

alform®
alform® LASER

Die Verarbeitung

voestalpine

EINEN SCHRITT VORAUSS.

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG

4

1. VORTEILE VON ALFORM® UND LASER-ALFORM®

6

1.1 Produktvorteile

8

1.2 Einsatzbeispiele von ALFORM®-Stählen in der Praxis

12

2. PRODUKT – ALFORM® UND LASER-ALFORM®

16

2.1 Produktbezeichnung/Lieferspezifikation

18

2.2 Produktionsprozess

24

2.3 Produktqualität

26

2.4 Abgrenzung zu anderen warmgewalzten Fabrikaten

27

2.5 Ausblick Forschung & Entwicklung

31

3. ANWENDUNGSTECHNIK

32

3.1 Umformen

34

3.1.1 Schneiden und Stanzen

36

3.1.2 Kanten und Biegen

38

3.1.3 Kaltprofilieren

43

3.1.4 Tiefziehen

44

3.2 Schweißen

45

3.2.1 Schweißen von ALFORM®

45

3.2.2 Allgemein gültige schweißtechnische Hinweise

50

3.3 Laserbrennschneiden

53

3.3.1 Einflüsse auf die Schnittgüte beim Laserbrennschneiden

53

3.3.2 Einfluss der Blechoberfläche

56

3.4 Flammrichten

57

3.4.1 Brennerwahl und Gasgemisch

58

3.4.2 Maximal zulässige Richttemperaturen

58

3.4.3 Kontrolle der Richttemperaturen

60

3.5 Schwingfestigkeit von ALFORM®-Stählen

61

3.5.1 Grundwerkstoff

61

3.5.2 Schweißverbindungen

64

4. ANHANG

66

4.1 Gültige Fassung

68

4.2 Bestellangaben

68

4.3 Verweise

70





Bei den Stahlsorten der ALFORM®- und LASER-ALFORM®-Reihe handelt es sich um thermomechanisch oder normalisierend warmgewalzte Stähle. Die ALFORM®-Stähle sind in Streckgrenzenklassen von 180 bis 900 N/mm² verfügbar, LASER-ALFORM®-Stähle werden derzeit mit Mindeststreckgrenzen bis 420 N/mm² angeboten.

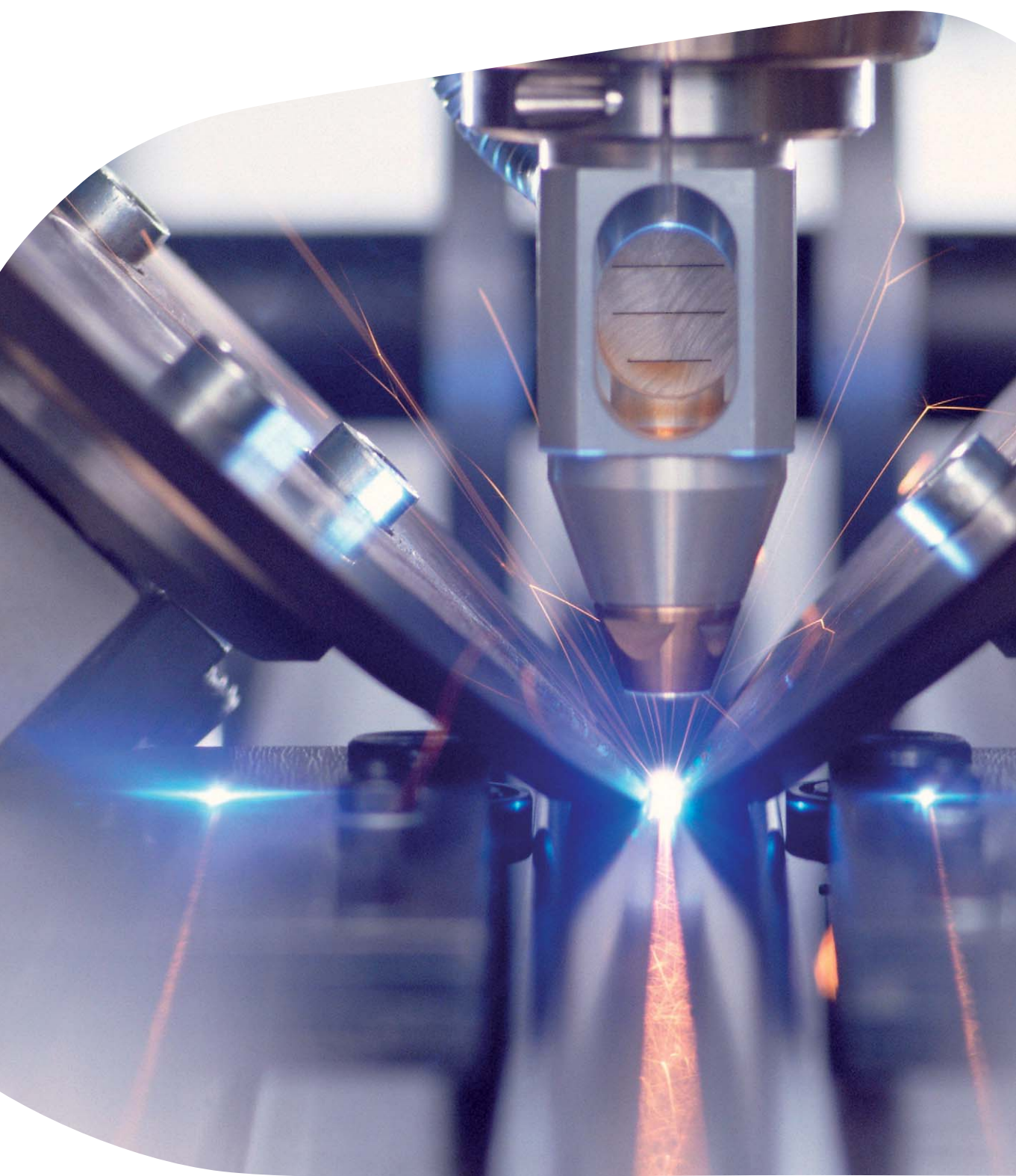
ALFORM® und LASER-ALFORM®

Der Einsatz von ALFORM®-Stählen hat sich in Anwendungsbereichen bewährt, in denen einerseits hervorragenden Verarbeitungseigenschaften, wie gute Umformbarkeit und beste Schweißeignung, und andererseits hoher Festigkeit eine große Bedeutung zukommt.

- Rohr- und Profilindustrie
- Kranbau
- Fahrzeugbau
- Stahlbau
- Landmaschinen
- Containerbau

Die erweiterten Verarbeitungseigenschaften von LASER-ALFORM®-Stählen sind speziell auf die Laserschneideignung abgestimmt und ermöglichen Anwendungsbereiche, in denen hochpräzise Schnitte, gratfreie Schnittkanten und verzugsfreie Teile gefertigt sind.

- Allgemeiner Stahlbau
- Maschinenbau
- Kranbau, Fahrzeugbau



1. Vorteile von ALFORM® und LASER-ALFORM®

Die vielfältigen Produkteigenschaften von ALFORM® und LASER-ALFORM® ermöglichen eine universelle Einsetzbarkeit und ein breites Anwendungsspektrum – maßgeschneidert für Ihren Anwendungsfall!

ALFORM®

- Ausgezeichnete Kaltumformbarkeit
- Hervorragende Schweißbarkeit
- Hohe Gleichmäßigkeit der mechanischen Eigenschaften
- Beste Schneid- und Stanzbarkeit
- Hoher Reinheitsgrad
- Qualitativ hochwertige Oberfläche

erweiterte Eigenschaften LASER-ALFORM®

- Beste Laserschneideignung
- Eingeschränkte Ebenheitstoleranzen bei Tafelblechen
- Gewährleisteter, niedriger Siliziumgehalt



1.1 Produktvorteile

Ausgezeichnetes Kaltumformverhalten

Das feinkörnige, perlitarne Gefüge, der hohe Reinheitsgrad und die Konstanz der mechanischen Eigenschaften gewährleisten beste Umformeigenschaften. Damit können auch bei sehr hohen Streckgrenzenanforderungen (700 N/mm² und darüber)

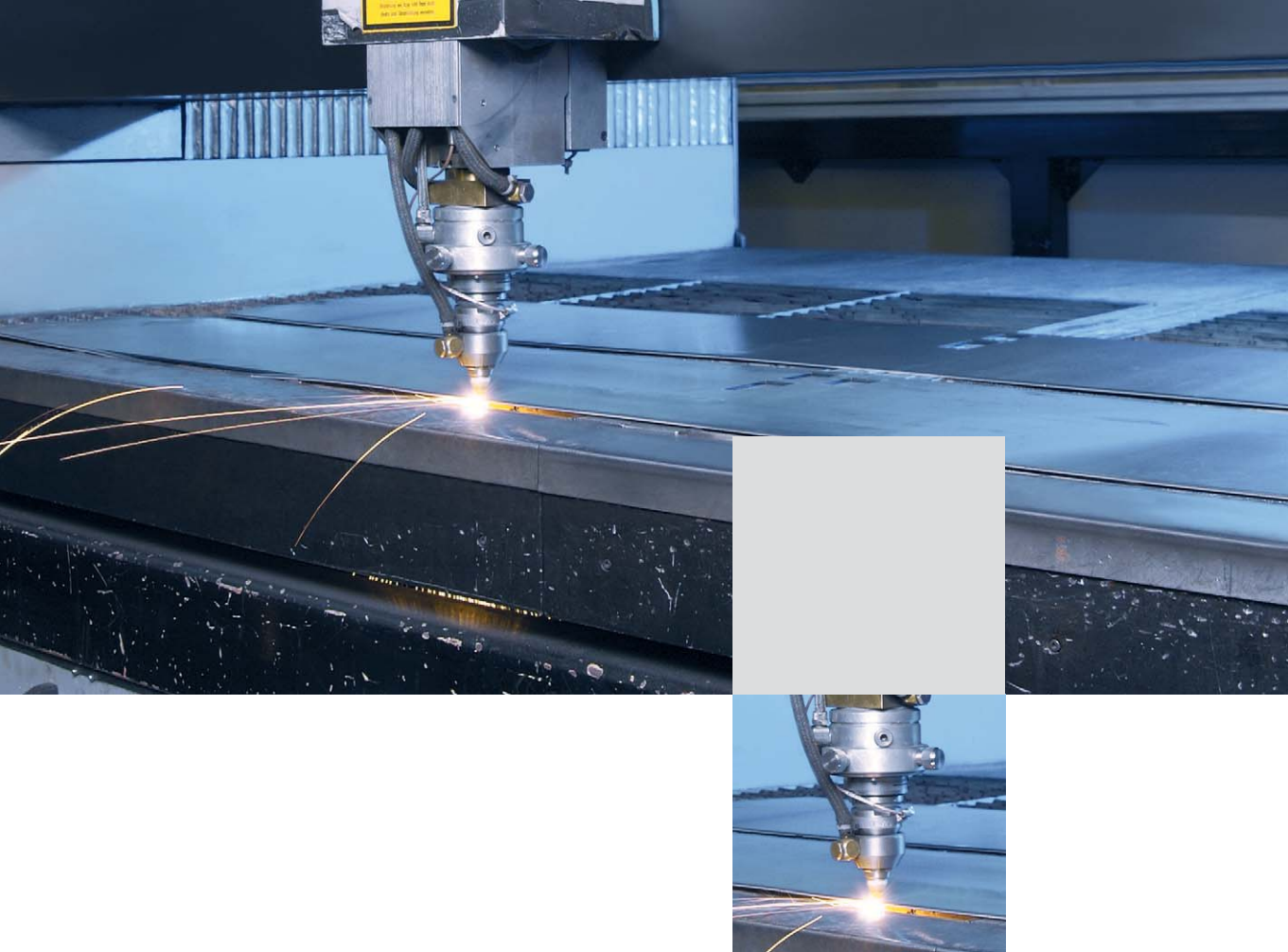
- deutlich engere Biege- und Kantradien als bei Baustählen und Normstählen gleicher Festigkeitsklasse realisiert werden.

Hervorragende Schweißbarkeit

Ein niedriges C-Äquivalent, insbesondere ein niedriger Kohlenstoffgehalt, ist ausschlaggebend für:

- ein großes Schweißparameterfeld (Verarbeitungsbereich),
- einfache Schweißnahtvorbereitung,
- geringe Aufhärtungsneigung und ausgezeichnete mechanisch-technologische Eigenschaften in der Wärmeeinflusszone,
- Kaltrissfreiheit ohne Vorwärmung,
- ausgezeichnete Verformbarkeit der Schweißnähte (siehe Bild).





Beste Schneid- und Stanzeignung

ALFORM®-Stähle eignen sich hervorragend sowohl für mechanisches Schneiden und Stanzen als auch für alle thermischen Schneidverfahren (z. B. Plasma- und Autogenschneiden).

- Gleichmäßige mechanische Eigenschaften stellen minimale Eigenspannung der Bleche sicher und tragen zur Vermeidung von Verwerfungen im Schneidebetrieb bei.
- Senkrechte, auswaschungsfreie Schnittkanten werden aufgrund des hohen Reinheitsgrades hinsichtlich nichtmetallischer Einschlüsse ermöglicht.

Für höchste Anforderungen an die Laserschneideignung werden zusätzlich die Stahlsorten der LASER-ALFORM®-Reihe angeboten. Diese Werkstoffe bieten folgende Vorteile:

- Höchste Schnittgeschwindigkeiten bei bester Schnittkantenausbildung.
- Engste Abmessungstoleranzen (bei Bedarf können 2/3 der Dickentoleranzen gegenüber der EN 10051 eingehalten werden, auf Anfrage sind gegen Aufpreis noch engere Dickentoleranzen einhaltbar) und hervorragende Ebenheit (garantierte Ebenheitsabweichungen ≤ 3 mm auf 1 m Länge) werden durch optimierte Fertigungsbedingungen an der Warmbreitbandstraße und durch spezielle Kontrollen beim Querteilen und Richten an den Scherenlinien erreicht.
- Homogene Sekundärzunderschicht als Garant für den störungsfreien Betrieb von Laserschneidanlagen zur Herstellung von Schnitten mit feinen Riefen und geringer Rautiefe.



Qualitativ hochwertige Oberflächenbeschaffenheit

Bei ungebeiztem Material wird die hochwertige Oberflächenqualität durch eine dünne, gleichmäßige Zunderschicht infolge der thermomechanischen oder normalisierenden Walzung erreicht.

Dadurch ist

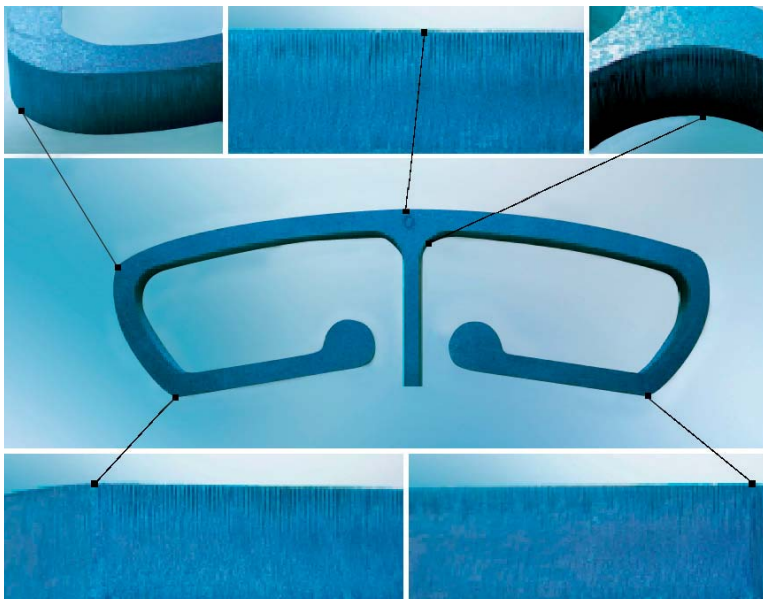
- Schneiden mit thermischen Verfahren auch in ungebeiztem Zustand und
- ein optisch einwandfreies Erscheinungsbild auch nach dem Lackiervorgang gewährleistet.

Darüber hinaus sind verzinkungsfähige ALFORM®-Güten lieferbar.

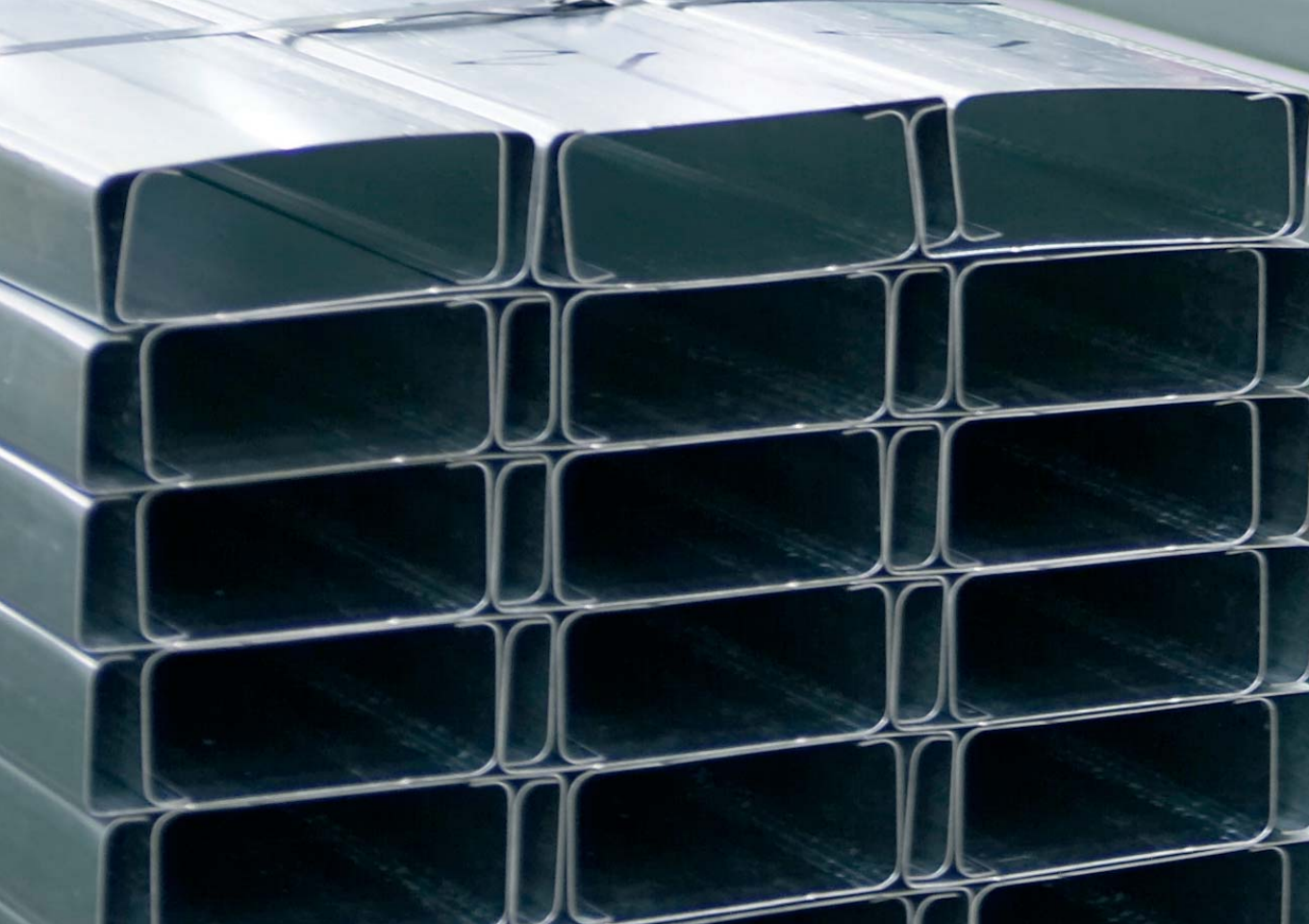
Mechanische Eigenschaften

Die ALFORM®-Stahlsortenreihe umfasst ein breites Spektrum an Streckgrenzenklassen.

- Stahlsorten mit **Mindeststreckgrenzenwerten von 180 N/mm² bis 900 N/mm²** sind lieferbar.
- Der hohe Reinheitsgrad, die niedrigen Gehalte an Phosphor und Schwefel sowie das feinkörnige Gefüge gewährleisten **beste Kerbschlagzähigkeitswerte und ausgezeichnete Umformbarkeit.**



Musterschnitt
 LASER-ALFORM 355 M
 Dicke 10 mm



1.2 Einsatzbeispiele von ALFORM®-Stählen in der Praxis

Vorteile von ALFORM® am Beispiel von Rechteckprofilen

Durch die Verwendung von höher- und höchstfesten ALFORM®-Stählen anstelle von konventionellen Baustählen ergeben sich wesentliche Vorteile für den Anwender. Zur Illustration wird im nachfolgenden Diagramm das von einem Rechteckprofil (konstante Außenabmessung: 120 x 80 mm) maximal ertragbare Biegemoment in Abhängigkeit von der Streckgrenze für unterschiedliche Wanddicken dargestellt.

Ausgangspunkt der Betrachtungen ist ein konventioneller Baustahl S235 mit einer Mindeststreckgrenze von 235 N/mm². Soll mit einem Rechteckprofil aus diesem Stahl ein maximal ertragbares Biegemoment von zum Beispiel 3,6 Mt erreicht werden, ist eine Wanddicke des Profils von 17 mm notwendig. Bei Verwendung von höherfesten ALFORM®-Stählen wie zum Beispiel eines ALFORM 500 M oder eines ALFORM 700 M kann hingegen die Dicke bei gleichbleibendem ertragbarem Biegemoment auf 6 mm bzw. 4 mm verringert werden! Damit ist also eine Massereduktion von rund 65 % bzw. 76 % möglich.

