

8.3.1. Einführung

- Allgemeines, Masseinsparung
- Einteilung Aluminium-Werkstoffe, Bezeichnungssystem

8.3.2. Eigenschaften von Aluminium

- Vergleich mit Stahl
- Probleme Schmelzschweißen

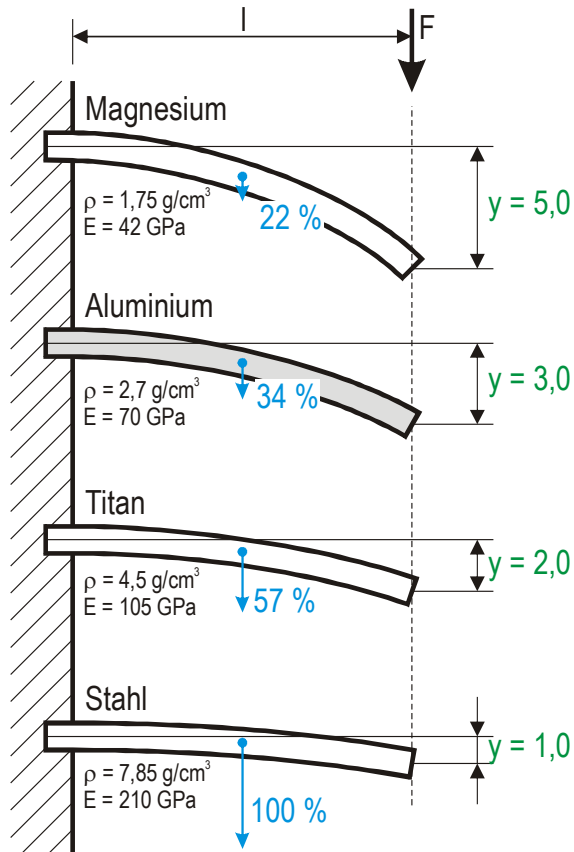
8.3.3. Aluminium-Legierungen im Tragwerk

- Serien 5000, 6000, (7000), Werkstoffauswahl
- Entwicklung Aluminium-Integralbauweise (Strangpressen)

Folie Gewichtseinsparung Aluminium-Legierungen

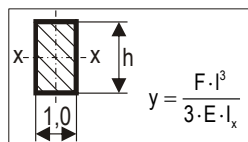
Gleicher Querschnitt (A, I_x)

verschiedene Steifigkeit ($E \cdot I_x$)
verschiedene Masse (m)



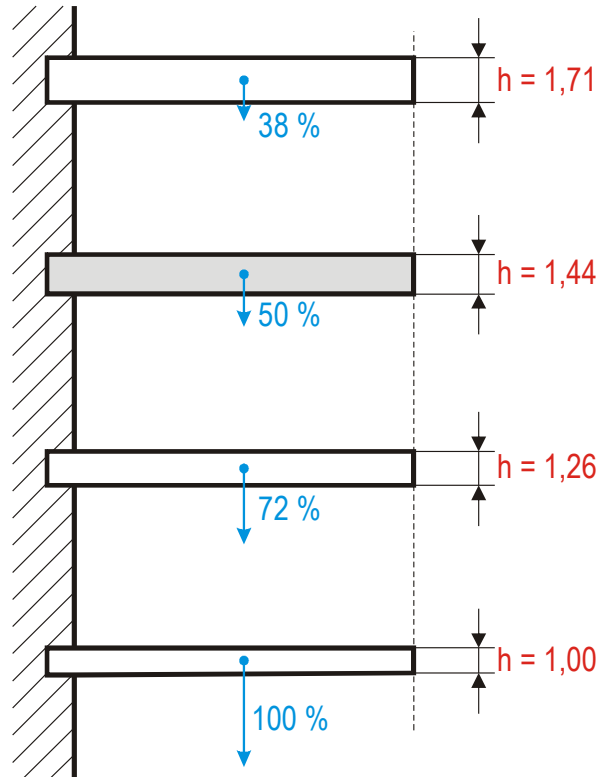
$$y = y_{\text{Stahl}} \cdot \frac{E_{\text{Stahl}}}{E}$$

$$m = m_{\text{Stahl}} \cdot \frac{\rho}{\rho_{\text{Stahl}}}$$



Gleiche Steifigkeit ($E \cdot I_x$)

verschiedener Querschnitt (h, I_x)
verschiedene Masse (m)

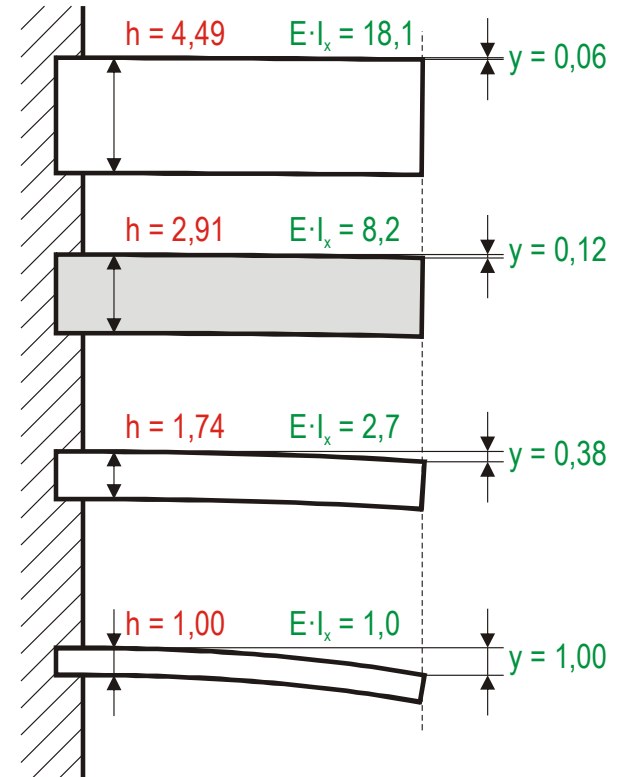


$$h = h_{\text{Stahl}} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{\text{Stahl}}}{E}}$$

$$m = m_{\text{Stahl}} \cdot \frac{\rho \cdot h}{\rho_{\text{Stahl}} \cdot h_{\text{Stahl}}}$$

Gleiche Masse (m)

verschiedener Querschnitt (h, I_x)
verschiedene Steifigkeit ($E \cdot I_x$)

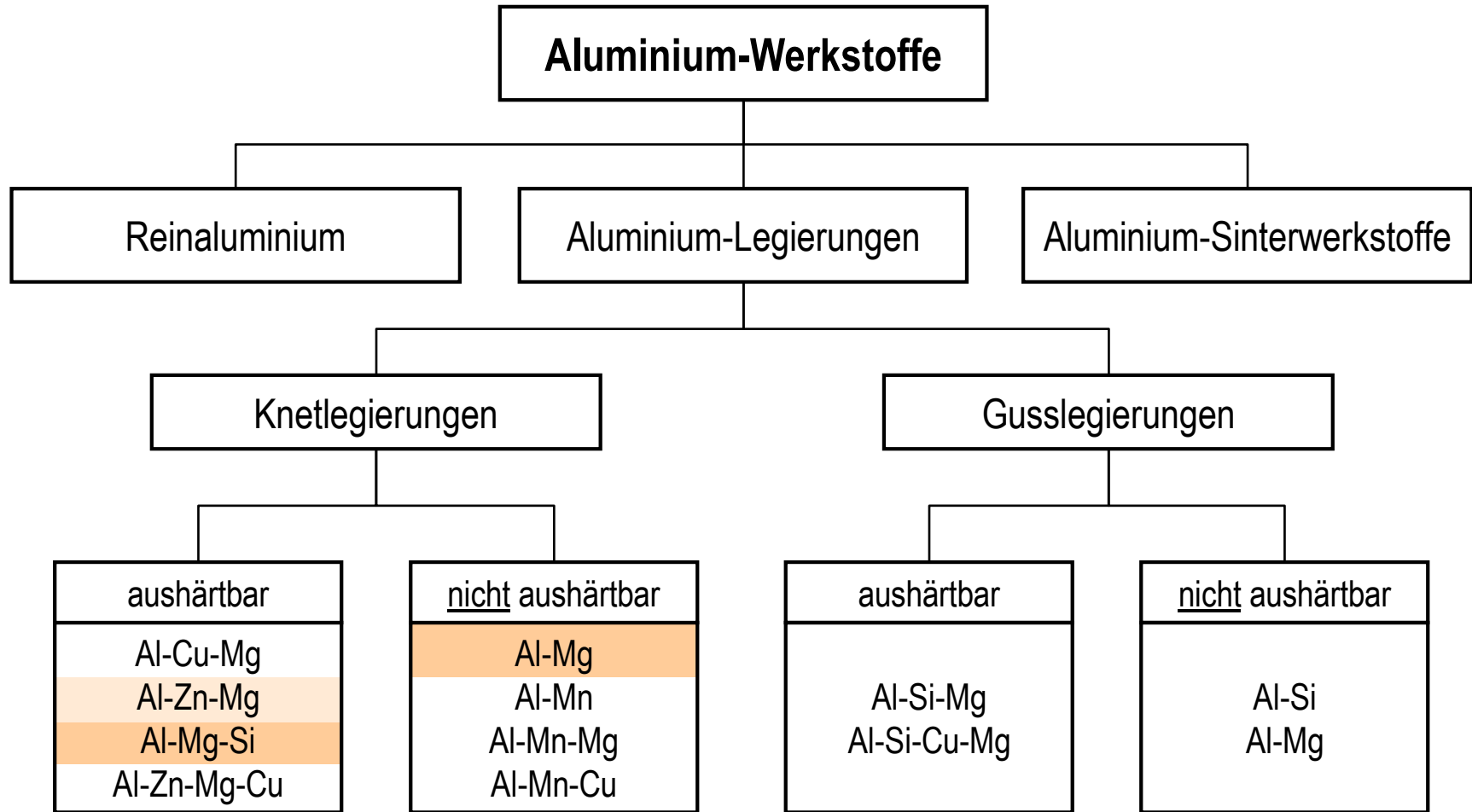


$$h = h_{\text{Stahl}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_{\text{Stahl}}}{\rho}}$$

$$y = y_{\text{Stahl}} \cdot \frac{E_{\text{Stahl}} \cdot h_{\text{Stahl}}^3}{E \cdot h^3}$$

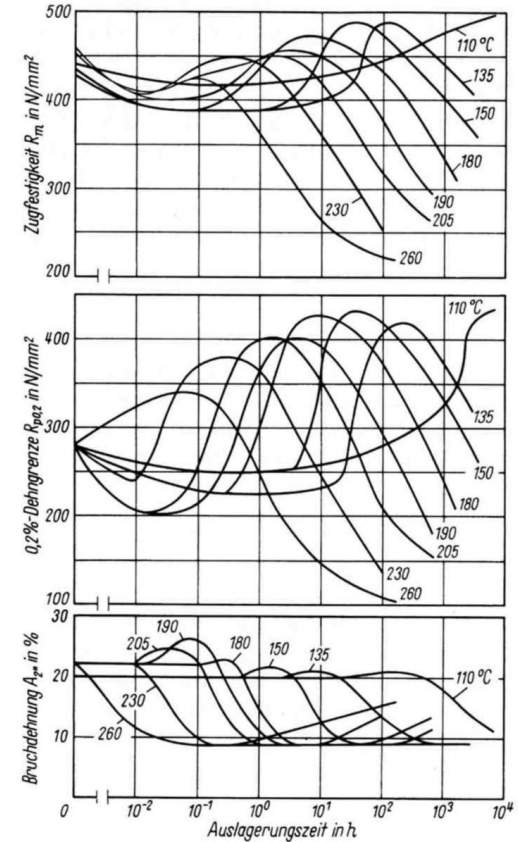
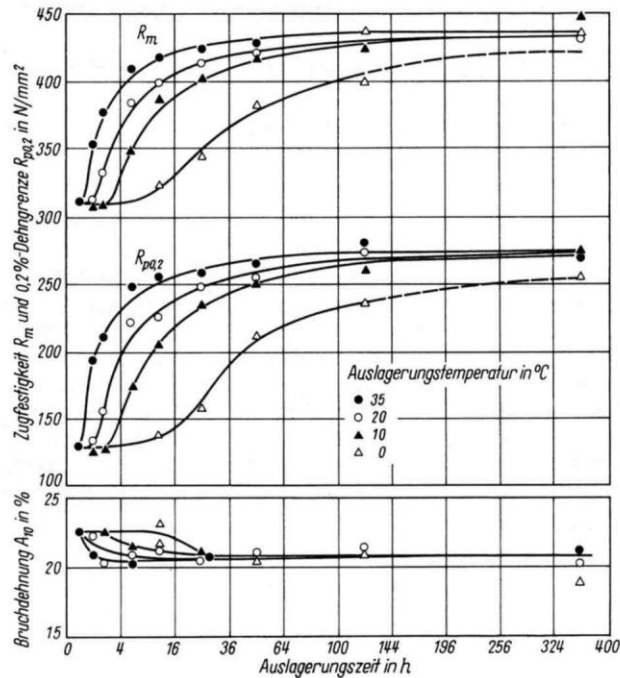
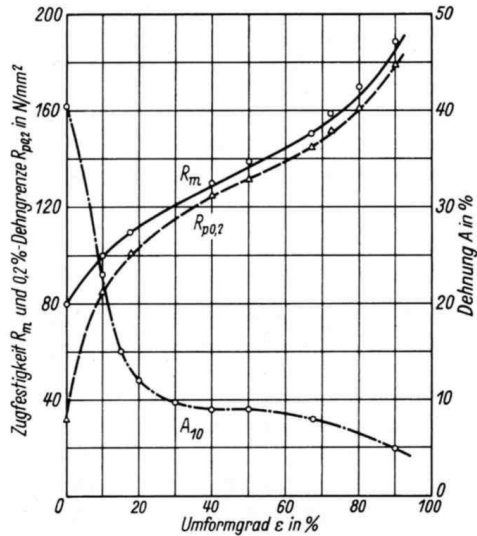
Folie komfortbedingte Mehrmasse ICE

(Werte in kg)	Bpmz-Wagen (IC)	ICE	Mehrmasse ICE
Isolierung	1.600	2.800	1.200
Schwenkschiebetüren	480	620	140
Drehgestelle	12.500	15.300	2.800
Übergangseinrichtung	1.500	≈ 2.000	500
Bodenwanne		770	570
Gerätekästen	200		
Fenster	950	1.240	290
WC	340	640	300
			<hr/>
		Σ	5.800



