

ELEKTRONENSTRAHL SCHWEISSEN

- Konstruktionsratgeber -

SwissBeam AG
Grossmattstr. 3
CH-8964 Rudolfstetten

Tel. +41 44 545 20 80

info@swissbeam.ch
www.swissbeam.ch

Inhaltsübersicht

Geschichtliches	4
Wirtschaftliche und technische Vorteile	4
Hauptvorteile (geringe Wärmeeinbringung / Verzug)	5
Erzeugung und Steuerung des Elektronenstrahls	6
Wirkung des Elektronenstrahls auf die Werkstückoberfläche	7
Schmelzzone	8
Konstruktive Überlegungen	9
Nahtart / Schweissrichtung	10
Nahtanfang, Nahtende	11
Nahtvorbereitung	11
Verzug während dem Schweissvorgang	12
Spannung in Axial – Nähte	13
Hauptmerkmale der konstruktiven Gestaltung	14
Schweisnahtvarianten	15
Abmessungen einer Schweisnaht	18
Zeichnungsangaben	19
Schweisbare Werkstoffe	20
Schweisbarkeit Stähle	21
Werkstoffkombinationen	22
Kammerabmessungen der Anlagen	23
Anwendungsbereiche	24
Anwendungsbeispiel aus dem Maschinenbau	25
Anwendungsbeispiel bei Reparaturschweissung	26
Anwendungsbeispiel bei Strombänder / Kabel	27
Anwendungsbeispiel bei einer technische Notwendigkeit.....	28
Anwendungsbeispiel für Materialeinsparung.....	29
Literaturverzeichnis (DIN-Normen)	30

Liebe Leserin, lieber Leser

Die Anwendung des Elektronenstrahlschweissens ermöglicht dem Konstrukteur/in neue Alternativen, die bereits in der Entwicklung und Definitionsphase eines Bauteils beginnen. Dies erfordert vom Konstrukteur/in Kenntnisse über das Verfahren und Gestaltung der Schweissnahtausbildung.

Mit dieser kleinen Broschüre wollen wir Ihnen Antworten auf die wichtigsten Fragen zum Thema Werkstoffpaarungen, machbare Schweisstiefen, optimale Wärmebedingungen, einfache Nahtgestaltungen und attraktive Kosteneinsparungen aufzeigen.

Wir hoffen, dass unsere Informationen dazu beitragen, möglichst einfach die Vorteile und Besonderheiten des Elektronenschweissens bei der Gestaltung von Bauteilen zu beleuchten.

Für weitere Auskünfte und Beratung stehen wir mit unserer Erfahrung und schweisstechnischem Know-how gerne zur Verfügung.

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Geschichtliche Entwicklung

Die Entstehungsgeschichte des Elektronenstrahlschweissens begann bei Zeiss im Jahr 1952 durch Dr. K.H. Steigerwald. Es gelang damals, mit einer Beschleunigungsspannung von 120 kV, Bleche von 1-2 mm Stärke zu verschweissen.

Mit der Entdeckung des Tiefenschweisseffektes gelang im Jahre 1958 ein weiterer Durchbruch. Durch verdampfendes Material entsteht eine Kapillare und erzeugt so die Tiefenschweissung was heute Schweisstiefen in einem Durchgang bis zu 100 mm ermöglicht.

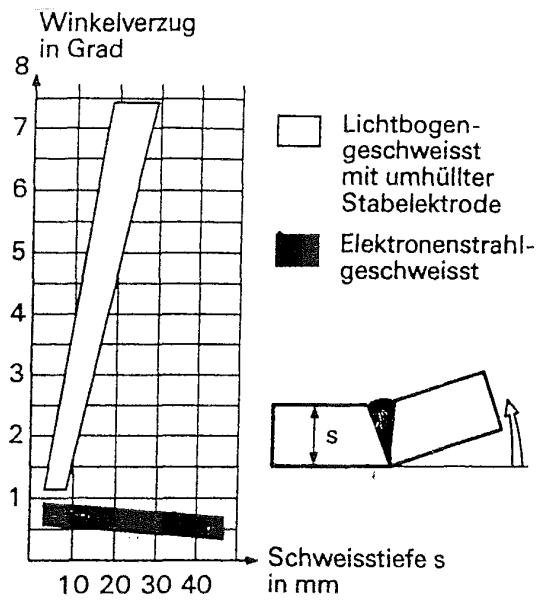
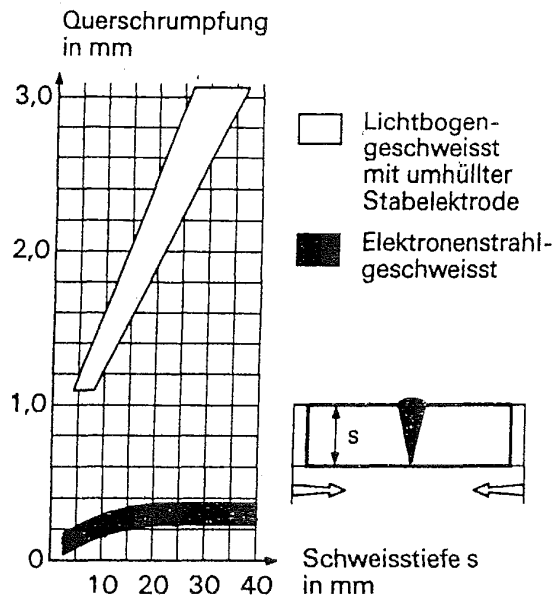
Wirtschaftliche und technische Vorteile

Das Elektronenstrahl-Schweissen ermöglicht für viele Anwendungen neue Möglichkeiten im Hinblick auf technische und wirtschaftliche Lösungen.

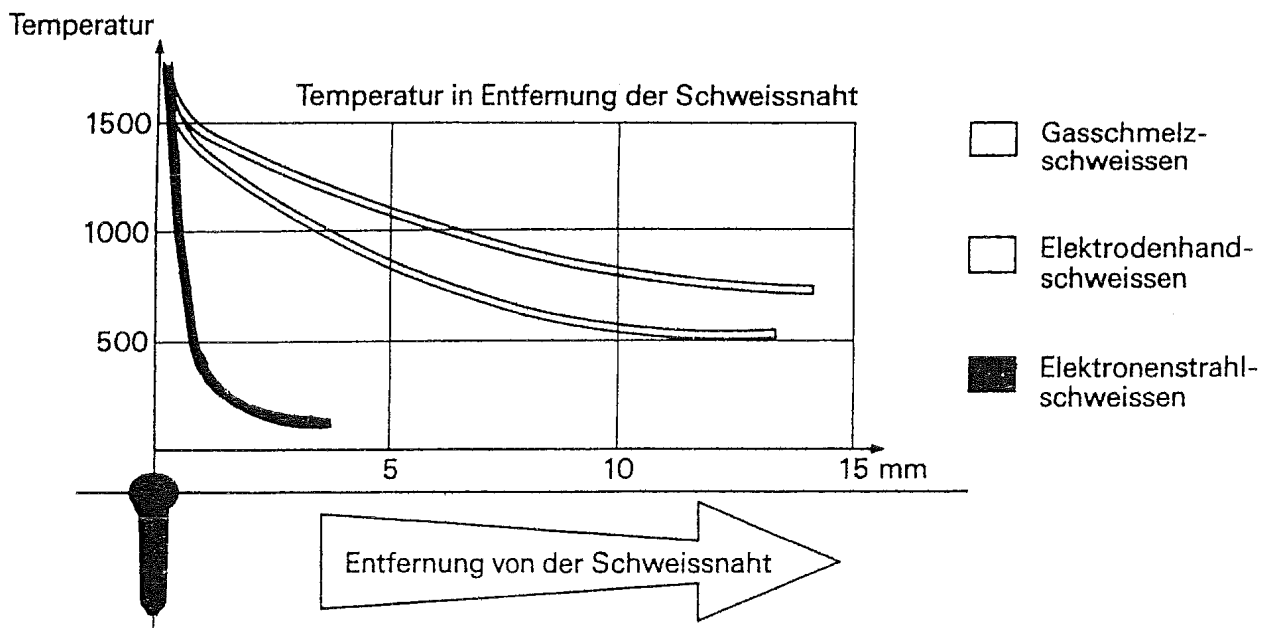
<p>Schweissen mit minimalem Verzug & hoher Schweissgeschwindigkeit Einsparen von Nacharbeiten</p>	<p>Durch die geringe Wärmeeinbringung entsteht beim Schweissen ein minimaler Verzug. Dies bedeutet, dass geschweisste Bauteile wenig bis gar nicht nachgearbeitet werden müssen und dadurch Kosten eingespart werden.</p>
<p>Schmalere Einflussbereich Hohe mechanische Belastbarkeit</p>	<p>Die hohe spezifische Leistung und die schnelle Schweissgeschwindigkeit ermöglicht ein grosses Breite/Tiefe-Verhältnis von bis 1:50. Dieser schmale Schmelzzonenbereich wirkt sich auf das Festigkeitsverhalten der Schweissnaht positiv aus. Statisch werden Festigkeiten des Grundwerkstoffes erreicht.</p>
<p>Verbindung Hochschmelzender Werkstoffe</p>	<p>Werkstoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit z. B. Kupfer lassen sich gut mit Elektronenstrahlschweissen verbinden. Durch eine hohe Leistungsdichte gilt dies auch für hoch schmelzende Werkstoffe wie Wolfram und Tantal.</p>
<p>Schweissen im Vakuum</p>	<p>Es wird ohne Zusatzwerkstoffe im Vakuum geschweisst. Dadurch entsteht keine Gasaufnahme des Schmelzbades, was eine sehr reine Schweissnaht zur Folge hat. Durch die sehr reine und oxidationsfreie Schweissnaht können Titan und andere gasempfindliche Werkstoffe hervorragend geschweisst werden.</p>
<p>Genauere Regel- Steuerbarkeit des Strahls</p>	<p>Die EB - Schweissmaschine ist eine auf CNC-basierende Anlage, an der sich der Elektronenstrahl in seiner Stärke sehr fein regeln lässt. Dadurch können sehr kleine aber auch grosse Bauteile geschweisst werden.</p>
<p>Hohe Reproduzierbarkeit und gleich bleibende Qualität</p>	<p>Mit dem Verfahren wird eine sehr hohe Reproduzierbarkeit erreicht.</p>