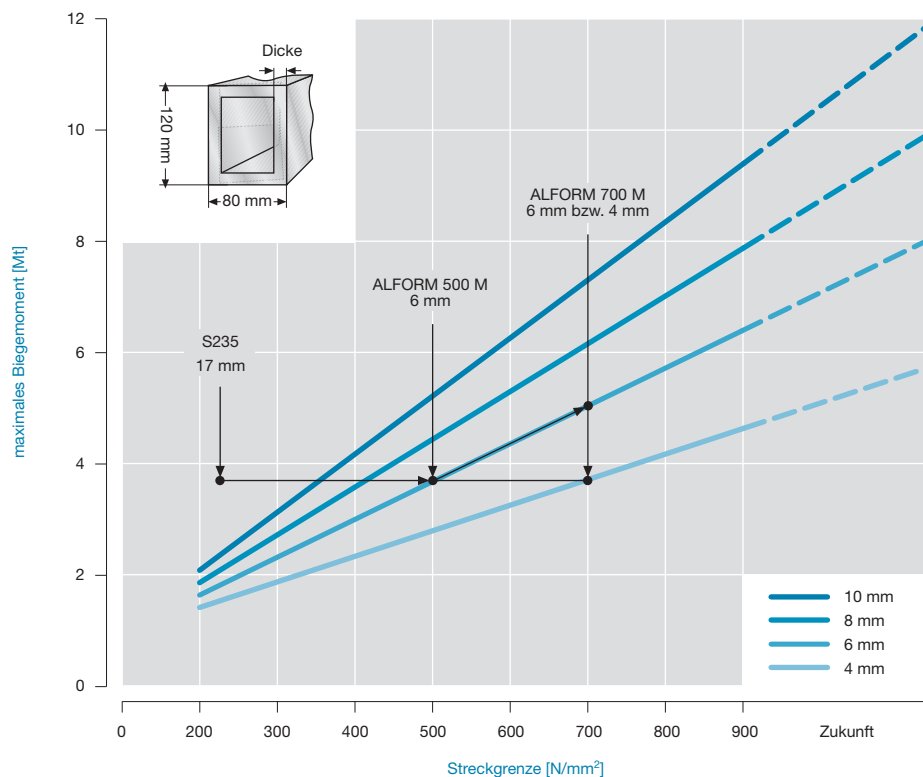
Die Leistungsanforderungen an Bauteile steigen stetig, das heißt, es müssen immer größere Lasten gehoben, transportiert und gelagert werden. Wie am Beispiel des Rechteckprofils gezeigt wird, kann durch die Verwendung eines hochfesten ALFORM 700 M anstelle eines ALFORM 500 M das maximal ertragbare Biegemoment bei gleichbleibender Dicke um rund 45 % erhöht werden.

Aus obiger beispielhafter Betrachtung lassen sich nun folgende Vorteile durch den Einsatz von höher- und höchstfesten ALFORM®-Stählen für den realen Anwendungsfall ableiten:

- Gewinn an Traglast und/oder Reichweite (Kräne, Tragwerke, konstruktiver Stahlbau)
- Gewinn an Transport-/Nutzlast (Mobilkräne, Fahrzeugbau, Container)

Durch die Reduktion der Bauteildicken ergeben sich weiters

- geringerer Materialeinsatz,
- Kostenvorteil trotz des höheren Preises,
- Reduktion von Schweißzusatzwerkstoffen und der Schweißzeit,
- geringere Bearbeitungskosten in der Schweißnahtvorbereitung,
- besseres Handling bei der Verarbeitung (z. B. beim Schneiden und Kanten),
- engere Kantradien.





Gewichtseinsparung durch Verwendung von ALFORM 700 M und 900 M am Beispiel einer Betonpumpe

Durch das in der Straßenverkehrsordnung vorgegebene maximale Fahrzeugsgesamtgewicht von 48 t für Transporte ohne Sondergenehmigung kann das Ziel des Betonpumpenherstellers, die Reichweite/-höhe der Autobetonpumpen immer weiter zu steigern, nur erreicht werden, wenn zunehmend höherfeste Werkstoffe zum Einsatz kommen. Die Vorteile des Einsatzes von ALFORM 700 M und 900 M im Vergleich zu Baustahl S355J2 hinsichtlich der wichtigsten Nutzkenndaten einer Betonpumpe werden durch die folgenden theoretischen Überlegungen deutlich.

SCHWING, einem renommierten Hersteller von Betonbaumaschinen, ist es durch überwiegende Verwendung von ALFORM 700 M und 900 M gelungen, eine Autobetonpumpe mit einem Gesamtgewicht von weniger als 48 t bei einer Reichhöhe von 61 m zu fertigen. Würde man dagegen so eine Maschine aus S355J2 herstellen, käme man auf ein Gesamtgewicht von ca. 100 t.



Dadurch bedingt würde auch das maximale Lastmoment im Lagerpunkt auf den 3-fachen Wert ansteigen. Wegen der deshalb notwendigen größeren Stützbreite wäre auch die Nettoreichweite bei seitlich ausgefahrenem Ausleger ca. 5 Meter kürzer.

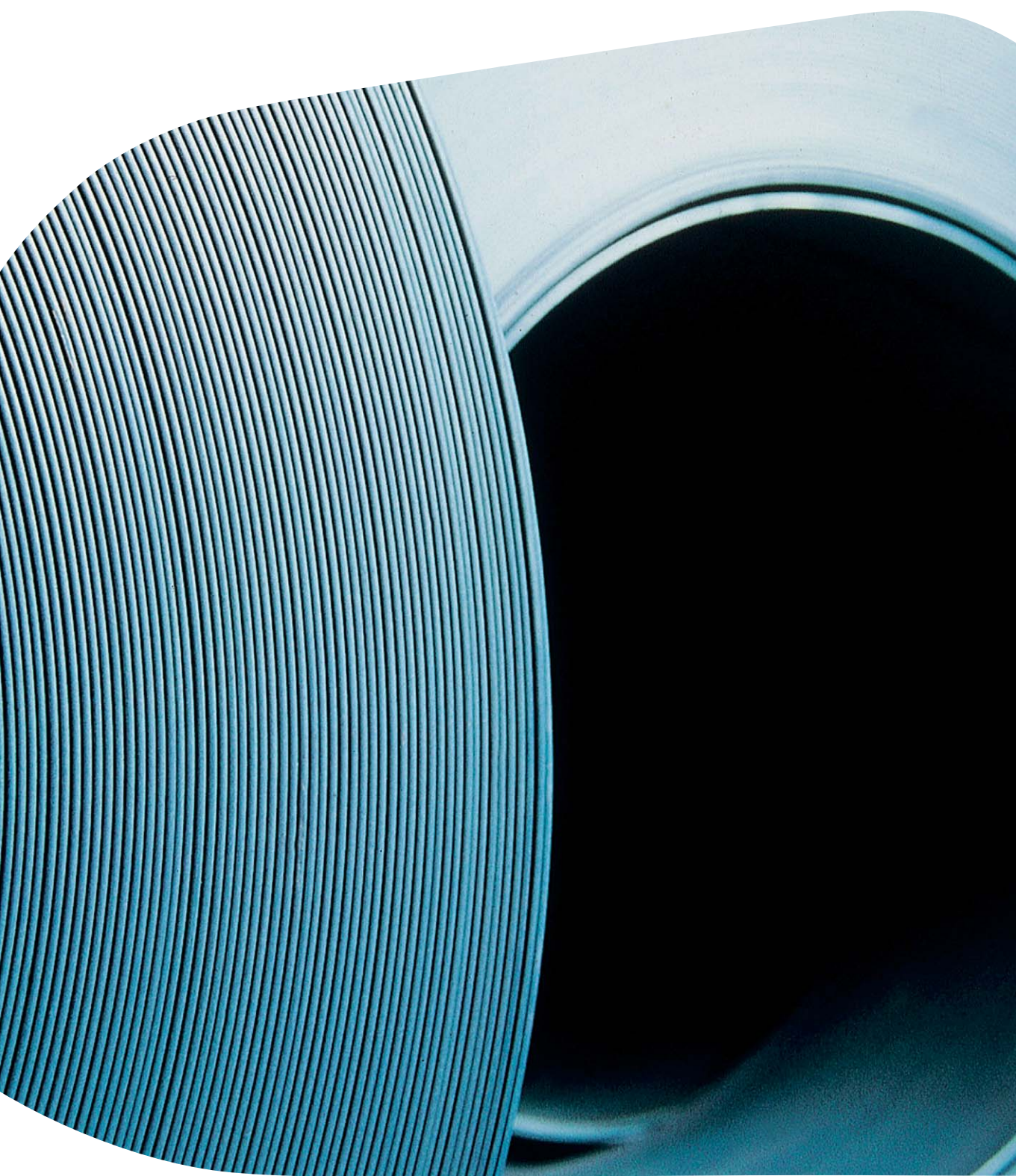
Theoretische Beispielrechnung

	ALFORM 700 M und 900 M	S355J2
Fahrzeuggewicht	48 t	100 t
max. Lastmoment des Auslegers	100 %	296 %
Reichhöhe	61 m	61 m
Nettoreichweite des Auslegers	54 m	49 m
Stützbreite des Fahrzeuges	9 m	16 m

HINWEIS

Durch den Einsatz des höherfesten Werkstoffes können Material(kosten) gespart werden.
Durch die bessere Schweiß- und Kanteignung der ALFORM®-Stähle sind weitere Einsparungspotenziale in der Verarbeitung vorhanden.








2. Produkt – ALFORM® und LASER-ALFORM®

Im Folgenden wird die Produktpalette von ALFORM® und LASER-ALFORM® auszugsweise dargestellt. Ein vollständiges Spektrum des Produktangebots finden Sie in den technischen Lieferbedingungen oder im Produktkonfigurator der voestalpine Stahl GmbH. Nähere Informationen dazu finden Sie im Anhang.

Mit der ALFORM®-Reihe bietet voestalpine eine hochwertige Produktfamilie an warmgewalzten Stahlbändern und Tafelblechen an. Durch das normalisierende oder thermomechanische Produktionsverfahren in Kombination mit einem ausgeklügelten Qualitätslenkungssystem werden eine konstant hohe Produktqualität und exzellente Verarbeitungseigenschaften erreicht. ALFORM®-Stähle sind auch in höchsten Festigkeitsklassen lieferbar und ermöglichen ein breites Anwendungsspektrum.

LASER-ALFORM®-Stähle bringen zusätzlich erweiterte Eigenschaften hinsichtlich Laserschneideignung.





2.1 Produktbezeichnung/Lieferspezifikation

ALFORM 380 M / ALFORM 380 N

ALFORM	Produktmarke der voestalpine Stahl GmbH
380	Mindeststreckgrenze in N/mm ²
M	thermomechanisch gewalzt
N	normalisierend gewalzt

Vergleich mit Normstählen

Die M-Reihe der ALFORM®-Güten wird auf Basis der technischen Lieferbedingungen für warmgewalztes Stahlband in Anlehnung an EN 10149-2 geliefert, weist aber im Gegensatz zur Norm eingeschränkte Toleranzen bei der chemischen Analyse, den mechanischen Eigenschaften und den Biege- und Kantradien auf. Die Bezugsnormen der N-Reihe sind die EN 10111, die EN 10025 und die EN 10149/3.

Unterschied thermomechanisch/normalisierend gewalzt

ALFORM® wird sowohl normalisierend als auch thermomechanisch gewalzt geliefert. Bei thermomechanisch gewalzten Stählen (M-Reihe) führt eine Wärmebehandlung über 580 °C (z. B. Normalglühen) zu einem Absinken der Mindeststreckgrenze. In diesem Fall empfiehlt sich der Einsatz normalisierend gewalzter Stähle (N-Reihe). Flammrichten mit lokaler kurzzeitiger Erwärmung bis zu 800 °C ist auch bei thermomechanisch gewalzten Stählen möglich.



Die Abbildungen zeigen den Unterschied in der Mikrostruktur zwischen normalisierend und thermomechanisch gewalzten Güten, Letztere zeichnen sich durch ein besonders feinkörniges, perlitarmes Gefüge aus.

Normalisierend gewalztes Gefüge

Thermomechanisch gewalztes Gefüge

Gebeizte oder ungebeizte Oberflächenausführung

ALFORM® und LASER-ALFORM® werden mit gebeizter oder ungebeizter Oberfläche angeboten. Gebeizte Güten werden im Allgemeinen mit geölter Oberfläche geliefert. Ungebeiztes Material wird üblicherweise nur ungeölt geliefert.

Warmgewalztes Stahlband, Tafelblech und Spaltband

ALFORM®-Stähle sind als warmgewalzte Stahlbänder, Spaltbänder und Tafelbleche verfügbar. Die Stahlsorten der LASER-ALFORM®-Reihe werden ausschließlich als warmgewalzte Tafelbleche angeboten. ALFORM® in größeren Dicken- und Breitendimensionen (größer 12 mm Dicke bzw. größer 1.625 mm Breite) wird von voestalpine Grobblech GmbH abgedeckt. Nähere Informationen zu den einzelnen Bezugsquellen finden Sie im Anhang.



Abmessungen gelten für unbeizte Produkte. Davon abweichende Produktvarianten und eine detaillierte Auflistung der verfügbaren Abmessungen entnehmen Sie bitte dem aktuellen Verkaufsprospekt bzw. den technischen Lieferbedingungen.

Abmessungen

	ALFORM 180 N	ALFORM 200 N 240 N	ALFORM 380 N	ALFORM 280 M 315 M 340 M	ALFORM 355 M 380 M	ALFORM 420 M	ALFORM 460 M	ALFORM 500 M 550 M	ALFORM 600 M	ALFORM 650 M 700 M	ALFORM 900 M
Dicke [mm]	LASER- ALFORM 180 N	LASER- ALFORM 200 N 240 N	LASER- ALFORM 380 N		LASER- ALFORM 355 M 380 M	LASER- ALFORM 420 M					
1,50	1.100	1.250	–	1.000	1.000	–	–	–	–	–	–
1,75	1.200	1.360	–	1.120	1.050	–	–	–	–	–	–
1,90	1.260	1.440	1.100	1.200	1.120	1.000	1.000	1.000	–	–	–
2,25	1.625	1.625	1.180	1.460	1.340	1.150	1.150	1.130	–	–	–
2,50	1.625	1.625	1.240	1.625	1.625	1.300	1.300	1.240	–	–	–
2,75	1.625	1.625	1.300	1.625	1.625	1.550	1.550	1.360	–	–	–
3,00	1.625	1.625	1.350	1.625	1.625	1.625	1.625	1.530	1.400	1.400	–
3,25	1.625	1.625	1.410	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.480	1.480	–
3,50	1.625	1.625	1.475	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.530	1.530	1.300
3,75	1.625	1.625	1.540	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.530	1.530	1.380
4,51	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.530	1.530	1.435
8,01	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.625	1.530	–	–



Bei der Bestellung wird für Dicken ab 6 mm auf Verlangen die Kerbschlagarbeit an Charpy-V-Proben ermittelt.

Mechanische Eigenschaften LASER-ALFORM®-Stahlreihe

Stahlsorte	Probenrichtung Zugversuch	Streckgrenze [N/mm²] ReH	Zugfestigkeit [N/mm²] Rm	Bruchdehnung [%]	
				min.	
				A80	A5
LASER-ALFORM 180 N	quer	180 – 290	280 – 360	32	38
LASER-ALFORM 200 N	quer	200 – 320	320 – 400	28	34
LASER ALFORM 240 N	quer	240 – 360	360 – 440	26	32
LASER-ALFORM 380 N	quer	380 – 520	510 – 610	20	25
LASER-ALFORM 355 M	längs	355 – 480	430 – 530	20	25
LASER-ALFORM 380 M	längs	380 – 510	450 – 550	20	24
LASER-ALFORM 420 M	längs	420 – 550	480 – 580	18	22

Mechanische Eigenschaften ALFORM®-Stahlreihe

Stahlsorte	Probenrichtung Zugversuch	Streckgrenze [N/mm²] ReH	Zugfestigkeit [N/mm²] Rm	Bruchdehnung [%]	
				min.	
				A80	A5
ALFORM 180 N	quer	180 – 290	280 – 360	32	38
ALFORM 200 N	quer	200 – 320	320 – 400	28	34
ALFORM 240 N	quer	240 – 360	360 – 440	26	32
ALFORM 280 N	quer	280 – 420	430 – 530	21	28
ALFORM 380 N	quer	380 – 520	510 – 610	20	25
ALFORM 280 M	längs	280 – 400	370 – 470	24	28
ALFORM 315 M	längs	315 – 440	390 – 490	22	26
ALFORM 340 M	längs	340 – 465	420 – 520	20	25
ALFORM 355 M	längs	355 – 480	430 – 530	20	25
ALFORM 380 M	längs	380 – 510	450 – 550	20	24
ALFORM 420 M	längs	420 – 550	480 – 580	18	22
ALFORM 460 M	längs	460 – 590	520 – 640	16	20
ALFORM 500 M	längs	500 – 650	550 – 680	15	19
ALFORM 550 M	längs	550 – 700	600 – 740	15	18
ALFORM 600 M	längs	600 – 750	650 – 800	13	16
ALFORM 650 M	längs	min. 650	700 – 850	12	15
ALFORM 700 M	längs	min. 700	750 – 930	11	14
ALFORM 900 M	quer	min. 900	930 – 1.100	–	10



Chemische Zusammensetzung LASER-ALFORM®-Stahlreihe

Gewährleistung der Schmelzanalyse in %

Stahlsorte	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Al min.	Nb ¹⁾ max.	V ¹⁾ max.	Ti ¹⁾ max.
LASER-ALFORM 180 N	0,08	0,03	0,35	0,018	0,020	0,020	–	–	–
LASER-ALFORM 200 N	0,10	0,03	0,45	0,018	0,020	0,020	–	–	–
LASER-ALFORM 240 N	0,12	0,03	0,70	0,018	0,020	0,020	–	–	–
LASER-ALFORM 380 N	0,18	0,03	1,60	0,018	0,012	0,015	0,05	0,05	0,05
LASER-ALFORM 355 M	0,10	0,03	1,20	0,018	0,010	0,020	0,05	0,05	0,05
LASER-ALFORM 380 M	0,10	0,03	1,20	0,018	0,010	0,020	0,05	0,05	0,05
LASER-ALFORM 420 M	0,10	0,03	1,40	0,018	0,010	0,020	0,05	0,05	0,05

¹⁾ Die Summe von Nb, V und Ti ist kleiner als 0,22 %.



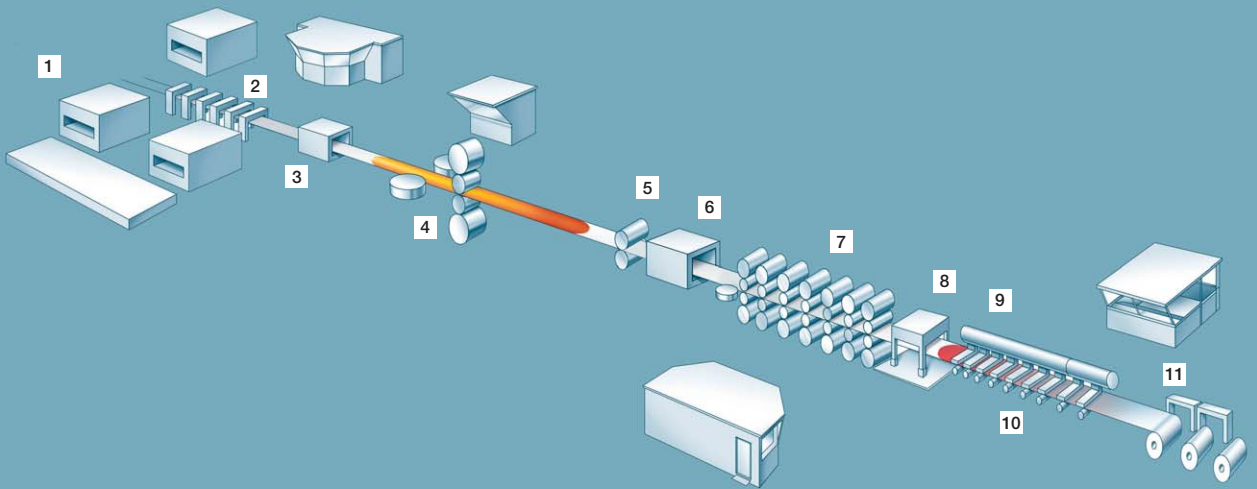
Chemische Zusammensetzung ALFORM®-Stahlreihe

Gewährleistung der Schmelzanalyse in %

Stahlsorte	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Al min.	Nb ¹⁾ max.	V ¹⁾ max.	Ti ¹⁾ max.	Mo max.	B max.
ALFORM 180 N	0,08	0,05 ²⁾	0,35	0,025 ²⁾	0,020	0,020	–	–	–	–	–
ALFORM 200 N	0,10	0,05 ²⁾	0,45	0,025 ²⁾	0,020	0,020	–	–	–	–	–
ALFORM 240 N	0,12	0,05 ²⁾	0,70	0,025 ²⁾	0,020	0,020	–	–	–	–	–
ALFORM 280 N	0,16	0,05 ²⁾	1,20	0,025 ²⁾	0,015	0,020	0,05	0,05	0,05	–	–
ALFORM 380 N	0,18	0,30	1,60	0,025	0,012	0,015	0,05	0,05	0,05	–	–
ALFORM 280 M	0,10	0,05 ²⁾	0,70	0,020	0,010	0,020	0,05	0,05	0,05	–	–
ALFORM 315 M	0,10	0,05 ²⁾	0,90	0,020 ²⁾	0,010	0,020	0,05	0,05	0,05	–	–
ALFORM 340 M	0,10	0,05 ²⁾	1,20	0,020 ²⁾	0,010	0,020	0,05	0,05	0,05	–	–
ALFORM 355 M	0,10	0,05 ²⁾	1,20	0,020 ²⁾	0,010	0,020	0,05	0,05	0,05	–	–
ALFORM 380 M	0,10	0,05 ²⁾	1,20	0,020 ²⁾	0,010	0,020	0,05	0,05	0,05	–	–
ALFORM 420 M	0,10	0,05 ²⁾	1,40	0,020 ²⁾	0,010	0,020	0,05	0,05	0,05	–	–
ALFORM 460 M	0,10	0,05 ²⁾	1,50	0,020 ²⁾	0,008	0,020	0,07	0,07	0,07	–	–
ALFORM 500 M	0,10	0,05 ²⁾	1,60	0,020 ²⁾	0,008	0,020	0,07	0,07	0,07	–	–
ALFORM 550 M	0,12	0,05 ²⁾	1,70	0,020 ²⁾	0,008	0,020	0,07	0,07	0,07	–	–
ALFORM 600 M	0,12	0,30	1,80	0,020	0,008	0,020	0,07	0,07	0,15	0,3	0,005
ALFORM 650 M	0,12	0,30	1,80	0,020	0,008	0,020	0,07	0,07	0,15	0,3	0,005
ALFORM 700 M	0,12	0,30	2,00	0,020	0,008	0,020	0,07	0,07	0,15	0,3	0,005
ALFORM 900 M	0,18	0,50	2,10	0,020	0,008	0,020	0,07	0,07	0,24	0,8	0,005

¹⁾ Die Summe von Nb, V und Ti ist kleiner als 0,22 % (gilt nicht für ALFORM 900 M).