(Quelle: nach Schatt, ...: Konstruktionswerkstoffe)

Folie Festigkeitssteigerung von Aluminium-Legierungen



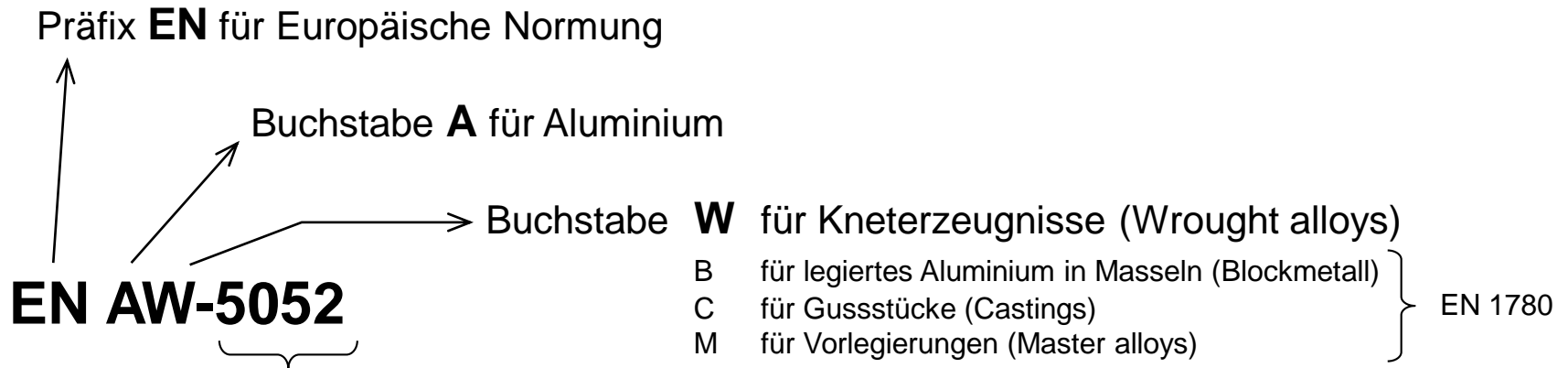
Verfestigung beim Kaltwalzen
Al99,5-Band nach rekristallisieren-
der Glühung und anschließender
Kaltumformung durch Walzen

Einfluss der Kaltauslagerungstemperatur
auf den Verlauf der **Kaltaushärtung** von
AlCuMg1

Verlauf der **Warmaushärtung**
bei AlCuSiMn

(Quelle: Aluminium-Taschenbuch, Bd. 1: Grundlagen und Werkstoffe)

Folie Bezeichnung von Aluminiumwerkstoffen nach DIN EN 573



vier Ziffern für internationale Bezeichnung
= chemische Zusammensetzung + ggf. Kennbuchstabe einer nationalen Variante:

1xxx (Serie 1000)	Aluminium, mindestens 99,00 % und höher
<i>Aluminiumlegierungen, unterteilt nach den Hauptlegierungselementen</i>	
2xxx (Serie 2000)	Kupfer
3xxx (Serie 3000)	Mangan
4xxx (Serie 4000)	Silicium
5xxx (Serie 5000)	Magnesium
6xxx (Serie 6000)	Magnesium und Silicium
7xxx (Serie 7000)	Zink
8xxx (Serie 8000)	sonstige Elemente

Folie DIN EN 573-3: ... Teil 3: Chemische Zusammensetzung und Erzeugnisformen

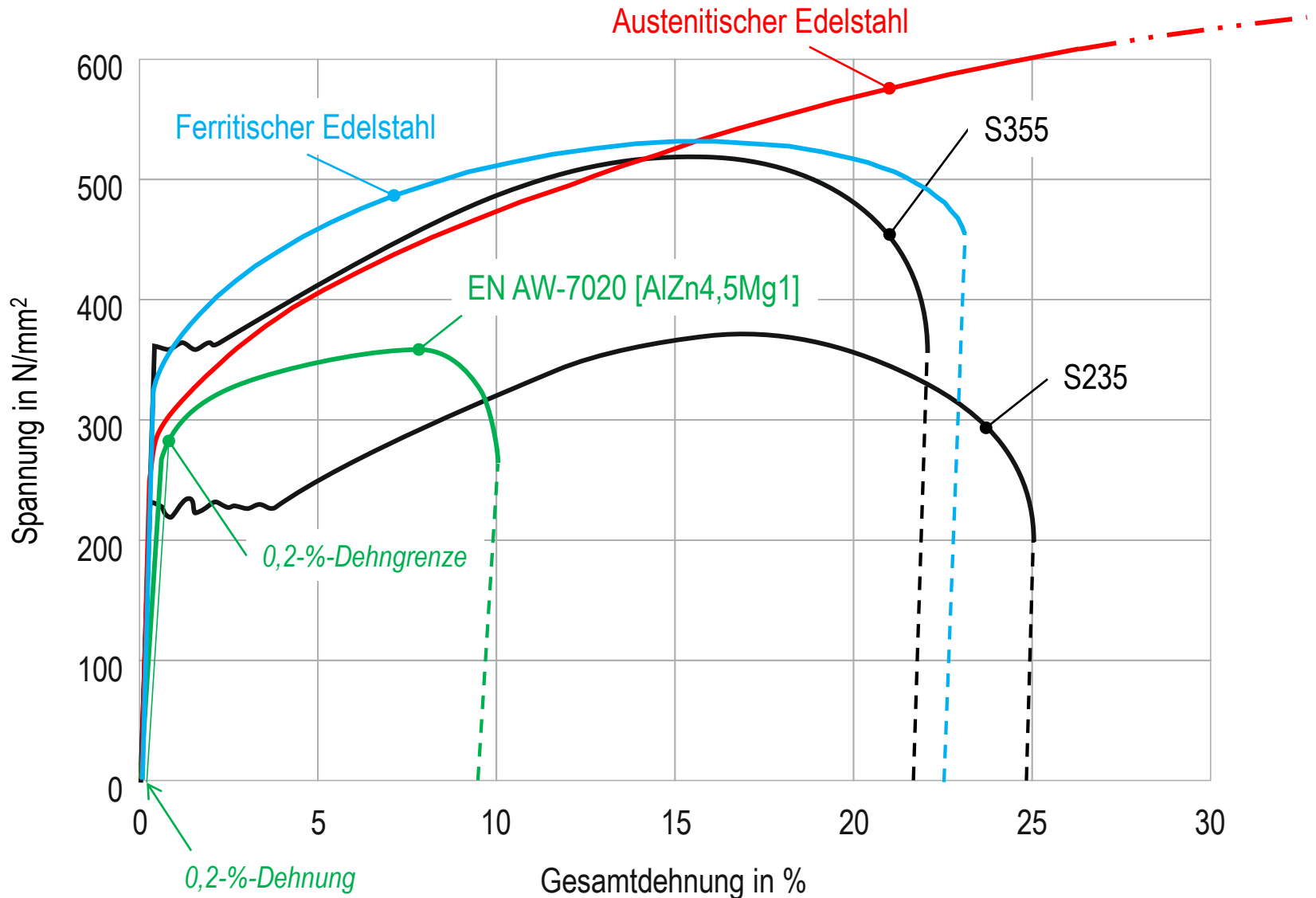
Tabelle 5 — Aluminiumlegierungen — Serie 5 000 — Al Mg

Bezeichnung der Legierung		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Bemerkungen	Andere Beimengungen ^a		Alu- minium min.
Numerisch	Chemische Symbole													Einzel	Ins- gesamt ^b	
EN AW-5005	EN AW-Al Mg1(B)	0,30	0,7	0,20	0,20	0,50-1,1	0,10	—	0,25	—	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5005A	EN AW-Al Mg1(C)	0,30	0,45	0,05	0,15	0,7-1,1	0,10	—	0,20	—	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5006	EN AW-Al Mg1Mn0,5	0,40	0,80	0,10	0,40-0,8	0,8-1,3	0,10	—	0,25	0,10	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5010	EN AW-Al Mg0,5Mn	0,40	0,7	0,25	0,10-0,30	0,20-0,6	0,15	—	0,30	0,10	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5018	EN AW-Al Mg3Mn0,4	0,25	0,40	0,05	0,20-0,6	2,6-3,6	0,30	—	0,20	0,15	—	—	0,20-0,6 Mn + Cr ^c	0,05	0,15	Rest
EN AW-5019	EN AW-Al Mg5	0,40	0,50	0,10	0,10-0,6	4,5-5,6	0,20	—	0,20	0,20	—	—	0,10-0,6 Mn + Cr	0,05	0,15	Rest
EN AW-5026	EN AW-Al Mg4,5MnSiFe	0,55-1,4	0,20-1,0	0,10-0,8	0,6-1,8	3,9-4,9	0,30	—	1,0	0,20	—	—	0,30 Zr	0,05	0,15	Rest
EN AW-5040	EN AW-Al Mg1,5Mn	0,30	0,7	0,25	0,9-1,4	1,0-1,5	0,10-0,30	—	0,25	—	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5042	EN AW-Al Mg3,5Mn	0,20	0,35	0,15	0,20-0,50	3,0-4,0	0,10	—	0,25	0,10	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5049	EN AW-Al Mg2Mn0,8	0,40	0,50	0,10	0,50-1,1	1,6-2,5	0,30	—	0,20	0,10	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5050	EN AW-Al Mg1,5(C)	0,40	0,7	0,20	0,10	1,1-1,8	0,10	—	0,25	—	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5050A	EN AW-Al Mg1,5(D)	0,40	0,7	0,20	0,30	1,1-1,8	0,10	—	0,25	—	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5051A	EN AW-Al Mg2(B)	0,30	0,45	0,05	0,25	1,4-2,1	0,30	—	0,20	0,10	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5052	EN AW-Al Mg2,5	0,25	0,40	0,10	0,10	2,2-2,8	0,15-0,35	—	0,10	—	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5058	EN AW-Al Mg5Pb1,5	0,40	0,50	0,10	0,20	4,5-5,6	0,10	—	0,20	0,20	—	—	1,2-1,8 Pb	0,05	0,15	Rest
EN AW-5059	EN AW-Al Mg5,5MnZnZr	0,45	0,50	0,25	0,6-1,2	5,0-6,0	0,25	—	0,40-0,9	0,20	—	—	0,05-0,25 Zr	0,05	0,15	Rest
EN AW-5070	EN AW-Al Mg4MnZn	0,25	0,40	0,25	0,40-0,8	3,5-4,5	0,30	—	0,40-0,8	0,15	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5082	EN AW-Al Mg4,5	0,20	0,35	0,15	0,15	4,0-5,0	0,15	—	0,25	0,10	—	—	—	0,05	0,15	Rest
EN AW-5083	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	—	0,25	0,15	—	—	—	0,05	0,15	Rest

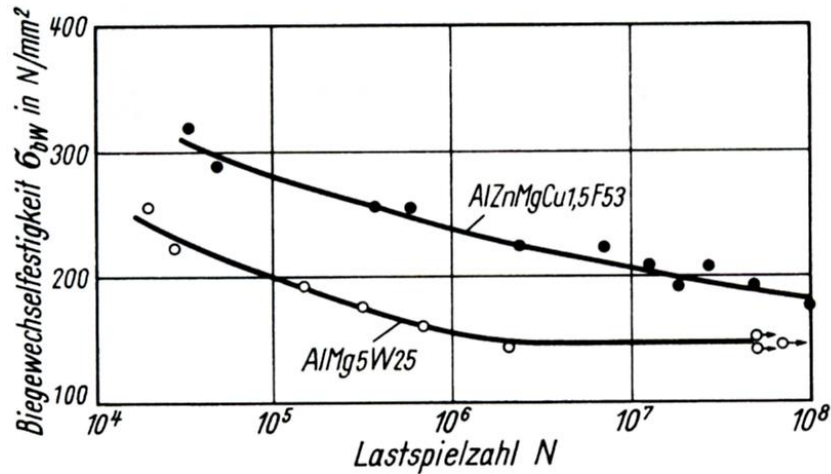
Tabelle A.5 — Anwendungen und Erzeugnisformen — Serie 5 000

Bezeichnung der Aluminiumlegierung		Schmiede- stücke und Schmiede- vormaterial	Draht und Vordraht			Ge- zogene Erzeug- nisse	Strang- gepresste Erzeug- nisse	Folie	Vor- material für Wärme- tauscher (Finstock)	Bleche, Bänder und Platten	Vormaterial für Dosen, Deckel und Ver- schlüsse	Butzen	HF-längs- nahtge- schweißte Rohre	Legierung für Lebens- mittel- kontakt geeignet
Numerisch	Chemische Symbole		Elektro- technische An- wendung	Schweiß- technische An- wendung	Mecha- nische An- wendung									
EN AW-5005	EN AW-Al Mg1(B)	—	—	—	X	X	—	X	X	—	—	X	J	
EN AW-5005A	EN AW-Al Mg1(C)	—	—	—	—	X	—	X	X	—	—	X	J	
EN AW-5006	EN AW-Al Mg1Mn0,5	—	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	J	
EN AW-5010	EN AW-Al Mg0,5Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	N	
EN AW-5018	EN AW-Al Mg3Mn0,4	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	—	J	
EN AW-5019	EN AW-Al Mg5	X	—	—	X	X	—	—	—	—	—	—	J	
EN AW-5026	EN AW-Al Mg4,5MnSiFe	X	—	—	—	—	—	—	X	—	—	—	J	
EN AW-5040	EN AW-Al Mg1,5Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	X	—	X	J	
EN AW-5042	EN AW-Al Mg3,5Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	X	—	—	J	
EN AW-5049	EN AW-Al Mg2Mn0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	X	—	X	J	
EN AW-5449A	EN AW-Al Mg2Mn0,8(C)	—	—	—	—	—	—	—	—	X	—	X	N	
EN AW-5050	EN AW-Al Mg1,5(C)	—	—	—	—	—	—	—	—	X	—	—	J	
EN AW-5050A	EN AW-Al Mg1,5(D)	—	—	—	—	—	—	—	—	X	—	—	J	
EN AW-5051A	EN AW-Al Mg2(B)	—	—	—	X	X	—	—	—	—	—	—	J	
EN AW-5052	EN AW-Al Mg2,5	—	—	—	X	X	—	—	—	X	—	X	J	
EN AW-5058	EN AW-Al Mg5Pb1,5	—	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	N	
EN AW-5059	EN AW-Al Mg5,5MnZnZr	X	—	X	—	—	—	—	—	X	—	—	J	
EN AW-5070	EN AW-Al Mg4MnZn	X	—	—	X	X	—	—	—	—	—	—	N	
EN AW-5082	EN AW-Al Mg4,5	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	J	
EN AW-5083	EN AW-Al Mg4,5Mn0,7	X	—	—	—	X	—	—	—	X	—	X	J	

