

# **Einfluss der Wolfram Elektroden auf das Schweißergebnis beim WIG-Schweißverfahren**

## **Vorbemerkung:**

Für ein gutes Schweißergebnis ist die Grundvoraussetzung der Einsatz einer guten Schweißquelle mit entsprechenden Merkmalen wie HF-Zündung, genaue Einstellung des Schweißstroms, Pulseinrichtung und entsprechende Strombelastbarkeit.

Eine weitere Voraussetzung für ein gutes Schweißergebnis ist die Verwendung des richtigen Schutzgases (entsprechend EN 439). Beim WIG-Schweißen dürfen nur inerte Gase - dies sind sauerstofffreie Gase, die nicht mit der Umgebungsluft reagieren - verwendet werden.

Gebräuchlich ist Argon in den Reinheitsstufen „rein“ (Qualität 4.6) oder „hochrein“ (Qualität 4.8). Als Besonderheit wird das Schweißen mit einem geringen Wasserstoffanteil empfohlen, da der Wasserstoff reduzierend auf den Restsauerstoffanteil in der Schweißnaht wirkt.

Für das Handschweißen wird Argon mit 2% Wasserstoffanteil, für das Automatenschweißen Argon mit bis zu 5% Wasserstoffanteil empfohlen. auf jeden Fall muss aber die Werkstoffverträglichkeit gegeben sein.

Besonders wichtig ist der optimale Gasschutz beim Schweißen. Ein (auch geringer) Anteil von Sauerstoff hat zur Folge, dass zum einen die Elektrode oxidiert (Blaufärbung) und zum anderen Schweißfehler durch Sauerstoffeinschlüsse auftreten. Zugluft ist beim Schweißen in jedem Fall zu vermeiden.

Es ist weiter darauf zu achten, dass alle Verbindungen von der Gasflasche bis zur Elektrodenspitze gasdicht sind, damit kein Sauerstoff aus der Umgebungsluft in das Leitungssystem angesogen wird. Die Keramik um die Elektrode sollte nicht zu klein sein, damit die Elektrode (und die Schweißnaht) entsprechend durch Schutzgas geschützt sind.

Die Elektrode sollte nicht mehr als 5 mm aus der Keramik herausragen. Der Schutzgasstrom muss richtig dosiert sein. Ein zu geringer Schutzgasstrom führt zur Vermischung mit der Umgebungsluft beim Schweißen. Aber auch ein zu hoher Schutzgasstrom zieht durch Turbulenzen Sauerstoff in die Schweißnaht.

Nach Beendigung der Schweißung muss die Elektrode (und die Schweißung) noch so lange mit Schutzgas umspült werden, bis das Material auf  $< 300^{\circ}\text{C}$  abgekühlt ist.

Generell wird ein Schutzgasstrom von etwa 8 l/min und eine Nachspülzeit von mindestens 30 sek. empfohlen. Diese Angaben sind Empfehlungen. Sollten hierzu spezielle Fragen auftreten, richten Sie sich bitte an Ihren Gase - Lieferanten.

## **Folgende Faktoren sind für ein gutes Schweißergebnis bei der Wolfram Elektrode zu berücksichtigen:**

- Wolframelektrodenart (Farbe)
- Elektrodendurchmesser
- Abstand der Elektrode zum Werkstück
- Sauberer und richtiger Anschliffwinkel

## Wolframelektroden Typen:

Zur Wahl der richtigen Elektrode sind nachfolgend die gebräuchlichsten Elektrodenarten mit ihrer Kurzbezeichnung und Farbkennung aufgeführt. Als Elektrodenwerkstoff wird Wolfram wegen seines hohen Schmelzpunktes von  $\sim 3.400^\circ \text{C}$  verwendet.

Durch die Zumischung von Oxiden zum reinen Wolfram (Dotierung) kann das Verhalten der Elektroden und die Standzeit beeinflusst werden. Die wesentlichen Eigenschaften der Elektroden sind ebenfalls aufgeführt (nach DIN EN 26 848).

Toleranzen siehe Anhang B.