Hauptvorteile

Geringe Wärmeeinbringung

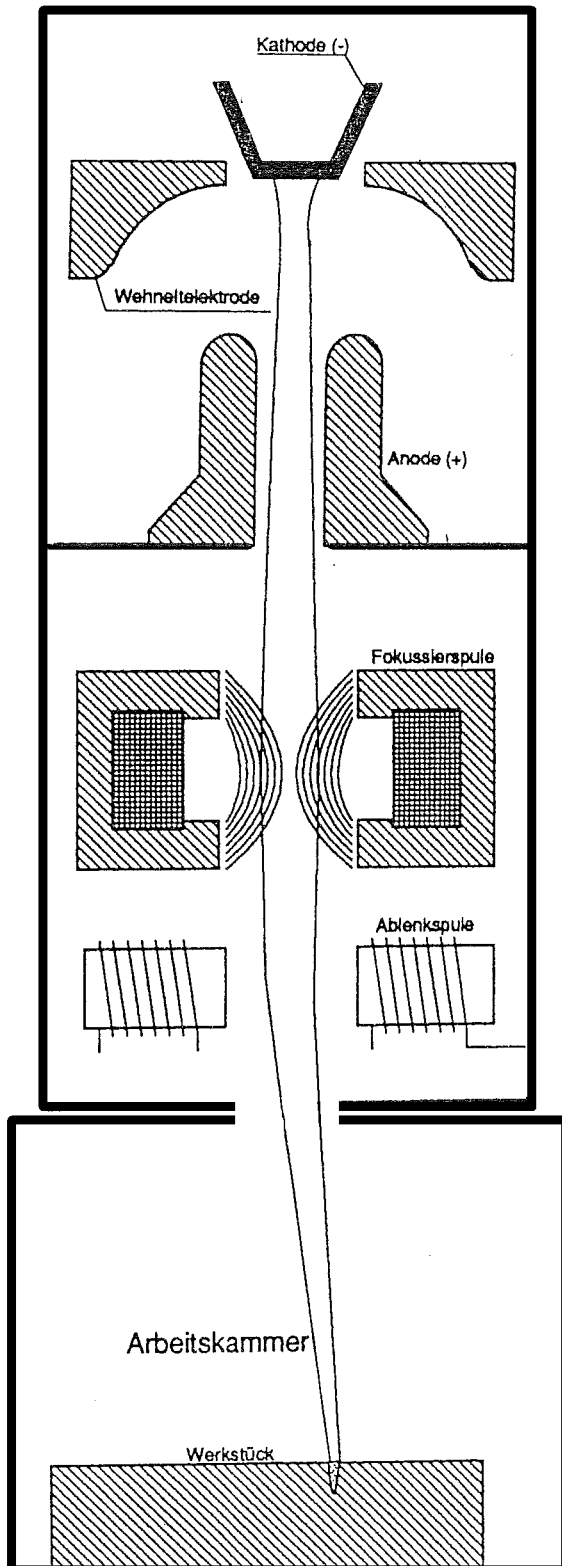


Geringer Verzug



Erzeugung und Steuerung des Elektronenstrahles

Elektronenstrahlkanone (Schematische Darstellung)



Die Elektronen werden durch thermische Emission in der Kathode freigesetzt.

Die nötige Emissionsenergie wird durch Erwärmung der Kathode auf ca. 3000 C° erreicht.

Die freigesetzte Elektronenwolke wird durch die spezielle Anordnung der Elektrode richtungsorientiert und in der Stromstärke geregelt.

Im elektrischen Feld zwischen der Kathode (-) und der Anode (+) werden die Elektronen auf ca. 2/3 der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

Ein scharf gebündelter Elektronenstrahl, trifft unter Hochvakuum von bis zu 0,000 000 01 bar (5×10^{-4} mbar) mit einer Geschwindigkeit von 200 000 km/s auf die zu verbindenden Teile.

Der Elektronenstrahl wird zur Erreichung der notwendigen Oberflächenenergie auf dem Werkstück fokussiert.

Auf dem Werkstück hat der fokussierte Strahl einen Durchmesser von 0,1 - 0,2 mm.

Die Fokussierung wird in einer Linse durch magnetische Feldlinien erreicht.

Durch das Ablenkensystem kann der Strahl auf dem Werkstück ausgelenkt werden.

Die maximale Auslenkung beträgt ca. 3 Grad. Mit der Strahlablenkung können auch oszillierende Bewegungen zur Schmelzbadsteuerung ausgeführt werden.

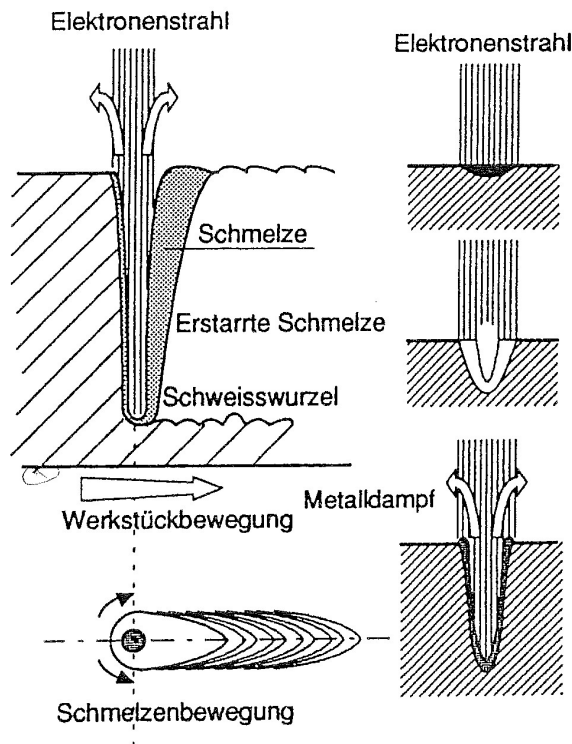
Durch eine hier nicht dargestellte Optik kann die Schweißnaht und der Strahlaufreffpunkt beobachtet werden.

Die Eindringtiefe der Elektronen in den zu schweißenden Werkstoff beträgt nur wenige Mikromillimeter, z.B. bei Stahl 0,06 mm

Die Leistungsdichte für das Schweißen liegt bei 1 bis 10 Millionen Watt pro Quadratzentimeter. Das Werkstück wird normalerweise unter dem Strahl entlang der Schweißnaht bewegt.

Wirkung des Elektronenstrahls auf die Werkstückoberfläche

Entstehung der Tiefenschweißung



Die im Vakuum beschleunigten Elektronen und fokussierten Elektronen treffen auf das Werkstück auf.

Unterhalb des Brennflecks (Durchmesser 0,1 bis 0,2 mm) wird die kinetische Energie der Elektronen in Wärme umgewandelt.

Die Elektronen schmelzen die Oberfläche auf.

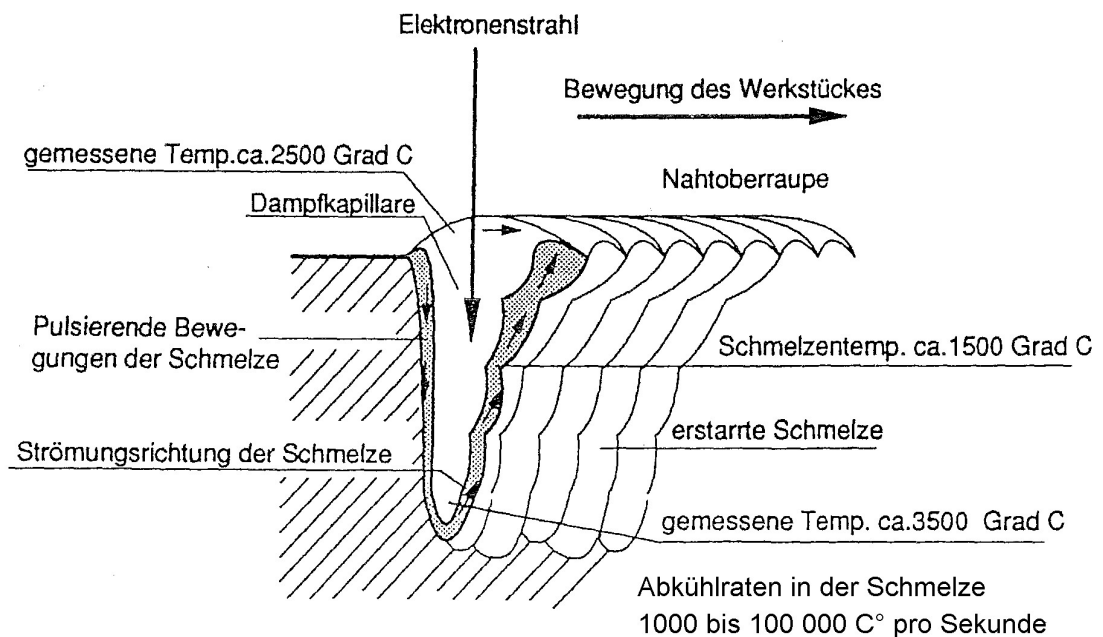
Ein Teil des geschmolzenen Metalls beginnt schlagartig zu verdampfen.

Der Dampfdruck verdrängt die Schmelze und es entsteht ein Dampfkanal, die Kapillare.

Dampfdruck, Oberflächenspannung und das Gewicht der Schmelze sind im Gleichgewicht. Durch den Dampfkanal können die Elektronen tiefer in das Werkstück vordringen, es entsteht die Tiefenschweißung.

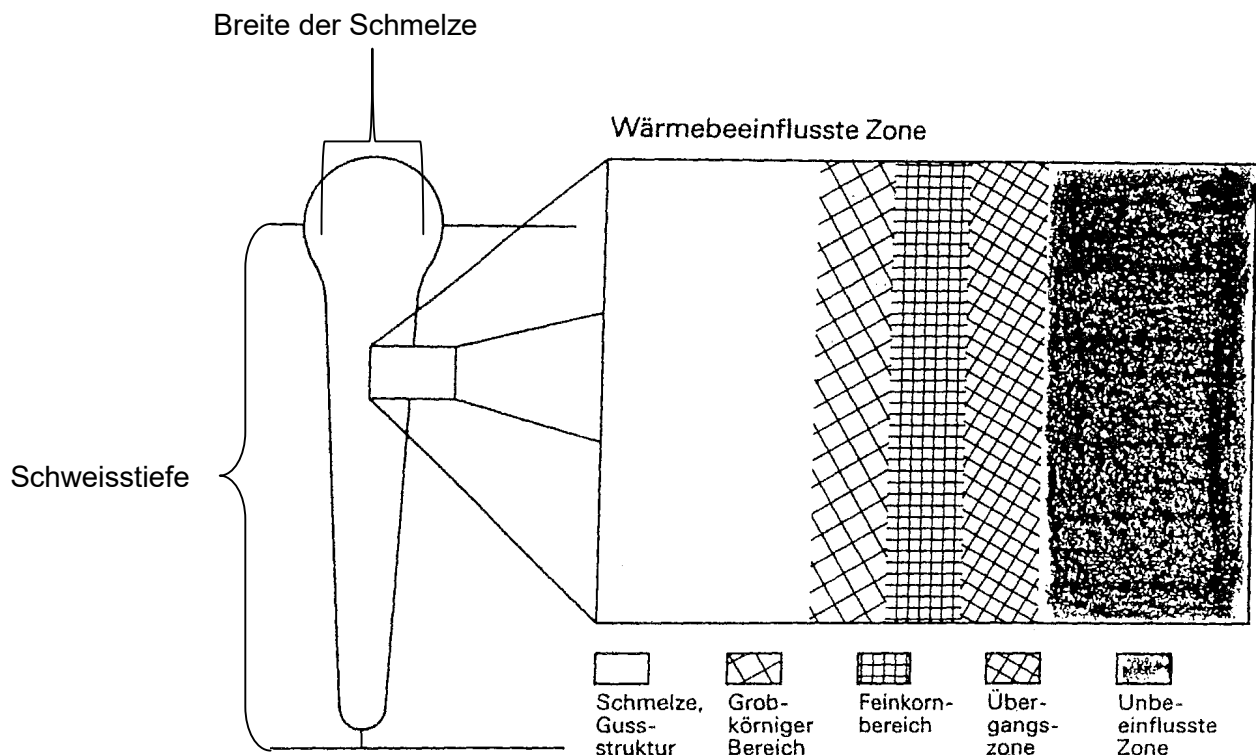
Das Schmelzen & Verdampfen des Werkstoffes läuft im Millisekundenbereich ab.