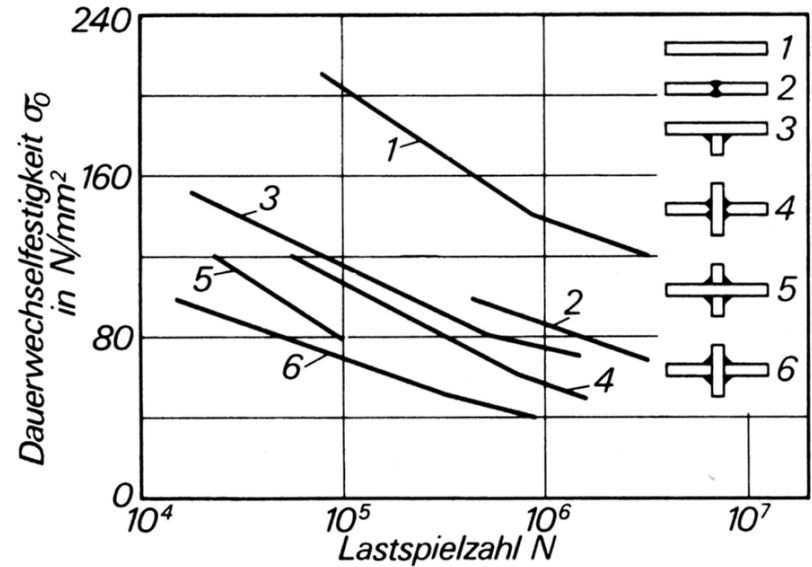
Folie Spannungs-Dehnungs-Diagramm



Folie Wöhlerlinien bei Aluminium-Knetlegierungen



Typischer Verlauf von Wöhlerkurven bei Wechselbiegung für einen aushärtbaren (AlZnMgCu1,5F53) und einen nicht aushärtbaren Werkstoff (AlMg5W25)



Wöhlerkurven von EN AW-6082 [AlSi1MgMn] für den Grundwerkstoff und verschiedene Schweißverbindungen, Blech 8 mm, axial, R = -1

(Quelle: Aluminium-Taschenbuch, Bd. 1: Grundlagen und Werkstoffe)

Folie Wöhlerlinienkatalog nach IIW (I)

≈ Faktor 2,5

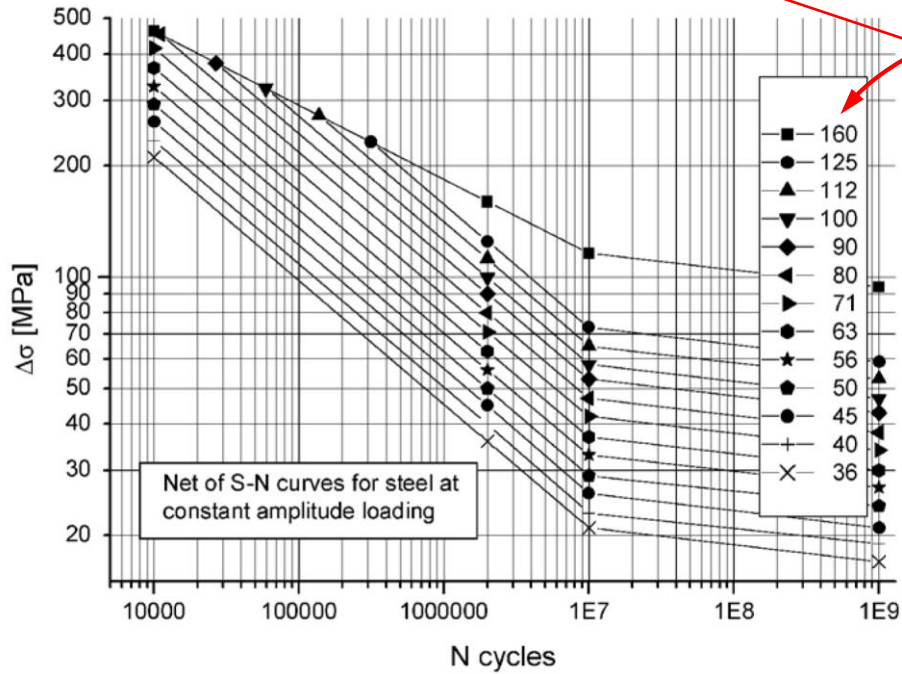


Fig. (3.2)-1:
Fatigue resistance S-N curves for **steel**, normal stress

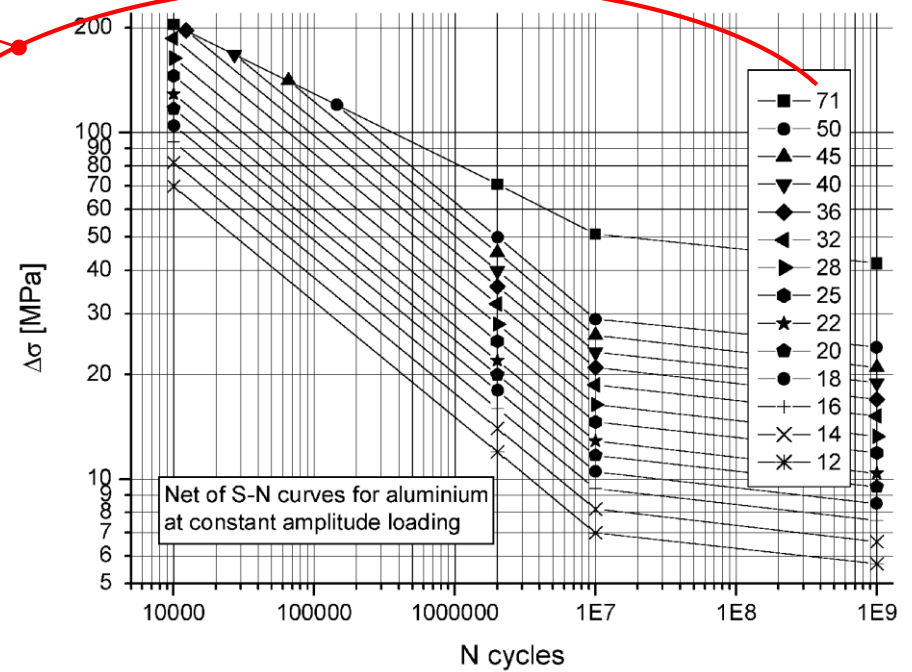
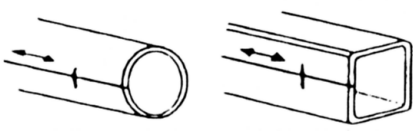
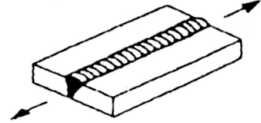
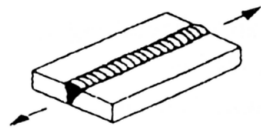
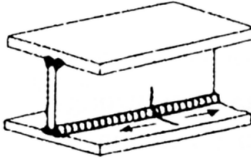


Fig. (3.2)-2:
Fatigue resistance S-N curves for **aluminium**, normal stress

(Quelle: IIW-Empfehlungen, Febr. 2005)

Tabelle 5.4.1 Bauteilklassen für Nennspannung (Normalspannung), Fortsetzung 3 von 10.

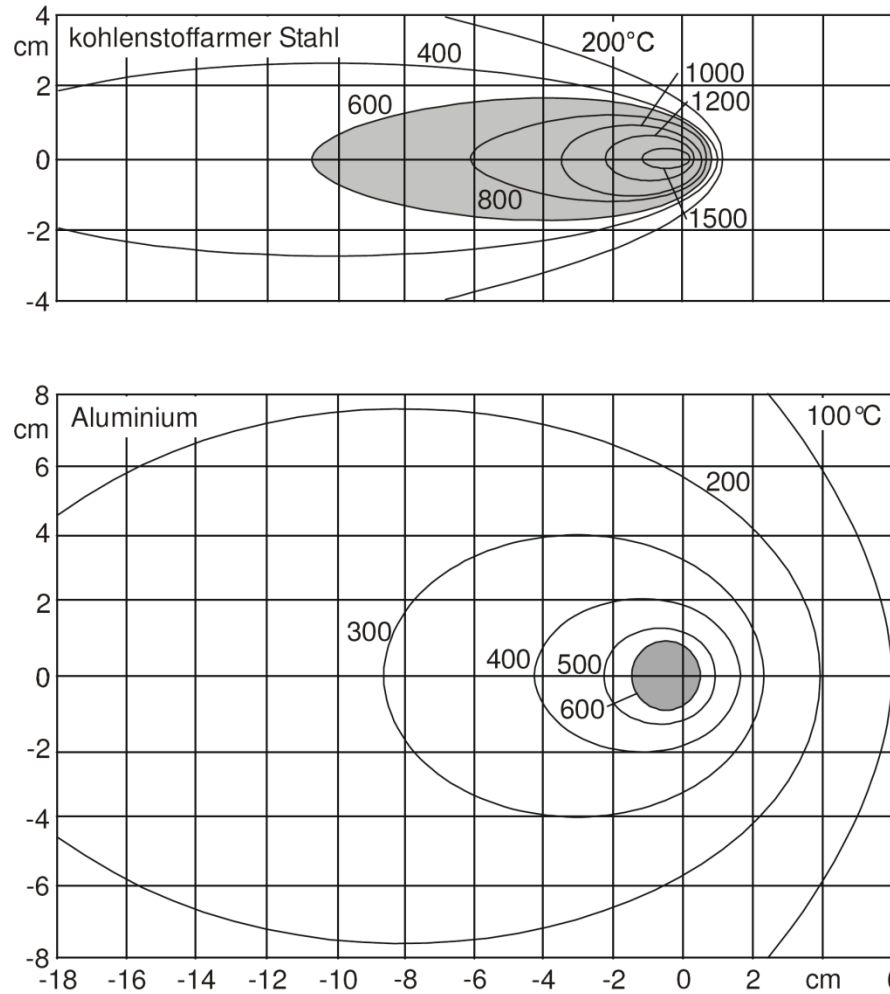
Nr.	Konstruktives Detail	Beschreibung	FAT Stahl	FAT Alu
300	Schweißnähte, längsbelastet			
311		Automatisch geschweißte Längsnaht in Hohlprofilen; ohne Nahtansätze mit Nahtansätzen	125 90	50 36
312		Längsbelastete Stumpfnah, beidseitig blecheben parallel zur Naht bearbeitet, 100 % zFP.	125	50
313		Längsbelastete Stumpfnah; ohne Nahtansätze, zFP mit Nahtansätzen	125 90	45 36
321		Durchlaufende automatisch geschweißte längsbelastete K-Naht, voll durchgeschweißt, ohne Nahtansätze, 100 % zFP, Spannung im Flansch.	125	50

(Quelle: FKM-Richtlinie 2003)

Folie Vergleich grundlegender Eigenschaften von Al und Fe

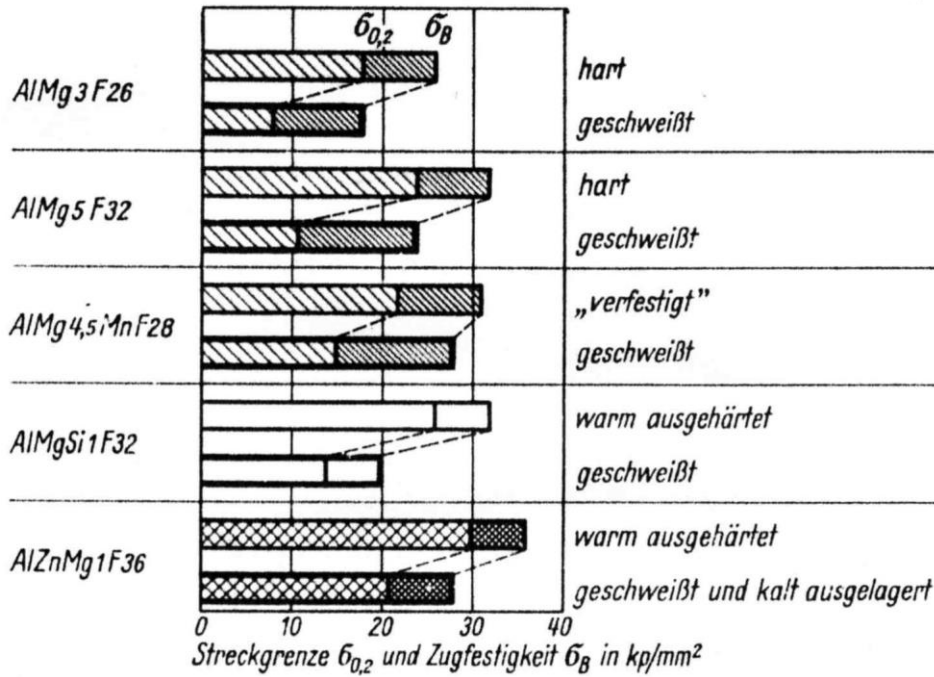
Eigenschaften		Aluminium	Eisen (Stahl)
Dichte	/ g/cm ³	2,7	7,87
Kristallgitter		kfz	krz
E-Modul	/ N/mm ²	70·10 ³	210·10 ³
R _{p0,2} , R _e	/ N/mm ²	ca. 10	ca. 100
R _m	/ N/mm ²	ca. 50	ca. 200
spez. Wärmekapazität	/ J/(g·K)	0,88	0,53
Wärmeleitfähigkeit	/ W/(cm·K)	2,3	0,75
spez. elektr. Widerstand	/ nΩm	28-29	97
Ausdehnungskoeffizient	/ 1/K	24·10 ⁻⁶	12·10 ⁻⁶
Schmelzpunkt	/ °C	660	1.539
Schmelzpunkt der Oxide	/ °C	2.050 (Al ₂ O ₃)	1.400 (FeO) 1.600 (Fe ₃ O ₄) 1.455 (Fe ₂ O ₃)