Kurzzeichen	Farbe	Oxidzusätze in Gew. %	Wolfram
W (WP-00)	grün	-----	Wolfram 99,8 %
WT - 10 *)	gelb	1,0 % Thorium ThO <sub>2</sub>	Rest Wolfram <b>RADIOAKTIV !</b>
WT - 20 *)	rot	2,0 % Thorium ThO <sub>2</sub>	Rest Wolfram <b>RADIOAKTIV !</b>
WT - 30 *)	lila	3,0 % Thorium ThO <sub>2</sub>	Rest Wolfram <b>RADIOAKTIV !</b>
WT - 40 *)	orange	4,0 % Thorium ThO <sub>2</sub>	Rest Wolfram <b>RADIOAKTIV !</b>
WZ - 08	weiß	0,8 % Zirkonium ZrO <sub>2</sub>	Rest Wolfram
<b>WC - 20</b>	<b>grau</b>	<b>2,0 % Cer CeO<sub>2</sub></b>	<b>Rest Wolfram Universaltype</b>
WL - 10	schwarz	1,0 % Lanthan LaO <sub>2</sub>	Rest Wolfram
<b>WL - 15</b>	<b>gold</b>	<b>1,5 % Lanthan LaO<sub>2</sub></b>	<b>Rest Wolfram Universaltype Low Current</b>
WL - 20	blau	2,0 % Lanthan LaO <sub>2</sub>	Rest Wolfram

\*) Diese Elektroden wegen der Radioaktivität möglichst vermeiden !

### Einfluss der Dotierung auf die Charakteristik der Elektrode:

#### W (WP-00) (GRÜN)

Undotierte Elektroden; reines Wolfram. Einsatz hauptsächlich zum Wechselstromschweißen von Aluminiumlegierungen bei guter Lichtbogenstabilität. Diese Elektrode ist ungeeignet für das Gleichstromschweißen.

#### WT 10 / 20 / 30 / 40 (GELB/ROT/LILA/ORANGE)

Der Thoriumgehalt bewirkt (wie alle Oxide) eine Verringerung der Elektronenaustrittsarbeit und dadurch eine höhere Elektronenemission. Mit steigendem Thoriumgehalt verbessern sich

• Zündeigenschaften • Standzeiten • Strombelastbarkeit

Haupteinsatzgebiet ist das Gleichstromschweißen von hochlegierten und rostfreien Stählen.

Wegen der Radioaktivität des zur Dotierung eingesetzten Thoriums ist ein Einsatz dieser Elektroden möglichst konsequent zu vermeiden. (Siehe hierzu auch die einschlägigen Vorschriften der Berufsgenossenschaften). Die Gefahr der thorierten Elektroden liegt nicht in der Gammastrahlung - sie ist zu vernachlässigen. Gefährlich ist die Alphastrahlung (Teilchenstrahlung), bei der radioaktive Partikel eingeatmet werden und für alle Zeit in der Lunge verbleiben und die Zellen fortdauernd schädigen, was schlimmstenfalls Lungenkrebs auslöst.

Kommen trotzdem thorierte Elektroden zum Einsatz, ist auf strengste Absaugung beim Anschleifen - es sind nur Absauggeräte der Staubklasse H (höchste Staubklasse) zugelassen - sowie für eine optimale Schweißrauchabsaugung Sorge zu tragen. Arbeiten mit thorierten Elektroden ohne diese Sicherheitsmaßnahmen ist in hohem Maße gesundheitsschädlich und nicht zu verantworten. Bei Prüfungen durch die Berufsgenossenschaften sind bei Nichteinhaltung der Vorschriften massive Probleme zu erwarten.

Es ist heutzutage nicht erforderlich, thorierte Elektroden einzusetzen, da lanthanierte (WL) oder cerierte (WC) Elektroden in allen Bereichen überlegen sind. Es ist zu erwarten, dass in absehbarer Zeit diese thorierten Elektroden nicht mehr angeboten werden dürfen.