²⁾ Werden diese Stahlsorten „verzinkungsfähig“ bestellt, gilt Si max. 0,03 % und P max. 0,018 %.



Schematischer Aufbau der Warmbreitbandstraße

2.2 Produktionsprozess

Das obige Bild zeigt den schematischen Aufbau der Warmbreitbandstraße der voestalpine Stahl GmbH. Grundsätzlich beginnt der Warmwalzprozess mit dem Aufwärmen der Brammen auf rund 1.200 °C. Nach einer Hochdruckentzunderung wird die Bramme im Vorgerüst reversierend auf eine Vorstreifendicke von ca. 40 mm gewalzt und nach einer weiteren Entzunderung in der 7-gerüstigen Fertigstraße auf die Enddicke gewalzt. Die Abkühlung des Bandes erfolgt auf der Kühlstrecke nach genau definierten Kühlmustern, danach wird das Band auf dem Haspel aufgewickelt.

- | | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1 Erwärmung: | 3 Zunderwäscher | 7 Fertigstraße |
| 2 Stoßöfen | 4 Vorgerüst mit | 8 Messgeräte |
| 1 Hubbalkenofen (2007) | Stauchgerüst | 9 Auslaufrollgang |
| 2 Schienenschatten- | 5 Schopfschere | 10 Kühlstrecke |
| kompensation | 6 Zunderwäscher | 11 Haspelanlage |



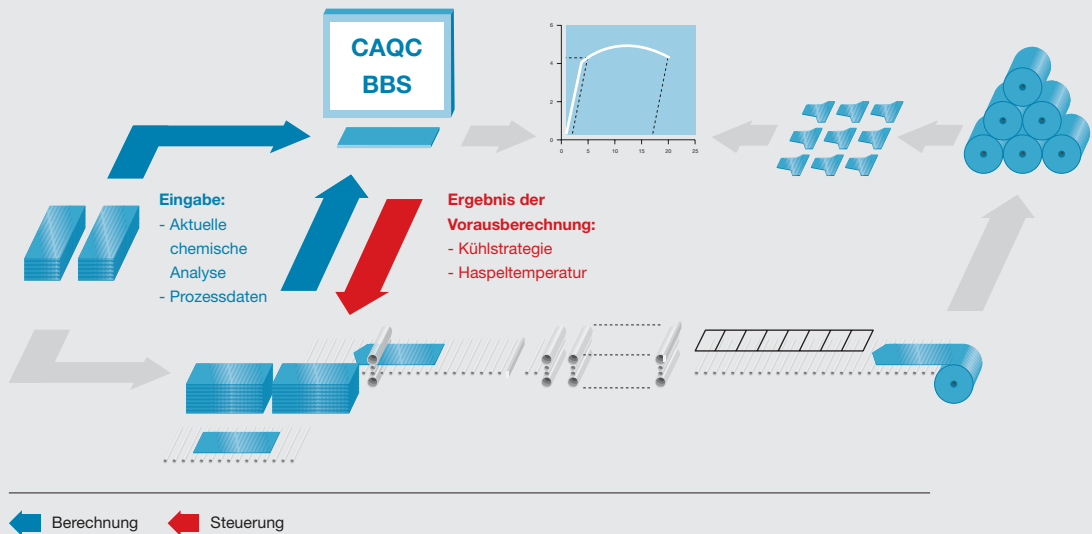
Warmbreitbandstraße
der voestalpine Stahl
GmbH

Technische Spezifikation

Allgemeine Daten:

Kapazität:	4.200.000 t/J
mit Hubbalkenofen (2007)	4.800.000 t/J
Dimensionen:	Dicke: 1,5 mm bis 15 mm
	Breite: 900 mm bis 1.635 mm
Bundgewicht:	max. 32 t
	(19,6 kg/mm Bandbreite)

Das hervorragende Eigenschaftsprofil von ALFORM® und LASER-ALFROM® ergibt sich aus der exakten Abstimmung zwischen den Produktionsparametern der Warmbreitbandstraße und der chemischen Zusammensetzung. Als Folge des gezielten Legierens mit den sogenannten Mikrolegierungselementen Niob, Titan und Vanadium werden während des Warmwalzens feinste Ausscheidungen gebildet, die zur Behinderung der Rekristallisation des Gefüges führen. Dieser Prozess wird als thermomechanisches Walzen bezeichnet und ist die erste Voraussetzung für die Einstellung der für ALFORM® typischen feinkörnigen Mikrostruktur. Der zweite wesentliche Prozessschritt – die Temperaturführung auf der Kühlstrecke – bestimmt den Gefügeaufbau. Die Kontrolle der Umformung sowie der Temperaturen während des Walzens und Kühlens innerhalb enger Toleranzbereiche ist die Voraussetzung für das Erreichen hervorragender und gleichmäßiger Produkteigenschaften.



CAQC-Prozess zur Sicherstellung höchster Qualitätsanforderungen

2.3 Produktqualität

Ein maßgeblicher Aspekt in der Qualitätslenkung ist das computerunterstützte Qualitätssteuersystem **CAQC** (COMPUTER AIDED QUALITY CONTROL) an der Warmbreitbandstraße. Dieses System liefert eine Prognose der zu erwartenden mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von Analyse und Warmwalzparametern. Zur Kompensation von eventuell auftretenden Schwankungen der Analyse bzw. der Fertigungsparameter im Zuge der Wiedererwärmung und des Vorwalzens kann die Haspeltemperatur während des Walzprozesses entsprechend angepasst werden. Dies sichert die Gleichmäßigkeit der mechanischen Eigenschaften des warmgewalzten Stahlbandes. Der schematische Aufbau des CAQC-Systems ist in obigem Bild dargestellt.

Neben den mechanischen Eigenschaften, welche in erster Linie durch chemische Zusammensetzung und Temperaturführung bestimmt werden, sind Dimension, Planheit und Oberflächenausführung wesentliche Qualitätsmerkmale. Höchstes Augenmerk wird daher auf die Einhaltung der Walztemperaturen, der Dickentoleranzen, der Planlage und der Oberflächenqualität gelegt. Die Prozesstemperaturen werden am Vorgerüst, nach dem ersten und letzten Gerüst der Fertigstraße mit Pyrometern bzw. Temperaturscannern sowie mit weiteren 10 Pyrometern im Verlauf der Kühlstrecke bestimmt. Die Dicke wird mit Röntgenmessgeräten, das Dickenprofil über die Bandbreite mit einem Profilmessgerät bestimmt. Ein Lasersystem überwacht die Planlage des Bandes. Die Qualität der Bandoberfläche wird sowohl an der Breitbandstraße als auch an der Beize mit einem Oberflächeninspektionssystem, welches durch Mustererkennung die häufigsten Fehler automatisch erkennt und klassifiziert, überwacht.



HINWEIS

Detaillierte Informationen zu ALFORM® als Grobblech bzw. Unterschiede zu den Warmband-ALFORM®-Stählen finden Sie auf der Homepage der voestalpine Grobblech GmbH <http://www.voestalpine.com/grobblech/de>.

2.4 Abgrenzung zu anderen warmgewalzten Fabrikaten

ALFORM® ALS GROBBLECH

Die in diesem Anwenderhandbuch festgehaltenen Ausführungen beziehen sich in erster Linie auf ALFORM®-Stähle als warmgewalztes Stahlband und warmgewalztes Tafelblech.

Wie im vorigen Kapitel dargestellt, werden diese Produkte an der Warmbreitbandstraße mit einer Dicke von bis zu 12 mm bzw. einer Breite von bis zu 1.625 mm produziert. ALFORM®-Stähle in größeren Dicken- und Breitendimensionen werden von voestalpine Grobblech GmbH abgedeckt. Diese Fabrikate stehen als Grobblech mit Dicken bis zu 50 mm, Breiten bis zu 3.000 mm und Längen bis zu 12.000 mm zur Verfügung. Die Mindeststreckgrenzen reichen von 355 N/mm² bis zu 960 N/mm². Grundsätzlich gelten auch für die Grobblech-ALFORM®-Güten die in diesem Anwenderhandbuch im Kapitel 2 beschriebenen Produktvorteile.



ABGRENZUNG ZU DEN ANDEREN WARMBANDSTAHLSORTEN VON voestalpine STAHL GMBH

Neben der ALFORM®-Stahlreihe bietet die voestalpine Stahl GmbH noch weitere Warmbandfabrikate an. Diese werden nachfolgend kurz beschrieben.

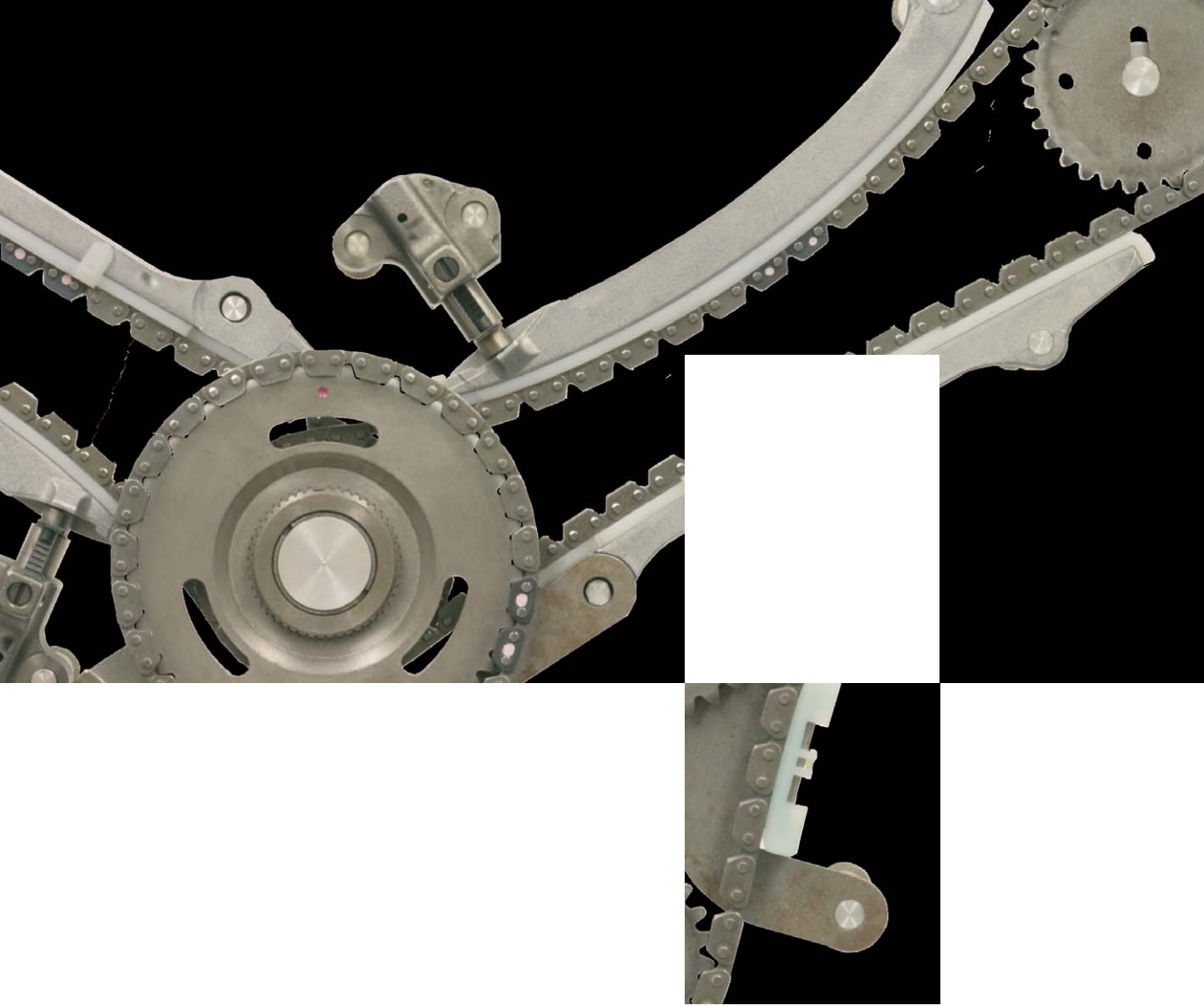
1) Weiche, unlegierte Stähle zum Kaltumformen und Kaltwalzen

Diese Stähle werden nach EN 10111 geliefert und dienen zur Herstellung von umformintensiven Bauteilen wie z. B. Kompressorengehäusen, Kupplungsteilen oder Profilen und Rohren mit engsten Kantradien. Es sind die Stahlsorten DD11 (Ziehgüte), DD12 (Tiefziehgüte) und die Sondertiefziehgüten DD13 und DD14 verfügbar.

Auf Wunsch werden Stähle zum Kaltwalzen in Anlehnung an die zurückgezogene Norm DIN 1614-86 Teil 1 geliefert. Sie umfasst die Stahlsorten St22 (Ziehgüte), RRSt 23 (Tiefziehgüte) und St24 (Sondertiefziehgüte).

2) Unlegierte Baustähle

Diese Stähle sind in der EN 10025-2 enthalten und finden vor allem im allgemeinen Maschinenbau sowie bei der Rohr- und Profilverherstellung Verwendung. Die Stähle werden für leichte Ziehbeanspruchung sowie fürs Profilieren und Abkanten eingesetzt. Typische Vertreter sind z. B. S235JR, S275JR und S355JR.



3) Einsatz- und Vergütungsstähle

Einsatzstähle sind im Sinne der Norm EN 10084 Stähle mit verhältnismäßig niedrigem Kohlenstoffgehalt für Bauteile, deren Randschicht üblicherweise aufgekohlt oder carbonitriert und anschließend einer Härtingsbehandlung in einem Medium unterworfen wird. Für diese Stähle wird die chemische Zusammensetzung garantiert. Typische Stahlsorten sind z. B. C10, C15 oder HC16. Diese Stähle werden für Teile mit hohem Verschleiß und großen Stoßbelastungen wie Zahnräder oder Schneeketten verwendet. Der Auslieferungszustand ist warmgewalzt oder warmgewalzt und weichgeglüht.

Vergütungsstähle sind Maschinenbaustähle, die sich aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung zum Härten eignen und im vergüteten Zustand gute Zähigkeit bei gegebener Zugfestigkeit aufweisen. Diese Stähle werden im Allgemeinen im weichen warmgewalzten oder warmgewalzten und weichgeglühten Zustand zur Herstellung von Teilen verwendet, die anschließend durch eine Wärmebehandlung (Vergüten = Härten + Anlassen) die gewünschten Gebrauchseigenschaften erhalten. Die Reihe der unlegierten Vergütungsstähle umfasst die Standardstahlsorten gemäß EN 10083 sowie zahlreiche Sonderstahlsorten, insbesondere borlegierte Vergütungsstähle.

4) Stähle zur Herstellung von Gasflaschen

Die Stahlsorten P245NB, P265NB, P310NB und P355NB sind für die Herstellung von Gasflaschen optimiert. Insbesondere weisen sie gutes Tiefziehverhalten, Alterungsbeständigkeit und Sicherheit gegen Spannungsrisse beim Bearbeiten auf.

5) Dualphasen-Stahl DP600

Die besonderen Eigenschaften des Dualphasen-Stahles DP600 werden durch sein zweiphasiges Gefüge aus weichem Ferrit und hartem Martensit bestimmt. Dieses führt zu einer niedrigen Streckgrenze und einer starken Verfestigung (Work-Hardening) bei der Verformung. Damit weist der DP600 hohe Zugfestigkeitswerte bei sehr hohen Bruchdehnungswerten auf. Eine auf die Umformung folgende Lackeinbrennbehandlung (z. B. 170 °C/ 20 min) führt zu einem signifikanten Streckgrenzenanstieg (Bake-Hardening-Effekt). Der DP600 zeichnet sich durch eine sehr gute Kaltumformbarkeit (insbesondere bei Streckziehbeanspruchung), gute Schweißbarkeit und eine hohe Dauerfestigkeit aus. Ein typisches Anwendungsgebiet sind Radschüssel bei der Felgenherstellung.

Weiterführende Information zu oben genannten Warmbandfabrikaten, aber auch zu anderen Produkten der voestalpine Stahl GmbH finden Sie auf unserer Homepage <http://www.voestalpine.com/stahl/de>.

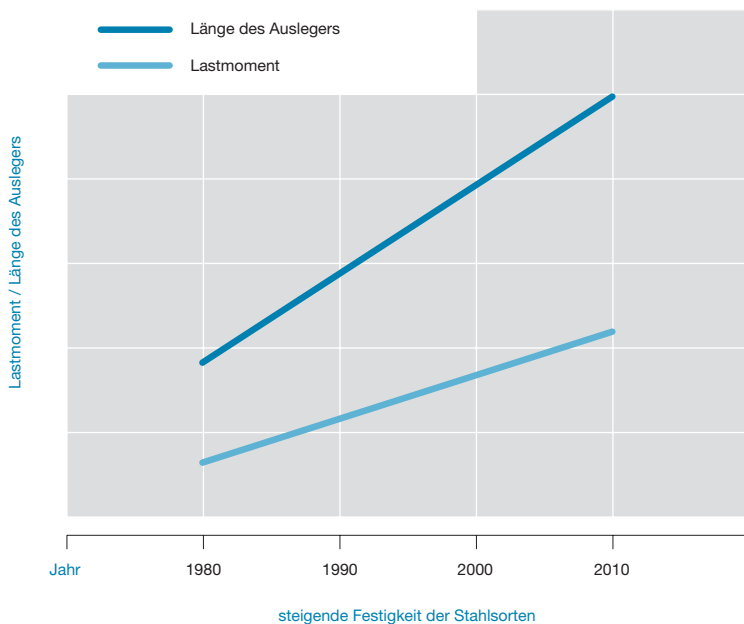


ABGRENZUNG VON THERMOMECHANISCH GEWALZTEN GEGEN VERGÜTETE (QT) WARMBANDFABRIKATE

ALFORM-Stahlsorten mit Mindeststreckgrenzen von 900 N/mm² und darüber hinaus werden mittels thermomechanischem (TM) Walzen und anschließender beschleunigter Abkühlung auf der Kühlstrecke hergestellt. Um die spezifizierten Materialeigenschaften einzustellen, wird im Anschluss an das Warmwalzen eine Anlassglühung durchgeführt. Im Unterschied dazu erfolgt bei vergütetem Material mit ähnlichem Festigkeitsniveau (S890Q gemäß EN 10025-6) die Einstellung der Eigenschaften durch eine dem Warmwalzen nachgeschaltete, mehrstufige Wärmebehandlung, bestehend aus Härten (= Austenitisieren + Abschrecken) und Anlassen (engl. quenched + tempered, abgekürzt: QT).

2.5 Ausblick Forschung & Entwicklung

Wie das Diagramm unten anhand der Entwicklung des Lastmoments und der Auslegerlänge von Mobilkränen zeigt, ermöglicht die Verwendung von hoch- und höchstfesten ALFORM®-Stählen eine stetige Weiterentwicklung im Sinne des Kundennutzens. Um unseren Kunden auch in Zukunft Wettbewerbsvorteile durch den Einsatz höchstfester Stähle bieten zu können, liegt daher ein Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der Neuentwicklung höchstfester Stähle. Im konkreten Fall der ALFORM®-Stähle arbeiten wir daran, die höchste Festigkeitsgrenze über den ALFORM 900 M hinaus zu erweitern.



Entwicklung
des Lastmo-
ments und
der Ausleger-
länge von
Mobilkränen

Ein zweiter Schwerpunkt der Entwicklungstätigkeit liegt in der Optimierung der bestehenden Stahlsorten. Die ständige Weiterentwicklung des Produktions-Know-hows (z.B. computerunterstütztes Qualitätssteuerungssystem bzw. neue Kühlstreckenmodelle) ist dabei ein Garant für die hohe Gleichmäßigkeit und engste Toleranzen unserer Produkte.

HINWEIS

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor beim Einsatz hoch- und höchstfester Stähle ist die Abstimmung von Werkstoff und Anwendungszweck. Wir unterstützen daher unsere Kunden mit anwendungstechnischer Beratung um optimale Ergebnisse zu erzielen.

