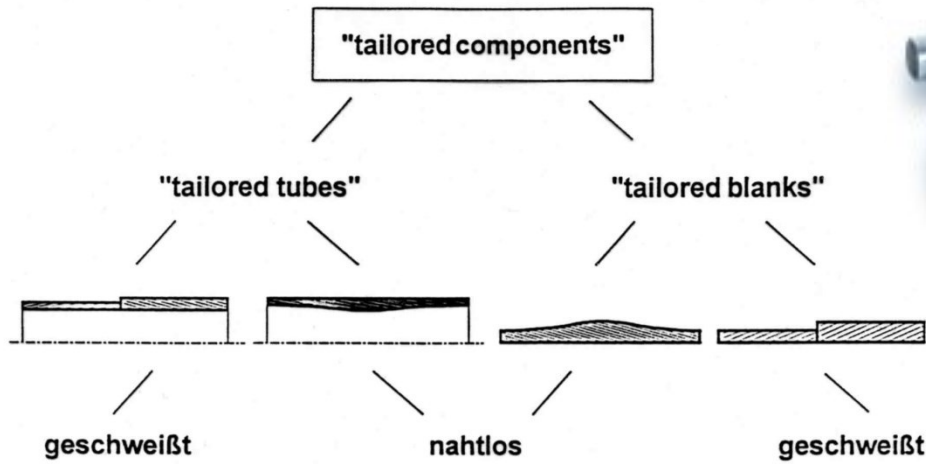
Folie Gerollte Profile



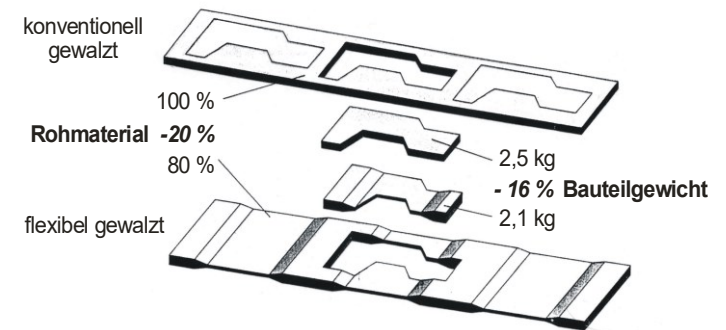
Dach-Voutenprofil im Alstom Coradia Polyvalent (Régiolis)

(Quelle: Homepage Umformtechnik.net, 2018-06; Homepage voestalpine Sadef nv, 2018-06)

Folie Tailored Components



Beispiel: Bauteil aus dem Fahrwerksbereich eines Mittelklasse-Pkw's



(Quelle: RWTH Aachen, Institut für Bildsame Formgebung; Photon Laser Manufacturing; Thyssen Tailored Blanks)