Kapillare- und Schmelzbadbewegungen



Schmelzzone einer Elektronenstrahlschweißung

Die Nahtbreite ist abhängig von der Schweisstiefe und der Wärmeabfuhr. Durch eine geringe Energiezufuhr ist die Nahtbreite beim Elektronenstrahlschweißen sehr schmal, was sich sehr positiv auf das Festigkeitsverhalten und den Verzug eines Bauteils auswirkt. Statisch werden Festigkeitswerte des Grundwerkstoffs erreicht. Mit einem Breiten-Tiefen-Verhältnis von 1:40 werden Nahtbreiten erzielt, die im Vergleich zu WIG oder MAG Nähten etwa 1% der Breite entspricht.



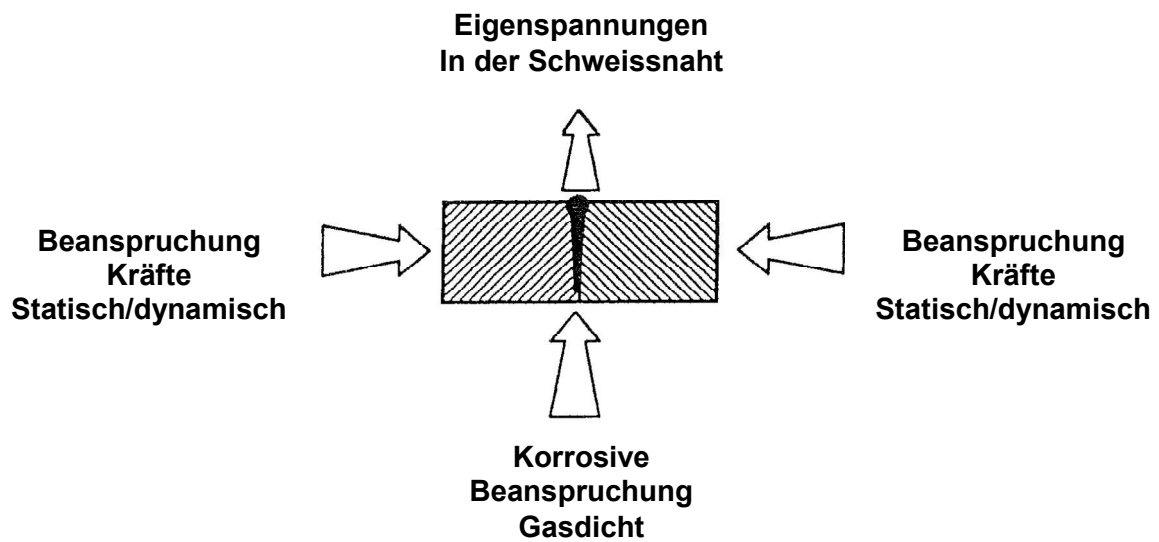
Merkmale

Eine schmale Schmelzzone sowie eine geringe und reproduzierbare Schweisstiefe wirken sich auf das Festigkeitsverhalten und den Verzug des Bauteiles positiv aus.

Konstruktive Überlegungen

Werkstoffwahl
 Schweisneigung
 Eigenspannungen
 Korrosion
 Verschleiss
 Werkstoff-Kombinationen
 Oberflächen
 Thermische
 Behandlungen

Nahtgeometrie
 Beanspruchung
 (statisch/dynamisch)
 Schweisverzug
 Eigenspannungen
 Schweisstiefe
 Entlastungsbohrung
 Zentrierung
 Nahtein- und Auslauf

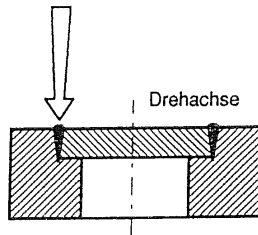


Lage der Schweißnaht
 Verzug
 Korrosion
 Zugänglichkeit
 Nahtanfang/-ende
 Querschnittsanpassungen
 Unbeanspruchte
 Querschnitte wählen
 Entlastungsnuten

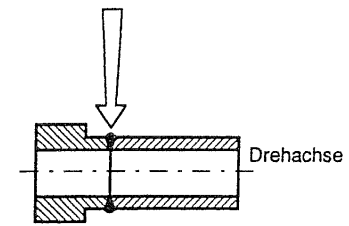
Ausführung
 Qualitätsanforderungen
 Preis
 Verfahren
 Schweissvorrichtung
 Werkstückaufspannung
 Losgrößen

Nahtart / Schweissrichtung

Axialschweissnaht

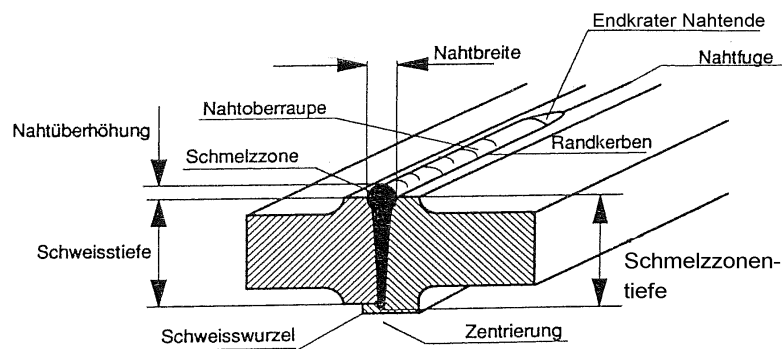


Radialschweissnaht



Bezeichnungen und Definitionen

Schweissober- und Schweissunterraupen (bei Durchschweissung) sind metallische Kerben (siehe Nahtarten).

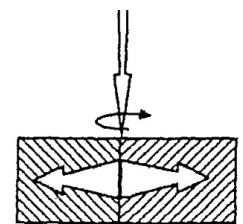


Strahlführung

Der Elektronenstrahl lässt sich praktisch masselos bewegen. Schweissverbindungen werden mit stillstehendem Strahl und einem bewegendem Werkstück entlang der theoretischen Schweissnaht abgefahren, oder dass Werkstück steht still und die Schweisskontur wird mit dem Strahl abgefahren. Bei bewegtem Strahl gilt es zu beachten, dass die Bewegungsfreiheit eingeschränkt ist und durch den Winkel, Schweissfehler entstehen können.

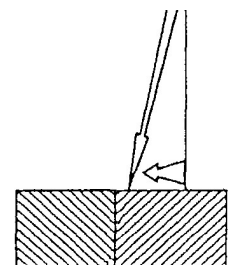
Strahl fest / Werkstück bewegt

Das Werkstück bewegt sich unter dem Strahl entlang der Schweissnaht. Durch kleine oszillierende Bewegungen des Strahles kann die Schweissnaht - ausbildung in ihrer Geometrie und Ausgasungsvorgänge in der Schmelzzone beeinflusst werden.



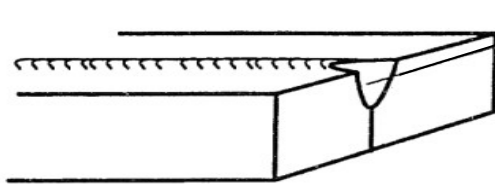
Werkstück fest / Strahl bewegt

Strahl wird abgelenkt. Bewegung in den Abmessungen eingeschränkt. Bindefehler bei tiefen Schweissnähten sind möglich.



Nahtanfang und Nahtende

Am Ende einer Schweißnaht entsteht am Werkstückrand ein Wärmestau. Durch die einseitig nicht vorhandene Stützwirkung des Materials bildet sich ein kerbähnlicher Krater. Die Schmelze fällt durch.



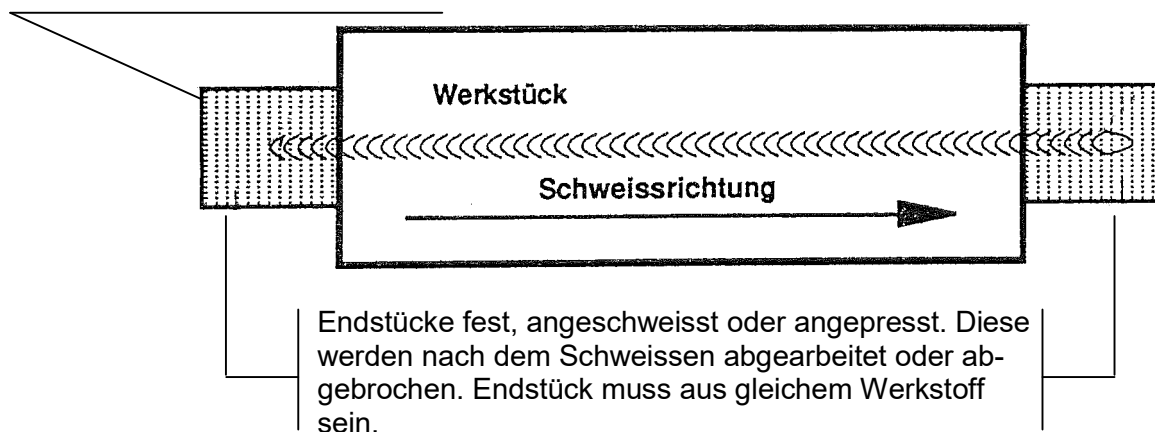
Anfangs- und Endkrater.
Ein- und Auslauf des Elektronenstrahls.
Bei dynamischer Belastung entsteht eine Kerbwirkung.

Massnahmen zur Verhinderung von Ein- und Auslaufkerben

Durch Werkstoffzugaben oder ansetzen von Endstücken aus artgleichem Werkstoffen, kann der Nahtauslauf in diese Zone verlegt werden. Diese Zugabe wird nach dem Schweißen abgearbeitet oder im Falle der Endstücke abgebrochen.

Nahtvorbereitung

Nahtüberhöhung am Nahtanfang durch Materialfluss der Schmelze



Endstücke fest, angeschweisst oder angepresst. Diese werden nach dem Schweißen abgearbeitet oder abgebrochen. Endstück muss aus gleichem Werkstoff sein.

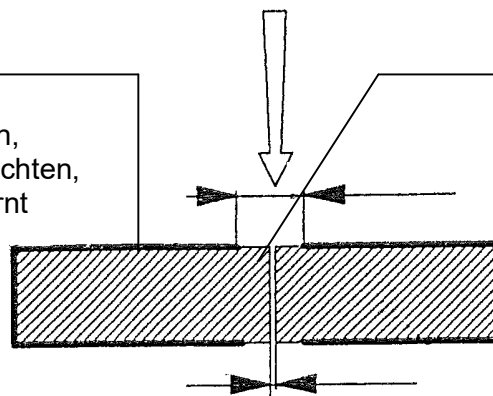
Werkstückoberfläche, Nahtvorbereitung

Beschichtungen

Beschichtungen wie Einsatzschicht, Nitrierschichten, Eloxalschichten, Phosphatschichten, und Zinkschicht müssen entfernt werden (Porenbildung).