Folie Isothermenfelder Stahl/Aluminium

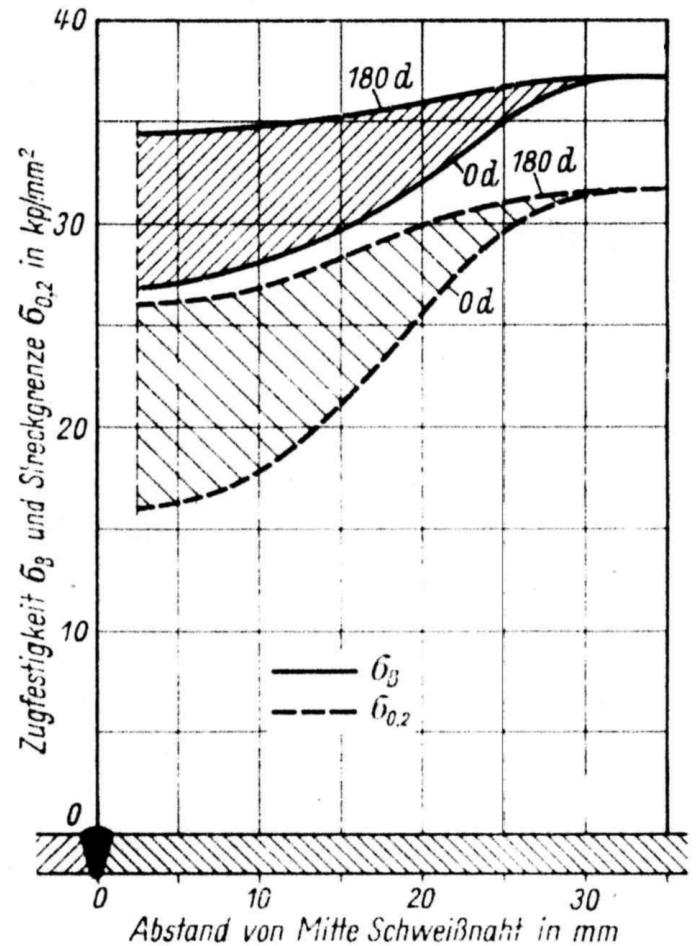


(Quelle: ISF Aachen)

Folie Problem Schweißwärme

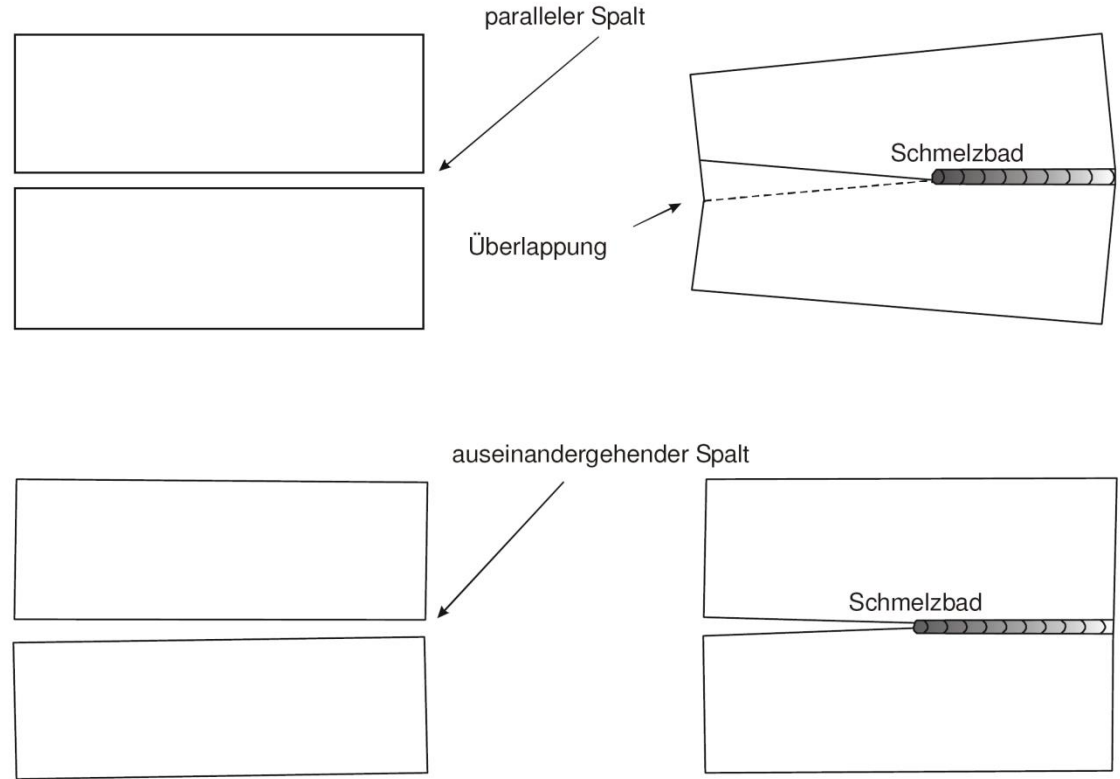
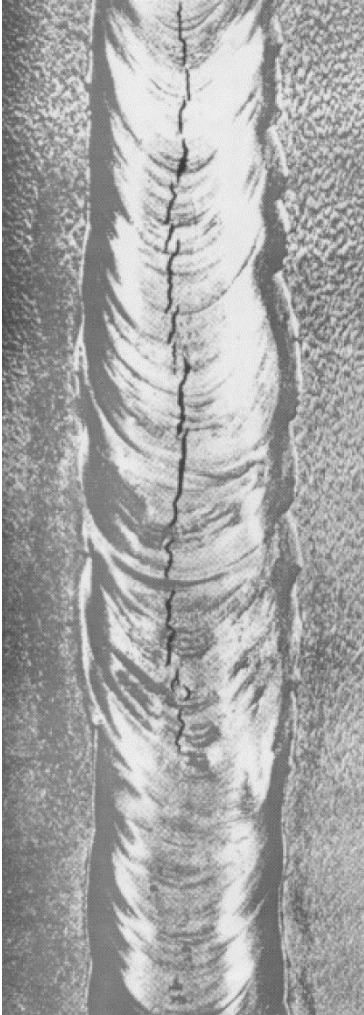


Dehngrenze $\sigma_{0,2}$ u, Zugfestigkeit σ_B von stumpf schutzgas-geschweißten Blechen im Vergleich zum Ausgangszustand

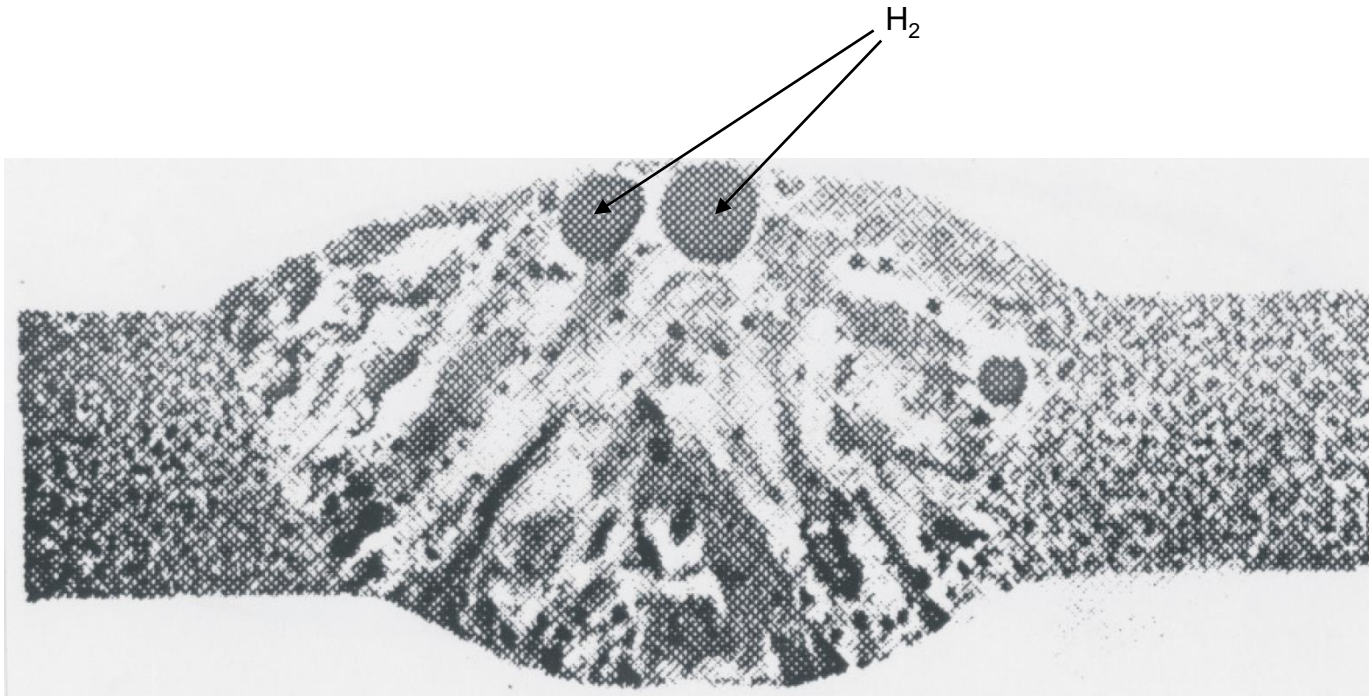


Wiederaushärtung in der Wärmeeinflusszone bei AlZnMg1-Blechen sofort (0d) und 180 Tage (180d) nach dem Schweißen

Folie Heißrissbildung / Verzug



(Quelle: ISF Aachen)

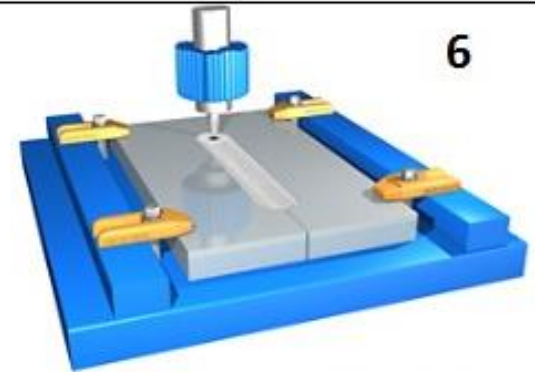
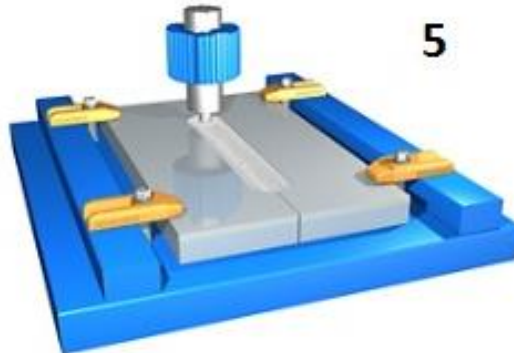
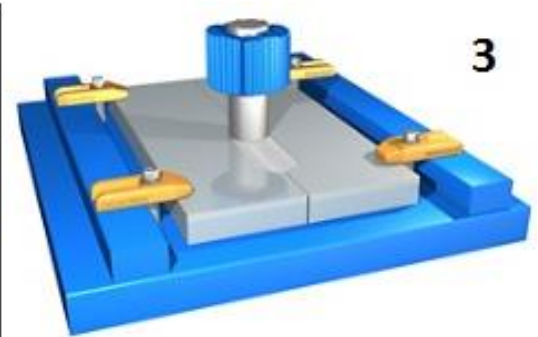
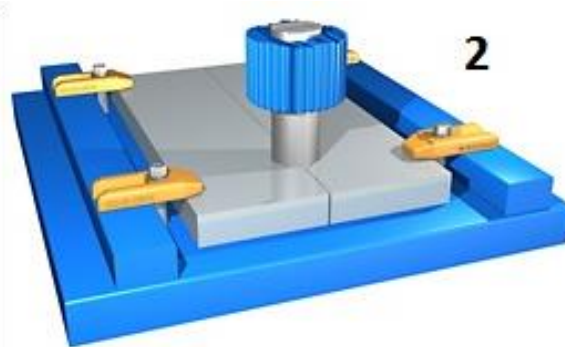
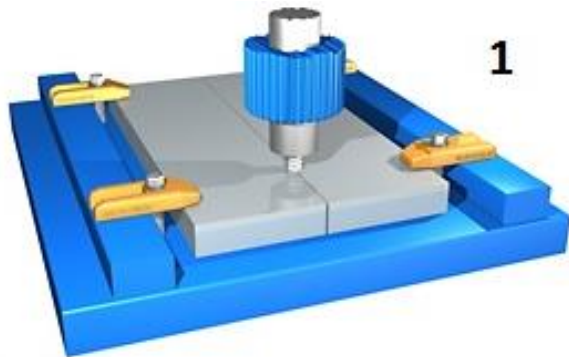


(Quelle: ISF Aachen)