## **WC 20 (grau) - STANDARDTYPE**

Die cerierte Elektrode WC 20 ist die Universalelektrode für nahezu alle Anwendungen:

- Gleichstrom und Wechselstrom • unlegierter Stahl • hochlegierter Stahl • Aluminiumlegierungen
- Titanlegierungen • Nickellegierungen • Kupferlegierungen • Magnesiumlegierungen

Durch Cerzusatz ähnliches Verhalten wie thorierte Elektroden. Hervorragend sind sehr gute Zündeigenschaften - auch die Wiederzündung bei warmer Elektrode - bei hoher Standzeit und guter Strombelastbarkeit. Ceroxid ist wesentlich weniger umweltbelastend als Thoriumoxid und nicht radioaktiv. In der Praxis zeigt sich diese Elektrode den thorierten überlegen.

## **WL 10 / 15 / 20 (Schwarz/GOLD/Blau) - STANDARDTYPE GOLD für niedrige Ströme**

Die lanthanierte Elektrode WL 15 ist eine Universalelektrode für nahezu alle WIG Anwendungen :

- Gleichstrom und Wechselstrom
- Alle anderen Einsatzbereiche siehe WC 20

Lanthanierte Elektroden (WL) übertreffen cerierte (WC) im Niederstrombereich - hier ist die WL Reihe die erste Wahl. Besondere Einsatzgebiete liegen auch im Plasma- bzw. Mikroplasma-schweißen. Höherer Lanthangehalt wirkt sich auf die Zündfreudigkeit aus, dies ist besonders beim automatisierten Schweißen (Orbital, Roboter, Drehtische etc.) vorteilhaft.

## **WZ 08 (WEISS)**

Durch Zirkoniumzusatz geringere Gefahr der Schmelze-Verunreinigung durch Wolfram. Einsatzgebiet Wechselstromschweißen, für Gleichstromschweißen nur beding geeignet.

Generell haben sich heute als Standardtypen WC - 20 (grau) und WL - 15 (gold) etabliert. Diese Typen decken einen weiten Werkstoffbereich wie Aluminium, Edelstahl, Kohlenstoffstahl, Bronze, Titan, Kupfer, etc. ab. Wegen der damit verbundenen Gesundheitsgefahren sind die thorierten Elektroden WT - .... zu möglichst zu vermeiden.

## **Elektrodendurchmesser und Elektrodenlänge**

Die Strombelastbarkeit der Elektrode ist abhängig von ihrem Durchmesser, Stromart und Polung, den Legierungszusätzen der Elektrode und dem Anschliffwinkel.

Wird die Elektrodenspitze überlastet, so bildet sich am Elektrodende ein ausgeprägter Schmelztropfen, der in das Schweißbad übergehen kann. Bei zu geringer Belastung der Elektrodenspitze brennt der Lichtbogen unruhig (siehe Tabelle Seite 8).

Standarddurchmesser sind 1,0 - 1,6 - 2,0 - 2,4 - 3,0 - 3,2 - 4,0 - 4,8 - 6,0 - 6,4 mm  
bei Standardlängen von 50 - 75 - 150 - 175 mm. Toleranzen Siehe Anhang B

## **Abstand der Elektrode zum Werkstück**

Durch einen unterschiedlichen Abstand der Elektrode zum Werkstück verändert sich die Elektrodenspannung, was ebenfalls zu unterschiedlichen Schweißergebnissen führt. Es ist darauf zu achten, dass ein gleichmäßiger Abstand zum Werkstück eingehalten wird.