Stahlschäume

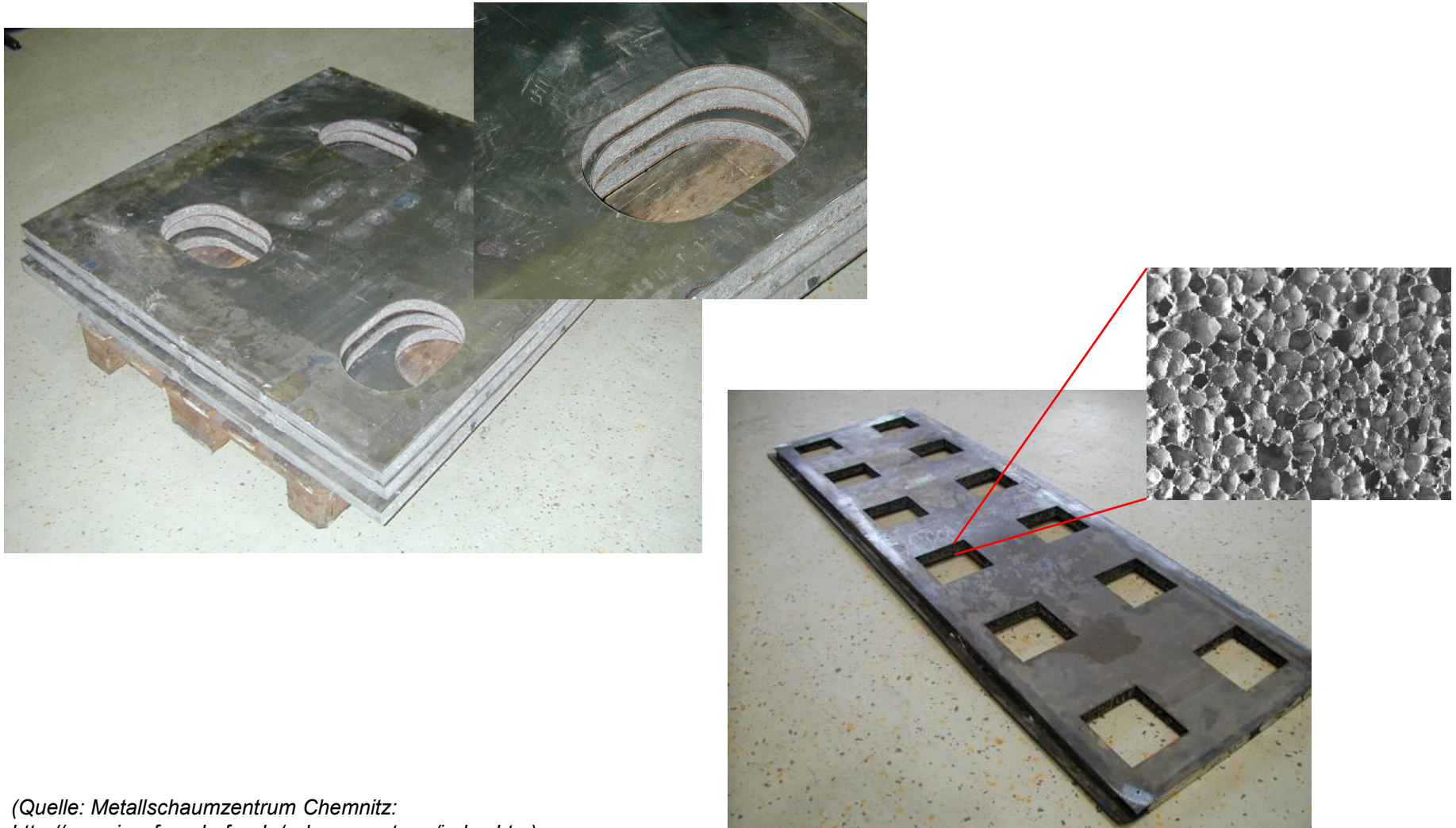


Stahlhohlkugeln



(Quelle: Berichte aus der Anwendungsforschung, Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V.)

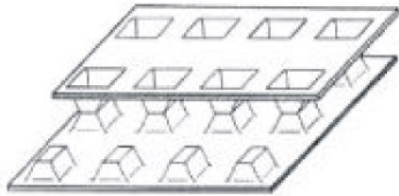
Sandwichplatten (Metallschaum)



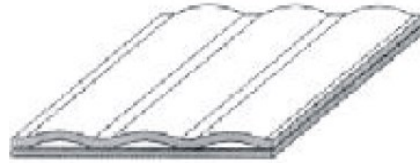
(Quelle: Metallschaumzentrum Chemnitz:
<http://www.iwu.fraunhofer.de/schaumzentrum/index.htm>)