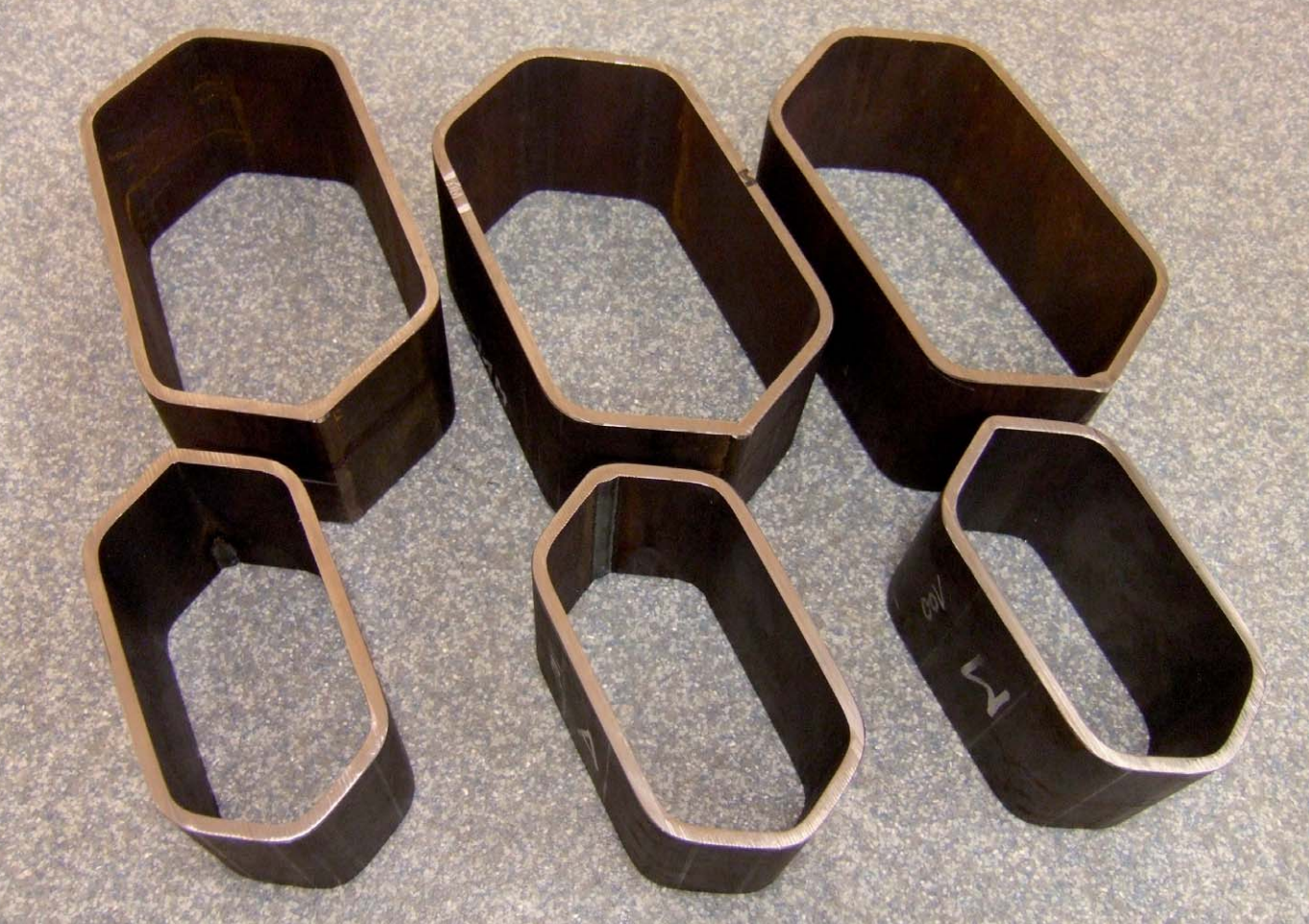




3. Anwendungstechnik

Die Stahlsorten der ALFORM®- und LASER-ALFORM®-Reihe bringen vielfältige anwendungstechnische Möglichkeiten mit sich. Die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften der Werkstoffe werden nachfolgend anhand von konkreten Anwendungen und symbolischen Darstellungen ausführlich dargelegt.

Dieser Auszug aus der breiten Palette der Anwendungsfelder von ALFORM®- und LASER-ALFORM®-Stählen gibt einen Überblick über die vielfältigen und bestmöglichen Einsatzmöglichkeiten für diese innovativen Stahlsorten.



3.1 Umformen

Kaltformgebung

Die Stahlsorten der Sonderstahlreihe ALFORM® wurden speziell für Anwendungsgebiete entwickelt, die hohes Kaltumformvermögen erfordern. Die ALFORM®-Stähle niedriger Festigkeit, insbesondere ALFORM 180 N und ALFORM 200 N, sind vornehmlich für herkömmliche Tiefziehanwendungen bestimmt. Die Sorten der höheren Festigkeitsstufen sind für jene Anwendungsgebiete vorgesehen, in denen neben besonderen Anforderungen an Streckgrenze und Zugfestigkeit auch eine gute Kaltverformungsfähigkeit von Bedeutung ist. Insbesondere die thermomechanisch gewalzten Sorten ALFORM 315 M bis ALFORM 900 M zeichnen sich durch hohe Festigkeit verbunden mit ausgezeichnetem Verformungsverhalten aus.

HINWEIS

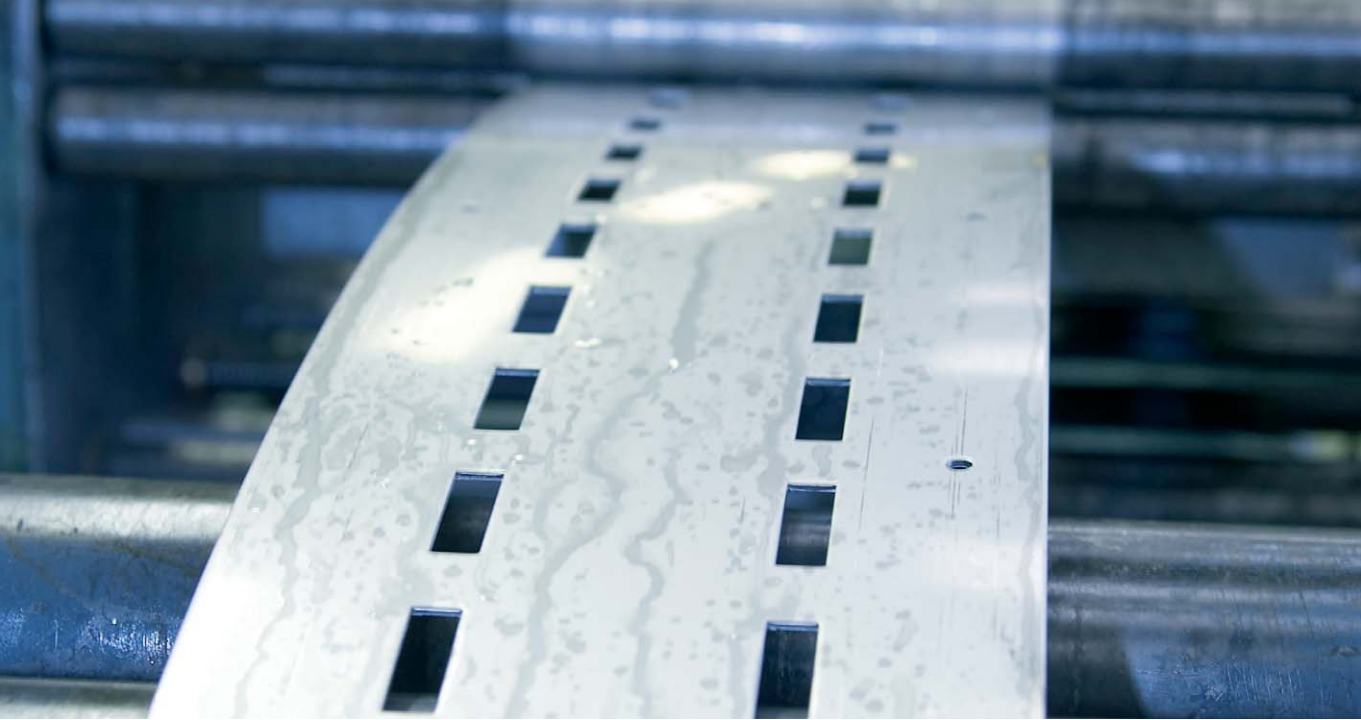
Allgemein ist zu beachten, dass mit steigenden Streckgrenzenwerten der Stähle eine Abnahme des Kaltumformvermögens erfolgt. Die Umformbedingungen müssen daher auf das jeweilige Streckgrenzenniveau abgestimmt sein. Die in den jeweiligen Normen und technischen Lieferbedingungen festgelegten Mindestbiegeradien sind zu beachten.



Warmformgebung

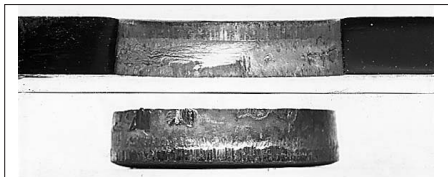
Die in normalisierend gewalztem Zustand gelieferten Stähle (N-Reihe) sind auch für eine Warmumformung geeignet.

Thermomechanisch gewalzte Stahlsorten sind nicht für die Verarbeitung durch Warmumformung vorgesehen. Die Festigkeitseigenschaften dieser Stahlsorten, deren Werkstoffzustand durch eine Wärmebehandlung allein nicht erreichbar und wiederherstellbar ist, werden durch eine Warmformgebung bei der Verarbeitung beeinträchtigt.

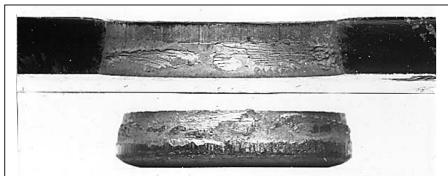


3.1.1 SCHNEIDEN UND STANZEN

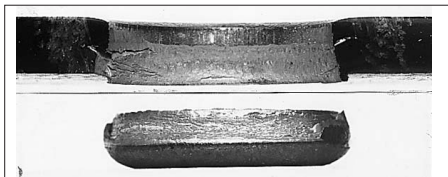
Schneidspalt: 6 % der Blechdicke



Schneidspalt: 15 % der Blechdicke



Schneidspalt: 25 % der Blechdicke



Einfluss des Schneidspaltes auf die Schnittflächenausbildung beim Stanzen von ALFORM 700 M, Dicke 3 mm

Stähle der ALFORM®-Reihe sind zum Scherschneiden und Stanzen bestens geeignet.

Ein wesentlicher Parameter beim Scherschneiden und Stanzen ist die Wahl des Schneidspaltes. Von ihm wird sowohl die Qualität der Schnittfläche als auch der erforderliche Kraft- und Arbeitsbedarf bestimmt. Größere Schneidspalte bewirken einen geringeren Aufwand an Schnittkraft und Schneidarbeit und damit auch eine geringere Werkzeugbeanspruchung. Andererseits ergibt sich aber bei zu großem Schneidspalt eine deutlich schlechtere Schnittflächenausbildung, wie anhand von Aufnahmen von gestanzten Löchern mit den dazugehörigen Stanzbutzen sichtbar wird. Mit größer werdendem Schneidspalt kommt es zu starken Formabweichungen und die Schnittflächen werden unsauber.

Die erforderliche Größe des Schneidspaltes ist auf den Werkstoff und die Blechdicke abzustimmen. Vor allem bei den höchstfesten Stahlsorten kann es durch einen zu großen Schneidspalt zur Bildung von kleinen Anrissen parallel zur Oberfläche infolge ungünstiger Spannungsverhältnisse im Schneidspalt kommen.



Schneidspalt-Richtwerte

Folgende Richtwerte für den Schneidspalt zur Erzielung einwandfreier Trennflächen bei Butzen und Lochung werden in Anlehnung an VDI 3368 angegeben (bis 5 mm Dicke mit Schneidplatten-Durchbrüchen ohne Freiwinkel):

TIPP

Wichtig ist, dass die Spaltbreite an allen Stellen des Schnittes völlig gleichmäßig ist.

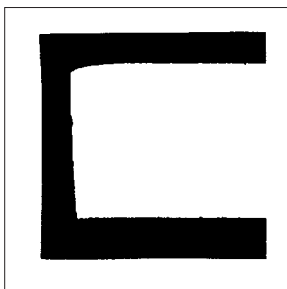
Empfohlener Schneidspalt

Scherfestigkeit (ca. $0,8 \times$ Zugfestigkeit)	250 – 400 N/mm ²	400 – 600 N/mm ²	> 600 N/mm ²
Verhältnis Schneidspalt zur Blechdicke	0,04	0,05	0,06

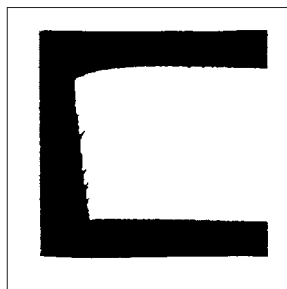
Auch beim Schneiden auf Tafelscheren wird die Ausbildung der Schnittkante von der Blechdicke, dem Messerwinkel, dem Schneidspalt und dem Werkstoff bestimmt. Bei zu großem Schneidspalt nehmen Formfehler wie Kanteneinzug und Schnittgrat zu. Weiters verringert sich der Anteil der Schneidzone an der Gesamtbruchfläche.

Der Schnitt wird zusehends ausgefranst. Unten ist der Einfluss des Schneidspaltes auf die Schnittgeometrie bei der Stahlsorte ALFORM 700 M dargestellt.

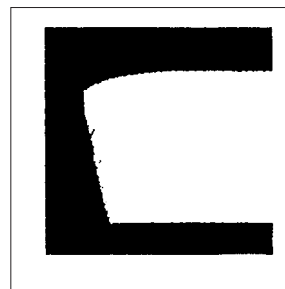
Einfluss des Schneidspaltes bei Tafelscheren auf die Ausbildung der Schnittfläche von ALFORM 700 M, Dicke 3 mm



Schneidspalt:
4 % der Blechdicke



Schneidspalt:
10 % der Blechdicke



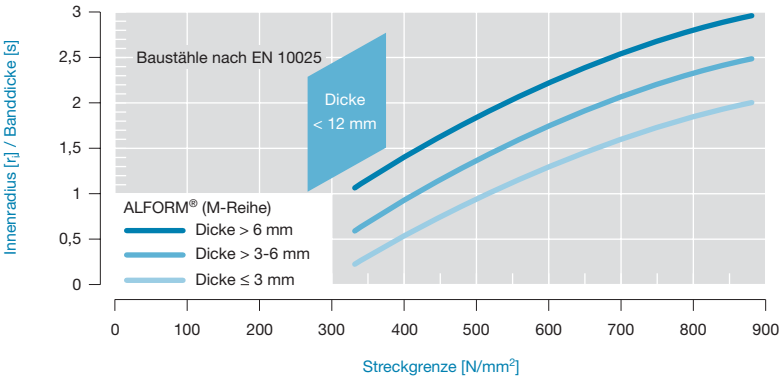
Schneidspalt:
16 % der Blechdicke



3.1.2 KANTEN UND BIEGEN

ALFORM®-Stähle (M-Reihe) weisen gegenüber herkömmlichen Baustählen ein entscheidend verbessertes Umformverhalten auf. Die im Bild aufgetragenen Mindestbiegeradien in Abhängigkeit von der Mindeststreckgrenze für die jeweiligen Stahlarten zeigen dies deutlich. Es werden trotz etwa doppelt so hoher Mindeststreckgrenze gegenüber den Baustählen der Festigkeitsklasse S235 bis S355 nach EN 10025-2 etwa gleich große minimale Kantinnenradien erreicht. Die für ALFORM®-Stähle gewährleisteten Werte für den kleinsten zulässigen Kantinnenradius am fertigen Bauteil liegen nicht nur deutlich besser als bei Baustählen, sondern auch besser als bei thermomechanisch gewalzten Stählen gemäß EN 10149-2.

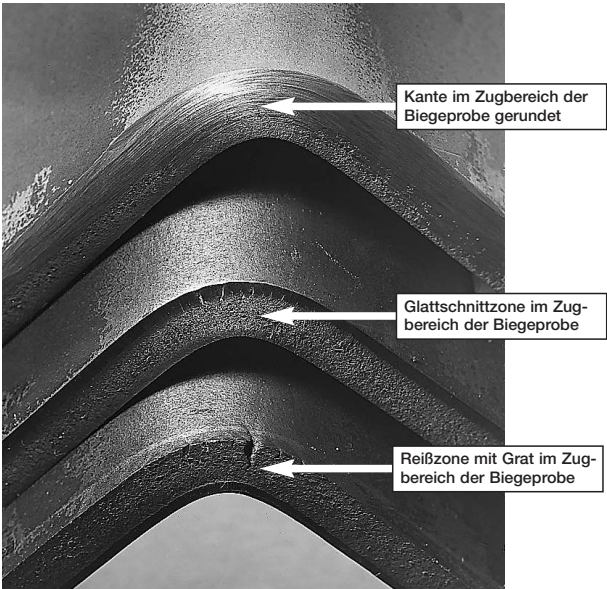
Vergleich Mindeststreckgrenze zu gewährleisteten Mindestkantroden für ALFORM®-Stähle (M-Reihe) und herkömmliche Baustähle.



Unter der Voraussetzung einer fachgerecht ausgeführten Kantung, wie z. B. entsprechende Ausbildung der Ober- und Unterwerkzeuge sowie Entgratung der Schnittkanten, werden nachstehend angegebene Kantinnenradien ohne Rissbildung gewährleistet.

Gewährleistete Kantradien

Stahlsorte	s < 3 mm	s = 3 – 6 mm	s > 6 mm	90°-Kantung s = Nenndicke minimaler Innenkantradius
ALFORM 180 N	0,25 s	0,5 s	1,0 s	
ALFORM 200 N	0,25 s	0,5 s	1,0 s	
ALFORM 240 N	0,25 s	0,5 s	1,0 s	
ALFORM 280 N	0,25 s	0,5 s	1,0 s	
ALFORM 380 N	0,25 s	0,5 s	1,0 s	
ALFORM 280 M	0,25 s	0,5 s	0,8 s	
ALFORM 315 M	0,25 s	0,5 s	0,8 s	
ALFORM 355 M	0,25 s	0,5 s	0,8 s	
ALFORM 380 M	0,25 s	0,5 s	0,8 s	
ALFORM 420 M	0,5 s	1,0 s	1,0 s	
ALFORM 460 M	0,5 s	1,0 s	1,4 s	
ALFORM 500 M	1,0 s	1,2 s	1,8 s	
ALFORM 550 M	1,0 s	1,2 s	1,8 s	
ALFORM 600 M	1,0 s	1,5 s	1,8 s	
ALFORM 650 M	1,0 s	1,5 s	2,0 s	
ALFORM 700 M	1,0 s	1,5 s	2,0 s	
ALFORM 900 M	2,0 s	2,5 s	3,0 s	

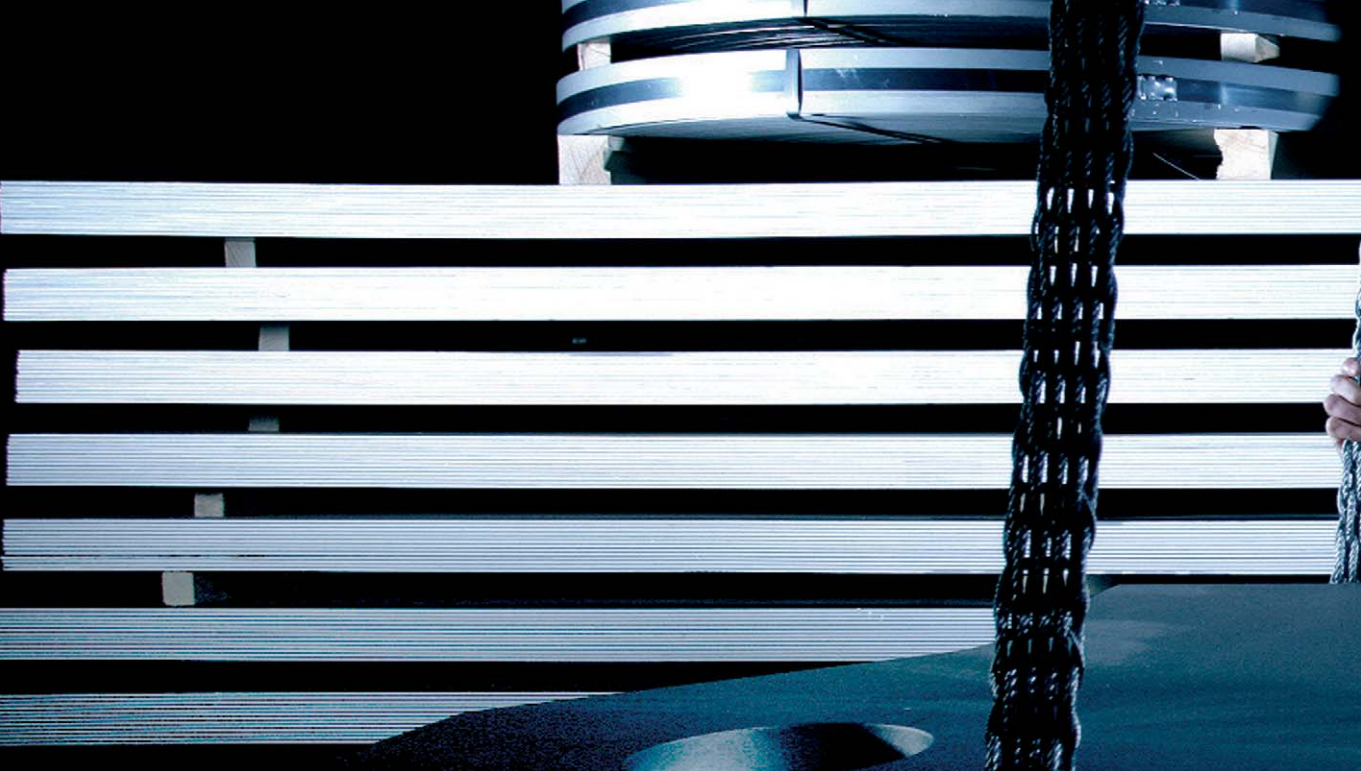


Einfluss der Schnittkantenausbildung auf die Biegeeigenschaften eines Warmbandes der Stahlsorte S355JOC

Schnittkante und Schnittgrat

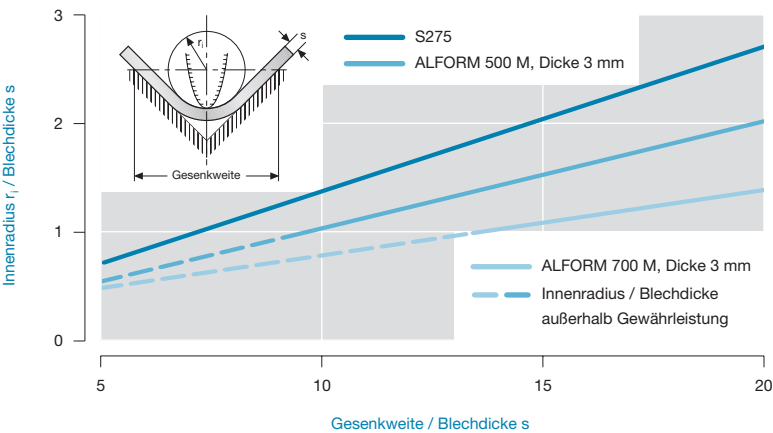
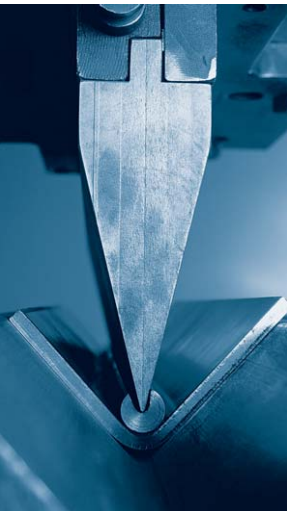
Die Schnittkante stellt einen bevorzugten Ausgangspunkt für Anrisse dar. Vor allem der Schnittgrat begünstigt die Rissbildung. Die Kanten sollen daher gebrochen oder noch besser abgerundet werden.