Entmagnetisiert

Restmagnetismus beeinflusst die Strahlführung und somit die Schweißqualität.



Kontaktfläche Naht

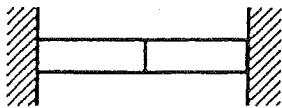
Vollständig entfettet metallisch blank gereinigt (mechanisch).

Chemische Reinigungsverfahren können die Schweißung negativ beeinflussen. Metallischer Kontakt der Schweißflächen müssen eine Oberflächenqualität von mind. > N7 aufweisen.

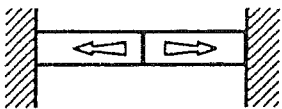
Verzug während des Schweissvorganges

Während eines Schweissvorganges treten durch Erwärmung und die daraus entstehenden Wärmeausdehnungen Spannungen und Verzug auf. Die Grösse dieser Spannungen ist abhängig von der Steifigkeit, Geometrie und dem Werkstoff. Spannungen und Verzug können durch geeignete konstruktive Massnahmen reduziert werden.

Vereinfachte Darstellung



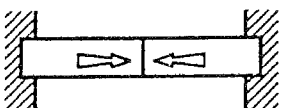
Werkstück vor dem Schweiessen



Während des Schweissvorganges entsteht durch die Wärmeerbringung eine Längsdehnung. Wird diese Längsdehnung behindert, so treten Druckspannungen auf. Die Wärmedehnungen sind direkt bei der Schweissnaht am grössten. Sie bewirken unter anderem die Nahtüberhöhung.



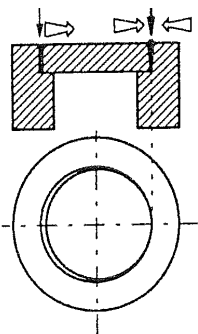
Nach der Erwärmung geht mit der Abkühlung die Wärmedehnung zurück. Die Rückbildung wird durch den Anteil des verdampften Materials und der Nahtüberhöhung grösser sein als die Ausdehnung. Der Verzug ist gross, die Eigenspannungen sind klein.



Wird diese Dehnung durch eine feste Einspannung behindert, so wird die Rückdehnung nicht stattfinden können. Es werden so Zugspannungen aufgebaut. Der Verzug ist klein, die Eigenspannungen sind gross.

Verzug während des Schweissvorganges

Axialnaht

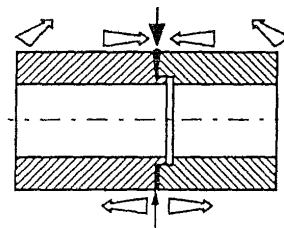


Durch die Schrumpfung auf der zu schweisenden Seite öffnet sich auf der gegenüberliegenden Seite ein Spalt, welcher die Schweissung mit beeinflusst.

Massnahmen

Durch eine Presspassung oder durch Heften kann diese Spaltbildung verhindert, oder eingeschränkt werden.

Radialnaht

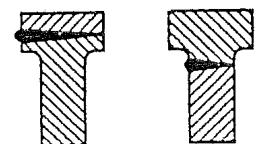
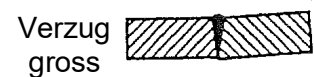


Bei Schrumpfung an der Schweissstelle öffnet sich auf der Gegenseite ein Spalt.

Massnahmen

Durch eine genügend grosse Haltekraft der Vorrichtung oder durch vorgängiges Heften wird diese Spaltbildung verhindert.

Querschnitte



schlecht besser

Durch einen geeigneten Querschnitt kann der Verzug positiv beeinflusst werden.

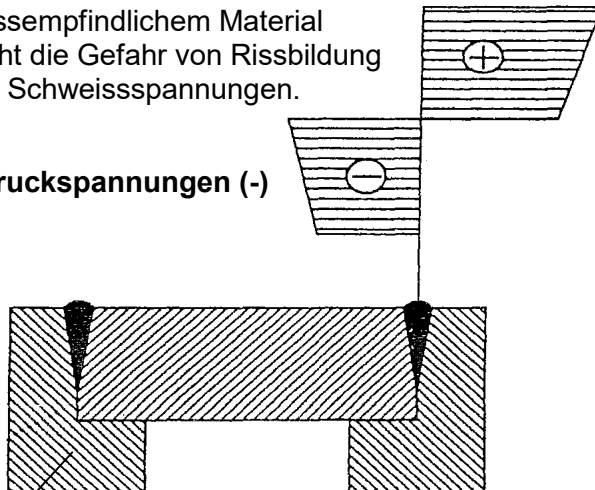
Spannungen in Axial-Nähten

Spannungen in der Schweissnaht

Bei nachfolgender Axialschweissung sind vorhandene Eigenspannungen dargestellt und können von der konstruktiven Seite reduziert werden. Diese Punkte gelten umso mehr, je schwieriger und rissempfindlicher die zu schweisende Verbindung ist.

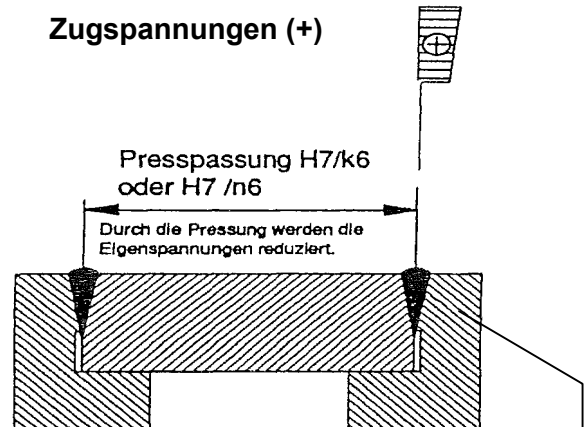
Bei rissempfindlichem Material besteht die Gefahr von Rissbildung durch Schweissspannungen.

Druckspannungen (-)



Die Pressung in der unverschweissten Zone verstärkt die Zugspannungen.

Zugspannungen (+)

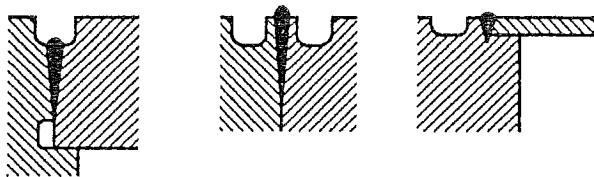


Durch Wahl einer Durchschweissung können die Spannungen reduziert werden.

Entlastungsnut

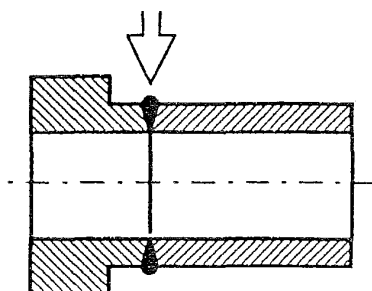
Entlastungsnuten können den Spannungsverlauf auf der Schweissnaht mit beeinflussen. In einigen Fällen ist die Anordnung aus Gründen der unterschiedlichen Querschnitte notwendig.

Mögliche Entlastungsnuten



Durch die Anpassung der Querschnitte werden optimale Spannungsverläufe und eine gleichmässige Wärmeverteilung während der Schweissung erreicht.

Spannungsarme Ausführung einer Schweissung

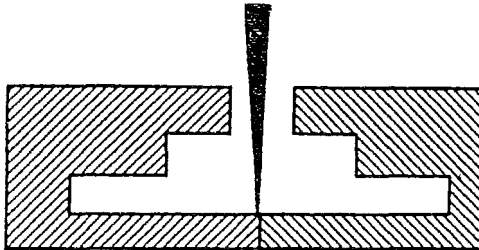


Die Anordnung mit Radialnähten erzeugt weniger Eigenspannung, da die Schrumpfung nicht behindert wird. Diese Anordnung ist wenn möglich einer Axialschweissung vorzuziehen. Passung als Schiebepass H7 / g6 ausgebildet.

Hauptmerkmale der konstruktiven Gestaltung

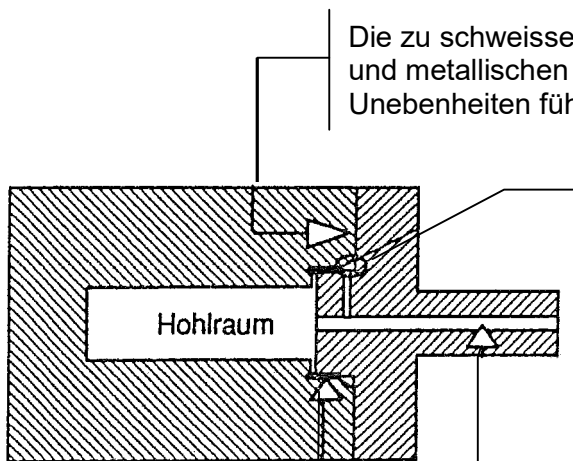
Die verfahrensbedingte Merkmale vom EB-Schweißen sind zu berücksichtigen. Die Hauptmerkmale sind in den Darstellungen unten abgebildet.

Zugänglichkeit des Elektronenstrahles



Der Elektronenstrahl muss die Schweißstelle am Werkstück "frei" erreichen.

Ebenheit der Kontaktflächen



Die zu schweisenden Nahtfugen müssen eben sein und metallischen Kontakt aufweisen. Unebenheiten führen zu Lufteinschlüssen & Poren.

Genauere Toleranzabklärung in Ecken und Einstichen sind nötig, damit die Nahtfuge metallischen Kontakt aufweist. Fasen und Radien sind nötigenfalls zu tolerieren.

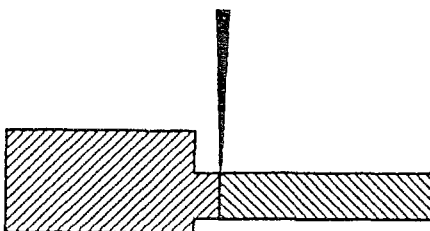
Zentrierung

Eine Zentrierung erleichtert die Positionierung der zu verbindenden Werkstücke und vereinfacht die Schweissvorrichtung..

Entlüftungsbohrungen


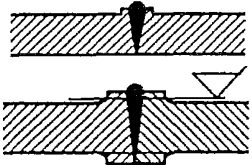
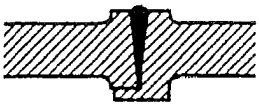
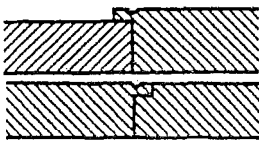



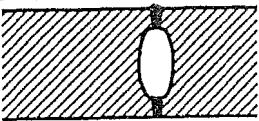
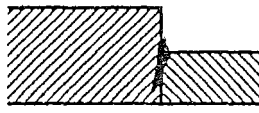
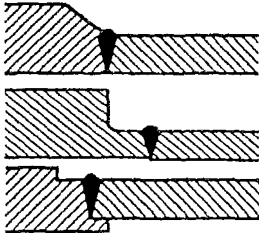

Hohlräume zur Schweißnaht müssen entlüftet werden, da ansonsten die Luft ausgasen und zu Poren in der Schweißnaht führt. Kleine Anfassungen müssen nicht entlüftet werden.