Folie Stahlblech-Verbünde

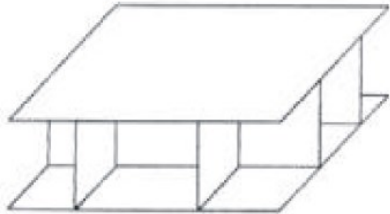
Höckerblechverbund



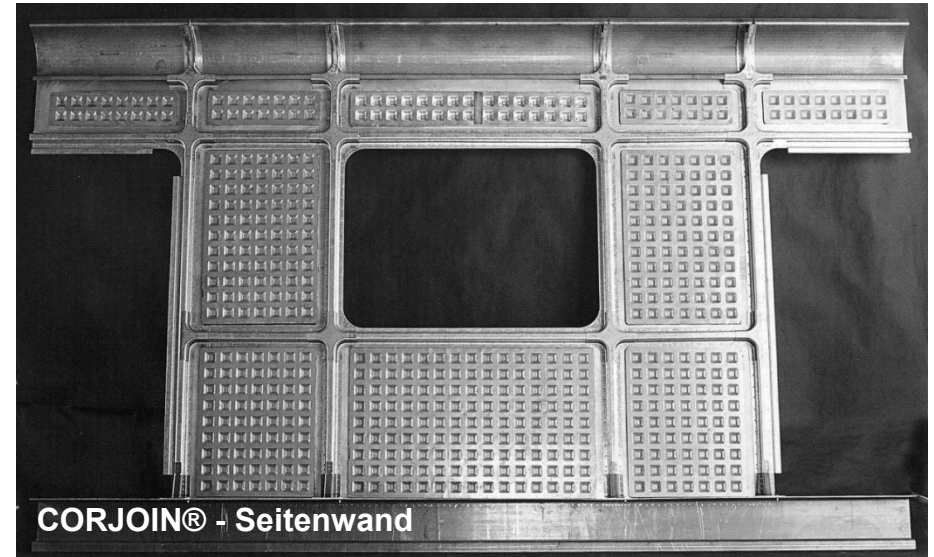
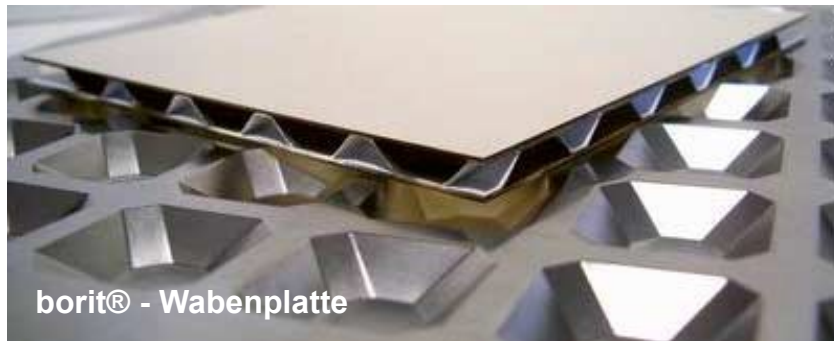
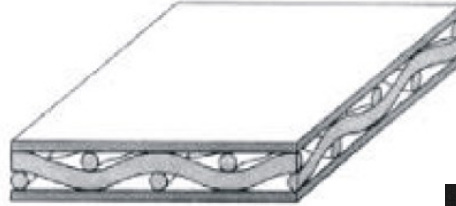
Twinblech