Ist eine Bearbeitung der Schnittkanten nicht möglich, so muss die Biegeverformung so erfolgen, dass der Schnittgrat in der Druckzone, d. h. in der Kanteninnenseite liegt. Beim obersten Kantwinkel wurden die Schnittkanten abgerundet. Beim mittleren liegt die Glattschnittzone des Schnittes an der Kantenaußenseite, während beim untersten Kantwinkel die Reißzone des Schnittes mit dem Grat in der Zugzone liegt und dadurch die Rissbildung von den Kerben der Reißzone begünstigt wird.



Einstellen der Kantradien

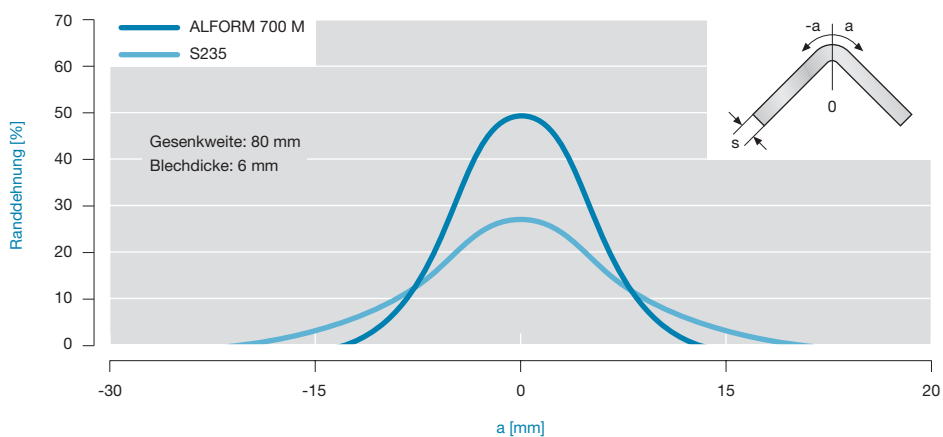
Beim freien Biegen führt die Vergrößerung der Gesenkweite üblicherweise zur Ausbildung größerer Innenradien. Man kann daher den gewünschten Kantradius leicht über die Gesenkweite einstellen. Mit steigender Streckgrenze nimmt dieser Einfluss ab. Im Bild unten sind die sich einstellenden Kantinnenradien in Abhängigkeit von der Gesenkweite bezogen auf die Blechdicke dargestellt. Bei Sorten mit hoher Mindeststreckgrenze (über 500 N/mm²) kommt es bei bestimmten Geometrie- verhältnissen der Kantwerkzeuge zur Dachbildung. Das bedeutet, dass sich Kantinnenradien kleiner als die Oberwerkzeugradien einstellen können. Die Dachbildung ergibt sich aus hohen lokalen Dehnungen unterhalb des Werkzeugscheitels.



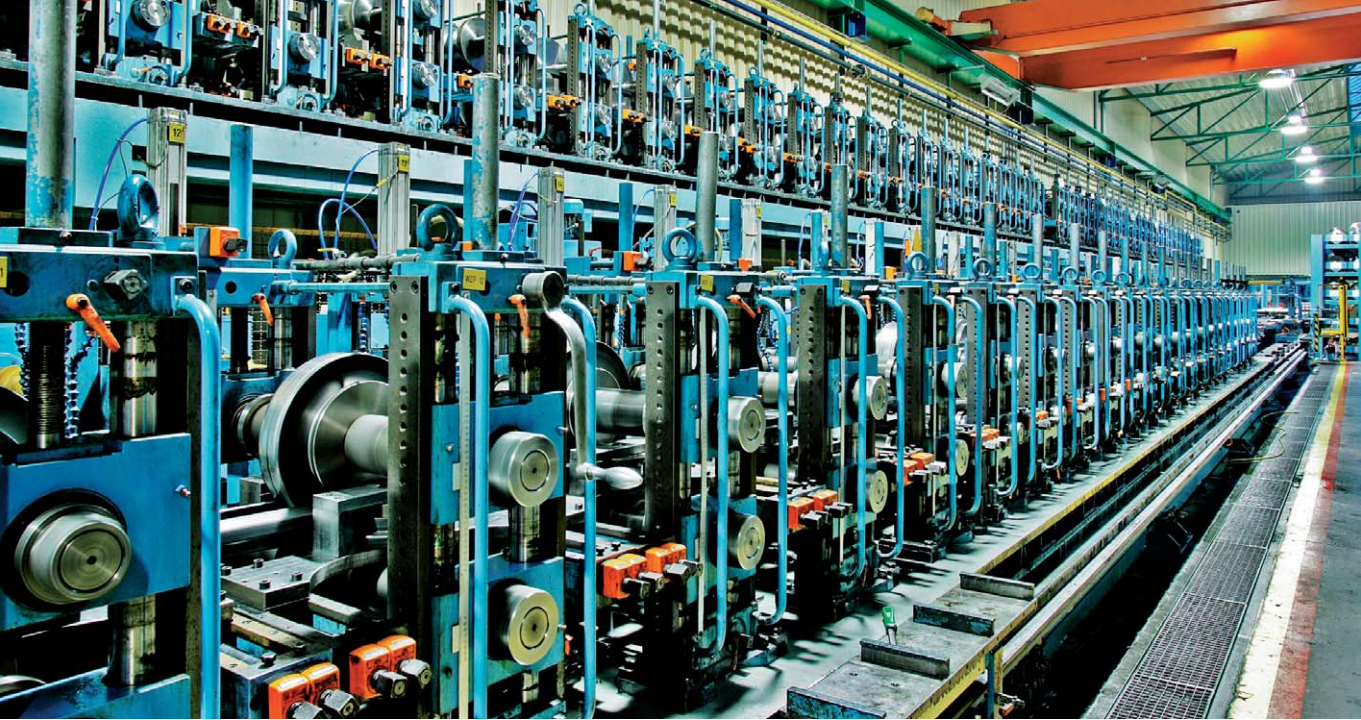
Einfluss der Stahlsorten auf die sich ausbildenden Biegeradien bei freier Biegung in Abhängigkeit von der Gesenkweite



Unten dargestellt sind vergleichende Dehnungsmessungen an der äußeren Oberfläche nach gleichen Verformungsbedingungen an Kantwinkeln aus S235 und der hochfesten Stahlsorte ALFORM 700 M. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Dehnung von ALFORM 700 M innerhalb eines engeren Bereiches lokalisiert ist. Um auch bei den hochfesten Stahlsorten die gewährleisteten Innenkantradien zu erreichen, sind daher Biegestempel mit entsprechend größeren Werkzeuggradien zu verwenden. Dadurch wird die Verformung auf einen breiteren Bauteilbereich verteilt.

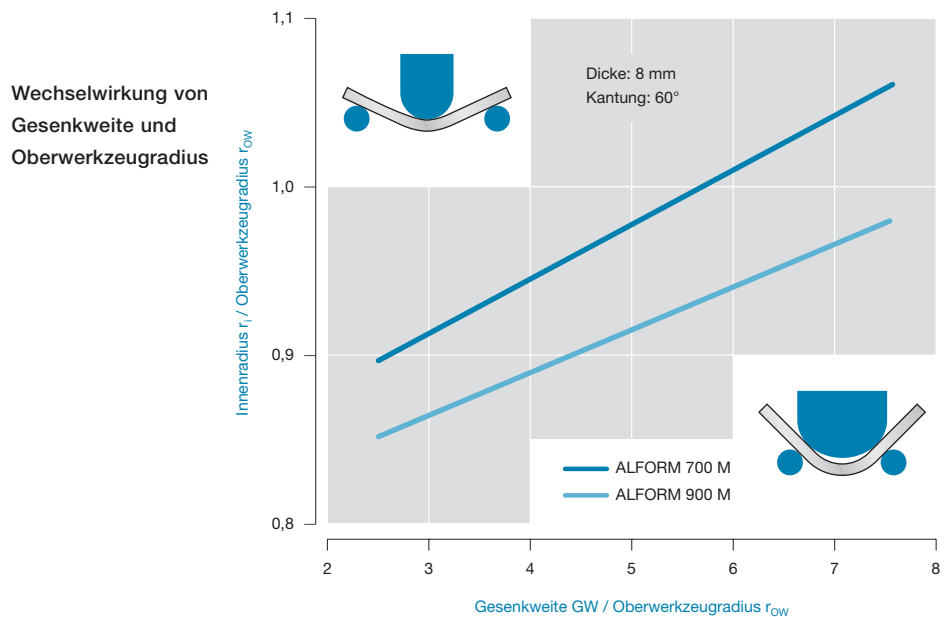


Randfaserdehnung im Bereich der äußeren Oberfläche von im V-Gesenk durch freie Biegung gekanteten Proben



Im Falle besonders hoher Anforderungen an die Kanteometrie ist auch der Einfluss der Gesenkweite zu beachten. Die Wechselwirkung von Gesenkweite und Oberwerkzeugradius ist unten dargestellt.

Diese zeigt für freies Biegen das Verhältnis von Kantinnenradius in Abhängigkeit von der Gesenkweite bezogen auf den Oberwerkzeugradius am Beispiel von ALFORM 700 M und ALFORM 900 M. So ergeben sich für enge Gesenke mit großen Oberwerkzeugradien (z. B. $GW/r_{ow} = 3$) Kantinnenradien kleiner als die Oberwerkzeugradien (z. B. 90 % des Oberwerkzeugradius). Beim Einsatz großer Gesenkweiten führt Rückfederung zu einem Kantinnenradius am Bauteil größer als der Werkzeugradius.





3.1.3 KALTPROFILIEREN

Eines der wichtigsten Verfahren zur Weiterverarbeitung von Stahlband ist die Herstellung von kaltgeformten Profilen und längsnahtgeschweißten Rohren. Die Technologie des Kaltprofilierens nützt in optimaler Weise die gute Kaltumformbarkeit der Stahlwerkstoffe zur Herstellung einer Vielzahl an Rohr- und Profilquerschnitten.

Die vergleichsweise hohe Anzahl an Umformschritten während des Profilierungsvorganges ermöglicht auch bei hochfesten ALFORM®-Stählen Biegeradien, die kleiner sind als bei Einschnittumformvorgängen wie Biegen oder Kanten.

Die aufgrund des niedrigen Kohlenstoffgehalts geringe Aufhärtungsneigung und somit niedrige Kaltrissanfälligkeit der ALFORM®-Werkstoffe führt zu optimalen Schweißnahteigenschaften geschlossener Profile auch bei hohen Schweißgeschwindigkeiten und rascher Kühlung der Fügezone.



ALFORM®-Güten zeichnen sich durch eine hohe Kaltumformbarkeit aus, wie aus der Lage der Grenzformänderungsschaubilder deutlich wird. Auch Bauteile mit komplexer Geometrie können daher mit ALFORM® prozesssicher gefertigt werden.

3.1.4 TIEFZIEHEN

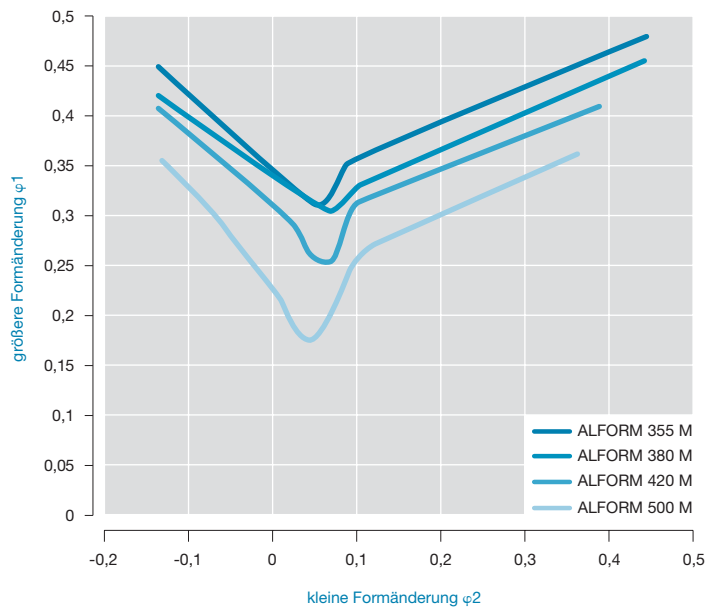
Die Grenzformänderungsschaubilder (GFS) sind wichtige Hilfsmittel zur Beschreibung der Umformbarkeit von Blechwerkstoffen, insbesondere von Tiefziehgüten. Sie geben an, welche biaxialen Verformungen ein Blech ertragen kann, ohne dass es zu Einschnürungen oder Reißen kommt. Grenzformänderungsschaubilder werden daher für die Bewertung der Prozesssicherheit von Umformvorgängen bei Bauteilen verwendet.

Dafür werden Proben mit unterschiedlichen Verformungszuständen, wie sie beim Verarbeiten im Presswerk auftreten, umgeformt und aus den ausgewerteten Dehnungen die zulässigen Verformungen für den jeweiligen Werkstoff ermittelt.

Der Bereich zum Umformen, der für einen Werkstoff zur Verfügung steht, ist der Bereich unterhalb der Grenzformänderungskurve, oberhalb kommt es zum Werkstoffversagen.

Eine höher liegende Grenzformänderungskurve erlaubt damit mehr Freiheit bei den herstellbaren Formen und somit den Bauteildesignmöglichkeiten.

Grenzformänderungsschaubilder für
ALFORM®-Stahlsorten



3.2 Schweißen

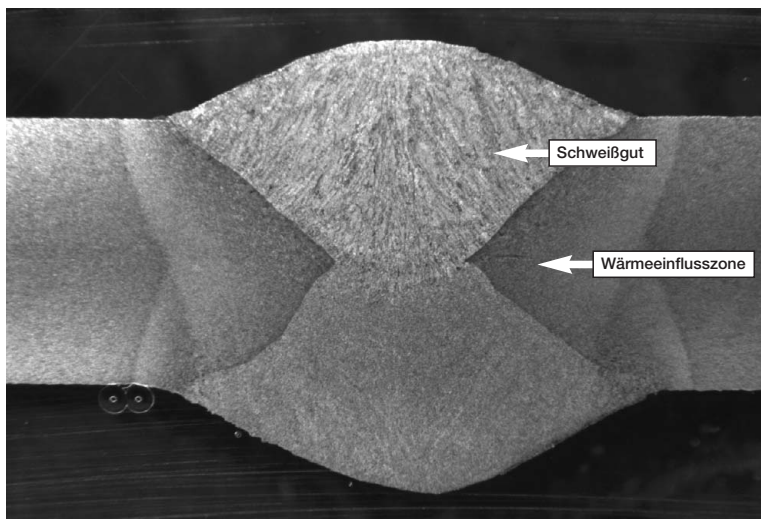
3.2.1 SCHWEISSEN VON ALFORM®

Von entscheidender Bedeutung für die mechanisch-technologischen Eigenschaften von Schweißverbindungen sind die Werkstoffzusammensetzung (beschrieben durch das Kohlenstoffäquivalent) und der Temperatur-Zeit-Verlauf beim Schweißen. Letzterer wird von der

- Blechdicke,
- der Nahtform,
- der Streckenergie,
- der Vorwärmtemperatur und
- vom Nahtaufbau

beeinflusst.

Zur Beschreibung des Temperatur/Zeit-Verlaufes beim Schweißen wird die Abkühlzeit $t_{8/5}$ verwendet. Das ist die Zeit, die in der Schweißraupe und im austenitisierten Wärmeeinflusszonen-(WEZ)-Gefüge für die Abkühlung zwischen 800 °C und 500 °C benötigt wird. Diese Zeit ist bestimmend für die Ausbildung des Schweißgut- und WEZ-Gefüges und deren Eigenschaften. Die Ermittlung der $t_{8/5}$ ist in der EN 1011-2 (Ausgabe Mai 2001) detailliert beschrieben.



Makroaufnahme
einer Schweißnaht
(Schweißraupe,
Wärmeeinflusszone)



HINWEIS

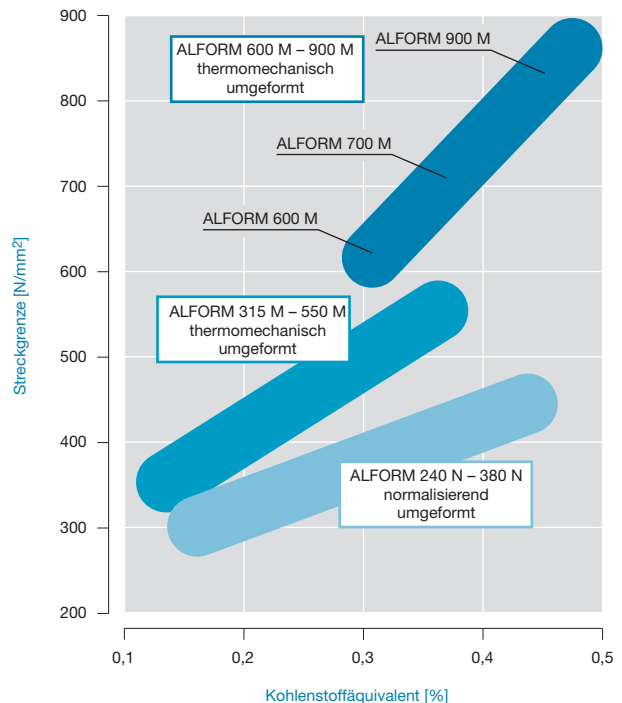
Generell sind bei allen Schweißungen an metallischen Werkstoffen die allgemeingültigen und bekannten Regeln der Normenreihe EN 1011 (z. B. EN 1011-2 für das Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen) zu beachten.

C-Äquivalent

Die Stahlsorten der Sonderstahlreihe ALFORM® sind nicht nur hinsichtlich ihrer Kaltumformbarkeit optimiert, sondern wurden von der chemischen Zusammensetzung her auch auf die Erreichung möglichst niedriger C-Äquivalente konzipiert und weisen daher eine ausgezeichnete Schweißbeignung auf.

Besonders hervorzuheben ist die hervorragende Schweißbeignung der Stahlsorten ALFORM 280 M bis ALFORM 900 M, bei denen die Nutzung des Mechanismus „Feinkornhärtung“ zur Festigkeitssteigerung über thermomechanische Walzung in Kombination mit Mikrolegierung die Einstellung sehr niedriger C-Äquivalente ermöglicht. Aber auch die durch normalisierendes Walzen hergestellten Stahlsorten ALFORM 180 N bis ALFORM 380 N sind als solche schweißtechnisch problemlos zu verarbeiten.

Aus der Darstellung der Streckgrenzenbereiche der einzelnen Stahlgruppen über dem C-Äquivalent ist ersichtlich, dass die thermomechanisch gewalzten Stahlsorten (M-Reihe) im Vergleich zu den normalisierend gewalzten, bezogen auf jeweils gleiche Streckgrenzenlage, ein wesentlich niedrigeres C-Äquivalent aufweisen. Besonders hervorzuheben sind die hochfesten Stahlsorten ALFORM 600 M bis ALFORM 900 M. Trotz annähernd doppelt so hoher Streckgrenze liegen die C-Äquivalente dieser Stahlsorten nur unwesentlich höher als jene der N-Reihe (z. B. 0,30 bei ALFORM 355 N bzw. 0,36 bei ALFORM 700 M).



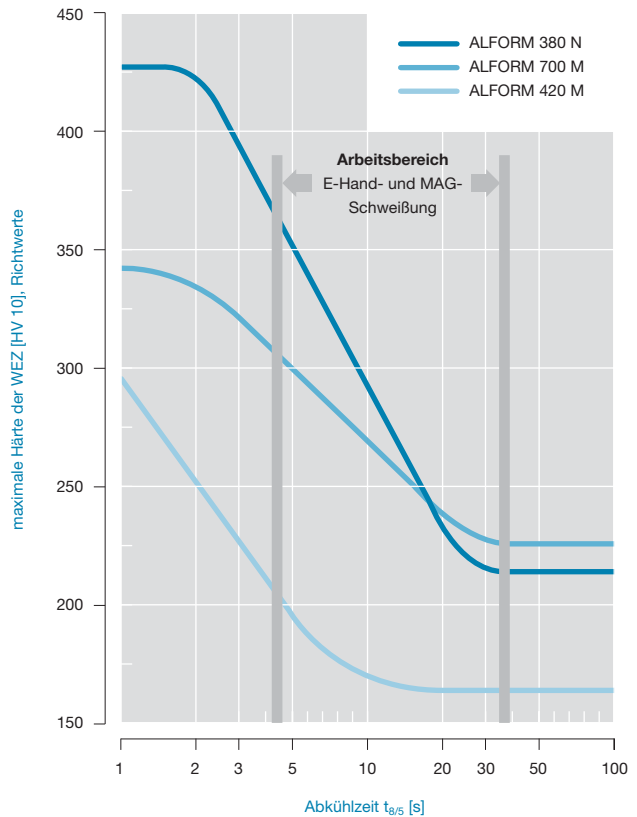
Streckgrenze und C-Äquivalent für verschiedene Herstellungsverfahren und Stahlsorten

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Aufhärtung in der Wärmeeinflusszone

Aufgrund des niedrigen C-Äquivalentes ist die Aufhärtung in der Wärmeeinflusszone (WEZ) von Schweißverbindungen bei TM-Stählen sehr gering. Selbst die hochfeste Stahlsorte ALFORM 700 M zeigt eine geringere Aufhärtung als die in der Streckgrenze deutlich niedriger liegende normalgeglühte Stahlsorte ALFORM 380 N. Die Gefahr des Auftretens von Kaltrissen in der Wärmeeinflusszone wird dadurch minimiert.