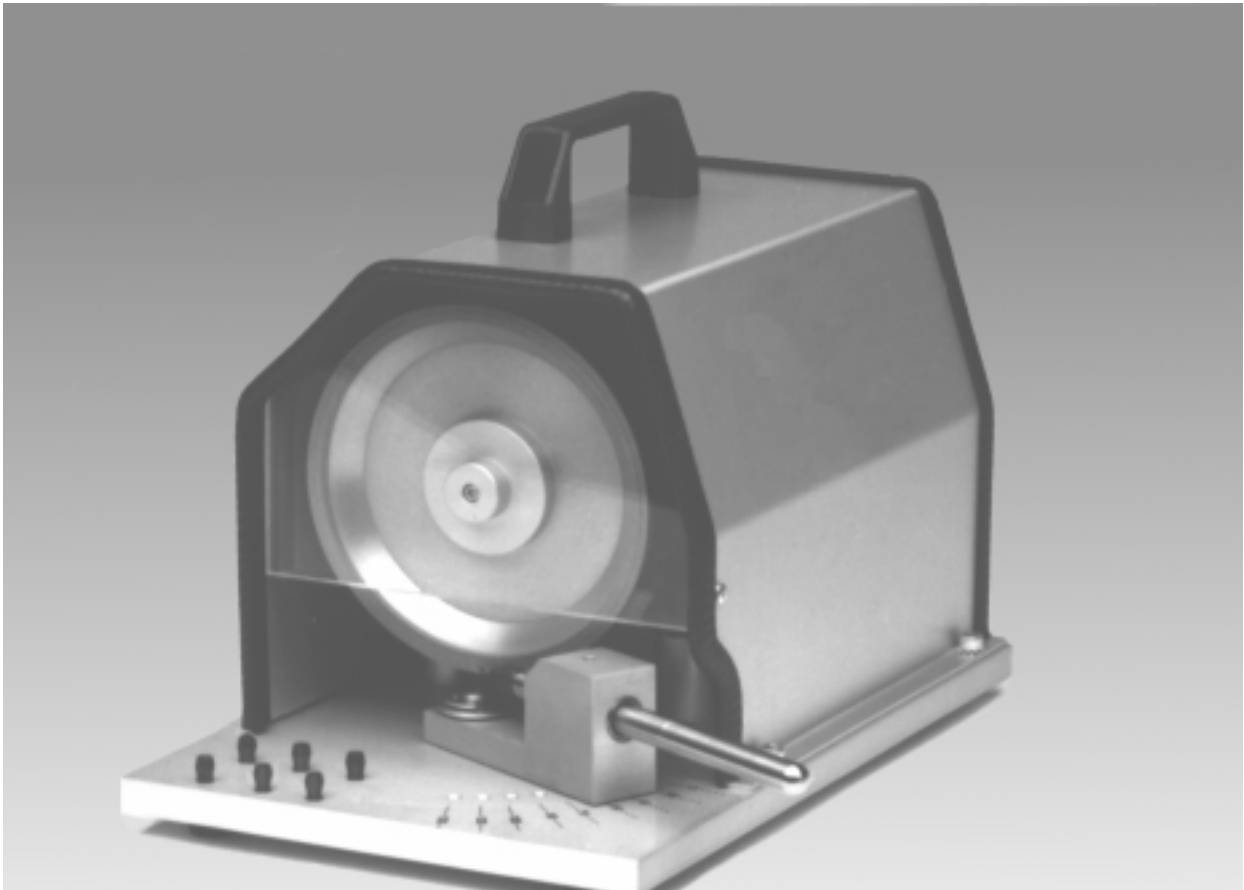
Als praxisgerecht hat sich erwiesen, dass der verwendete Elektrodendurchmesser auch der Abstand zum Werkstück sein sollte, also bei einer 2,4 mm Ø Elektrode 2,4 mm Elektrodenabstand zum Werkstück. Bei der Tabelle der Richtwerte der Schweißströme ist der jeweilige Durchmesser der Elektrode als Elektrodenabstand berücksichtigt.

## Anschliff der Wolframelektroden

Die Form der Elektrodenspitze bestimmt im wesentlichen den Schweißablauf und die Güte der Schweißnaht. Vor dem Anschliff ist darauf zu achten, dass das Elektrodenende nicht abgebrochen oder abgekniffen ist. Die Korngrenzenfestigkeit der Elektroden ist nämlich geringer als die Festigkeit der einzelnen Kristalle. Deshalb neigen Elektroden dazu, bei mechanischer Beanspruchung entlang der Korngrenzen geschwächt zu werden. Die starke Erwärmung beim Schweißen führt dann zur Rissbildung an der Spitze.