Folie Schutzgasschweißverfahren im Schienenfahrzeugbau

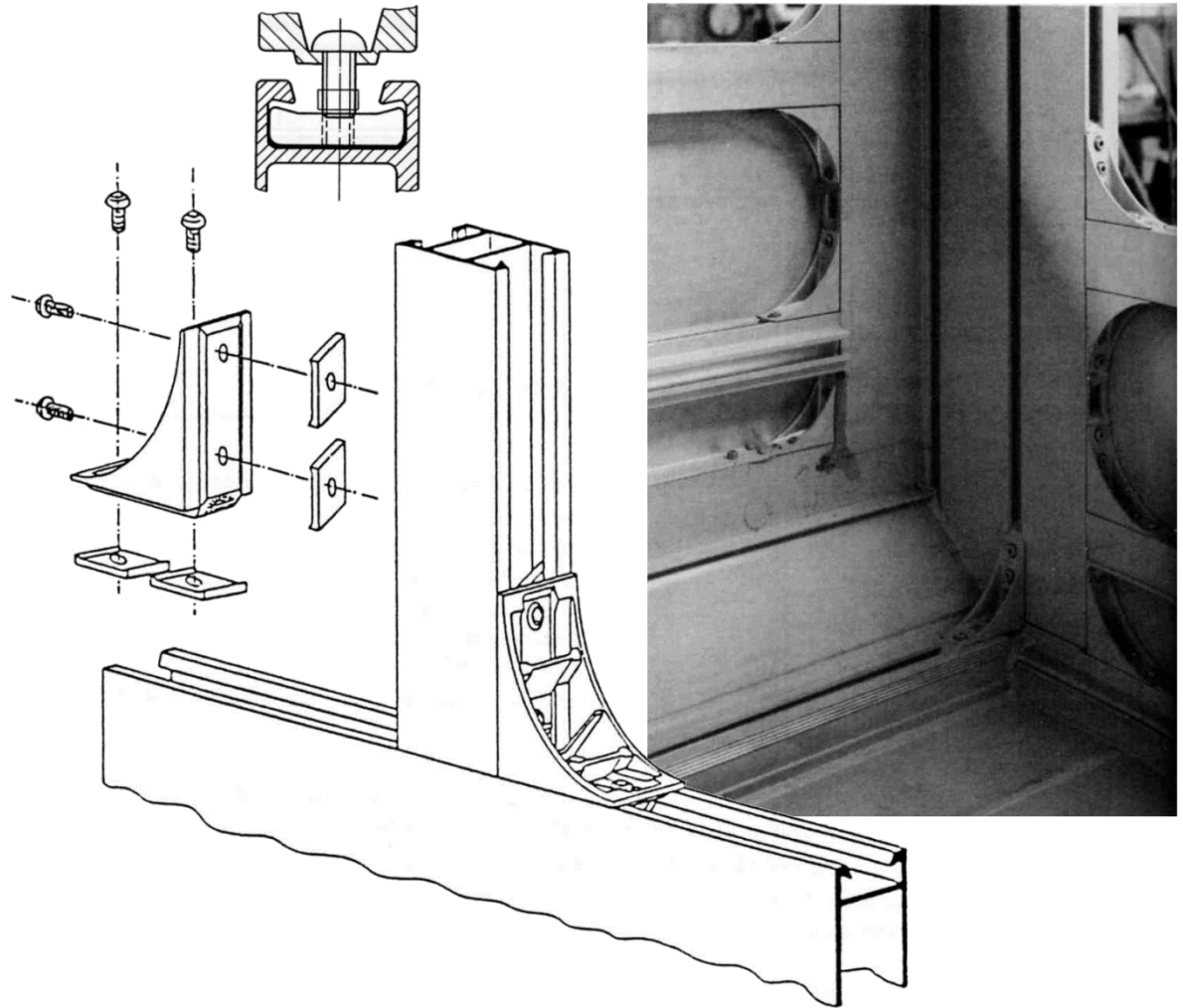
MIG	WIG
Lichtbogen zwischen abschmelzender Drahtelektrode und Werkstück unter inertem Edelgasschutz <ul style="list-style-type: none">- kleine Brenner- Schutzgasaufwand niedrig- Schweißstelle gut zugänglich	Lichtbogen zwischen <u>nicht</u> abschmelzender Wolframelektrode und Werkstück unter inertem Edelgasschutz <ul style="list-style-type: none">- Schweißzusatzwerkstoff muss extra zugeführt werden- Vorteil: Entkopplung von Zugabe Schweißzusatz und Stromstärke → bessere Abstimmung
hohe Abschmelzleistung <ul style="list-style-type: none">→ hohe Schweißgeschwindigkeit→ Energiedichte größer WIG	niedrige Abschmelzleistung <ul style="list-style-type: none">→ geringe Schweißgeschwindigkeit→ Energiedichte geringer MIG
Werkstückdicke: >0,5 mm	Werkstückdicke: 0,5 ... 6 mm → Dünnsblech
für alle Positionen geeignet	für alle Positionen möglich
ggf. Kühlung Brenner	Kühlung der Wolframelektrode ($T_s = 3387 \text{ °C}$) notwendig geringer Verzug durch konzentrierten Wärmeeintrag → kleine WEZ
geringere Kosten als beim WIG	höhere Anschaffungs-/Betriebskosten als MIG
gut automatisierbar	gut automatisierbar

Folie Reibrührschweißen (friction stir welding)

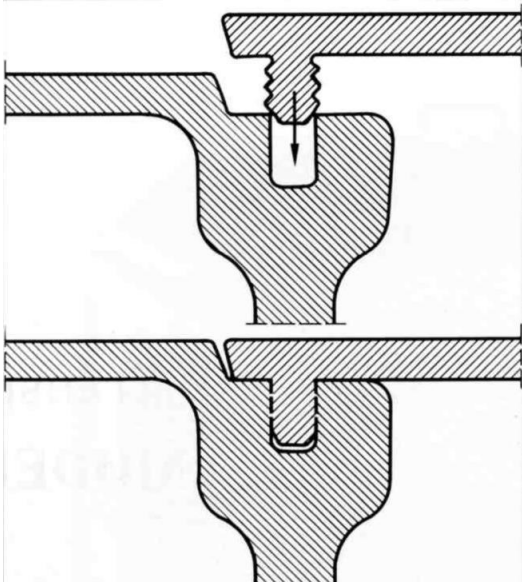


(Quelle: de.wikipedia.org)

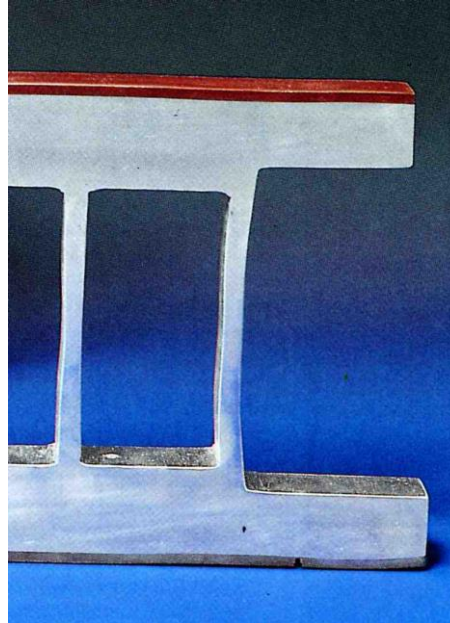
Folie Schraubverbindungssystem Wagenkastenaufbau RegioSprinter



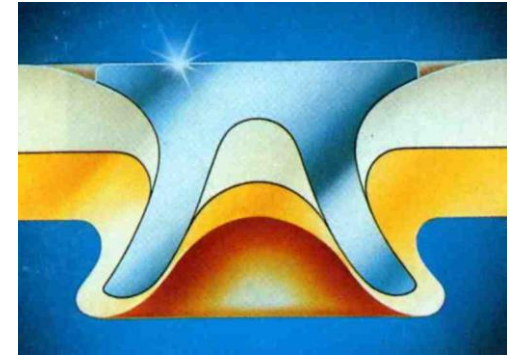
(Quelle: Schraut: ETR 44(1995)5)



Kaltpressschweißen



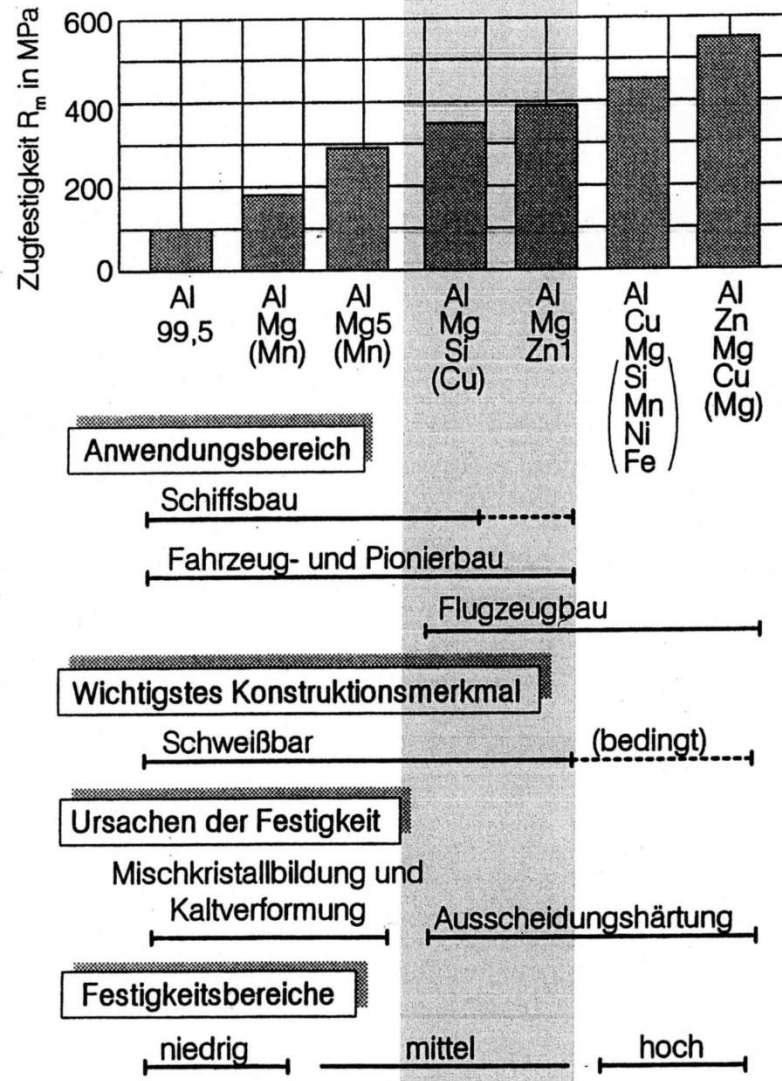
Sprengfügen



Vernieten ohne Vorbohren

(Quelle: Aluminium Journal Fügetechniken)

Folie Anwendungsbereich und Merkmale von Aluminium



(Quelle: Aluminium-Taschenbuch)

Folie Empfehlungen für Werkstoffauswahl – Aluminium Merkblatt

Anwendungsgebiet	vorzugsweise anzuwenden	für Anwendung geeignet
Wagenkästen	AlZn4,5Mg1 (EN AW-7020) AlMg2Mn0,8 (EN AW-5049) AlMg4,5Mn (EN AW-5083) AlMgSi0,7 (EN AW-6005 A)	AlMgSi1 (EN AW-6082) AlMg3 (EN AW-5754) AlMg1 (EN AW-5005)
Ausstattung	AlMgSi0,5 (EN AW-6060) AlMg3 (EN AW-5754)	AlMgSi1 (EN AW-6082) AlZn4,5Mg1 (EN AW-7020)
Hubschiebedächer, Waggontüren	AlMgSi (EN AW-6060) AlMgSi0,5 (EN AW-6060)	AlMg4,5Mn (EN AW-5083)
Radscheiben, Achslagergehäuse	AlCuSiMn (EN AW-2014) AlMgSi1 (EN AW-6082)	AlCuMg1 (EN AW-2017 A)

(Quelle: Aluminium-Merkblatt W2: Aluminium-Knetwerkstoffe)

Tabelle 2 — Werkstoffauswahl für Strangpressprofile

Werkstoff nach DIN EN 755-2	Zustands- hinweis	Festigkeitseigenschaften									Allgemeine Hinweise		
		Wanddicke ^b		Zugfestigkeit		0,2 %- Dehn- grenze	Bruchdehnung		Schweiß- verbindung				
		über mm	bis mm	R_m MPa	min. max.		$R_{p0,2}$ MPa	A_{50mm} % A %	R_m MPa	$R_{p0,2}$ MPa			
min.	max.	min.		min.	min.	min.	min.						
EN AW-6005A-T6 (Vollprofile) ^a	lösungsgeglüht und warmaus- gelagert	–	5	270	–	225	6	–	165	115	EN AW-6060 für gering beanspruchte Teile, insbesondere bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation. Alle weiteren Werkstoffe für höher beanspruchte Teile, z. B. Wagenkasten. Gut schweißbar mit SG- <chem>AlMg4,5MnZr</chem> , <chem>SG-<chem>AlMg4,5Mn</chem></chem> und <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> . Bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation ist <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> zu verwenden. Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone beachten. Die Werkstoffe EN AW-6005A, EN AW-6060 und EN AW-6106 sind sehr gut strangpressbar, komplizierte Mehrkammerhohl- profile mit kleinsten Wand- dicken sind möglich. EN AW-6082 ist gut strang- pressbar. Im Zustand kaltaus- gehärtet T4 können die Werk- stoffe kalt umgeformt werden.		
		5	10	260	–	215	6	–					
		10	25	250	–	200	6	8					
EN AW-6005A-T6 (Hohlprofile) ^a	lösungsgeglüht und warmaus- gelagert	–	5	255	–	215	6	–	110	65		EN AW-6060 für gering beanspruchte Teile, insbesondere bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation. Alle weiteren Werkstoffe für höher beanspruchte Teile, z. B. Wagenkasten. Gut schweißbar mit SG- <chem>AlMg4,5MnZr</chem> , <chem>SG-<chem>AlMg4,5Mn</chem></chem> und <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> . Bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation ist <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> zu verwenden. Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone beachten. Die Werkstoffe EN AW-6005A, EN AW-6060 und EN AW-6106 sind sehr gut strangpressbar, komplizierte Mehrkammerhohl- profile mit kleinsten Wand- dicken sind möglich. EN AW-6082 ist gut strang- pressbar. Im Zustand kaltaus- gehärtet T4 können die Werk- stoffe kalt umgeformt werden.	
		5	15	250	–	200	6	8					
EN AW-6060-T66 ^a	lösungsgeglüht und warmaus- gelagert	–	3	215	–	160	6	–	110	65			EN AW-6060 für gering beanspruchte Teile, insbesondere bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation. Alle weiteren Werkstoffe für höher beanspruchte Teile, z. B. Wagenkasten. Gut schweißbar mit SG- <chem>AlMg4,5MnZr</chem> , <chem>SG-<chem>AlMg4,5Mn</chem></chem> und <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> . Bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation ist <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> zu verwenden. Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone beachten. Die Werkstoffe EN AW-6005A, EN AW-6060 und EN AW-6106 sind sehr gut strangpressbar, komplizierte Mehrkammerhohl- profile mit kleinsten Wand- dicken sind möglich. EN AW-6082 ist gut strang- pressbar. Im Zustand kaltaus- gehärtet T4 können die Werk- stoffe kalt umgeformt werden.
		3	25	195	–	150	6	8					
EN AW-6082-T6 ^a	lösungsgeglüht und warmaus- gelagert	–	5	290	–	250	6	–	185	125	EN AW-6060 für gering beanspruchte Teile, insbesondere bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation. Alle weiteren Werkstoffe für höher beanspruchte Teile, z. B. Wagenkasten. Gut schweißbar mit SG- <chem>AlMg4,5MnZr</chem> , <chem>SG-<chem>AlMg4,5Mn</chem></chem> und <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> . Bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation ist <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> zu verwenden. Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone beachten. Die Werkstoffe EN AW-6005A, EN AW-6060 und EN AW-6106 sind sehr gut strangpressbar, komplizierte Mehrkammerhohl- profile mit kleinsten Wand- dicken sind möglich. EN AW-6082 ist gut strang- pressbar. Im Zustand kaltaus- gehärtet T4 können die Werk- stoffe kalt umgeformt werden.		
		5	25	310	–	260	8	10					
EN AW-6106-T6 ^a	lösungsgeglüht und warmaus- gelagert	–	10	250	–	200	6	–	160	95		EN AW-6060 für gering beanspruchte Teile, insbesondere bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation. Alle weiteren Werkstoffe für höher beanspruchte Teile, z. B. Wagenkasten. Gut schweißbar mit SG- <chem>AlMg4,5MnZr</chem> , <chem>SG-<chem>AlMg4,5Mn</chem></chem> und <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> . Bei Bauteilen für dekorative anodische Oxidation ist <chem>SG-<chem>AlMg5</chem></chem> zu verwenden. Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone beachten. Die Werkstoffe EN AW-6005A, EN AW-6060 und EN AW-6106 sind sehr gut strangpressbar, komplizierte Mehrkammerhohl- profile mit kleinsten Wand- dicken sind möglich. EN AW-6082 ist gut strang- pressbar. Im Zustand kaltaus- gehärtet T4 können die Werk- stoffe kalt umgeformt werden.	