Einfluss der Schweißparameter auf die Aufhärtung (WEZ-Eigenschaften)



Zähigkeit der Wärmeeinflusszone

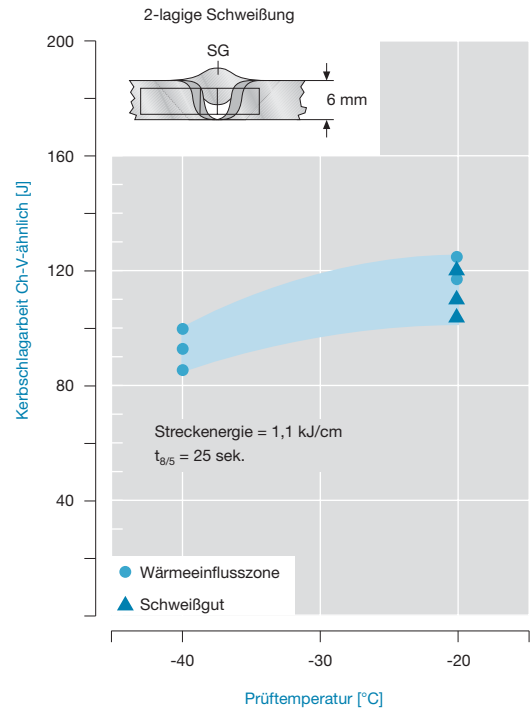
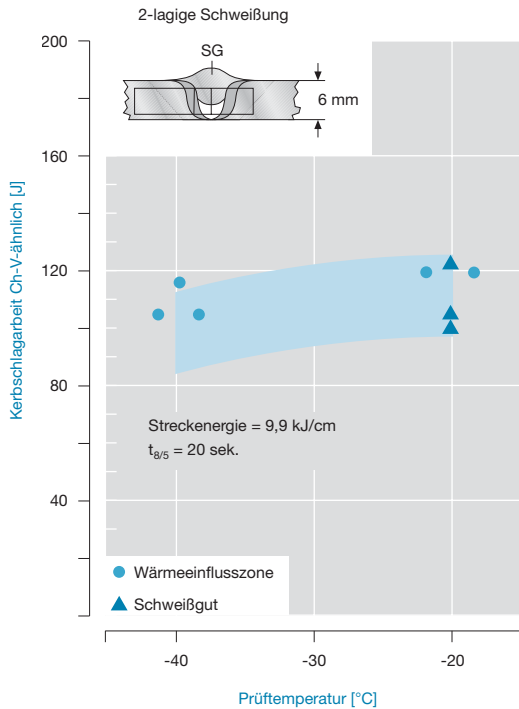
Besonders erwähnenswert sind die hervorragenden WEZ-Zähigkeitseigenschaften der TM-gewalzten ALFORM®-Stahlsorten. Die Zähigkeit der WEZ hängt von der Art und der Korngröße des Mikrogefüges in der überhitzten Zone ab. Grobkorn und größere Anteile an eingelagerten Martensit-Restaustenit-Inseln vermindern die Zähigkeit beträchtlich. Infolge des geringeren C-Gehaltes ist bei der M-Reihe der ALFORM®-Stähle die Menge an Martensitinseln im WEZ-Gefüge geringer als bei konventionellen Stählen. Zusammen mit der kornwachstumsbehindernden Wirkung der über die Mikrolegierung vorhandenen Ausscheidungen lassen sich damit bei den thermomechanisch gewalzten Stählen sehr hohe WEZ-Zähigkeitswerte erzielen.

Am Beispiel von Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurven für den ALFORM 700 M ist erkennbar, dass die Einhaltung der Norm-Gewährleistungswerte für die Zähigkeit (40 J bei -20°C nach EN 10149 an der Charpy-V-Vollprobe) kein Problem darstellt.

1) 40 J bei -20°C nach EN 10149 an der Charpy-V-Vollprobe

Draht/Gaskombination: Böhler X70 IG / Corgon 18
Zustand: Schweißzustand, Nahtform: V-Naht

Draht/Gaskombination: Böhler X70 IG / Corgon 18
Zustand: Schweißzustand, Nahtform: V-Naht

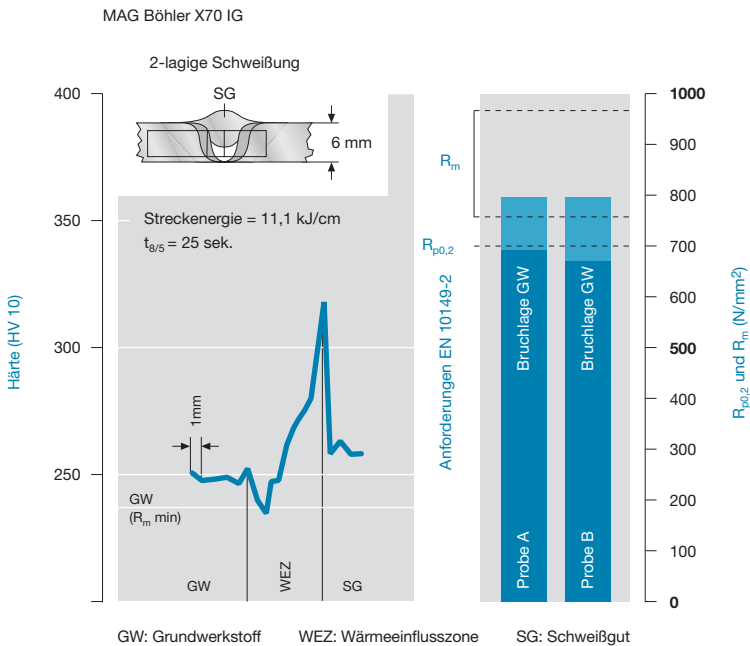
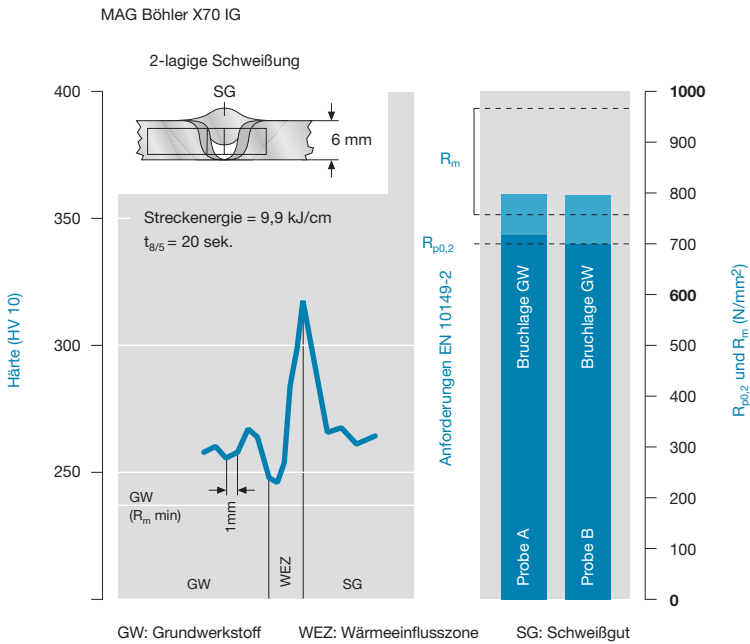


Zähigkeitseigenschaften in der WEZ von ALFORM 700 M am Beispiel von Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurven. Kerbschlagarbeit wurde an Untermaßproben bestimmt und auf Vollprobe umgerechnet.

Festigkeitseigenschaften der Schweißverbindung

Hoch- bzw. höchstfeste ALFORM®-Stähle sind hinsichtlich der Festigkeitseigenschaften quer zur Schweißverbindung durch das Auftreten einer sogenannten „weichen Zone“ im interkritisch erhitzten (teilaustenitisierten) Bereich der Wärmeeinflusszone geprägt, welche sich mit steigendem Wärme­einbringen (gleichbedeutend mit längerer Abkühlzeit $t_{8/5}$) zunehmend verbreitert. ALFORM M-Stahlsorten zeigen aufgrund ihrer Legierungskonzeption eine hohe Anlassbeständigkeit und damit eine verringerte Empfindlichkeit für diesen Festigkeitsabfall. Für die Stahlsorte ALFORM 700 M wird dies aus den gezeigten Härteverläufen und Festigkeitseigenschaften quer zu Schweißnähten ersichtlich (siehe Diagramme auf der nachfolgenden Seite). Bis zu einer sehr langen Abkühlzeit $t_{8/5}$ von 20 Sekunden tritt praktisch keine nennenswerte Erweichungszone und damit auch kein Abfall der Festigkeit unter die Grundwerkstoffgewährleistungswerte auf. Längere Abkühlzeiten bzw. höhere Streckenergien sollten bei hohen Anforderungen nicht mehr gewählt werden, weil die weiche Zone infolge der thermischen Überbeanspruchung des Werkstoffes im Verhältnis zur Blechdicke zu breit wird und dann doch zunehmend größer werdende Festigkeitsverluste auftreten. Für die Stahlsorte ALFORM 900 M ist die $t_{8/5}$ auf 12 Sekunden zu begrenzen.

Diese $t_{8/5}$ -Begrenzungen nach oben hin sind auch im Hinblick auf ausreichende Festigkeitseigenschaften im Schweißgut und anforderungsgerechte Zähigkeitseigenschaften in Schweißverbindungen (SG und WEZ) erforderlich (siehe nachfolgendes Diagramm „Streckenergie – Anzahl der Schweißlagen“).



ALFORM 700 M, Härteverlauf über die Schweißverbindung und Festigkeitseigenschaften quer zur Naht

3.2.2 ALLGEMEINGÜLTIGE SCHWEISSTECHNISCHE HINWEISE

Schweißnahtvorbereitung

Die Nahtvorbereitung kann spanabhebend oder durch thermisches Schneiden erfolgen. Beim thermischen Schneiden (Autogen-, Laserbrenn- und Plasmaschneiden) entsteht eine Wärmeeinflusszone neben der Schnittfläche, die aber bei optimal auf die Blechdicke eingestellten Schneidparametern nicht breiter als ca. 2 mm anfällt. Unmittelbar neben der Schnittkante ist in einem sehr schmalen Bereich von einigen Zehntel Millimeter eine Aufhärtung feststellbar, die vom C-Äquivalent abhängt und etwa der Aufhärtung in der Wärmeeinflusszone beim Schweißen entspricht.

Bei den thermomechanisch gewalzten ALFORM®-Stahlsorten ist, wie in Kapitel 3.2.1 gezeigt, die Aufhärtung im Vergleich zu normalisierend gewalzten Stählen oder Vergütungsstählen gleicher Streckgrenzenlage deutlich geringer.

Schweißverfahren

Die ALFORM® und LASER-ALFORM®-Stahlsorten sind bei Beachtung der angegebenen schweißtechnischen Verarbeitungshinweise sowohl zum

- Schmelzschweißen mit allen erprobten Schmelzschweißverfahren (von Hand oder auch maschinell) als auch zum
 - Abbrennstumpf-,
 - Hochfrequenz- und
 - Widerstandsschweißen
- geeignet.

Schweißzusatzwerkstoffe und Schweißbedingungen

Die Schweißzusatzwerkstoffe sind so auszuwählen, dass die Eigenschaften des Schweißgutes ein auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften des Grundwerkstoffes (Zugfestigkeit, Streckgrenze und Kerbschlagzähigkeit) abgestimmtes Schweißgut ergeben. Zusatzwerkstoffe, die eine unnötig hohe Festigkeit im Schweißgut ergeben, sollten vermieden werden.

Vorwärmtemperatur

Aufgrund der nach oben begrenzten Lieferdicke (≤ 12 mm) ist ein Vorwärmen zum Schweißen im Allgemeinen nicht erforderlich.

Bei Außentemperaturen unter $+5$ °C oder feuchten Schweißkanten sollten aus Gründen der Kaltrissicherheit zum Trocknen die Schweißkanten auf 60 bis 80 °C vorgewärmt werden. Für Stahlsorten mit einer Streckgrenze von ≥ 500 N/mm² sind Schweißverfahren zu bevorzugen, mit denen niedrige Wasserstoffgehalte im Schweißgut von $\text{HDM} \leq 5$ ml/100 g Schweißgut ¹⁾ erreicht werden. Dies ist bei Schutzgasschweißungen mit Massivdrähten in der Regel gewährleistet. Basische Elektroden und Fülldrähte bzw. Schweißpulver zum UP-Schweißen müssen entsprechend den Herstellervorschriften nachgetrocknet werden.

¹⁾ (Hg-Methode nach ISO 3690)

HDM (Hydrogen Deposit Metal) ... Wasserstoffgehalt im niedergeschmolzenen Schweißgut

Streckenergie – Anzahl der Schweißlagen

Im Hinblick auf die Zähigkeitseigenschaften von Schweißgut bzw. Wärmeeinflusszone ist zu beachten, dass mit abnehmender Streckenergie die Zähigkeit der Schweißnaht zunimmt. Darüber hinaus erreicht man auch höhere Festigkeitswerte quer zur Schweißnaht. Bei hohen Anforderungen an die Festigkeit und Zähigkeit darf daher die Streckenergie begrenzt und maximal 3 mm hohe Strichraupen geschweißt werden.

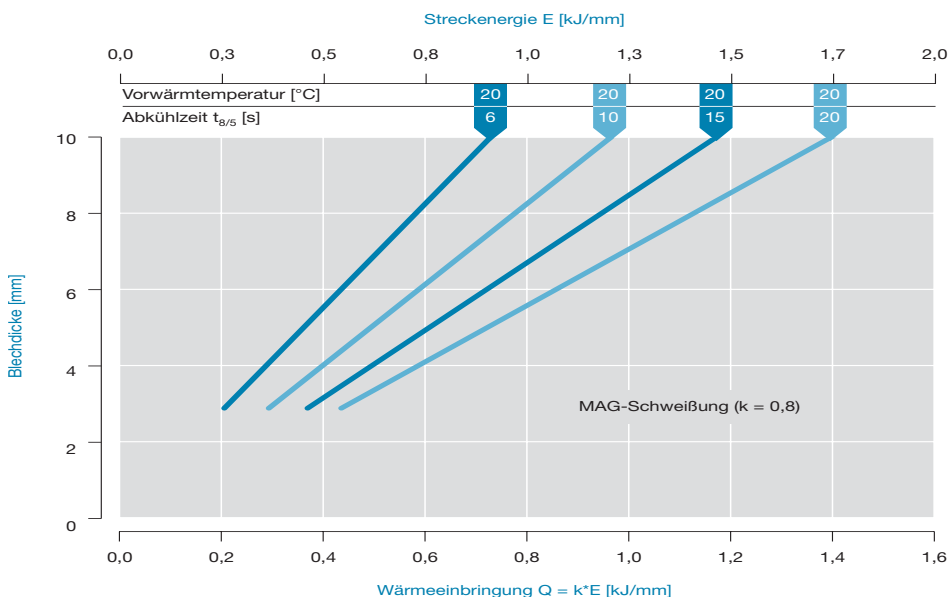
Bei geringeren Anforderungen an die Schweißverbindung (Festigkeit und Zähigkeit) kann die Anzahl der Schweißlagen gegebenenfalls auch reduziert werden. Schweißbedingungen, die zu Abkühlzeiten $t_{8/5}$ von 7 bis 25 Sekunden führen, haben sich für die Stahlsorten der M-Reihe bewährt.

Zur Bestimmung der zulässigen Streckenergie für eine vorgegebene $t_{8/5}$ -Zeit bei gegebener Blechdicke kann entweder das nachstehende Diagramm oder die EN 1011-2 herangezogen werden.

TIPP

Zur Erzielung hoher Festigkeits- und Kerbschlagwerte kann für allgemeine Baustähle und Feinkornbaustähle bis zu Streckgrenzen von $R_{p0,2} \leq 500 \text{ N/mm}^2$ folgende Faustformel verwendet werden:

$$\text{Mindestanzahl der Schweißlagen} = \frac{\text{Blechdicke [mm]}}{3}$$



Eine Zusammenfassung der schweißtechnischen Verarbeitungshinweise für die wichtigsten Stähle der ALFORM®-Reihe einschließlich empfohlener Zusatzwerkstoffe finden Sie in der nachstehenden Tabelle.



Warmbreitband

Werkstoff	Verfahren	Zusatzwerkstoff	Gas	Vorwärmung [°C]	Zwischenlagen- temperatur [°C]	t _{8/5} - Bereich [s]
ALFORM 380 M	MAG (GMAW)	ER 70S-6 Drähte (nach AWS A 5.18) z. B. Böhler EMK 6	M21	60 – 80 ¹⁾	≤ 180	3 – 25
	E-Hand (SMAW)	E 7018-G Elektroden (nach AWS A 5.1) z. B. Böhler FOX EV 50	–			
ALFORM 460 M	MAG (GMAW)	ER 90S-G Drähte (nach AWS A 5.28) z. B. Böhler NiMo 1-IG	M21	60 – 80 ¹⁾	≤ 150	3 – 25
	E-Hand (SMAW)	E 7018-G Elektroden (nach AWS A 5.5) z. B. Böhler FOX EV 55	–			
ALFORM 500 M	MAG (GMAW)	ER 90S-G Drähte (nach AWS A 5.28) z. B. Böhler NiMo 1-IG	M21	60 – 80 ¹⁾	≤ 150	3 – 20
	E-Hand (SMAW)	E 8018-G Elektroden (nach AWS A 5.5) z. B. Böhler FOX EV 60	–			
ALFORM 550 M	MAG (GMAW)	ER 90S-G Drähte (nach AWS A 5.28) z. B. Böhler NiMo 1-IG	M21	60 – 80 ¹⁾	≤ 120	3 – 20
	E-Hand (SMAW)	E 8018-G Elektroden (nach AWS A 5.5) z. B. Böhler FOX EV 65	–			
ALFORM 700 M	MAG (GMAW)	ER 110 S-G Drähte (nach AWS A 5.28) z. B. Böhler X70-IG	M21	60 – 80 ¹⁾	≤ 80	3 – 20
	E-Hand (SMAW)	E 11018-G Elektroden (nach AWS A 5.5) z. B. Böhler FOX EV 85	–			
ALFORM 900 M	MAG (GMAW)	ER 120 S-G Drähte (nach AWS A 5.28) z. B. Böhler X90-IG	M21	60 – 80 ¹⁾	≤ 80	3 – 12
	E-Hand (SMAW)	E12018-G Elektroden (nach AWS A 5.5) z. B. Oerlikon Tenacito 100	–			

¹⁾ Wenn die Werkstücktemperaturen unter +5 °C liegen, sollte zur Sicherstellung trockener Schweißkanten auf 60 – 80 °C vorgewärmt werden

3.3 Laserbrennschneiden

Moderne vollautomatisierte Fertigungsmethoden erfordern Werkstoffe mit größtmöglicher Gleichmäßigkeit der Eigenschaften.

Die voestalpine Stahl GmbH bietet unter dem Markennamen LASER-ALFORM® im Streckgrenzenbereich von 180 bis 420 N/mm² besonders zum Laser- und Plasmaschneiden geeignete Stähle an. Sie sind durch eine sehr gleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit und ein homogenes Mikrogefüge über den Blechquerschnitt gekennzeichnet. Dies wird einerseits durch eine dünne, gleichmäßige Zunderschicht, andererseits aber auch durch eine spezielle Legierungskonzeption und Einstellung eines sehr guten Reinheitsgrades hinsichtlich nichtmetallischer Einschlüsse bei der Erschmelzung erreicht. Bei der Produktion der Bleche wird auf die Minimierung der Eigenspannungen geachtet, um Verwerfungen im Schneidbetrieb weitgehend zu vermeiden.

Durch verfahrens- und werkstoffseitige Optimierungen werden eine hohe Schnittgüte und eine optimale Schneidgeschwindigkeit erreicht. Grundvoraussetzung zur Nutzung der werkstoffseitigen Vorzüge sind perfekt eingestellte Schneidgeräte.

3.3.1 EINFLÜSSE AUF DIE SCHNITTGÜTE BEIM LASERBRENNSCHNEIDEN

MASCHINENSEITIGE EINFLUSSGRÖSSEN

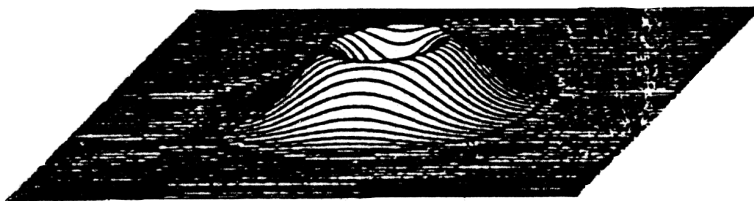
Laserstrahlung

Die durch den CO₂-Laser erzeugte Strahlung (mit einem üblichen Durchmesser von 15 bis 20 mm) wird je nach Brennweite der Fokussierungsoptik auf 200 bis 300 µm gebündelt, um die nötige Leistungsdichte zu erreichen, die ein Aufschmelzen des zu schneidenden Metalls möglich macht.

Die Intensität des Strahls weist über dessen Querschnitt eine charakteristische Verteilung auf, die man „Mode“ nennt. Um gute Schneidergebnisse erzielen zu können, muss diese Verteilung rotationssymmetrisch sein. Die bei Industrielasern meistverwendete Verteilung ist der sogenannte „Doughnut-Mode“ = TEM 01. Der Mode kann am einfachsten durch die sogenannte Qualitätskennzahl K quantifiziert werden. Dabei steht 1 für den bestmöglichen Mode. Das Diagramm auf der nächsten Seite zeigt heute übliche Strahlqualitätskennzahlen für industriell genutzte CO₂-Laser.