Anpassung der Querschnitte


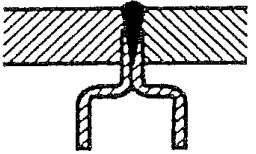
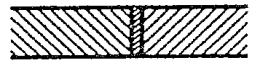


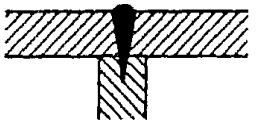
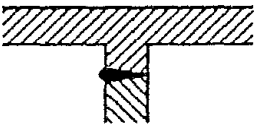

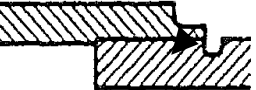
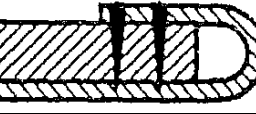




Durch die Anpassung der Querschnitte wird ein optimaler Spannungsverlauf und eine gleichmäßige Wärmeverteilung während der Schweißung erreicht.

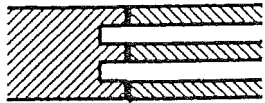
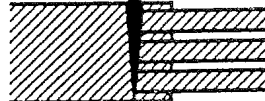


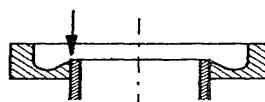
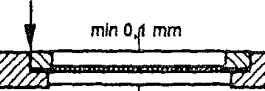
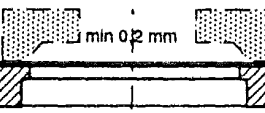
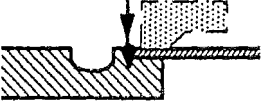
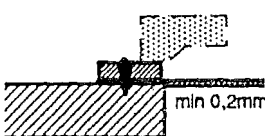

Schweisnaht-Varianten

Nahtform	Nahtart	Bemerkungen
	I-Naht	Metallische Kerben werden nicht kompensiert. Auf der Strahlaustrittsseite entstehen Spritzer. Dynamisch nicht hoch belastbar. Geringer Bearbeitungsaufwand.
	I-Naht mit Aufmass zum Nacharbeiten	Metallische Kerbe werden durch Aufmass kompensiert. Dynamisch belastbar. Nahtaufbau wird durch Nacharbeit entfernt.
	I-Mass mit Zentrierlippen	Formschluss mit Zentrierlippe erleichtert die Positionierung & reduziert den Vorrichtungsaufwand. Korrosionsgefahr im Spalt.
Zentrierungsformen		
	I-Naht mit Zentrierlippe Aussen	Formschluss mit Zentrierung Kennzeichnung der Schweisnaht.
	Naht mit Zentrierlippe innen	Verhindert den Strahlaustritt an der Unterseite. Dynamisch wenig belastbar.
	I-Naht mit Unterlage	Erhöhter Aufwand zur Entfernung der Unterlage. Bei Nichtentfernung besteht Gefahr von Korrosion. Keine Schweisspritzer.
Grosse Schweisstiefen		
	I-Naht beidseitig geschweisst	Gefahr von Poren in der Schweisswurzel. Werkstück muss gewendet werden. Erschwerte Schweissung der 2. Naht.
	I-Naht einseitig geschweisst mit Unterbruch	Mögliche Variante einer Tiefenschweissung mit Unterbruch der Schweisnaht durch Hohlraum.
Abgesetzt Schweissnähte		
	I-Naht mit ungleicher Wanddicke	Ungünstiger Kraftlinienverlauf. Rissgefahr und Bindefehler durch Strahlwinkel. Ungünstige Naht für das Verbinden von Bauteilen.
	I-Nähte mit ungleichen Wanddicken	Ungünstige Naht für das Verbinden von Bauteilen. Durch Anpassung der Querschnitte oder Dehnfugen können diese Fehler verringern oder eliminieren.
	I-Naht mit Entlastungs-Nut	Durch Anbringen von Dehnnuten wird die Rissgefahr verkleinert.

Mehrteilverbindungen

Nahtform	Nahtart	Bemerkungen
	I-Naht Mehrfach Verbindung	Einschweissen eines Bauteils mit einer Schweissverbindung. Teil wird mitverschweisst.
	I-Naht Mehrfach Verbindung	Einschweissen von mehreren Bauteilen in einer Schweissverbindung. Teil wird mitverschweisst.
	I-Naht mit Schweisszusatz	Durch Schweisszusätze kann die Schmelzzone metallurgisch so beeinflusst werden, dass schwer schweisbare Werkstoffe miteinander verschweisst werden können (z.B. Ni-Einlage für Gus/Guss oder Cu/Stahl).
Verbindungen dünnwandige Bauteile		
	Bördelnaht (Heftnaht)	Geringer Bearbeitungsaufwand. Korrosionsgefahr im Spalt.
	Überlappstoss (Heftnaht)	Korrosionsgefahr im Spalt
	T-Stoss Heftnaht)	Geringer Bearbeitungsaufwand. Schwierige Strahlpositionierung. Unverschweisster Spalt fördert das Kerbverhalten. Korrosionsgefahr im Spalt.
	T-Stoss	Hoher Bearbeitungsaufwand. Günstiger Kraftfluss, dadurch gute Festigkeit.
	Heftnaht	Grosse Kerbwirkung in der Schweissnaht.
	Heftnaht als Dichtnaht	Anordnung einer Dichtnaht. Schweissnaht übernimmt die Funktion einer Dichtnaht, ohne Festigkeitsanspruch.
	Überlappstoss Doppelt	Korrosionsgefahr.
	Bördelnaht (Heftnaht)	Korrosionsgefahr.
	Bördelnaht (Heftnaht)	Korrosionsgefahr.

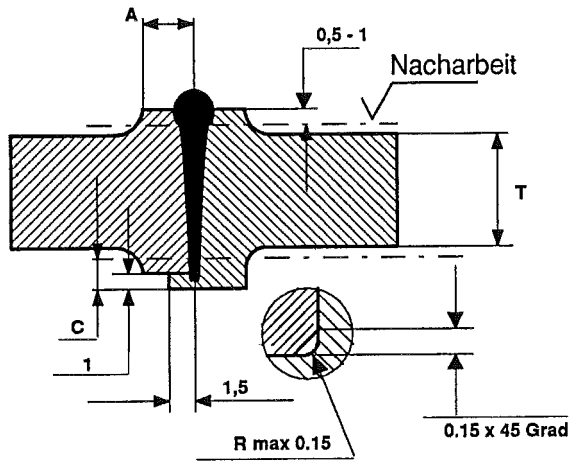
Mehrlagenschweißungen, Durchschweißung

Nahtform	Nahtart	Bemerkungen
	I-Naht Mehrlagen Schweißung	Möglichkeit zum Verbinden von mehreren Bauteilen mit verdeckten Schweißnähten.
	mit Zentrierung	Möglichkeit zum Verbinden von mehreren verdeckten Schweißnähten mit Zentrierung.
		Verbindung von verschiedenen Werkstoffen in einer Schweißung. Einschweißen eines Bauteils aus einem andern Werkstoff, z.B. Büchsen Einschweißen.
	I-Naht einer verdeckten Schweissstelle	Möglichkeit einer verdeckten Schweißverbindung Kennzeichnung der Nahtlage vorsehen.
Verbindungen dickwandiger mit dünnwandigen Bauteilen (Folien und Membranen)		
		Verbindung eines dünnwandigen Rohres mit einem relativ massiven Flansch. Anpassung des Schweißquerschnittes für optimale Wärmeverteilung und Spannungsverteilung.
		Verbinden eines sehr dünnen Bauteils (Folien) mit einem relativ massiven Bauteil. Durch die Verwendung von Stützringen kann die Folie sauber positioniert und während dem Schweißen gehalten werden.
		Aufschweißen einer Folie oder einer Membrane auf ein massiveres Bauteil mittels Dehnfugen und Querschnittsanpassung. Membrane muss mit einer Haltevorrichtung während dem Schweißvorgang gehalten werden.
		Gefahr, dass Folie weg schmilzt. Folienstärke ab 0,2 mm
		Dehnfuge bei I-Nähten ermöglicht einen optimalen Wärmefluss. Die Membrane muss mit einer Haltevorrichtung gut in ihrer Form gehalten werden, da sie sich durch die Erwärmung beim Schweißen aufbeulen und verformen würde.
Mehrteilverbindung unverschweisst		
		Es können Bauteile direkt in die zu verbindenden Teile eingeschweisst werden. (z.B. temperaturempfindliche Sensoren, Federn, Lager usw.)

Die Zusammenhänge zwischen Schweißnahtgestaltung, Werkstoffwahl und Schweißvorrichtung sind sehr komplex. Die oben dargestellten Schweißnahtarten sind als Konstruktionshilfe gedacht.