Lasergeschweißtes Stegblech

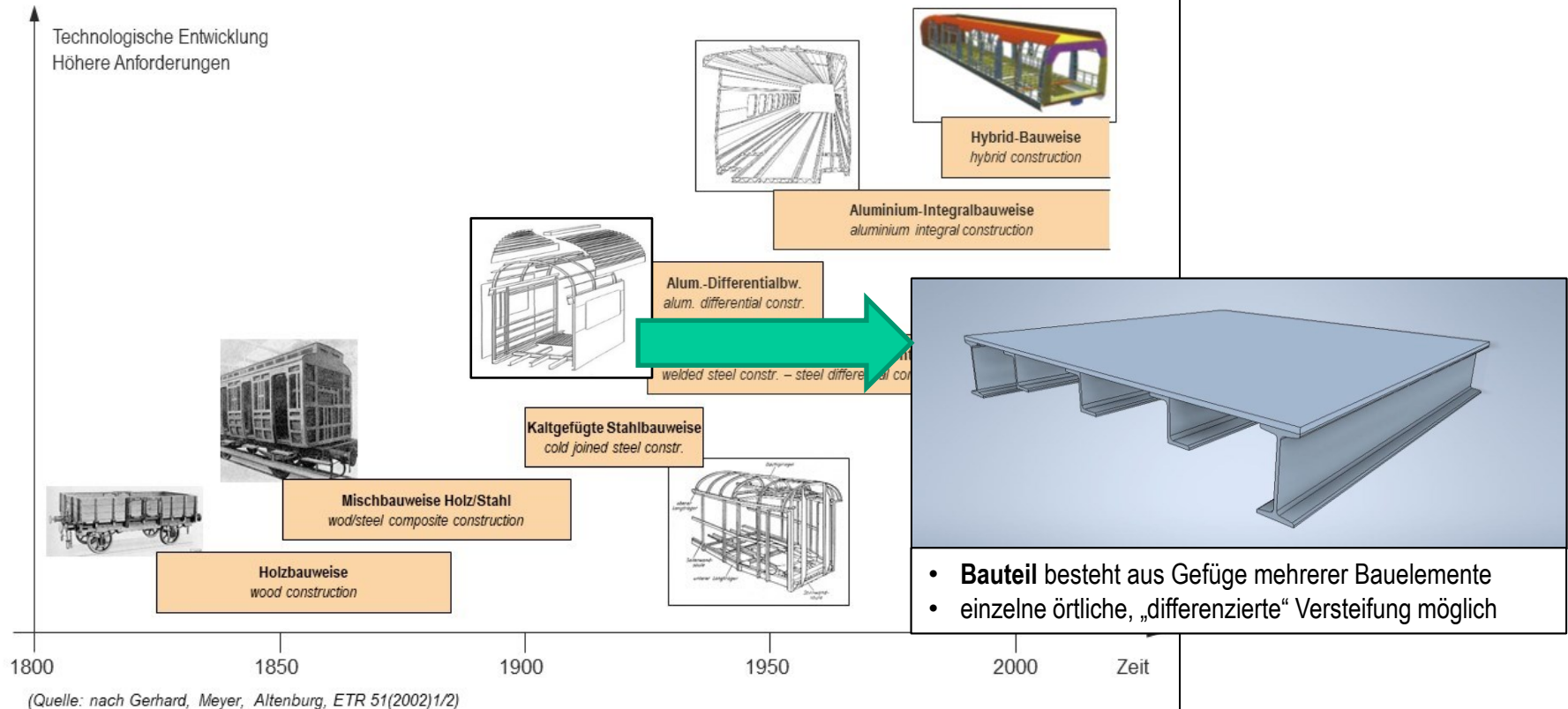


Blechverbund mit einer Zwischenlage aus Drahtgewebe oder Streckmetall



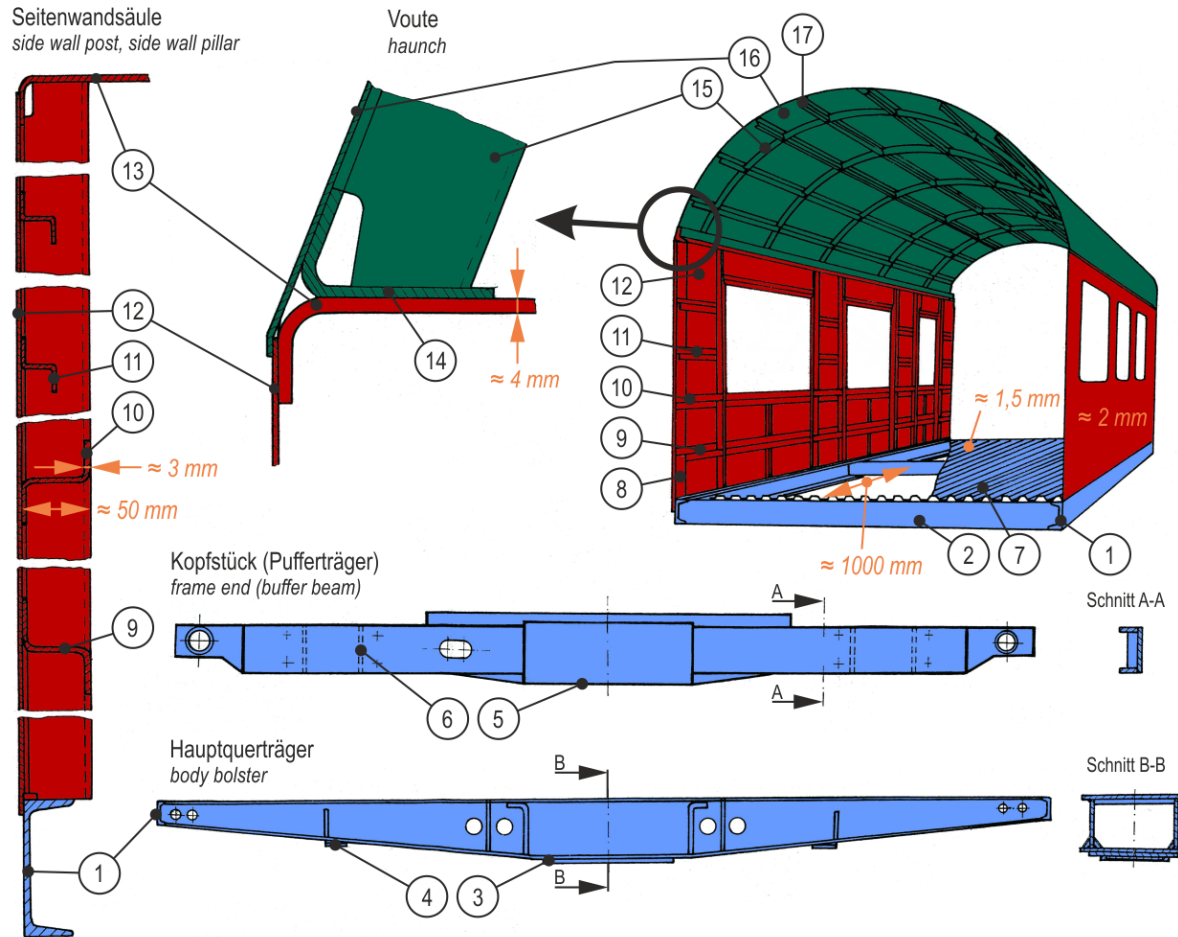
Folie Differentialbauweise