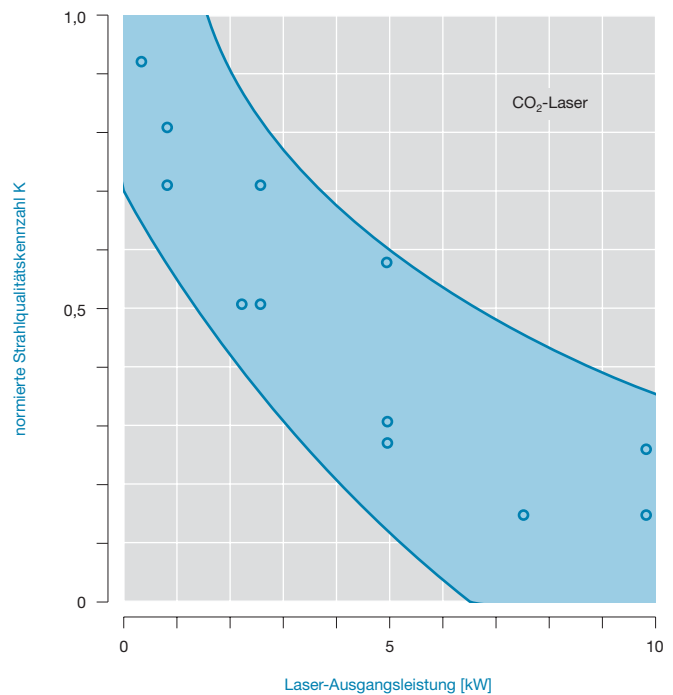
HINWEIS

Der Mode eines Lasers ist entscheidend für die Qualität des Brennschnittes.



Intensitätsverteilung der Laserstrahlung (TEM 01)

Strahlqualitäts-
kennzahlen für
heute im Einsatz
stehende
Industrielaser
verschiedener
Leistungskate-
gorien



Schneidgas O₂

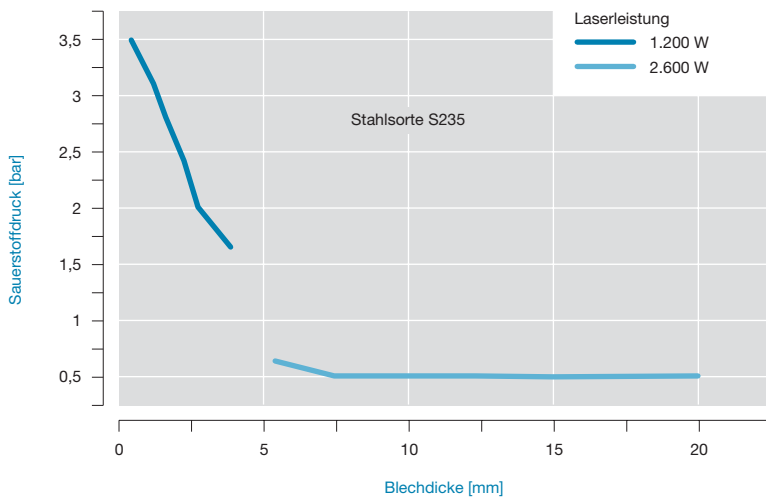
Sauerstoff hat beim Laserbrennschneiden zwei Funktionen:

- Bei der Reaktion von Sauerstoff mit dem Eisen zu Eisenoxid entsteht Wärme, deren Beitrag zur Gesamtaufschmelzleistung mindestens so groß ist wie der Beitrag der Laserstrahlung.
- Das Eisen-Eisenoxid-Gemisch wird vom Sauerstoff aus dem Schnittspalt ausgetrieben.

Bei der Verwendung des Sauerstoffs ist auf eine Reinheit von mindestens 99,95 % (3.5 O₂) zu achten. Schon eine Verringerung um wenige Zehntelprozent setzt die maximale Schnittgeschwindigkeit um 10 bis 30 % herab. Der Grund dafür ist, dass die Verunreinigungen im Sauerstoff die Oxidationsreaktion hemmen.

Schneidgasdruck

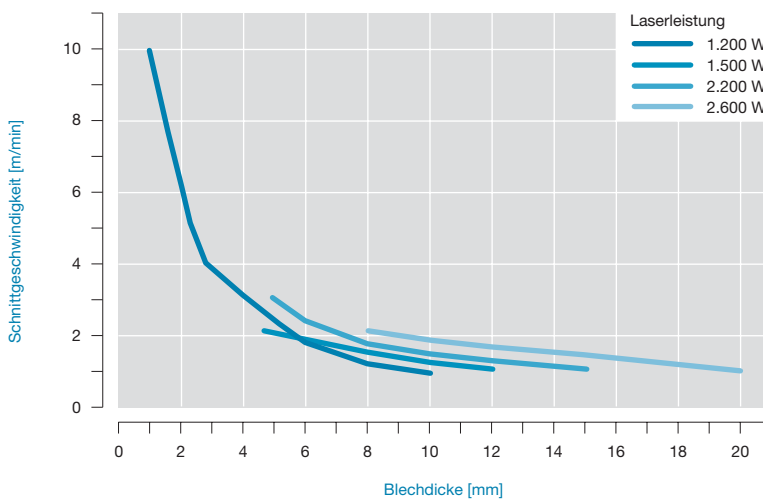
Mit fallender Schnittgeschwindigkeit bzw. steigender Blechdicke muss auch der Sauerstoffdruck gesenkt werden. Ein zu hoher Sauerstoffdruck führt zu Unregelmäßigkeiten bei der Oxidationsreaktion und damit zu einem unregelmäßigen Schnittbild. Das nachstehende Bild zeigt dazu auf Versuchsreihen und Praxisergebnissen beruhende Richtwerte für den Sauerstoffdruck über der Blechdicke zum Schneiden von S235 (St 37-2). Ein weiterer Grund für die Drucksenkung sind auftretende Überschallphänomene bei Drücken über 0,9 bar (bei größeren Blechdicken).



Abhängigkeit des Schneidgasdrucks von der Blechedicke

Schnittgeschwindigkeit

Nach Optimierung der genannten Parameter sind für LASER-ALFORM® die im Bild unten dargestellten, von der Laserleistung abhängigen Schnittgeschwindigkeiten erreichbar. Bestimmten Blechedickenbereichen sind dabei günstige Laserleistungen zugeordnet. Es würde wenig Sinn ergeben, mit sehr hohen Leistungen dünne Bleche zu schneiden, weil der Großteil der Laserenergie durch den Schnittspalt geht und die Qualitätskennzahl K mit höheren Leistungen fällt.



Nach einer Schneidparameteroptimierung maximal erreichbare Schnittgeschwindigkeiten

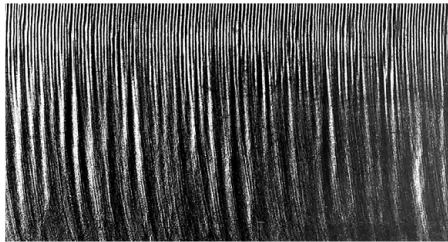
WERKSTOFFSEITIGE EINFLUSSGRÖSSEN

Stahlzusammensetzung

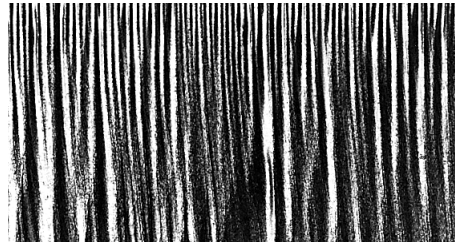
Ein sehr guter Reinheitsgrad hinsichtlich nichtmetallischer Einschlüsse und geringe Gehalte an unerwünschten Begleitelementen sind Voraussetzungen für ein verbessertes Schneidverhalten.

Weiters wurde nachgewiesen, dass der Siliziumgehalt die Güte der Schnittfläche über die Rautiefe R_z und den Riefennachlauf ab Blechdicken von etwa 12 mm in zunehmendem Maße beeinflusst. Die Schnittfläche wird im Wesentlichen durch das Erscheinungsbild der von oben nach unten verlaufenden Riefen und deren Tiefe geprägt. Wie aus den Abbildungen unten bereits visuell erkennbar ist, ergeben sich bei Schnittversuchen an 12-mm-Blechen aus LASER-ALFORM 240 N unter sonst gleichen Bedingungen für die Probe B mit dem höheren Siliziumgehalt deutlich gröbere Riefen. Dadurch verändert sich gleichzeitig die in Riefenanzahl/Länge gemessene Periodizität der Riefen.

Quantitativer Zusammenhang zwischen Riefenanzahl/Länge und Siliziumgehalt



Probe A (0,017 % Si)



Probe B (0,18 % Si)

¹⁾ Schnittbeurteilungskriterium nach DIN 2310 Teil 5

Größere Riefen haben eine erhöhte Rautiefe¹⁾ der Schnittkante zur Folge. An Ecken und engen Radien bei Formschnitten ergeben sich durch diese siliziumbedingte Veränderung der Schnittoausbildung zusätzlich Probleme durch anhaftende Schlacke an der Blechunterseite bei Dicken über 12 mm.

3.3.2 EINFLUSS DER BLECHOBERFLÄCHE

Zunder

Eine kompakte Zunderschicht (dichte Zunderoberfläche) hat keine negativen Folgen für das Schneidergebnis. Probleme können sich bei hämatitreichen zerklüfteten Zunderoberflächen ergeben, da die kapazitive Abstandsregelungstechnik empfindlich darauf reagiert.

Organische Schichten

Durch Papier, Kleber oder Lack entstehen Verbrennungsgase, die den Schneidsauerstoff verunreinigen und Schnittunterbrechungen zur Folge haben. Primerbeschichtungen verschlechtern mit steigender Schichtdicke zunehmend die Schnittgüte des Laserschnittes und sollten daher vermieden werden.

Öl

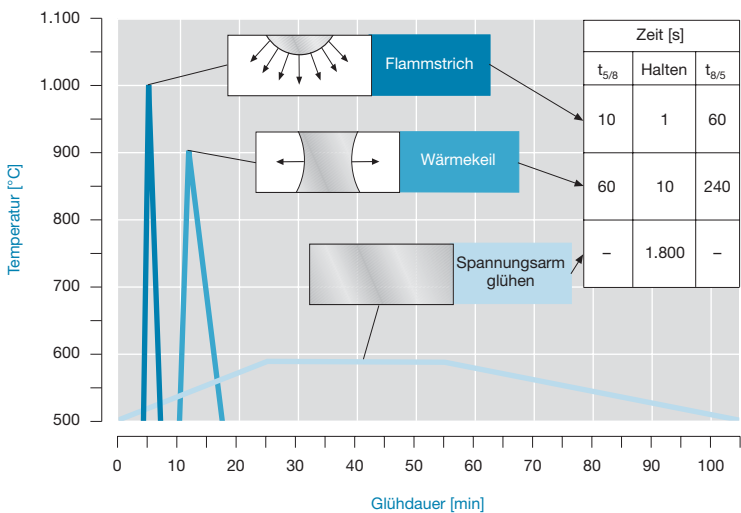
Ein dünner Ölfilm wirkt sich nicht negativ aus.

3.4 Flammrichten

Zur Beseitigung von Verzug, Beulen oder Wellungen in Bauteilen oder zur Abhebung von Passungenauigkeiten beim Zusammenbau von Stahlbauteilen wird überwiegend Richten mit der Autogenflamme angewendet. Somit stellt die Flammrichtbarkeit eine wichtige Verarbeitungseigenschaft von Konstruktionsstählen dar.

Abhängig von der durchzuführenden Richtarbeit wird zwischen einem Richten mit Flammstrichen, bei dem die Erwärmung nur oberflächennahe bis zu einer Tiefe von etwa 1/3 der Blechdicke erfolgt, und einem Richten mit Wärmekeilen, bei dem über die gesamte Dicke erwärmt wird, unterschieden. Das Richten mit Flammstrich dient bevorzugt zur Beseitigung von Beulen und Wellungen bzw. zum Ebnen eines Kehlnahtwinkelverzuges in Bauteilen, den Wärmekeil dagegen verwendet man zum Beheben oder Erzeugen von Krümmungen.

Im Zeit-Temperatur-Verlauf ergeben sich für das Richten mit Wärmekeil infolge der durchgreifenden Erwärmung etwa viermal so lange Abkühlzeiten $t_{8/5}$ wie bei Flammstrichen (bei anschließender Luftabkühlung). Dies führt bei zu hoher Richttemperatur zu Festigkeitseinbußen. Der Wärmekeil ist deshalb, aber auch wegen seiner Wirkung durch die gesamte Blechdicke der schärfere Anwendungsfall beim Flammrichten und verlangt gegenüber dem Richten mit Flammstrichen eine Verminderung der maximal zulässigen Richttemperaturen.



Temperatur-Zeit-Zyklen beim Richten mit Flammstrich bzw. Wärmekeil bzw. bei einer Spannungsarmglühung



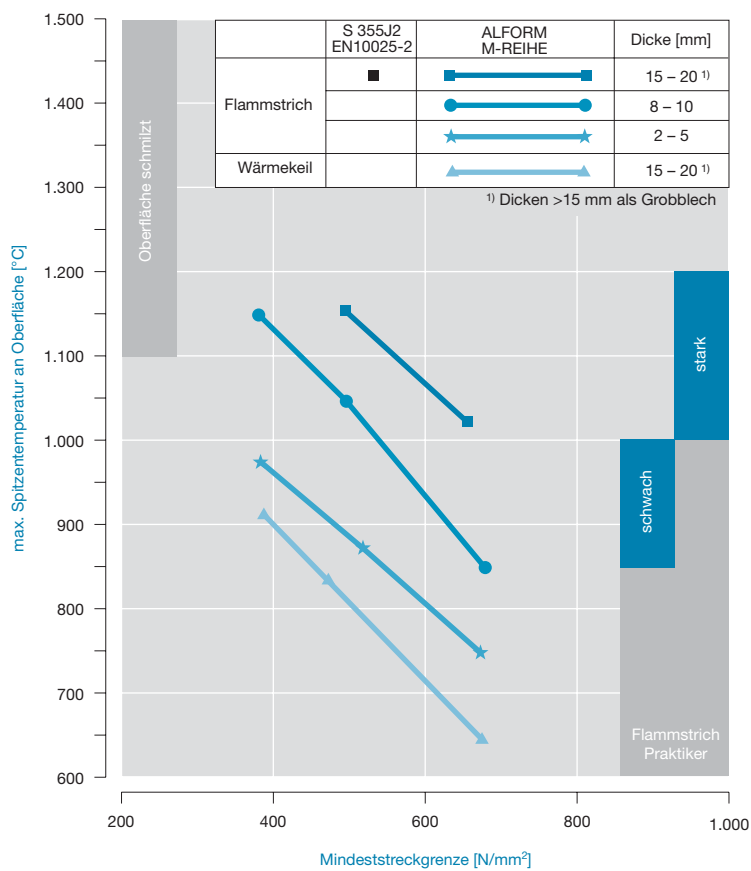
3.4.1 BRENNERWAHL UND GASGEMISCH

Praxisüblich ist die Verwendung großer Brenner (Brennergröße = 2 – 2,5 x Blechdicke) und von Azetylen als Brenngas bei einer Einstellung der Flamme auf Sauerstoffüberschuss ($O_2:C_2H_2 = 1,4$). Diese Verfahrensparameterwahl bewirkt eine besonders rasche Erwärmung der Richtstelle und minimiert die Wärmeeinbringung.

3.4.2 MAXIMAL ZULÄSSIGE RICHTTEMPERATUREN

Umfangreiche Untersuchungen an Stählen aus dem Lieferprogramm der voestalpine Stahl GmbH haben gezeigt, dass sich normalisierend gewalzte Stähle und TM-Stähle gleicher Streckgrenze bezüglich Festigkeitsabfall mit zunehmender Richttemperatur im untersuchten Richttemperaturbereich annähernd gleich verhalten.

Die Grafik auf der rechten Seite zeigt die maximal zulässigen Richttemperaturen für den Normstahl S355J2 nach EN 10025-1/2 und einige Stahlsorten aus der ALFORM®-Sonderstahlreihe in Abhängigkeit von der Streckgrenze bei Flammstrichen und Wärmekeilen. Bei dünneren Blechen ≤ 5 mm ist zu beachten, dass auch bei Flammstrichen praktisch immer vollständig durchwärmt wird und deshalb Zeit-Temperatur-Zyklen auftreten, die denen von Wärmekeilen bei dickeren Blechen entsprechen. Temperaturkontrollen bei von Praktikern vorgenommenen Richtarbeiten bestätigten, dass die dabei festgestellten, im nachstehenden Bild dargestellten Temperaturen in der Praxis üblich sind und angewendet werden.









Obergrenze für Spitzentemperaturen beim Flammrichten in Abhängigkeit von der Streckgrenze und Blechdicke für Flammstriche und Wärmekeile

3.4.3 KONTROLLE DER RICHTTEMPERATUREN

HINWEIS

Bei Wärmekeilen kann neben der Beobachtung der Glühfarben auch die direkte Temperaturmessung unmittelbar nach dem Entfernen der Flamme zur Kontrolle der Spitzentemperaturen herangezogen werden.

Zur Kontrolle der Richttemperatur erwiesen sich bei Flammstrichen die Glühfarben nach Glühfarbentabellen als ungeeignet, da bis zu gemessenen Flammstrichtemperaturen von 700 °C (Glühfarbe laut Tabelle Hellrot) keine Rotglut beobachtet werden konnte. Erst ab 800 °C zeigte sich bei den Versuchen ein kleiner dunkelroter bis dunkelkirschroter Fleck mit etwa 5 mm Durchmesser, der ca. 15 mm hinter der Flammspitze herlief. Dieser Fleck wurde bis 900 °C größer (Durchmesser ca. 1 cm) und heller und erstreckte sich bei 1.000 °C bis zur Flammspitze. Unserer Meinung zufolge ist daher die Beobachtung der Größe des roten Flecks und seines Abstandes von der Flammspitze bei Flammstrichen eine gute Möglichkeit zur Abschätzung der Spitzentemperatur. Die Messungen der Temperatur unmittelbar nach dem Entfernen der Flamme mit einem Thermostift oder elektronischen Thermometer lassen wegen der raschen Wärmeableitung in den Grundwerkstoff und dem verzögerten Ansprechen der genannten Messmittel keine konkrete Aussage über die tatsächlich erreichten Spitzentemperaturen zu.

Glühfarben			
Spitzentemp. [°C] in 1 mm Tiefe	Flammstrich bei Oberfläche		Wärmekeil
	blank	verzundert	
600	grau	grau	–
700	grau	grau	grau?
Vorschub →			
	<div>heller Fleck</div>	<div>Flamm- kegel</div>	
800			größer, heller als auf blanker Oberfläche
900			
1.000			
1.250	Oberfläche schmilzt		

Richtdiagramm für die Kontrolle der Spitzentemperatur beim Flammrichten



3.5 Schwingfestigkeit von ALFORM®-Stählen

3.5.1 GRUNDWERKSTOFF

Die Schwingfestigkeit von Warmbändern wurde ausführlich untersucht. Die Ermittlung der Wöhlerkurven des Grundwerkstoffes erfolgte bei unterschiedlichen Mittellasten an Längsproben mit belassener Walzhaut.

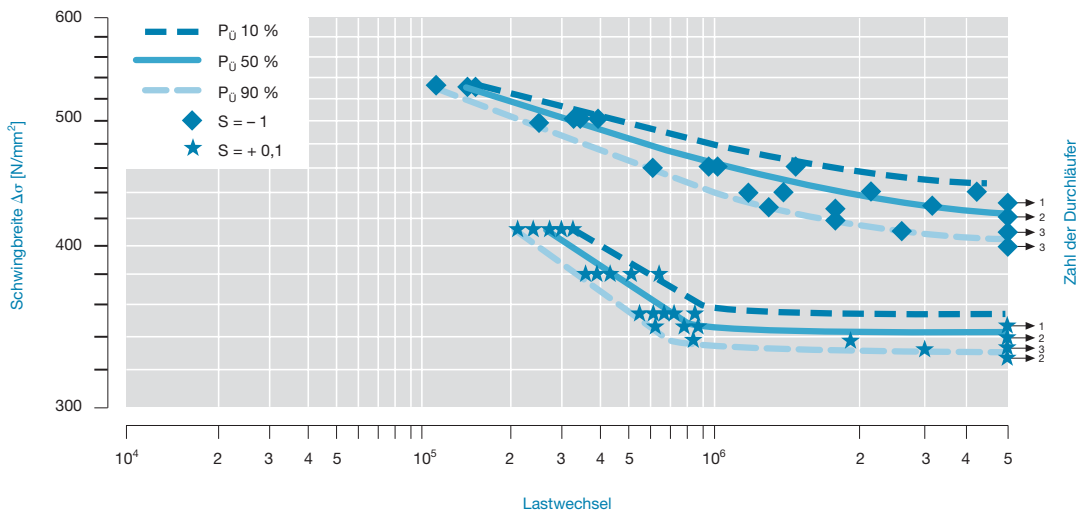
Folgende Lastverhältnisse wurden untersucht

- $S = \text{Unterlast/Oberlast} = -1$ (Zug-Druck)
- $S = +0,1$ (Zugschwell)
- $S = +0,5$ (Zugschwell mit hoher Mittellast)

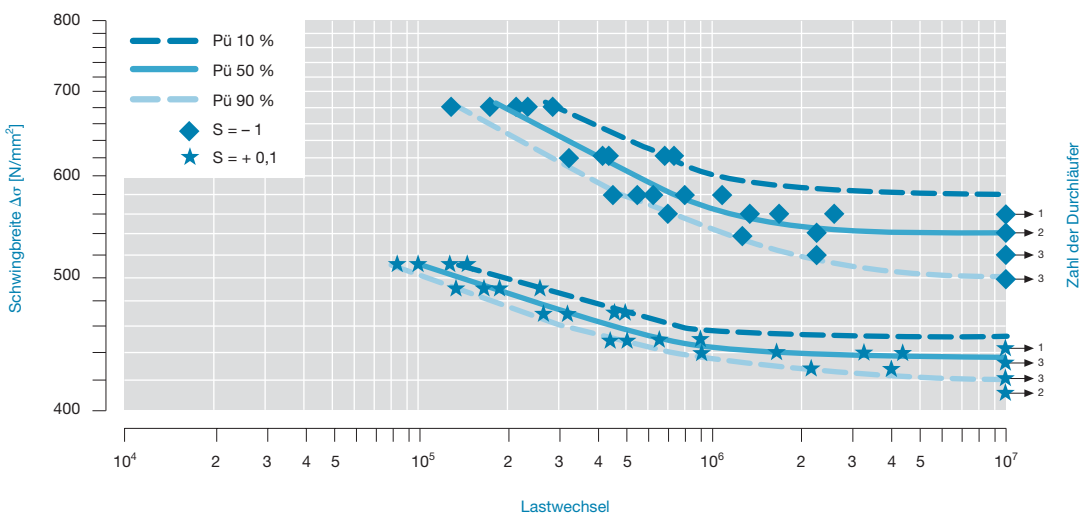
Die Wöhlerdiagramme ausgewählter ALFORM®-Güten sind in den nachfolgenden Bildern dargestellt. Dabei wurde auch eine statistische Auswertung durchgeführt und das Ergebnis in Form von drei Kurven für 10 %, 50 % und 90 % Überlebenswahrscheinlichkeit als Funktion der Lastspielzahl (P_0) dargestellt.