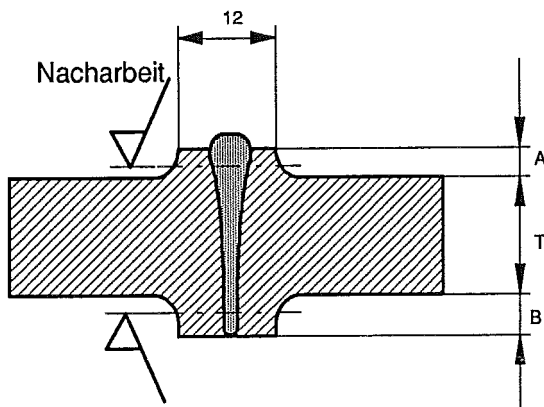
Abmessungen einer Schweissnaht

Stosnaht mit Zentrierlippe



T	A	C
1 - 3	2	2
4	2,5	2
5	2,5	2
6	2,5	3
7-17	3,5	3

Stosnaht ohne Zentrierlippe



Stahl

T	A	B
bis 10	1,0	1,8
10 - 20	1,5	3,0
20 - 40	2,0	4,8
40 - 50	2,5	6,0

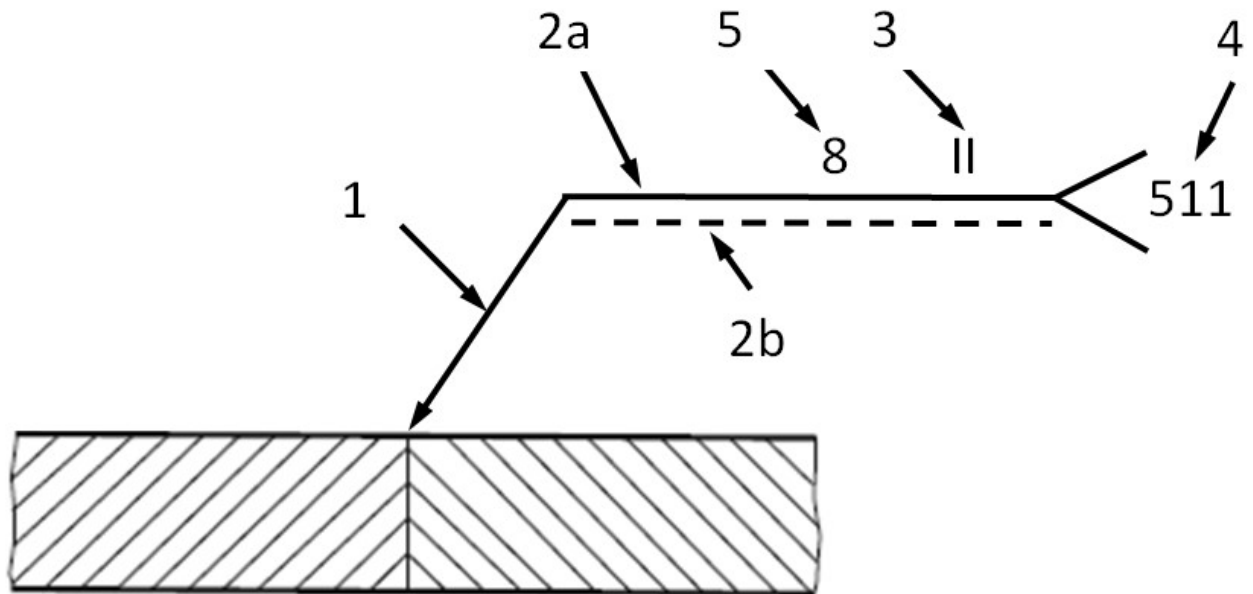
Titan

T	A	B
bis 10	1,0	1,5
10 - 20	1,5	2,5
20 - 40	2,0	4,0
40 - 50	2,5	5,0

Zeichnungsangaben einer Schweissnaht

Die Definition der Schweissnähte in Zeichnungen erfolgt gemäss DIN EN ISO 2553. Die Kennzahl für das EB-Verfahren lautet 511 gem. DIN EN ISO 4063

Sind spezielle Anforderungen an die Dichtheit gefordert, z.B. Gasdicht oder Vakuumdicht, so kann das im Klartext vermerkt werden.



Darstellung auf Zeichnung

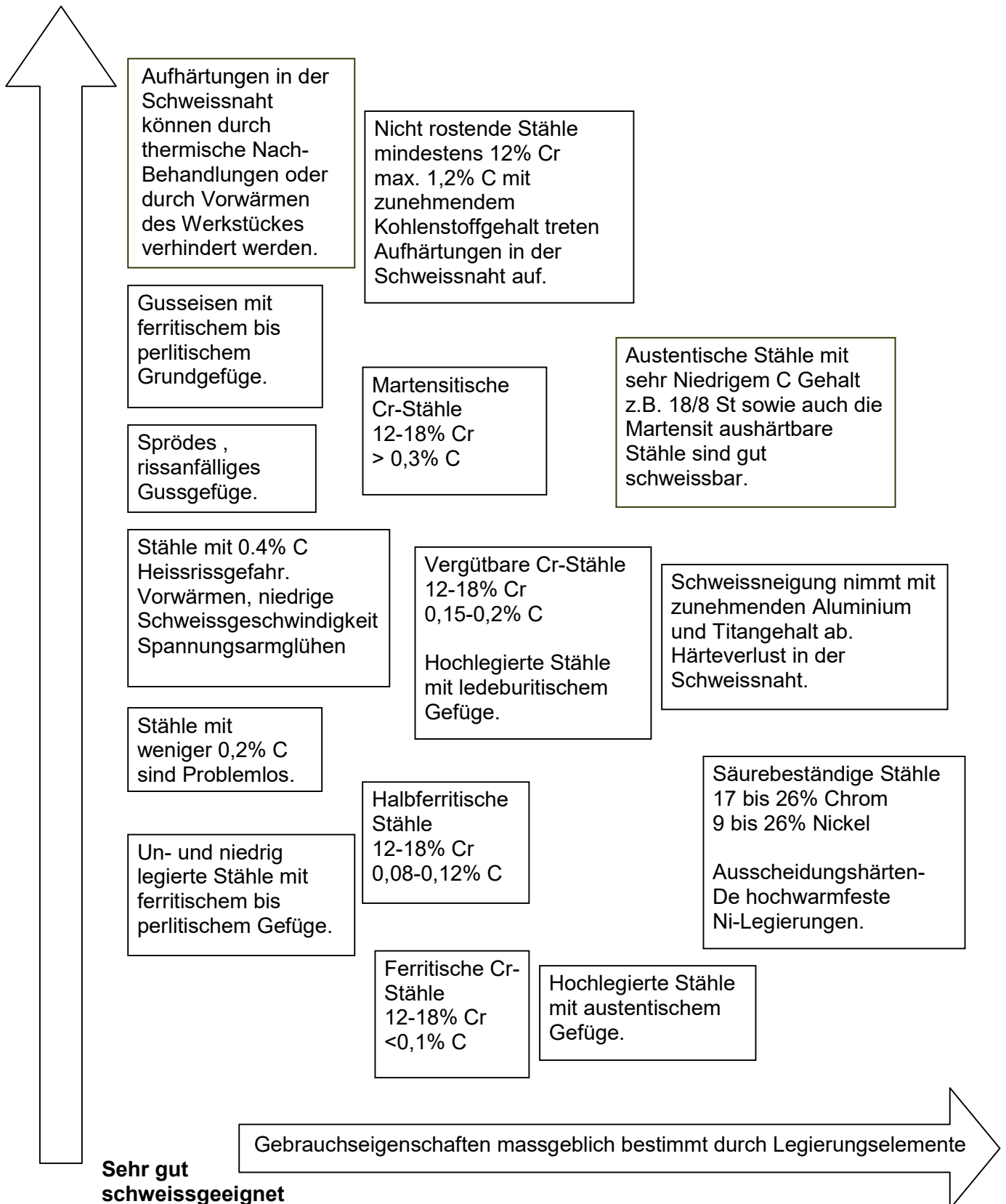
- 1 Pfeillinie
- 2a Bezugslinie (Volllinie)
- 2b Bezugslinie (Strichlinie)
- 3 Symbol (I-Stoss)
- 4 Angabe des Schweissprozesses (511 für EB)
- 5 Angabe Schweisstiefe (8mm)

Schweissgeeignete Werkstoffe

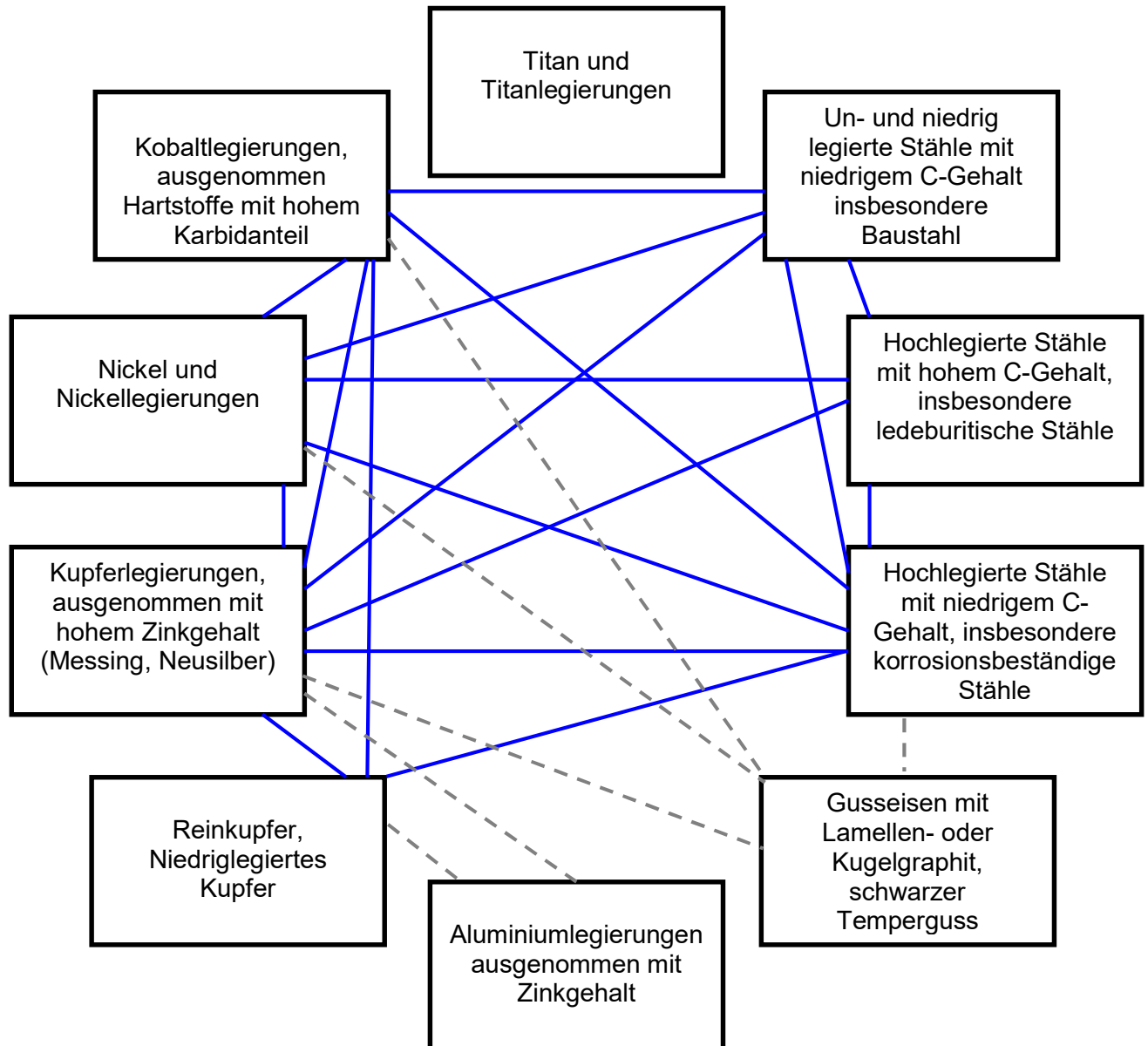
Stahl	Schweisbar sind alle klassisch schweisbare Stähle. Phosphor und Schwefelanteile neigen zu Porenbildung. Automatenstähle sind nicht Elektronenschweisbar.	Stähle mit < 0,2 Prozent Kohlenstoff sind gut schweisgeeignet. Bei Stählen mit mehr als 0,4 Prozent Kohlenstoff & insbesondere wenn sie Nickel enthalten sind heissrissanfällig. Durch Vorwärmen oder niedrige Schweissgeschwindigkeiten sind diese schweisbar. Nichtrostende Stähle sind gut Elektronenstrahlschweisbar.
Gusswerkstoffe		Gusswerkstoffe weisen in der Regel Poren auf und sind erschwert elektronenstrahl-schweisbar.
Kupfer	Hohe Wärmeleitung und Wärmedehnung führen zu einer etwas erhöhten Schrumpfung. Es wird mit möglichst hoher Geschwindigkeit geschweisst. Bei Kaltverformten Halbzeugen tritt in der Schweissnaht eine niedrige Härte auf (Cu Cr Zn Legierungen).	Reines, sauerstofffreies Kupfer ohne esoxidationsmittel weist die besten Schweisseigenschaften auf (OF-Cu). Gut schweisbar sind P desoxidierte SF und SE Kupfer wenn die Phosphorverunreinigungen gering sind. Messing ist nicht schweisbar.
Tantal Wolfram Molybdän Niob	Hochschmelzende Metalle. Die hohe Leistungsdichte des Elektronenstrahl ermöglicht die Schweissung dieser Metalle.	
Titan Zirkonium Vanadium	Gasempfindliche Metalle. Durch die Schweissung im Vakuum nehmen sie aus der Umgebung keine Gase auf.	Sonderlegierungen und Hochtemperaturbeständige Stähle für den Triebwerksbau.
Nickel	Nickel & Nickellegierungen sind gut geeignet.	
Cobalt		Sonderlegierung, Hochtemperatur und Verschleissbeständig.
Aluminium	Zink und hohe Magnesiumanteile neigen zum Ausgasen. Die Schweissung hat möglichst rasch nach der mechanischen Bearbeitung zu erfolgen (Oxidschicht).	Gut schweisbar sind reines Al und AL Si Legierungen. Aluminium lässt sich praktisch nur bedingt mit andern Werkstoffen verschweissen.