Folie Bauweisen im zeitlichen Überblick



TW: 2. Werkstoffe & Bauweisen – 2.0. Einleitung

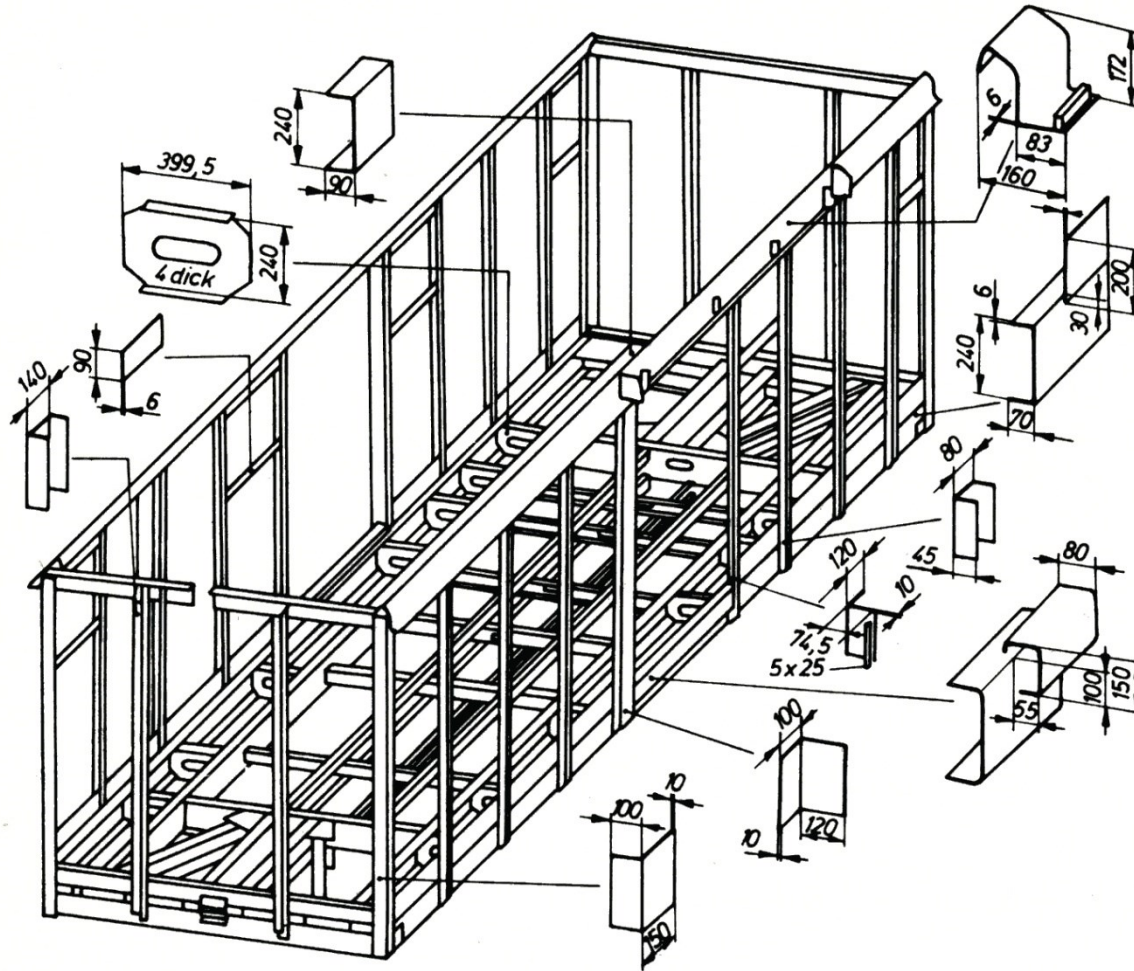
Selbsttragender Reisezugwagenkasten single-shell coach body