Mit steigender Mindeststreckgrenze und damit auch mit steigender Zugfestigkeit nimmt die Schwingfestigkeit zu. Dieser Effekt wird besonders deutlich, wenn aus den Werten Dauerfestigkeitsdiagramme nach Smith abgeleitet werden (Bild Seite 64). Vor allem bei höherer Mittellast ist der Zugewinn an Schwingfestigkeit bei Güten mit höherer Festigkeitslage besonders hoch.

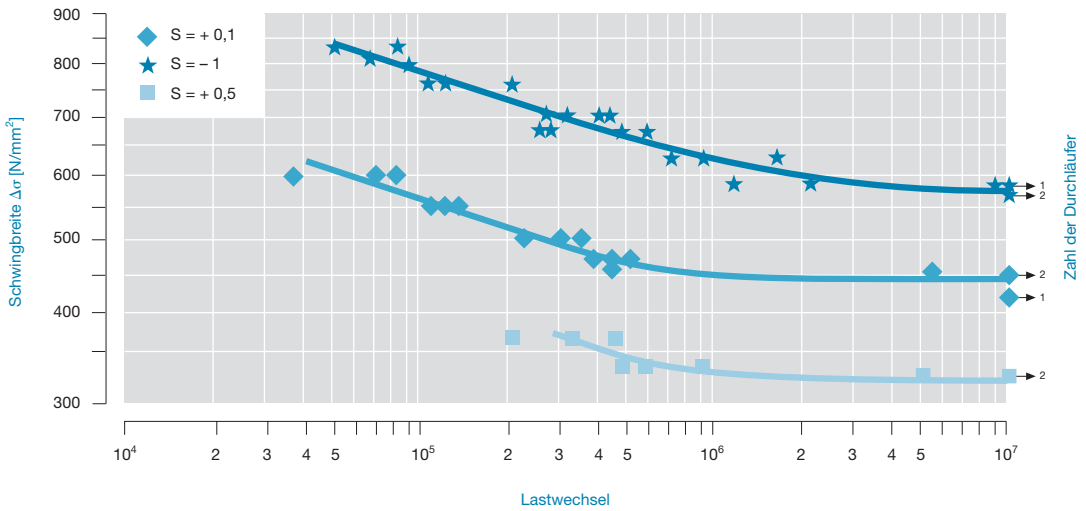
Schwingfestigkeit von Warmband ALFORM 355 M, Dicke = 5 mm, Grundwerkstoff, Walzhaut
Zug-Druck- bzw. Zugschwell-Belastung



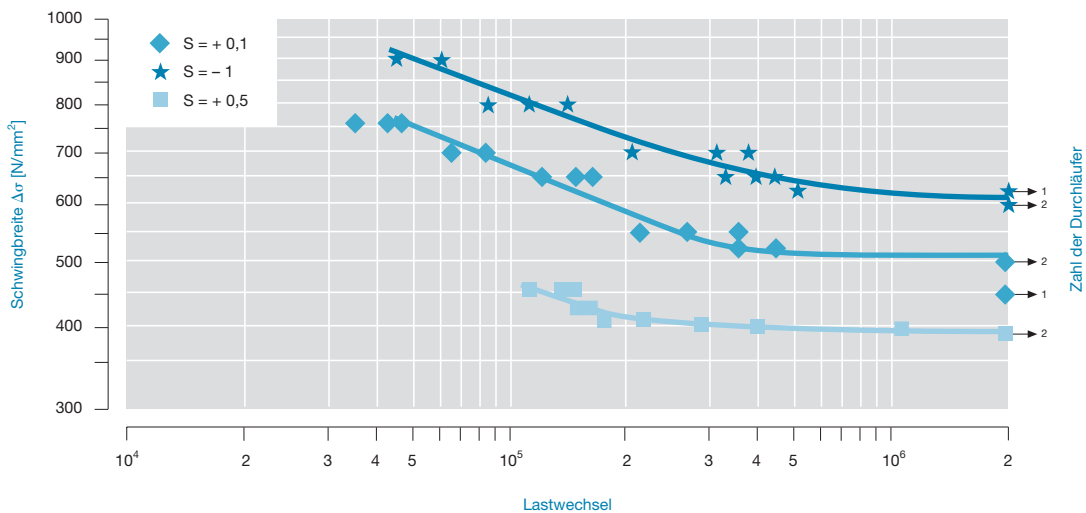
Schwingfestigkeit von Warmband ALFORM 500 M, Dicke = 6 mm, Grundwerkstoff, Walzhaut
Zug-Druck- bzw. Zugschwell-Belastung



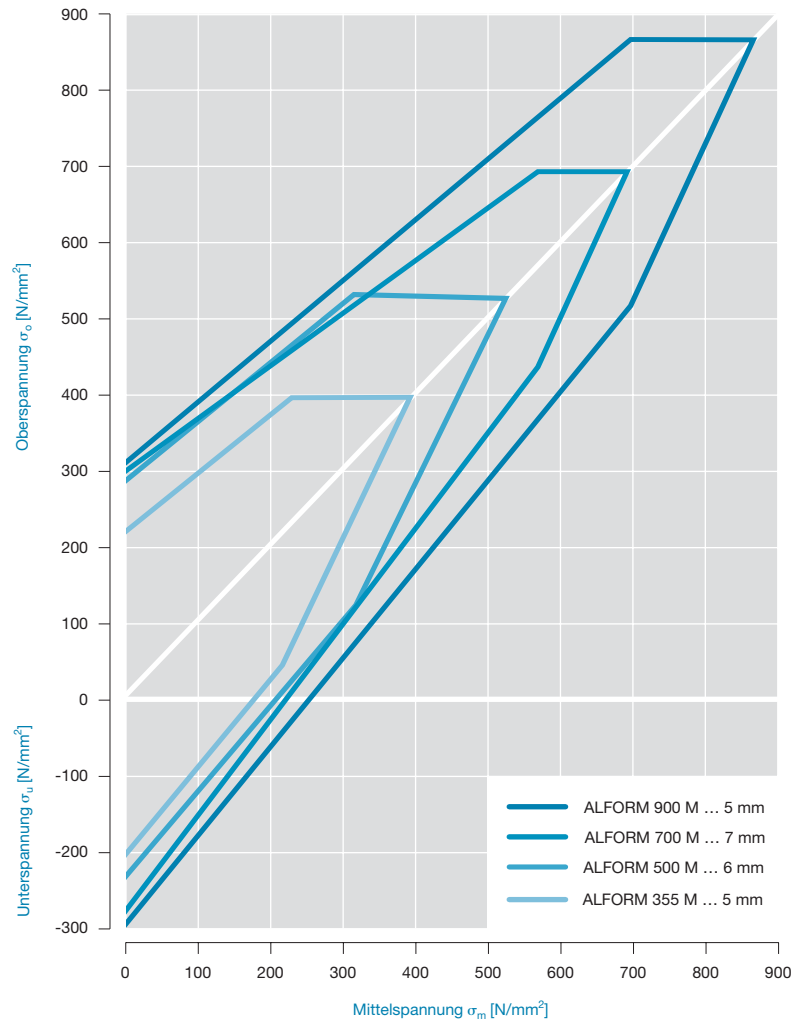
Schwingfestigkeit von Warmband ALFORM 700 M, Dicke = 7 mm, Grundwerkstoff, Walzhaut
 Zug-Druck- bzw. Zugschwell-Belastung



Schwingfestigkeit von Warmband ALFORM 900 M, Dicke = 5 mm, Grundwerkstoff, Walzhaut
 Zug-Druck- bzw. Zugschwell-Belastung

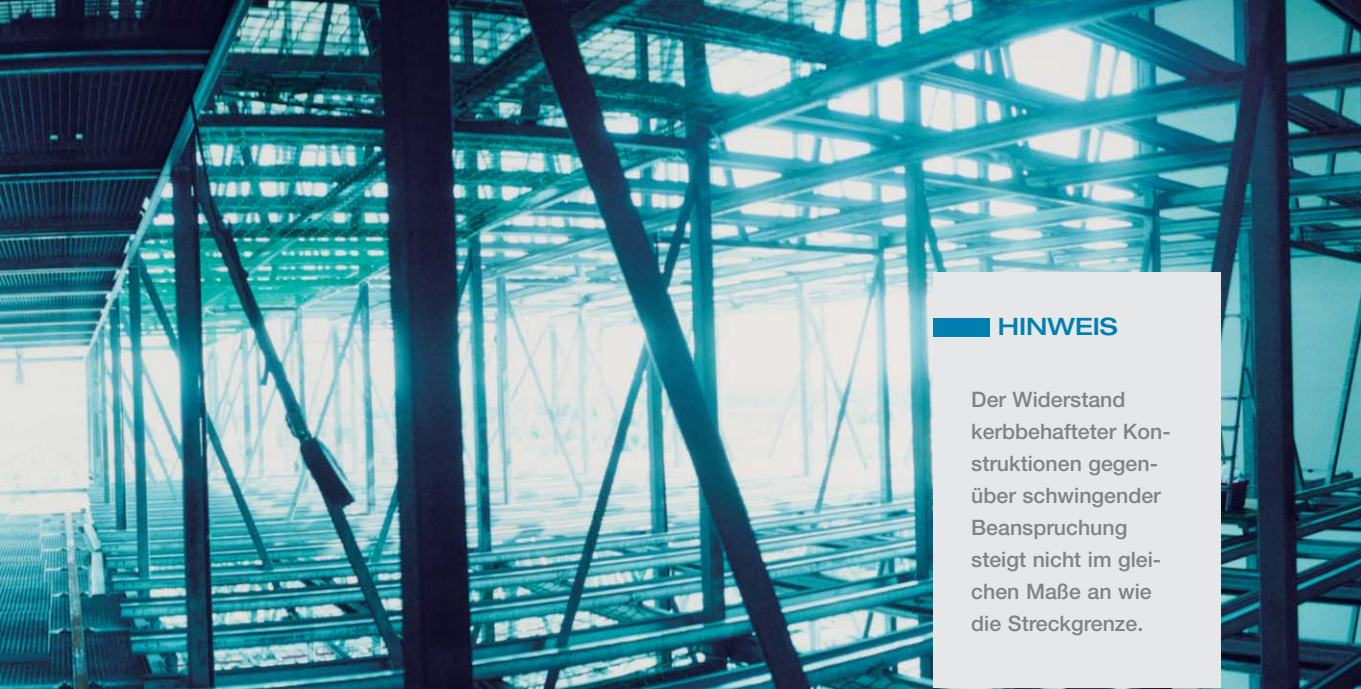


Dauerfestigkeit nach Smith
 (2 x 10⁶ Lastwechsel),
 Grundwerkstoff, Walzhaut



3.5.2 SCHWEISSVERBINDUNGEN

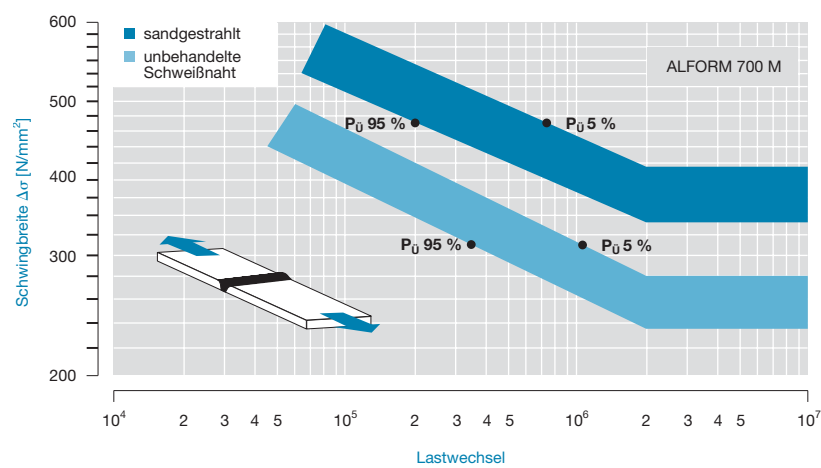
Beim Einsatz hochfester Stähle in geschweißten Konstruktionen mit schwingender Beanspruchung ist die Kerbwirkung der Schweißnähte besonders zu berücksichtigen. Neben konstruktiven Maßnahmen (Positionierung der Schweißnähte in Bereiche möglichst niedriger Spannung) kommt einer kerbarmen Ausführung der Schweißnaht größte Bedeutung zu (flache Naht, Vermeidung von Einbrandkerben, eventuell Kerbfreischleifen usw.).



HINWEIS

Der Widerstand kerbbehalteter Konstruktionen gegenüber schwingender Beanspruchung steigt nicht im gleichen Maße an wie die Streckgrenze.

Zur Abschätzung der Schwingfestigkeit geschweißter Konstruktionen können nachstehende Versuchsergebnisse an Stumpfnähten eines ALFORM 700 M (7 mm) herangezogen werden. An den Schweißnähten wurden Wöhlerversuche mit Zug-Druck-Wechselbelastung gefahren. Die Stumpfnähte zeigen eine gute Schwingfestigkeit, die sich durch Sandstrahlen noch bedeutend steigern lässt.



Schwingfestigkeit von Stumpfnähten (Zug-Druck-Wechselbelastung, S = -1)

Weiterführende Informationen sowie Wöhlerdiagramme für andere ALFORM®-Güten können Sie den technischen Lieferbedingungen für warmgewalztes Stahlband, Kapitel 10, Verarbeitungshinweise, entnehmen.





4. Anhang

Mit diesem Werk stellen wir Ihnen umfassende Informationen rund um ALFORM® zur Verfügung. Es ist nicht zielführend, das gesamte Spektrum der möglichen Anwendungen bis ins Einzelne in diesem Dokument zu behandeln. Deshalb sind abschließend weitere Informationsquellen – vom Internet bis zu Ansprechpartnern der voestalpine Stahl GmbH – angeführt.

Übersicht

- Gültige Fassung
- Bestellangaben
- Verweise
 - Garantien & Normen/
 - Technische Lieferbedingungen
- Literaturhinweise und weiterführende Links
- Kundenansprechpartner

4.1 Gültige Fassung

Die aktuelle und gültige Fassung dieses Kompendiums wird auf der Homepage der voestalpine Stahl GmbH

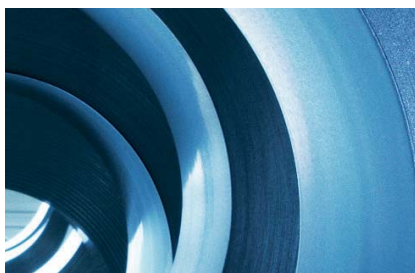
<http://www.voestalpine.com/stahl>

zur Verfügung gestellt und laufend aktualisiert.

4.2 Bestellangaben

ALFORM® wird nach den vorliegenden technischen Lieferbedingungen der voestalpine Stahl GmbH und entsprechend einschlägigen Europäischen Normen geliefert. Einschränkungen, insbesondere wenn diese über die technischen Lieferbedingungen oder Europäischen Normen hinausgehen, müssen vom Besteller bei der Auftragserteilung angegeben werden.

Eine Bestellung kann erst nach Vorliegen der vollständigen Bestellangaben als Auftrag erfasst werden.



HINWEIS

Eine vollständige Kundenbestellung ermöglicht eine schnelle Auftragsbearbeitung ohne Rückfragen.



Verbindliche Bestellangaben

- Gewünschte Liefermenge und Kundeneintrefftermin
- Bezeichnung der Stahlsorte gemäß der technischen Lieferbedingung
 - Alternativ Stahlsortenbezeichnung gemäß der entsprechenden Europäischen Norm
- Abmessung (Dicke/Breite bzw. auch Länge)
- Bestellangaben
 - ... für Rollen:
 - Innendurchmesser
 - min./max. Außendurchmesser oder min./max. Rollenmasse
 - Spezifische Bundmasse in kg/mm Bandbreite
 - ... für Pakete
 - min./max. Paketgewicht
- Oberflächenart
- Verpackungsart
- Angaben für Transport

Spezifische Bestellangaben

- Abnahmeprüfung und Prüfbescheinigung auf Wunsch
- Zusätzlich eingeschränkte Toleranzen bzgl. Ebenheit oder Dicke
- Eingeeengte Toleranzen bzgl. Abmessungen
- Angaben zum Verwendungszweck
- Sonderanforderungen bei den mechanischen Werten
- Sonderanforderungen an die Verpackung sind zu vereinbaren
- Sonderanforderungen an Etikettierung oder Signierung mit Angabe der Signolage
- Sonderanforderungen zu Schweißnähten bzw. Schweißnahtkennzeichnung bei Lieferung in Rollen

4.3 Verweise

GARANTIE & NORMEN/TECHNISCHE LIEFERBEDINGUNGEN

ALFORM® und LASER-ALFORM® werden nach den technischen Lieferbedingungen für warmgewalztes Stahlband von voestalpine geliefert. Diese finden Sie auf unserer Homepage <http://www.voestalpine.com/stahl>.

Links im Internet



Homepage der voestalpine Stahl
<http://www.voestalpine.com/stahl>



Produktinformationen von voestalpine Stahl
<http://www.voestalpine.com/Stahl-Produktkonfigurator>

TOCHTERGESELLSCHAFTEN, DIE ALFORM® UND LASER-ALFORM® ANBIETEN



Anarbeitung von warmgewalztem Stahlband
voestalpine Anarbeitung
<http://www.voestalpine.com/anarbeitung/de>



Lagerhaltendes Stahlhandelsunternehmen
voestalpine Stahlhandel
<http://www.voestalpine.com/stahlhandel/de>



ALFORM® als Grobblech
<http://www.voestalpine.com/grobblech/de>

Kundenansprechpartner
voestalpine Eurostahl GmbH



Jürgen Luderer
Verkauf Deutschland



Simon Rigot
Verkauf Belgien



Luit Spanninga
Verkauf Niederlande



Hansruedi Künzi
Verkauf Schweiz



Gernot Schwarzhuber
Verkauf
Rumänien/Bulgarien



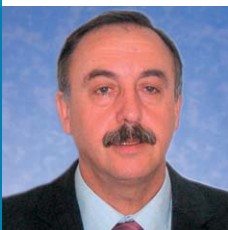
Inge Pedersen
Verkauf Schweden



Piotr Pawlowski
Verkauf Polen



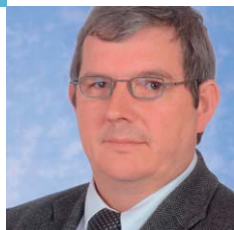
Jan Marcek
Verkauf Slowakei



Kim Gronskov
Verkauf Dänemark



Dirk Moorkens
Verkauf Belgien



Kundenansprechpartner
voestalpine Stahl GmbH



Josef Andorfer
Warmbandfertigung



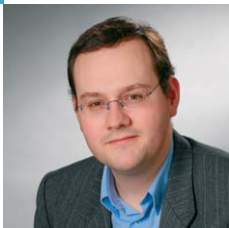
Christian Dopplmair
Verkauf
Branche Auto



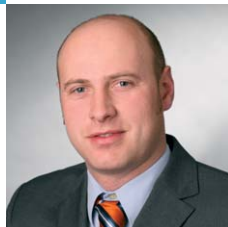
Martin Klein
Forschung &
Entwicklung



Wolfgang Lindner
Warmbandfertigung



Christian Schmaranzer
Forschung &
Entwicklung

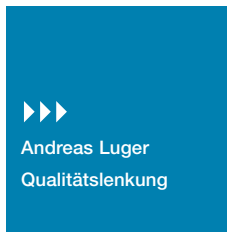


Günther Simader
Forschung &
Entwicklung





◀◀◀
Peter Stiaszny
Qualitätslenkung



▶▶▶
Andreas Luger
Qualitätslenkung



▶▶▶
Doris Haselsteiner
Produktmanagement



▶▶▶
Rudolf Rauch
Forschung &
Entwicklung



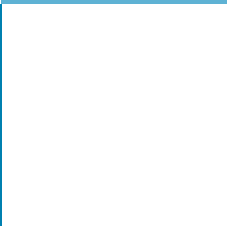
▶▶▶
Marcel Egger
Produktmanagement



▶▶▶
Josef Elmer
Verkauf
Branche Bau



◀◀◀
Helmut Spindler
Forschung &
Entwicklung



▶▶▶
Christian Dumfarth
Verkauf
Branche Bau



▶▶▶
Udo Kleineberg
Qualitätslenkung



IMPRESSUM

voestalpine Stahl GmbH
voestalpine-Straße 3
4020 Linz, Austria

Für den Inhalt verantwortlich:

Marktplanung und Entwicklung – voestalpine Stahl GmbH

Weitere Informationen:

Unternehmensbereich Stahl-Warmband, Qualitätslenkung

T. +43/732/65 85-77461

F. +43/732/69 80-77461

alform@voestalpine.com

Redaktion: Marcel Egger

Text: Marcel Egger, Martin Klein, Andreas Luger, Rudolf Rauch, Helmut Spindler, Peter Stiaszny, Kurt Thaller, Christian Walch

Fotos: Wir bedanken uns sehr herzlich für die Unterstützung in punkto Fotobeiträge bei den Firmen PALFINGER Europe GmbH, Liebherr-Werk Bischofshofen GmbH, Linde AG, MAN Nutzfahrzeuge Vertrieb Süd AG, TRUMPF Maschinen Austria Ges. mbH & Co. KG, Hiab Cranes AB und Schwing.

Kreation: Medias Marketing & Werbung, Linz

voestalpine Stahl GmbH

voestalpine-Straße 3

4020 Linz, Austria

T. +43/50304/15-77461

F. +43/50304/55-77461

alform@voestalpine.com

www.voestalpine.com/stahl

voestalpine

EINEN SCHRITT VORAUS.