Der Anschliff der Wolframelektroden muss äußerst sorgfältig geschehen, um auch hier eine Korngrenzen-schädigung durch mechanische Kräfte zu verhindern. Der Anschliff darf nur mit leichtem Druck erfolgen, da durch einen zu großen Wärmestau ebenfalls eine Kornverspannung und Korngrenzenschädigung auftreten kann. **Ein freihändiges Schleifen muss ganz vermieden werden.** Elektroden-Geometrie siehe Anhang A.

Das Schliffbild: Es sollte eine Schleifscheibe mit möglichst feiner Körnung verwendet werden. Am besten sind Diamant - Schleifscheiben (je nach Belastung Kunststoff- oder Metallbindung). Korundschleifscheiben zeigen aufgrund der Härte von Wolfram schlechtere Schleifergebnisse. Die Standzeit der Elektrode erhöht sich, je feiner der Schliff ist.

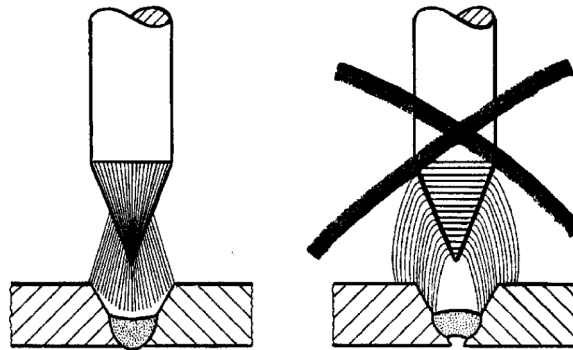


Wolfram Elektroden Anschleifgerät mit Diamantschleifscheibe und Winkeleinstellung für Wolfram Elektroden von 1,0 - 4,0 mm Durchmesser

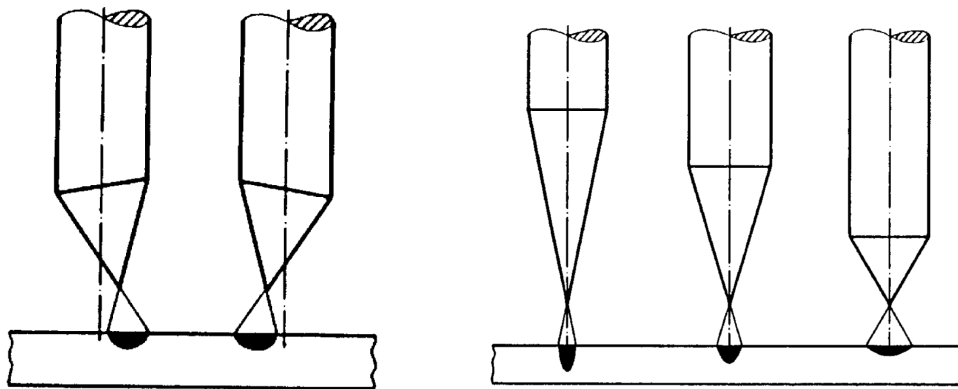
**Die Schleifrichtung:** Wichtig ist, dass in Längsrichtung geschliffen wird.

Bei einem Querschliff führen die Riefen zu einem instabilen Lichtbogen und zum Ausbrechen von Wolframteilchen, die dann in das Schmelzbad gelangen können.

Deshalb soll die Elektrode beim Anschleifen nur sehr langsam gedreht werden.



**Die Zentrik:** Es kommt sehr darauf an, dass die Spitze so zentrisch wie möglich in der Elektroden-Längsachse liegt. Bei einer Abweichung besteht die Gefahr, dass der Lichtbogen instabil wird. Besonders bei dem automatisierten Schweißen besteht weiter die Gefahr, dass zwar eine Justierung der Elektrode zum Werkstück zur Elektroden-Längsachse erfolgt, durch die mangelnde Zentrik die Schweißenergie aber nicht an die gewünschte Stelle gebracht wird.