^a Die Festigkeitseigenschaften dürfen durch Abschrecken an der Presse erzielt werden.

^b Wenn der Querschnitt eines Profils sich aus unterschiedlichen Dicken zusammensetzt, denen verschiedene Werte der Festigkeitseigenschaften zugeordnet sind, gelten jeweils die niedrigsten festgelegten Werte für gesamten Querschnitt des Profils.

Folgende Legierungen werden für den Einsatz bei Schienenfahrzeugen empfohlen:

– Strangpressprofile:

EN AW-6005A, EN AW-6082, EN AW-6060, EN AW-6106,

– Bänder, Bleche und Platten:

EN AW-5083, EN AW-5454, EN AW-5754, EN AW-6082,

– Aluminiumguss:

EN AC 21000, EN AC 42000, EN AC 43300, EN AC 51300,

– Schmiedeteile:

EN AW-5754, EN AW-5083, EN AW-6005A, EN AW-6082.

Bei Halbzeugen der Legierung EN AW-7020 (AlZn_{4,5}Mg₁) existiert ein Risiko in Bezug auf Spannungsrisskorrosions- bzw. Schichtkorrosionsempfindlichkeit.

Folie Aluminium-Legierungen im Tragwerk

Al-Legierung

Al Mg Si (Serie 6000)



Al Zn Mg (Serie 7000)



Al Mg (Serie 5000)



Al Cu (Serie 2000)

1927

1960

1971

1978

1991

2000

(Quelle: nach Schlimbach: ZEVrail Glas. Ann. (2004) Sonderheft Graz)

Folie Vergleich Aluminium-Legierungen (I)

Legierung	AlMg (Serie 5000)	AlMgSi (Serie 6000)	AlZn (Serie 7000)
Aushärtbarkeit	nicht aushärtbar (naturhart)	aushärtbar <ul style="list-style-type: none"> • kalt- und warmaushärtend (Warm-aushärtung → höhere Festigkeiten) • Kaltumformung (Recken) sofort nach Abkühlen beschleunigt Aushärtungsvorgang 	aushärtbar <ul style="list-style-type: none"> • Auslagerung bei Raumtemperatur → nach 3 Monaten wieder Festigkeitswerte des kaltausgehärteten Zustands)
Festigkeit	höchste Festigkeiten bei naturharten Alu-Legierungen (Mg erhöht Festigkeit)	geringere Festigkeiten als AlZnMg ↳ besser pressbar (dimensionierungsgerechte, gewichtsoptimierte Profile)	mittlere ... hohe Festigkeit ↳ mittlere Pressbarkeit (größere Wandstärken)
Schweißbarkeit	schweißbar	gut schweißbar (Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone)	günstige Schweiß Eigenschaften (erneutes Aushärten der WEZ ohne erneutes Lösungsglühen)
Weitere Eigenschaften	Korrosionsanfälligkeit bei <u>höheren</u> Mg-Gehalten (für interkristalline Korrosion anfällige Korngrenzenauscheidungen → Mg↓, Mn-Zusatz, Heterogenisierungsglühen)	am häufigsten angewendete aushärtbare Knetlegierung → die Legierung für Strangpressprofile	befriedigende Korrosionsbeständigkeit: <ul style="list-style-type: none"> • abhängig von Wärmebehandlung • geringe Verschlechterung durch Zn • Gefahr der Spannungsrisskorrosion (Einzelschäden z.B. U-Bahn Nürnberg)

Folie Vergleich Aluminium-Legierungen (II)

Legierung	AlMg (Serie 5000)	AlMgSi (Serie 6000)	AlZn (Serie 7000)
Wichtigste Vertreter	EN AW-5083 [AlMg4,5Mn]	<ul style="list-style-type: none"> • EN AW-6060-T66 [AlMgSi0,5-F22] → nur für untergeordnete Teile (Halter, Stangen, Rohre, ...) • EN AW-6005A [AlMgSi0,7] -T6 (-F26) → Profile 6...10 mm -T6 (-F27) → Profile ≤ 6 mm 	EN AW-7020 [AlZn4,5Mg1] <ul style="list-style-type: none"> • Stark kerbempfindlich • Starker alterungsbedingter Abfall der Ermüdungsfestigkeit • Einsatz nicht mehr empfohlen (DVS 1608)
Anwendungsbeispiele	<ul style="list-style-type: none"> • EN AW-5083 [AlMg4,5Mn]: <ul style="list-style-type: none"> – ICE 1/2-Mittelwagen, ICE 3, ICE-T: Bleche – BR 610: Bleche in Vorbauten u. Stirnwänden • EN AW-5049-H18 [AlMg2Mn0,8-F29]: S-Bahn Rhein/Ruhr 	<ul style="list-style-type: none"> • Tbis 875: Güterwagen mit 2 Radsätzen, Schiebewänden und Hubschiebedach <ul style="list-style-type: none"> – Dach, Seitenwände: AlMgSi – Untergestell: S355 • Strangpressprofile: <ul style="list-style-type: none"> – ICE 1/2-Mittelwagen, ICE3 → EN AW-6005A [AlMgSi0,7] – ICE T → auch EN AW-6060 [AlMgSi0,6] • Blechplatten: <ul style="list-style-type: none"> – ICE 3 → EN AW-6082 [AlMgSi1] 	<ul style="list-style-type: none"> • hochbeanspruchte Profile und Bleche der tragenden Struktur • reparaturträchtige Bereiche (bei Raumtemperatur aushärtend) • U-Bahn Berlin: EN AW-7020 [AlZnMg1, AlZn4,5Mg1] • S-Bahn Berlin • S-Bahn-Steuerwagen Bxf 796: EN AW-7020 [AlZn4,5Mg1] → Korrosionsprobleme durch Zn • ICE V Mittelwagen: u.a. EN AW-7020 [AlZn4,5Mg1]

Folie Einsatz von Aluminium-Profilen im Wagenkasten VT 11.5 DB

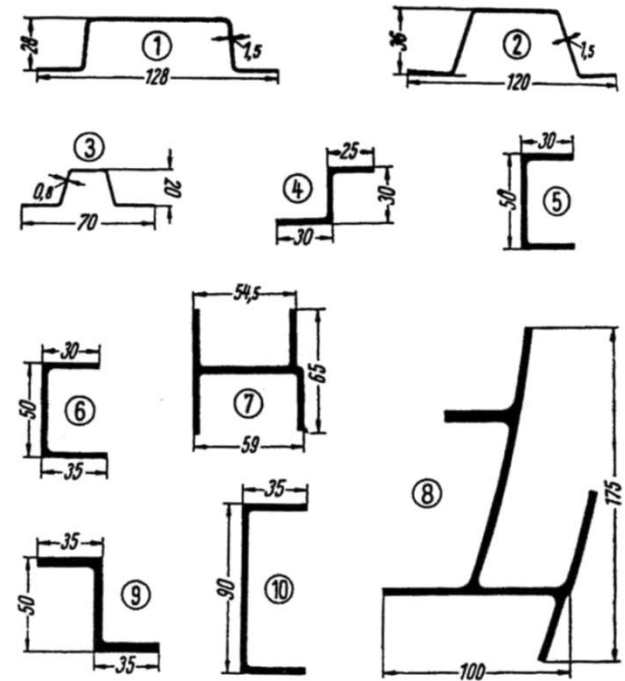
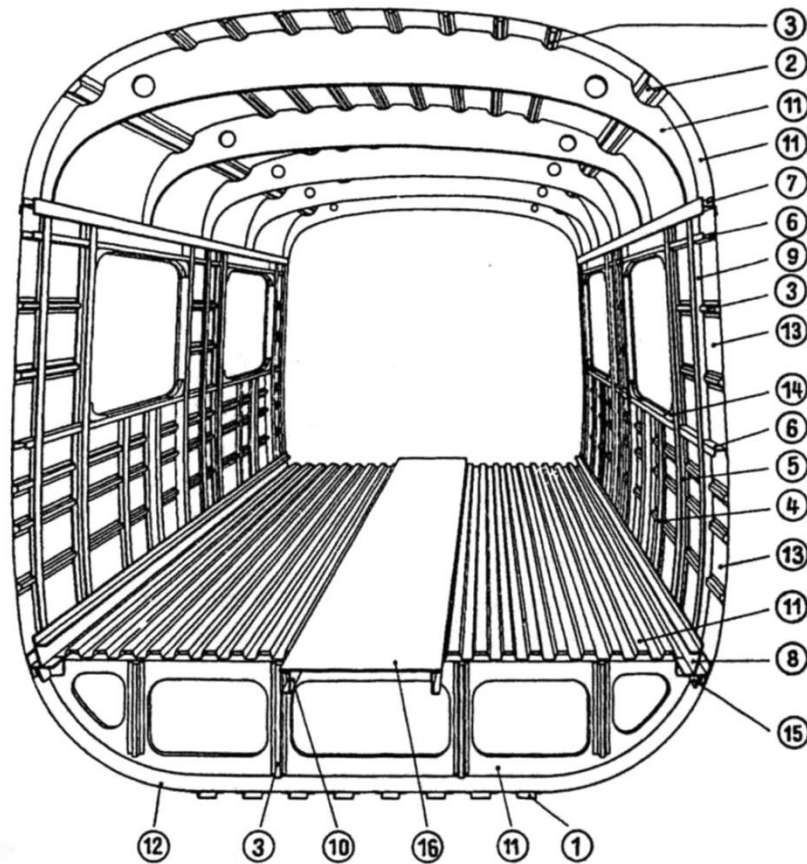


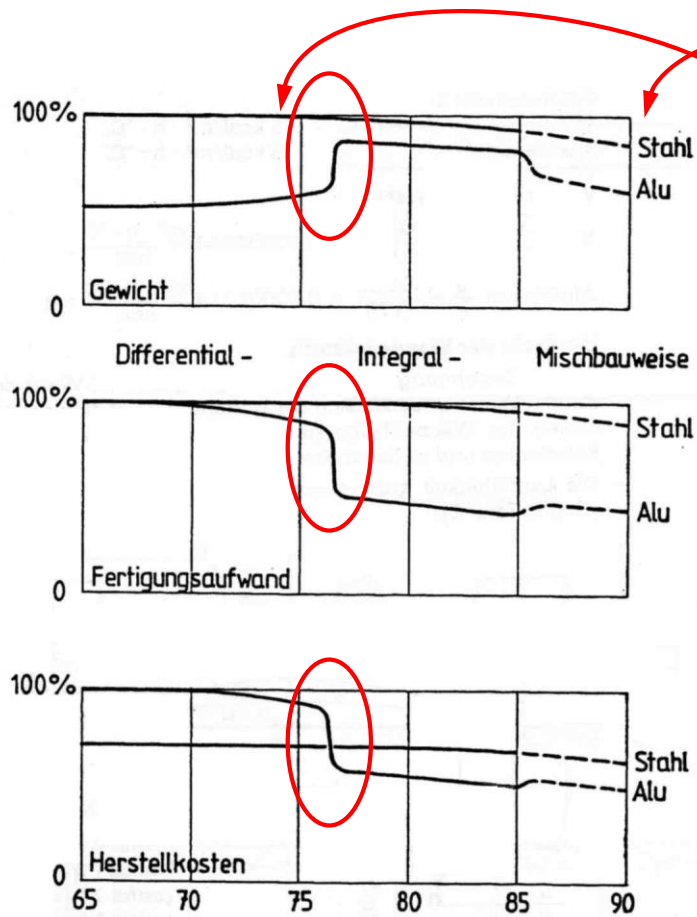
Bild 1: Schematische Darstellung des Wagenkastenaufbaus

Die Ziffern 1 bis 10 entsprechen den oben gezeigten Blech- bzw. Strangpreßprofilen (M. 1 : 5)

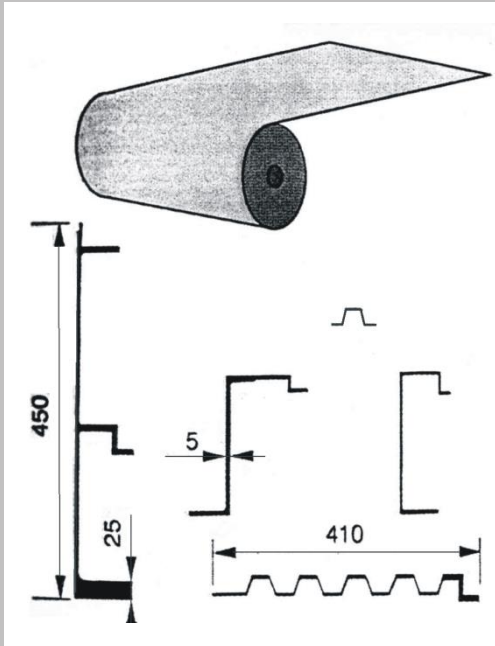
Die Ziffern 11 bis 16 entsprechen folgenden Wanddicken: 11 = 1,5 mm, 12 = 1,8 mm, 13 = 2,0 mm, 14 = 2,5 mm, 15 = 3,0 mm, 16 = 5,0 mm

(Quelle: Taschinger: Technische und wirtschaftliche Entwicklung der Aluminium-Schienefahrzeuge, Symposium „Aluminium im Verkehr“, 1965)

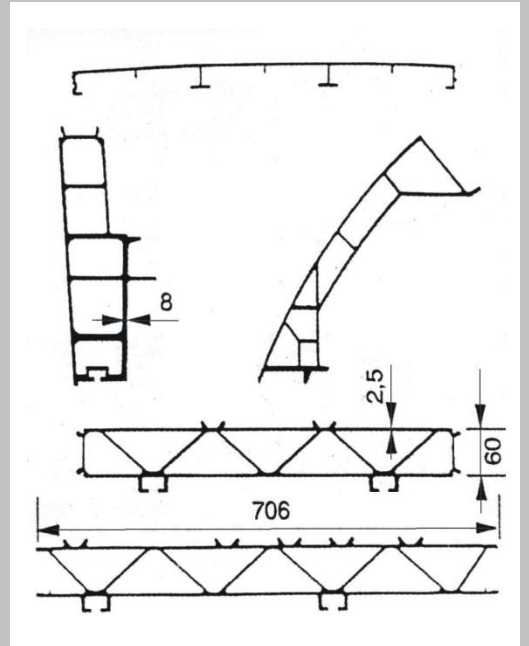
Folie Entwicklung des Einsatzes von Aluminium-Legierungen in Tragwerk