Schweisseignung Stähle

**Nur Bedingt
schweissgeeignet**



Werkstoffkombinationen



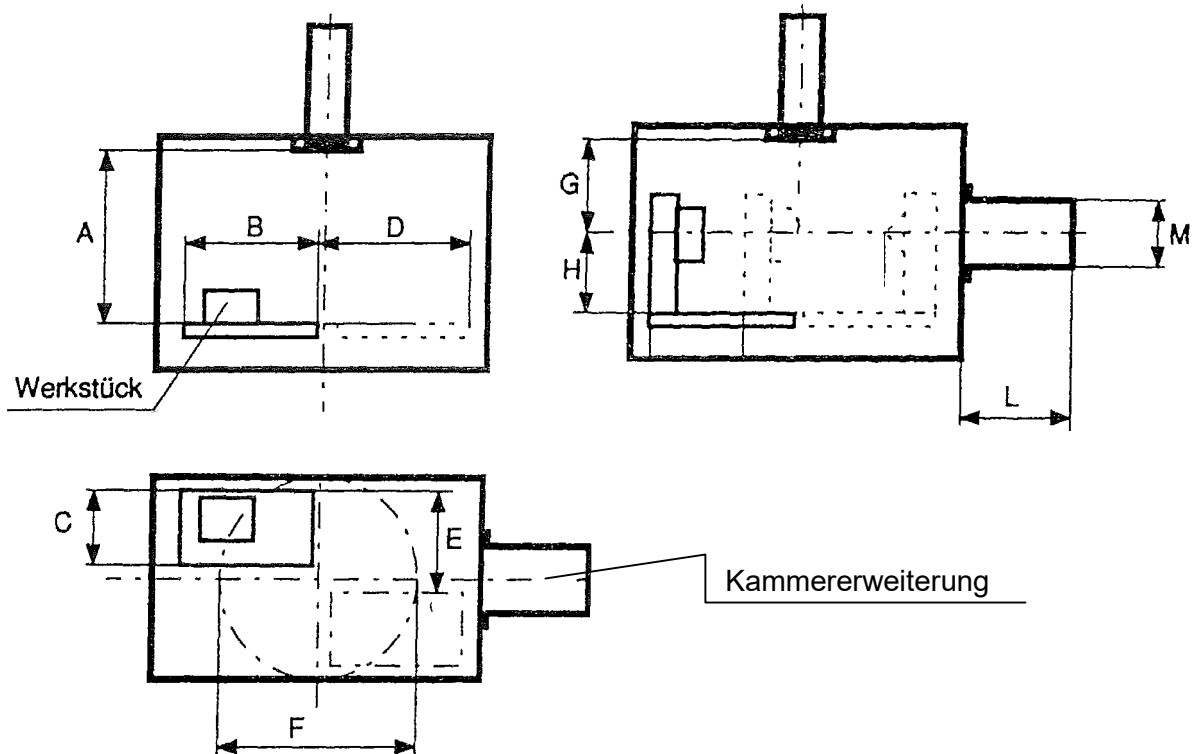
- **Gut schweisstechnisch geeignet**
 - - - - - **Begrenzt schweisstechnisch geeignet**
 Keine Verbindung **Nicht schweisstechnisch geeignet**

Wärmebehandlung

Stähle bis 0.4% Kohlenstoff **ohne** Wärmevor- bzw. Nachbehandlung

Stähle > 0.4% bis 0.8% Kohlenstoff **mit** Wärmevor- bzw. Nachbehandlung

Kammerabmessungen der SwissBeam-Anlagen



Pos.	Beschreibung	K06	K08	K49
A	Abstand Kanone zu Tisch	600 mm	680 mm	1072mm
B	Tischlänge X	360 mm	570 mm	1200mm
C	Tischbreite Y	360 mm	310 mm	600mm
D	Weg Tisch in X Richtung	520 mm	570 mm	1300mm
E	Weg Tisch in Y Richtung	350 mm	350 mm	550mm
F	Max Durchmesser Drehteil	650 mm	650 mm	1240mm
G	Abstand 1 Spindel – Kanone	270 mm	380 mm	772mm
G	Abstand Rollentrieb – Tisch			450mm
H	Abstand 1 Spindel – Tisch	300 mm	310 mm	300mm
H	Abstand 12 Spindel – Tisch			450mm
L	Kammererweiterung, Aufsatzlänge	830 mm	900 mm	830mm
M	Kammererweiterung, Durchmesser	210 mm	210 mm	210mm

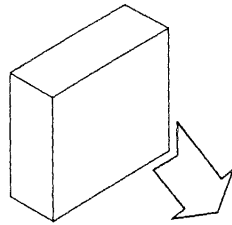
Anwendungsbereiche



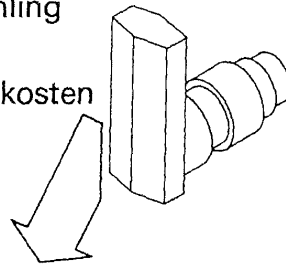
Anwendungsbeispiel aus dem Maschinenbau

Bearbeitungsverfahren aus der Vergangenheit

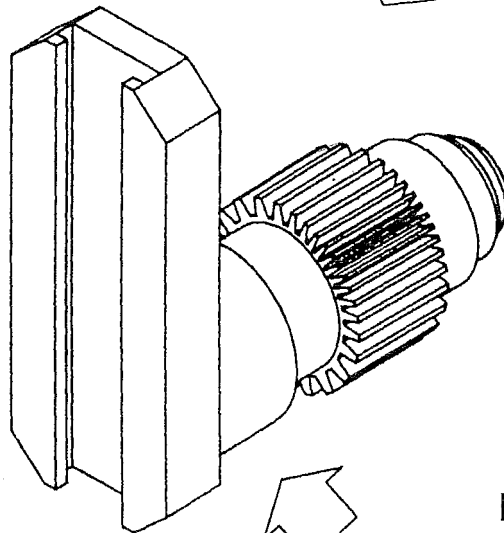
Aus dem Vollen



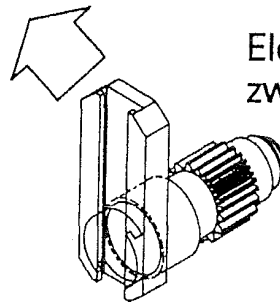
Schmiederohling
80% Kosten
hohe Gesenkkosten



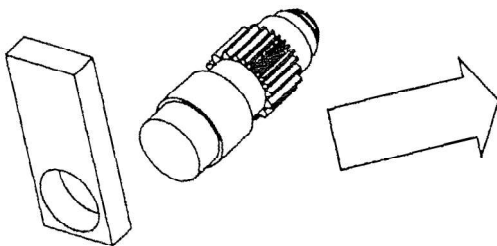
Kurbel
Kleinserie,
ca. 100 Stück,
Kraftschlüssige
Verbindung



Elektronenstrahlschweissen
zwei einfache Rohlinge



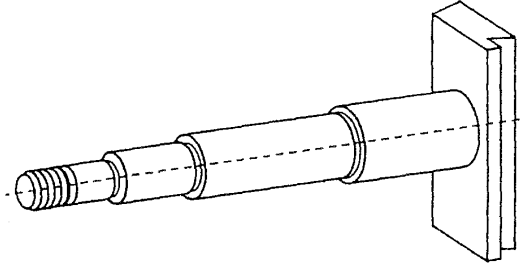
Bearbeitungsverfahren heute



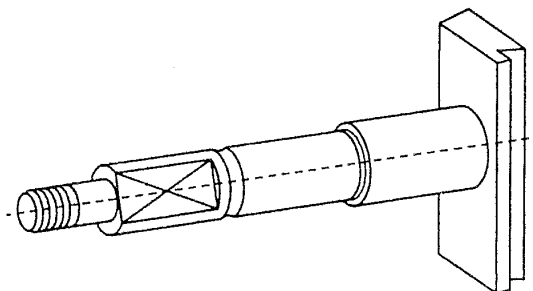
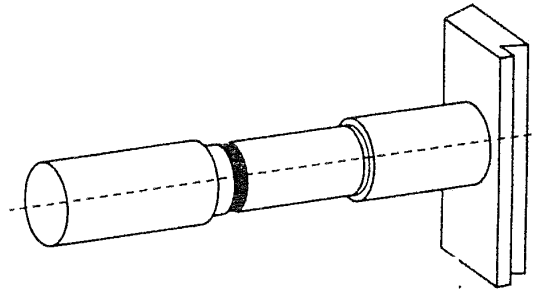
Zwei fertig bearbeitete Rohlinge werden Elektronenstrahlgeschweisst.
DLZ um 3 Monate wegen Gussbeschaffung reduziert und kosten in Höhe von 42% eingespart

Anwendungsbeispiel bei Reparaturschweissung

Durch eine Konstruktionsänderung wurde der Lagerbestand von Kolbenstange unbrauchbar.



An der Stirnseite wurde fehlendes Rohmaterial mit Elektronenstrahl aufgeschweisst.



Der Lagerbestand konnte Dank Elektronenstrahlschweissen nachgearbeitet und verbaut werden.

Anwendungsbeispiel bei Strom-Bänder / Kabel

Litzenstromkabel/Bänder und Folienstrombänder sind hervorragend geeignet um eine elektrische Verbindung von Stromschienen, Schaltgeräten, Transformatoren und Schweissmaschinen herzustellen.

Durch ihr hochflexibles und elastisches Dehnungsteil gleichen sie Vibrationen, Wärmeausdehnungen und Erschütterungen hervorragend aus.

Strombänder

Sie bestehen aus mehreren aufeinander liegenden Einzelfolien, die durch das Elektronenstrahlschweissen an den Enden mit kompakten Anschluss-Stücken verbunden werden.