**Der Anschliffwinkel:** Im Zusammenwirken mit dem Durchmesser der Wolframelektrode hat der Anschliffwinkel den entscheidenden Einfluss auf die Schweißnahtqualität. Im rechten Bild wird schematisch verdeutlicht, wie sich ein Schmelzbad bei gleicher Stromstärke, aber unterschiedlichem Anschliffwinkel, ausprägt. Der Lichtbogen stellt ein Spiegelbild des Anschliffwinkels dar.

Bei einer spitzen Elektrode wird die Energie auf eine kleine Oberfläche gebracht mit einem tiefen Einbrand. Bei einer stumpfen Elektrode wird die Energie bei gleichem Schweißstrom auf eine große Oberfläche gebracht mit einem verhältnismäßigem flachem Schmelzbad.

Generell gilt : Die Spitze der Elektrode sollte nach dem Schleifen abgestumpft werden, wobei der Durchmesser der stumpfen Spitze ca. 10 % des Elektrodendurchmessers betragen soll (Elektroden  $\varnothing$  2,4 mm  $\sim$  0,25 mm). Dies führt zu einer erheblichen verringerten Belastung der Spitze und so zu einer deutlichen Verbesserung der Standzeit.

Richtwerte Strombelastung (A) und Schweißbarkeit						
Ø	Gleichstrom				Wechselstrom	
	Elektrode (-)		Elektrode (+)			
	Rein W	Oxide	Rein W	Oxide	Rein W	Oxide
1,0 mm	< 65	< 75	-----	-----	< 25	< 30
1,6 mm	45 - 90	60 - 160	< 20	< 20	30 - 90	30 - 120
2,4 mm	80 - 160	150 - 250	10 - 25	10 - 25	80 - 140	100 - 210
3,2 mm	150 - 290	220 - 330	15 - 30	15 - 30	130 - 190	150 - 260
4,0 mm	180 - 260	310 - 490	25 - 45	25 - 45	180 - 270	240 - 350
4,8 mm	240 - 450	460 - 640	40 - 60	40 - 60	250 - 350	310 - 450
6,4 mm	350 - 800	480 - 850	50 - 90	50 - 90	320 - 460	380 - 530

Als Richtwert für die Wahl des Elektrodendurchmessers und des Anschliffwinkels wird die cerierte Wolframelektrode für das WIG Schweißen genannt, aus diesem Mittelwert kann die Wahl anderer Elektroden abgeleitet werden.

Die Länge der Elektrodenspitze sollte etwa das 1 - 1,5 - fache des Elektrodendurchmessers betragen ( 2,4 mm Elektrode - Länge der Spitze 2,4 - 3,6 mm).

#### **Schweißnahtqualität:**

Die Spitze der Elektrode sollte nach dem Anschliff auf einen Durchmesser von ca.10 % des Durchmessers der Wolframelektrode wieder plan geschliffen werden. Der Elektronenaustritt wird durch die Planfläche günstig beeinflusst und bewirkt ein besseres Schweißergebnis, gerade in Bezug auf Einbrandkerben. Durch das Abflachen wird auch ein Partikelaustritt aus der Elektrodenspitze verhindert; ebenfalls ist die Standzeit der Elektrode erheblich erhöht.

Für die Schweißnahtqualität ist zu beachten, dass die Wurzellage des Schmelzbades bei dem WIG Schweißen pro mm Wandstärke etwa 1 mm schmaler als die Decklage werden sollte. Nur so ist gewährleistet, dass nicht zu viel Energie eingebracht wird, was zur Gefügeveränderung des Schweißgutes führt.

Dies bedeutet bei einem Grundmaterial von 2 mm Wandstärke eine Schweißnahtbreite in der Decklage von etwa 5 mm Breite und in der Wurzel von etwa 3 mm Breite. Durch diese Schweißform werden auch etwaiger Kantenversatz und kleinere Schweißspalte überbrückt.

Als praxisgerecht hat sich bei einer 2,4 mm Ø Elektrode ein Anschliffwinkel von 30° bis 45° und ein Durchmesser der abgestumpften Spitze von ~ 0,25 mm erwiesen.