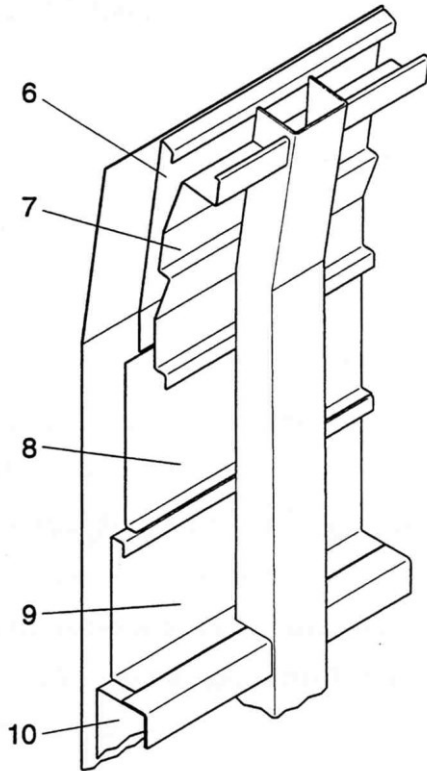
13+14 = Seitenwandoberrahmen - cantrail

17 Pfette - roof beam	Dach roof	Aufbauten superstructure	Wagenkasten vehicle body
16 Dachblech - roof sheeting			
15 Dachspriegel - roof-stick brace			
14 Dachgurt - roof flange	Seitenwand side wall	Aufbauten superstructure	Wagenkasten vehicle body
13 Seitenwandobergurt - s.w. upper flange			
12 Seitenwandblech - side wall sheeting			
11 Beulversteifung - stiffening bulging			
10 Brüstungsleiste - waist moulding			
9 Beulversteifung (Riegel) - (crossbar)	Untergestell (under) frame	Wagenkasten vehicle body	
8 Seitenwandsäule - side wall post			
7 Sickenblech - corrugated sheet			
6 Versteifungsrippen an Pufferbefestigungen - reinforcement ribs			
5 Stoßrosette - buffing gear cover plate			
4 Seitliche Abstützung - side support			
3 Gurtplatte für Drehzapfen bzw. Drehpfannenoberteil - bogie pivot flange plate			
2 Querträger - cross-bearer, crossbar			
1 Seitliche Langträger - side-sill			

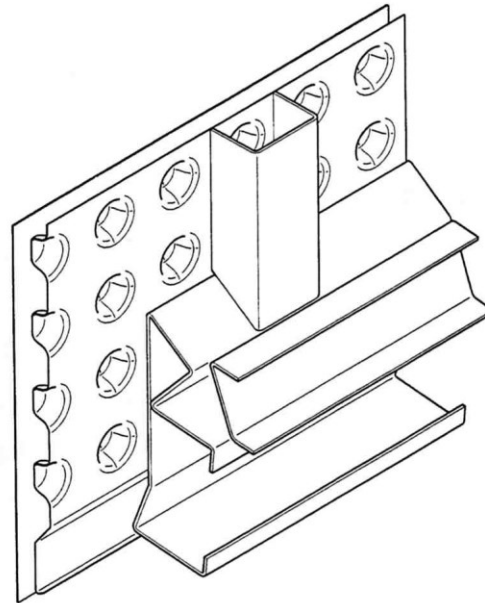
Folie Kastengerippe gedeckter Güterwagen



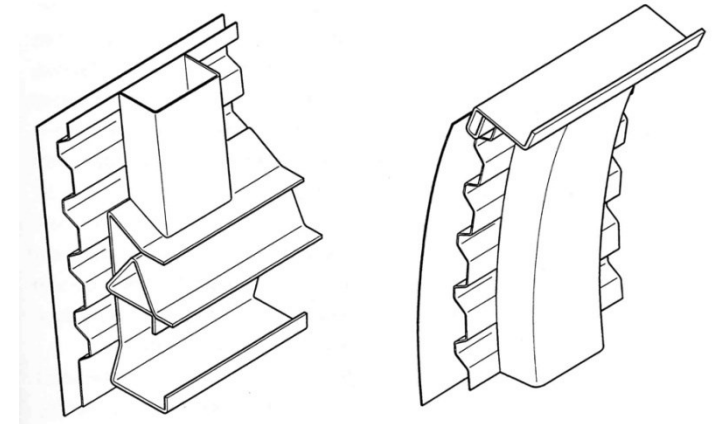
(Quelle: Reisezug- und Güterwagen, transpress Verlag)