Stromkabel

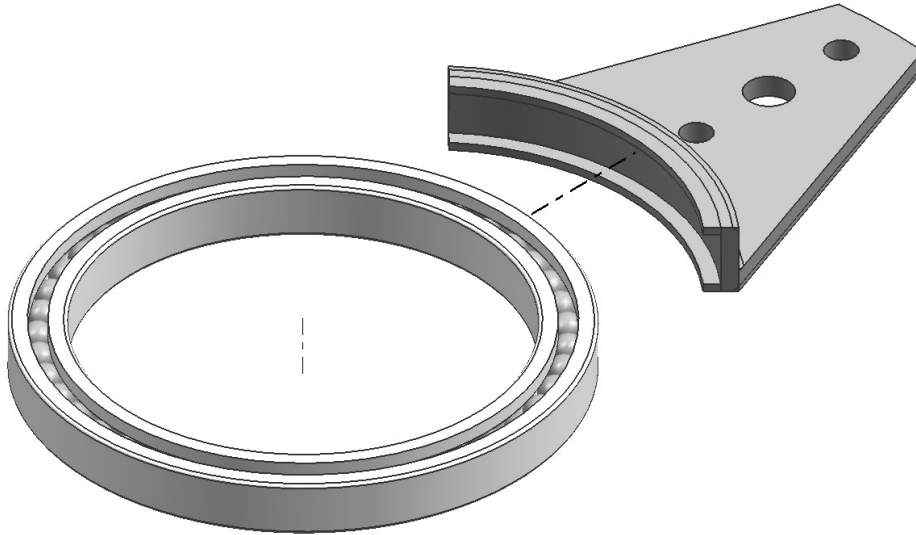
Sie werden aus hochflexibler E-Cu-Litze in blanker oder versilberter Ausführung gefertigt. An den Enden sind nahtlose Kontakthülsen unter sehr hohem Druck aufgespresst, die mit dem Elektronenstrahl-Verfahren direkt mit der Cu-Litze oder mit kompakten Anschluss-Stücken verbunden werden können.

Besondere Vorteile

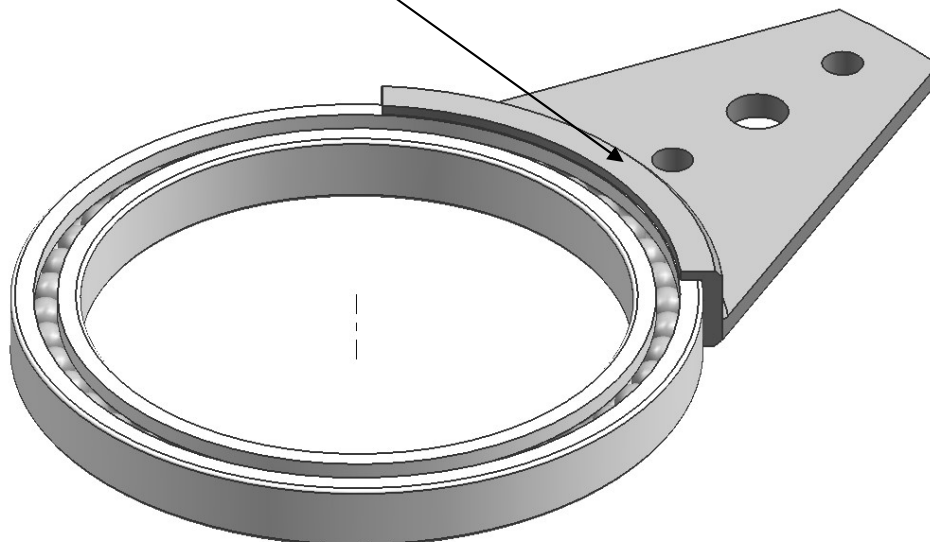
- Kein zusätzlicher Übergangswiderstand wie z.B. beim Löten, Schrauben oder Nieten (Schweisstiefe von max. 20 mm im Kupfer ohne Zusatzmaterial möglich).
- Stromverteilung wird auf die einzelnen Cu-Folien verteilt.
- Optimaler Wärmeaustausch.
- Keine Leitwertveränderungen.
- Keine Veränderung der Stromübertragungscharakteristik auch bei häufigem Lastwechsel.
- Geringer mechanischer Widerstand speziell bei den hochflexiblen Litzen- Strombänder.

Anwendungsbeispiel bei einer technischen Notwendigkeit

Ein Standard Kugellager mit Aussendurchmesser 100 mm wird mit einem Halter verpresst.



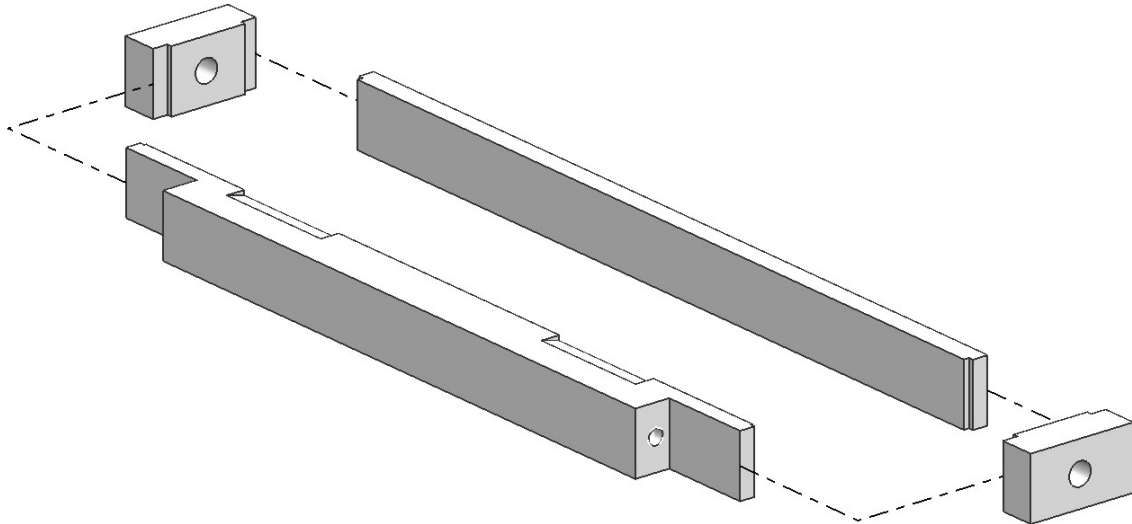
Der Halter ist auf der Vorder- und Rückseite mit dem Lageraussering in eine Tiefe von 4mm verschweisst.



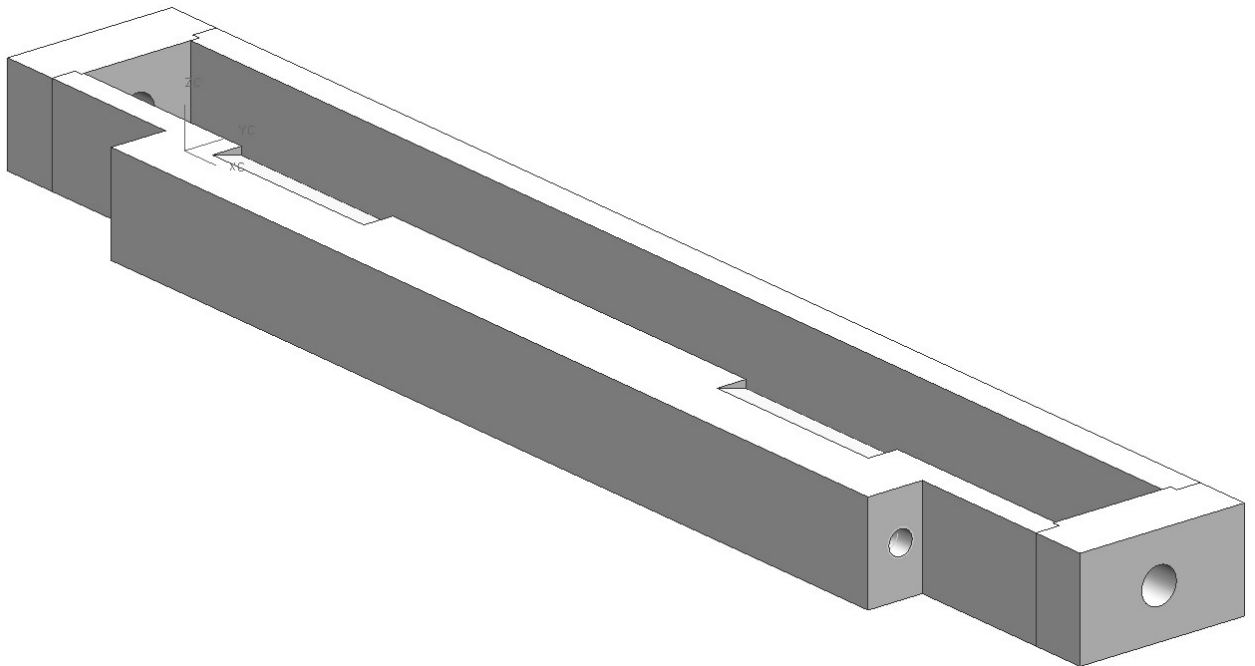
Mit dieser Konstruktion konnten wesentliche Gewichtseinsparungen realisiert werden die mit konventionellen Mittel undenkbar wären. Die Laufeigenschaft des Kugellagers wurde bei gleich bleibender Qualität dabei gewährleistet.

Anwendungsbeispiel für Materialeinsparung

Ein aus dem "Vollen" herausgearbeiteter Kupferrahmen wurde in 4 einzelne Flachstangen-Segmenten aufgeteilt.



Die fertig bearbeiteten Leisten wurden an allen Ecken mit einer I-Naht Elektronenstrahl geschweisst.



Die Einsparung der kostenintensiven Bearbeitung des Kupfermaterials liegt bei 37%.

Literaturnachweis

DVS 2803 Merkblatt	Deutscher Verband für Schweisstechnik GmbH 415 Krefeld Postfach 3197 Elektronenstrahlschweißen in der Mikrotechnik
DVS 2703 Merkblatt	Deutscher Verband für Schweisstechnik GmbH 415 Krefeld Postfach 3197 Elektronenstrahlschweißen in der Luft und Raumfahrt
DVS 2704 Merkblatt	Deutscher Verband für Schweisstechnik GmbH 415 Krefeld Postfach 3197 Richtlinien für das Konstruieren elektronenstrahlgeschweisster Bauteile
DIN 8583 Teil 11	Sicherung der Güte von Schweissarbeiten Elektronenstrahl-Schweisverbindungen an Stahl
DIN 32511	Elektronenstrahl- und Laserschweißen Begriffe für Verfahren und Geräte
DVS Verlag	Fachbuchreihe Schweisstechnik Dipl. Ing. H. Schulz Elektronenstrahlschweißen.
Expert Verlag	Fügen und thermisches Trennen Band 121 Prof. Dr. Ing. L. Dorn u.a.

Notizen

Informationen
Meldungen
Beiträge
Ratgeber