Es ist darauf zu achten, dass die Wolframelektroden in einem regelmäßigem Intervall sorgfältig nachgeschliffen werden und zwar bevor die Elektrodenspitze abgenutzt ist. Auf keinen Fall sollte so lange gewartet werden, bis sich das Schweißergebnis sichtbar verschlechtert oder die Zündeigenschaften schlecht sind.

Schon dann sind die vorherigen Schweißergebnisse zweifelhaft und die schlechten Zündeigenschaften können zu Signalstörungen der Maschinen oder zu Wolfram - Einschlüssen in der Schweißnaht führen.

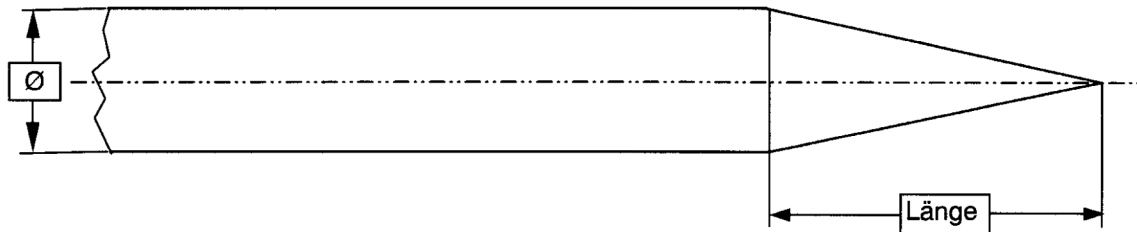
Wie bereits erwähnt, sind alle obigen Angaben Empfehlungen und Richtwerte. Für spezielle Fragen der Schweißtechnik und besonders auch für die Nachbehandlung von Schweißnähten steht Ihnen die Firma Rotek GmbH gern zur Verfügung.

Anhang A : Elektroden - Geometrie

Anhang B : Toleranzen nach DIN EN 26 848

# ANHANG A

## Anschlifflänge der Elektrode als Funktion des Elektrodendurchmessers und des Anschliffwinkels.



	$\varnothing$ 1,0	$\varnothing$ 1,6	$\varnothing$ 2,0	$\varnothing$ 2,4	$\varnothing$ 3,0	$\varnothing$ 3,2	$\varnothing$ 4,0
10 °	5,72	9,15	11,43	13,72	17,15	18,29	22,86
15 °	<b>3,80</b>	<b>6,08</b>	<b>7,60</b>	<b>9,12</b>	<b>11,40</b>	<b>12,16</b>	<b>15,19</b>
20 °	2,84	4,54	5,67	6,81	8,51	9,08	11,34
25 °	2,26	3,61	4,51	5,41	6,77	7,22	9,02
30 °	<b>1,87</b>	<b>2,99</b>	<b>3,73</b>	<b>4,48</b>	<b>5,60</b>	<b>5,97</b>	<b>7,47</b>
35 °	1,59	2,54	3,17	3,81	4,76	5,08	6,34
40 °	1,37	2,20	2,75	3,30	4,12	4,40	5,50
45 °	<b>1,21</b>	<b>1,93</b>	<b>2,41</b>	<b>2,90</b>	<b>3,62</b>	<b>3,86</b>	<b>4,83</b>
50 °	1,07	1,72	2,14	2,57	3,22	3,43	4,29
55 °	0,96	1,54	1,92	2,31	2,88	3,07	3,84
60 °	<b>0,87</b>	<b>1,39</b>	<b>1,73</b>	<b>2,08</b>	<b>2,60</b>	<b>2,77</b>	<b>3,46</b>
65 °	0,79	1,26	1,57	1,88	2,36	2,51	3,14
70 °	0,71	1,14	1,43	1,71	2,14	2,29	2,86
75 °	<b>0,65</b>	<b>1,04</b>	<b>1,30</b>	<b>1,56</b>	<b>1,96</b>	<b>2,09</b>	<b>2,61</b>
80 °	0,60	0,95	1,19	1,43	1,79	1,91	2,38
85 °	0,55	0,87	1,09	1,31	1,64	1,75	2,18
90 °	<b>0,50</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>	<b>1,20</b>	<b>1,50</b>	<b>1,60</b>	<b>2,00</b>
95 °	0,46	0,73	0,92	1,10	1,37	1,47	1,83
100 °	0,42	0,67	0,84	1,01	1,26	1,34	1,68
105 °	<b>0,38</b>	<b>0,61</b>	<b>0,77</b>	<b>0,92</b>	<b>1,15</b>	<b>1,23</b>	<b>1,54</b>
110 °	0,35	0,56	0,70	0,84	1,05	1,12	1,40
115 °	0,32	0,51	0,64	0,76	0,96	1,02	1,27
120 °	<b>0,29</b>	<b>0,46</b>	<b>0,58</b>	<b>0,69</b>	<b>0,87</b>	<b>0,92</b>	<b>1,16</b>
125 °	0,26	0,42	0,52	0,62	0,78	0,83	1,04
130 °	0,23	0,37	0,47	0,56	0,70	0,75	0,93
135 °	<b>0,21</b>	<b>0,33</b>	<b>0,41</b>	<b>0,50</b>	<b>0,62</b>	<b>0,66</b>	<b>0,83</b>