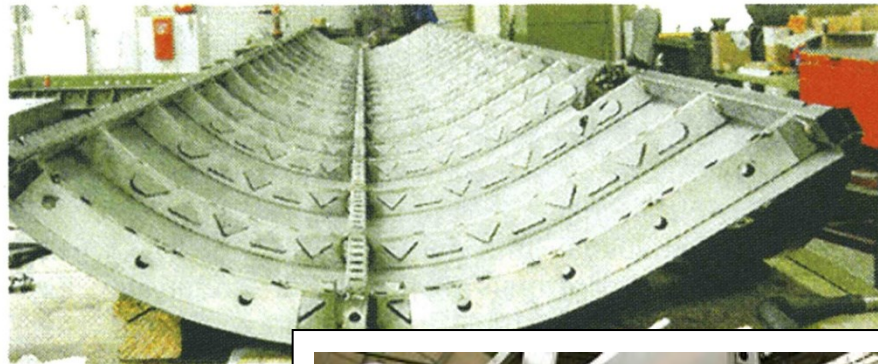
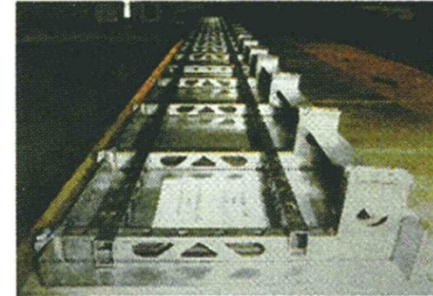
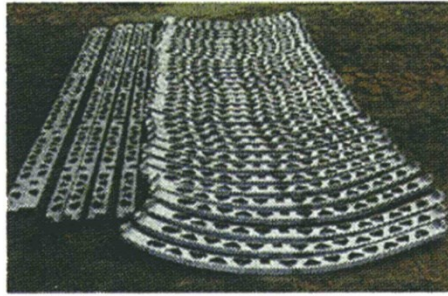
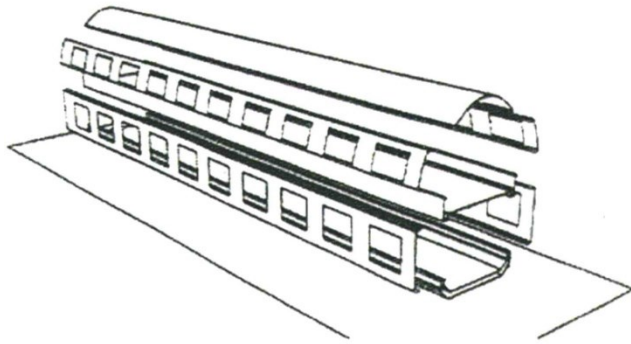
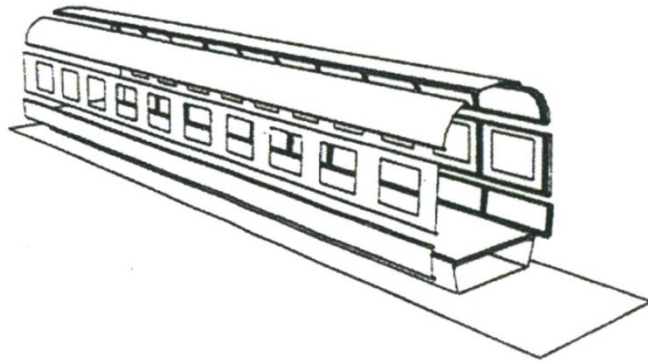
Prinzip Stahl-Integralbauweise
6 ... 10 = Einzelprofile



Verbundbauweise mit Flächentragwerken
(Höckerplattenvariante, Trapezblechvarianten)



Folie Modulare Hybridbauweise



Metro Delhi (BT Görlitz)

(Quelle: Altenburg ZEV+DET Glas. Ann. 123(1999)11/12; www.mdr.de)