1974

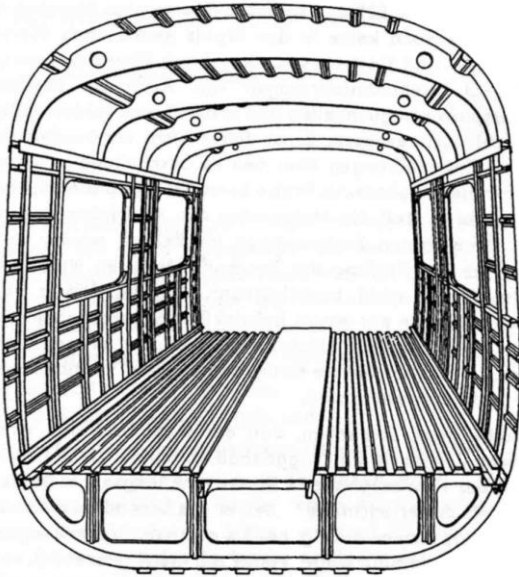


1991

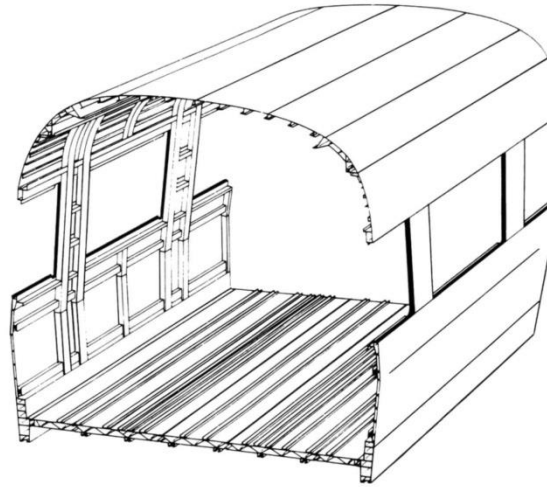


(Quelle: Hassel: ZEV-Glas. Ann. 111(1987)3; Buch Aluminium-Fahrzeuge)

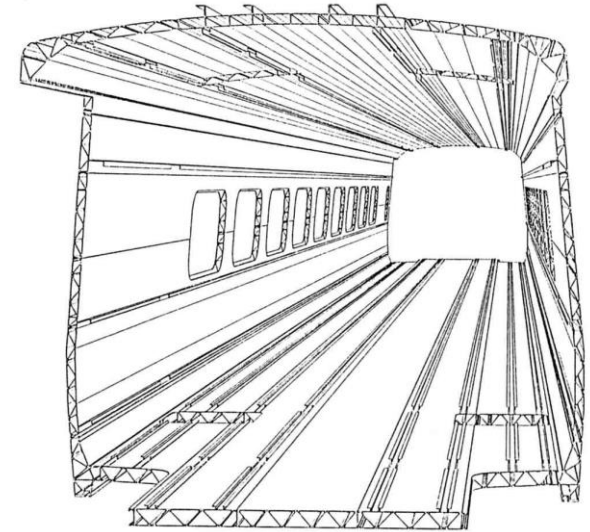
Folie Entwicklung zur Integralbauweise



VT 11.5 (TEE)
(1957)



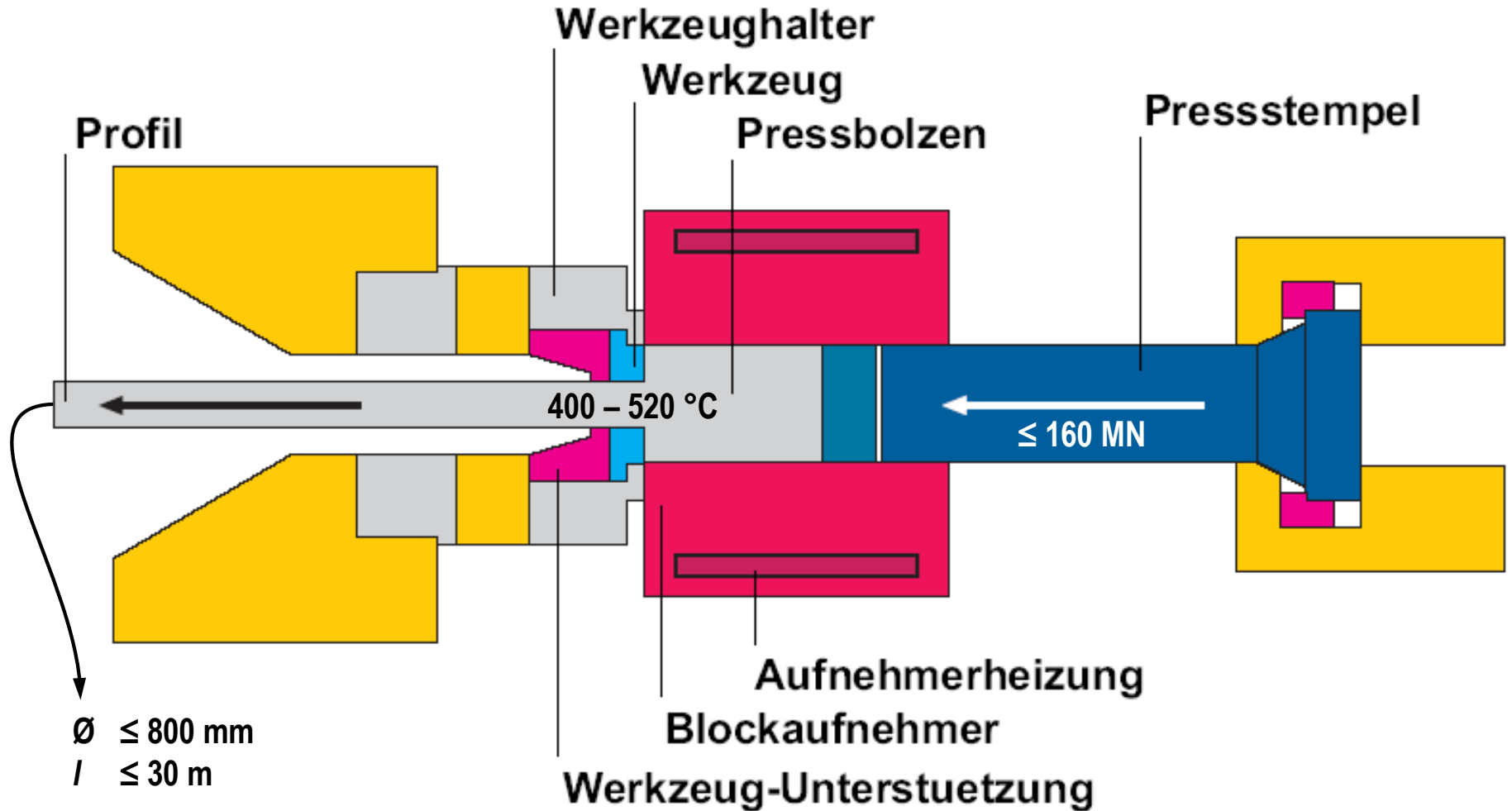
BR 801 (ICE 1)
(1991)



ETR 460 (Pendolino)
(1993)

(Quelle: Taschinger; VAW; Elsner; Schnaas)

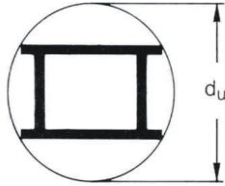
Folie Prinzip Strangpressen



(Quelle: Aluminium-Verband Schweiz)

Folie Mindestwanddicken beim Strangpressen

Mindestwanddicken von Hohlprofilen in Abhängigkeit des umschreibenden Kreises und des Werkstoffes

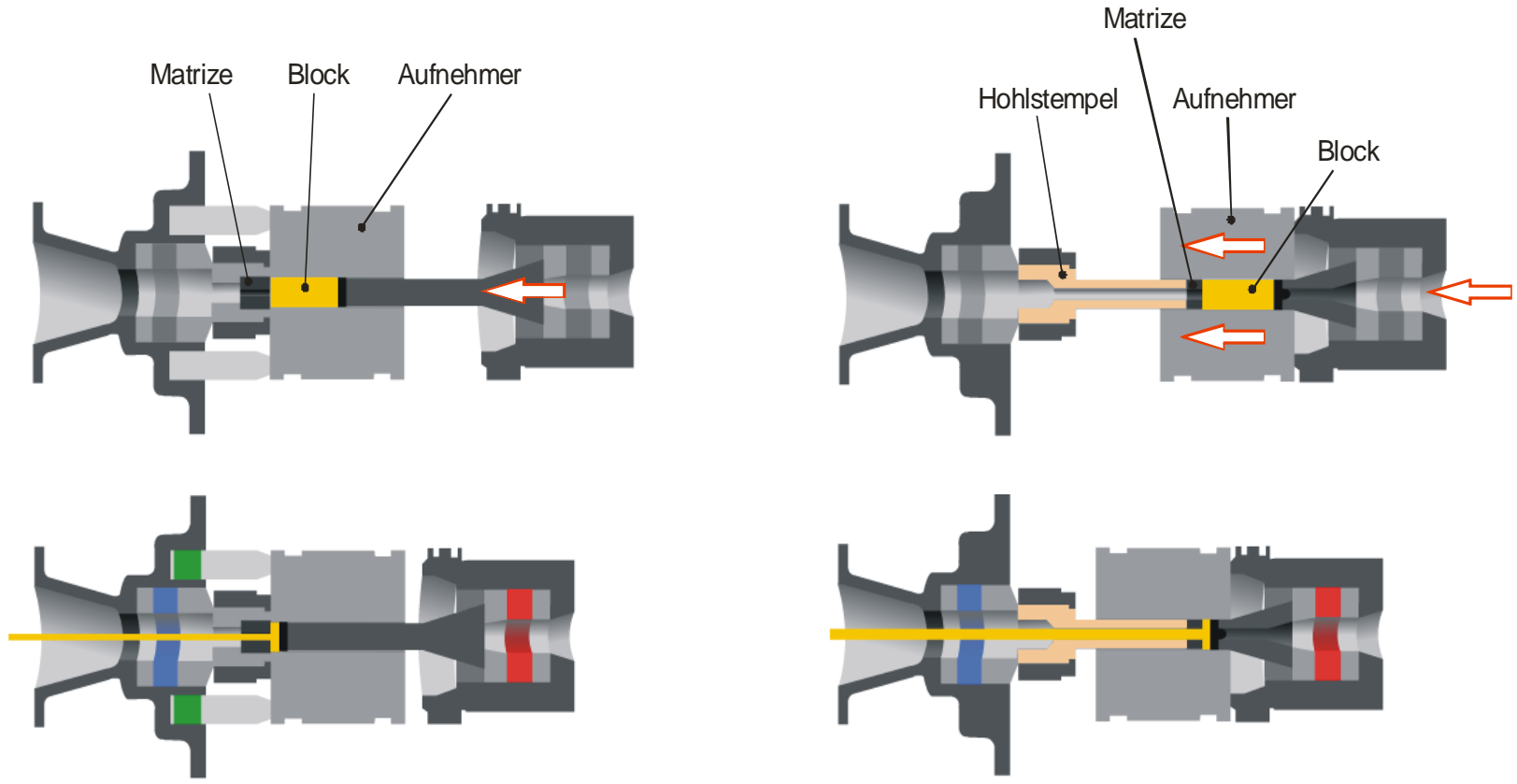


Br = Brückenwerkzeug
 K = Kammerwerkzeug
 D = über Dorn gepreßt

$d_u^{2)}$ (mm)	Werkzeug ⁶⁾ Die ⁶⁾	AlMgSi0,5 F22 AA 6060 VAW 19/06 AlMgSi0,5 F25 AA 6063 VAW 19/10	(AlMgSi F28) ⁴⁾ AA 6005 VAW 19/21 AlMgSi0,7 F27 AA 6005A VAW 19/23	AlMgSi1 F28/31 ⁵⁾ AA 6082 VAW 19/45-52 (AlMg1SiCu F26) AA 6061 VAW 19/61-63	(AlZn5,5Mg1 F40) VAW 21/00 (AlZn6Mg0,8 F35) AA 7003 VAW 21/03 (AlZn4Mg0,8 F31) VAW 21/08	AlZn4,5Mg1 F35 AA 7020 AA 7005 VAW 21/51	AlMg4,5Mn AA 5083 VAW 61/83 AlMg2Mn0,8 AA 5049 VAW 61/00
200	Br, K	2,5	2,8	3,0-7,0	3,2	3,5	
	D	4,0	4,0	4,2-7,0	4,0	4,0	4,0
250	Br, K	3,0	3,2	3,5-8,0	4,0	4,5	
	D	4,5	4,5	4,7-8,0	4,5	4,5	4,5
300	Br, K	3,5	3,7	4,0-10,0	4,5	5,0	
	D	5,0	5,0	5,2-10,0	5,0	5,0	5,0
350	Br, K	4,0	4,5	5,0-12,0	5,0	5,0	
	D	5,5	5,5	5,7-12,0	6,0	6,0	6,0
400	Br, K	4,5	5,0	6,0-14,0	6,5	7,0	
	D ⁷⁾	6,0	6,0	6,2-14,0	7,0	7,5	7,5
450	Br, K	5,0	5,5	6,0-14,0			
	D						
490	Br, K	5,0	5,5	6,0-14,0			
	D						

(Quelle: Broschüre Großprofile VAW AG)