## ANHANG B

### Toleranzen nach DIN EN 26 848

Kurzzeichen	Farbe	Oxidzusätze in Gew. %	Toleranz
W (WP-00)	grün	-----	-----
WT - 10 *)	gelb	1,0 % Thorium ThO <sub>2</sub>	0,80 % ..... 1,20 %
WT - 20 *)	rot	2,0 % Thorium ThO <sub>2</sub>	1,70 % ..... 2,20 %
WT - 30 *)	lila	3,0 % Thorium ThO <sub>2</sub>	2,80 % ..... 3,20 %
WT - 40 *)	orange	4,0 % Thorium ThO <sub>2</sub>	3,80 % ..... 4,20 %
WZ - 08	weiß	0,8 % Zirkonium ZrO <sub>2</sub>	0,70 % ..... 0,90 %
WC - 20	grau	2,0 % Cer CeO <sub>2</sub>	1,80 % ..... 2,20 %
WL - 10	schwarz	1,0 % Lanthan LaO <sub>2</sub>	0,90 % ..... 1,20 %
WL - 15	gold	1,5 % Lanthan LaO <sub>2</sub>	1,30 % ..... 1,70 %
WL - 20	blau	2,0 % Lanthan LaO <sub>2</sub>	1,80 % ..... 2,20 %

Durchmessertoleranzen in mm						
Ø	+ Toleranz	- Toleranz		Ø	+ Toleranz	- Toleranz
0,5 mm	0,05	0,05		4,0 mm	0,10	0,10
1,0 mm	0,05	0,05		4,8 mm	0,10	0,10
1,6 mm	0,05	0,05		5,0 mm	0,10	0,10
2,0 mm	0,05	0,05		6,0 mm	0,10	0,10
2,4 mm	0,05	0,05		6,4 mm	0,10	0,10
3,0 mm	0,10	0,10		8,0 mm	0,10	0,10
3,2 mm	0,10	0,10		10,0 mm	0,10	0,10

Durchmesserumrechnung in inch						
metrisch	inch	inch		metrisch	inch	inch
1,0 mm	0,0400	-----		3,2 mm	0,1250	<sup>1</sup> / <sub>8</sub>
1,6 mm	0,0625	<sup>1</sup> / <sub>16</sub>		4,0 mm	0,1560	<sup>5</sup> / <sub>32</sub>
2,0 mm	0,0781	<sup>5</sup> / <sub>64</sub>		4,8 mm	0,1870	<sup>3</sup> / <sub>16</sub>
2,4 mm	0,0938	<sup>3</sup> / <sub>32</sub>		6,0 mm	0,2360	<sup>15</sup> / <sub>64</sub>
3,0 mm	0,1181	-----		6,4 mm	0,2500	<sup>1</sup> / <sub>4</sub>

Längentoleranzen in mm				
Länge	50 mm	75 mm	150 mm	175 mm
Toleranz	± 1,0 mm	± 1,0 mm	± 1,0 mm	± 1,0 mm