Folie Strangpressverfahren



Direktes Strangpressen

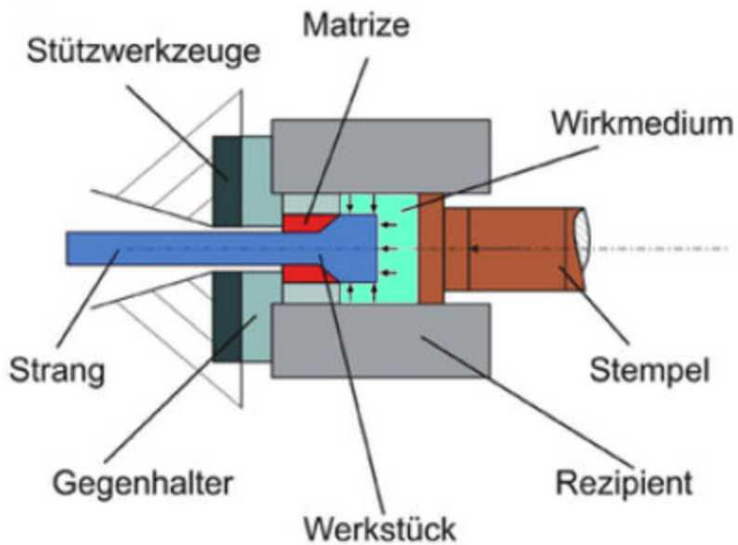
Indirektes Strangpressen

(Quelle: Forschungszentrum Strangpressen TU Berlin; Handbuch Umformen)

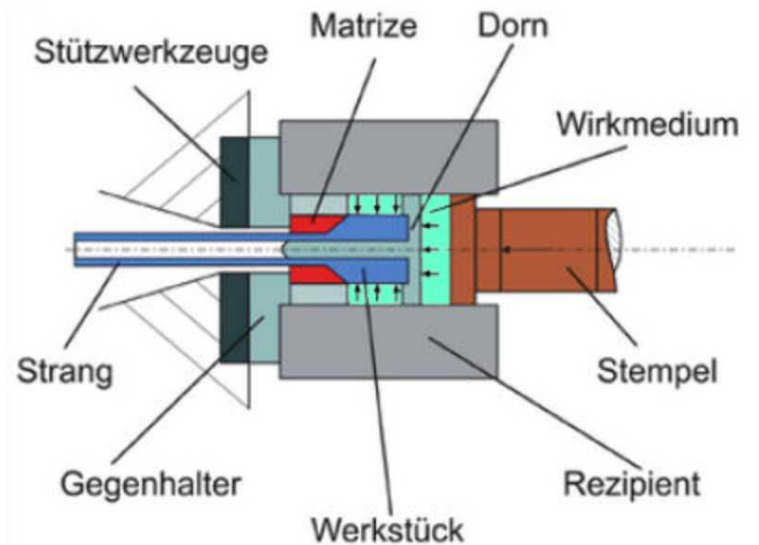
Matrize Block Aufnehmer

Matrize
Hohlstempel Aufnehmer

Hydrostatisches Strangpressen



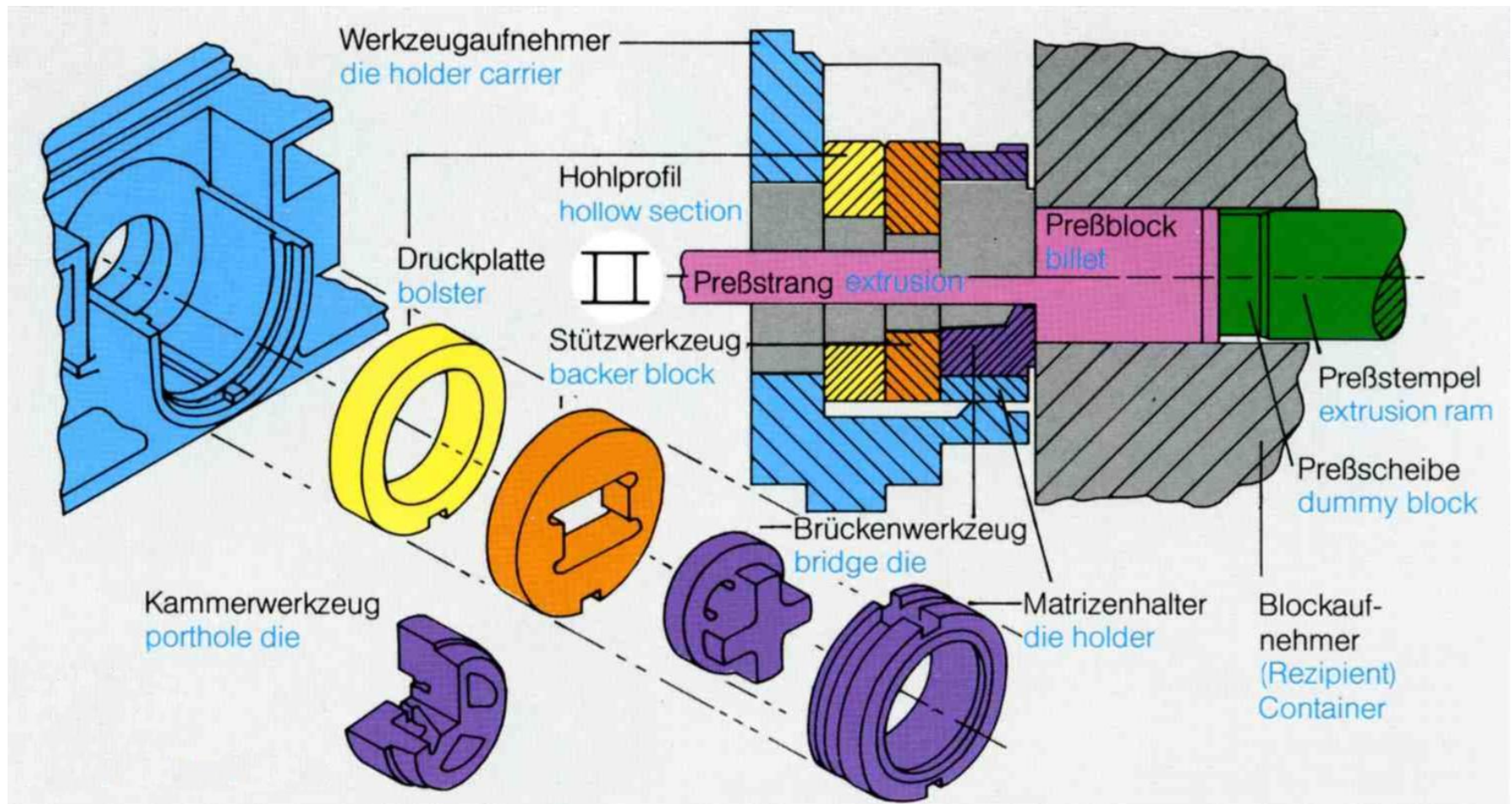
Direktes Strangpressen



Indirektes Strangpressen

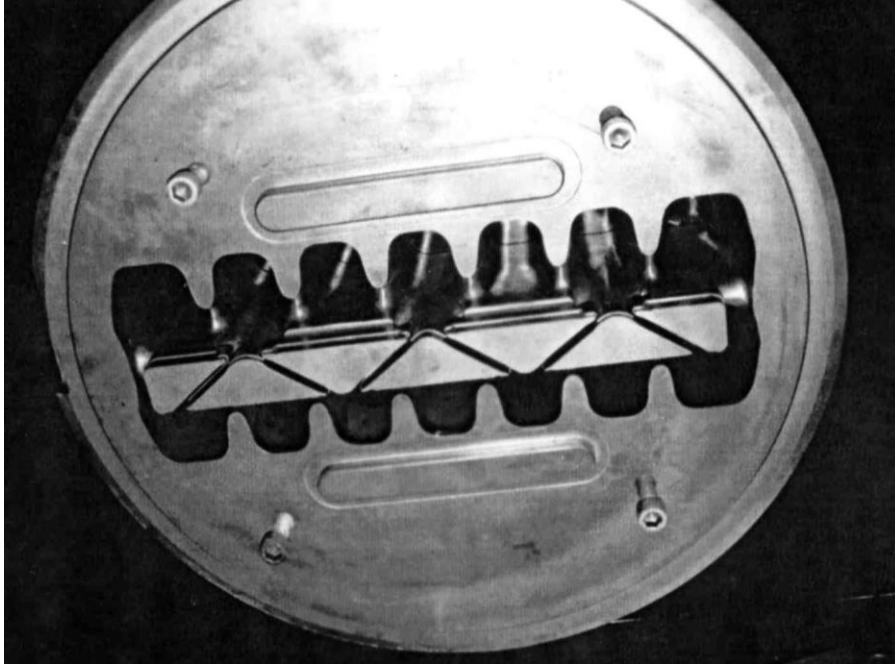
(Quelle: Forschungszentrum Strangpressen TU Berlin; Handbuch Umformen)

Folie Werkzeugaufbau Hohlprofil

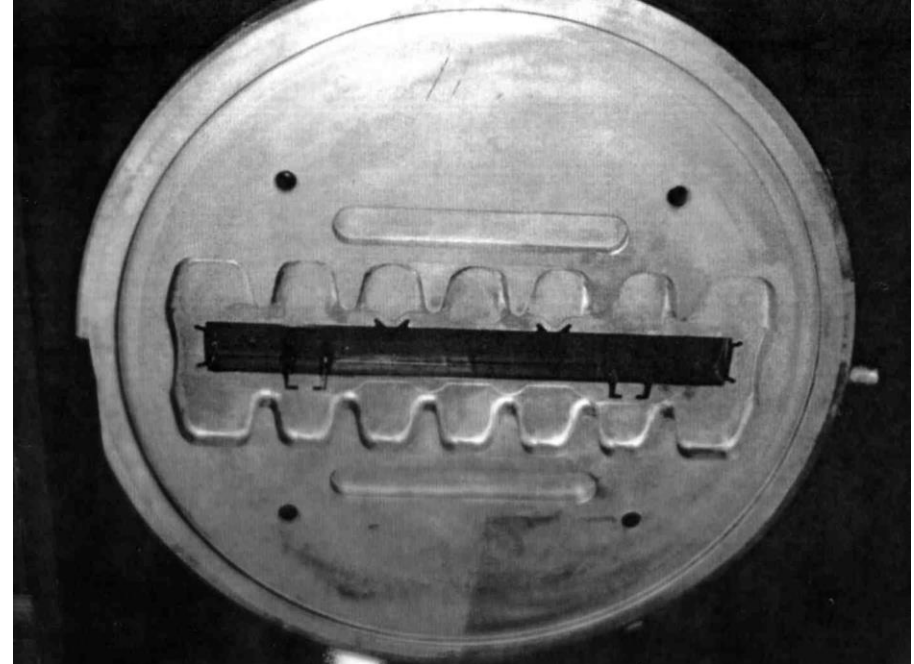


(Quelle: Broschüre Großprofile VAW AG)

Folie Strangpressen von Hohlprofilen



Brückenwerkzeug

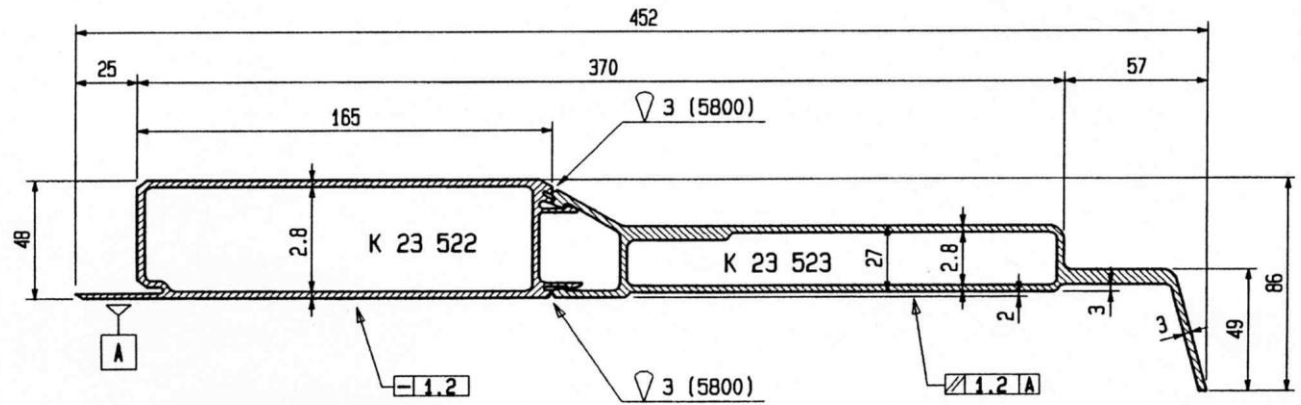
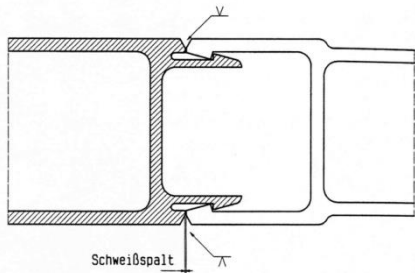
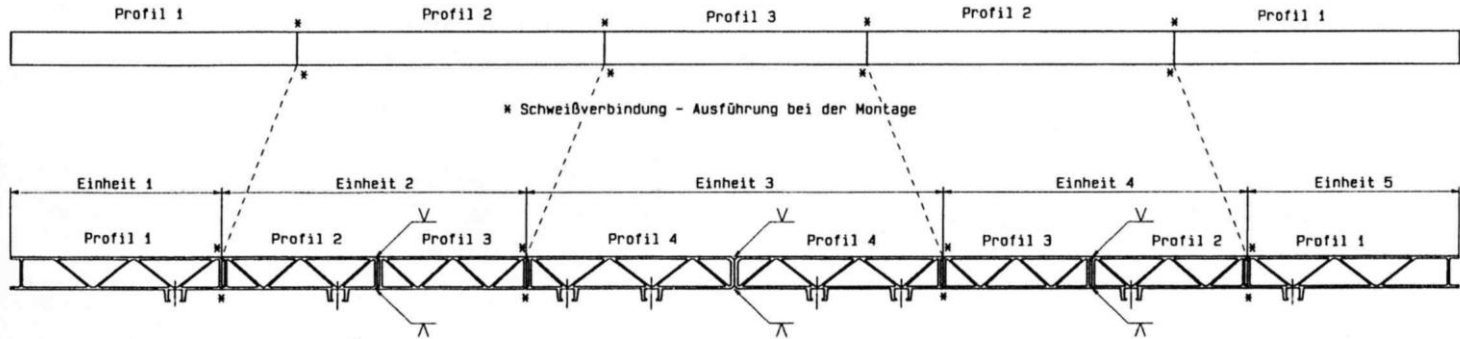


Stützwerkzeug

(Quelle: Dr. Ehinger)

Folie Verschweißen von Profilen mittlerer Größe zu Großprofilen

BAUWEISE MIT GROSSPROFILEN



Geradheit in Längsrichtung: 5mm / 6m
 Verwindung in Längsrichtung: 6mm / 6m

(Quelle: Ellermann; Falk, ZEV Glas. Ann 121(1997)2/3)