



Fakultät Maschinenbau

---

# **BACHELORARBEIT**

---

## **Einführung von UP I- Nahtschweißen im „Stahl- und Brückenbau Niesky GmbH“**

Autor:

**Herr**

**Werner Tom**

Studiengang:

**Maschinenbau**

Seminargruppe:

**MB09w2-B**

Erstprüfer:

**Prof. Dr.-Ing. Peter Hübner**

Zweitprüfer:

**Dipl. Ing. (FH) Bernd Meusel**

Einreichung:

**Mittweida, 08.05.2013**

Verteidigung/Bewertung:

**Mittweida, 2013**

**BACHELOR THESIS**

---

**Institution of submerged arc  
welding of square butt at  
"Stahl- und Brückenbau  
Niesky GmbH"**

author:

**Mr.**

**Werner Tom**

course of studies:

**Mechanical Engineering**

seminar group:

**MB09w2-B**

first examiner:

**Prof. Dr.-Ing. Peter Hübner**

second examiner:

**Dipl. Ing. (FH) Bernd Meusel**

submission:

**Mittweida, 08.05.2013**

defence/ evaluation:

**Mittweida, 2013**



## **Bibliografische Beschreibung:**

Werner, Tom:

Einführung des UP I-Nahtschweißens im „Stahl- und Brückenbau Niesky“- 2013.  
- 2, 30, 7 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Bachelorarbeit, 2013

## **Referat:**

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, inwiefern die Parameter zu wählen sind um Stupfstöße mittels I-Nahtschweißung zu fertigen sind. Es werden verschiedene Versuche hierfür durchgeführt und diskutiert. Das Ziel der Untersuchung ist die richtigen Parameter zu finden damit diese Technologie mittels Verfahrensprüfung angewandt werden kann.

# Inhalt

<b>Inhalt</b>	.....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	.....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	.....	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	.....	<b>V</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	<i>Kapitelübersicht</i> .....	2
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b> .....	<b>3</b>
2.1	<i>Aktuelle Nahtform für Stumpfstöße in der Firma</i> .....	4
2.2	<i>Theorie zum Unterpulverschweißen</i> .....	5
2.3	<i>Schweißzusätze</i> .....	6
2.4	<i>Zerstörungsfreie Prüfung</i> .....	7
<b>3</b>	<b>Gründe für die Einführung</b> .....	<b>9</b>
3.1	<i>Zeitersparnis</i> .....	9
3.2	<i>Wirtschaftlichkeit</i> .....	11
<b>4</b>	<b>Durchführung der Versuche</b> .....	<b>12</b>
4.1	<i>Versuchsaufbau / -ablauf</i> .....	13
4.1.1	<i>Versuch 1</i> .....	13
4.1.2	<i>Versuch 2</i> .....	15
4.1.3	<i>Versuch 3</i> .....	16
<b>5</b>	<b>Auswertung der Versuche</b> .....	<b>17</b>
5.1	<i>Versuch 1</i> .....	17
5.2	<i>Versuch 2</i> .....	19
5.3	<i>Versuch 3</i> .....	20

---

<b>6</b>	<b>Einführung in die Fertigung</b> .....	<b>22</b>
6.1	<i>Schweißung der Verfahrensprüfung</i> .....	22
6.2	<i>Ablauf der Verfahrensprüfung</i> .....	24
6.2.1	Zerstörungsfreie Prüfung.....	26
6.2.2	Zerstörende Prüfung .....	26
6.2.3	Geltungsbereich .....	28
6.2.4	Bericht über Qualifizierung des Schweißverfahrens .....	28
<b>7</b>	<b>Ergebnis und Diskussion</b> .....	<b>29</b>
7.1	<i>Kriterien für eine Erfolgreiche I-Naht Schweißung</i> .....	29
7.2	<i>Ersprniss von Zeit und Geld</i> .....	30
<b>Literatur</b>	.....	<b>31</b>
<b>Anlagen</b>	.....	<b>32</b>
<b>Anlagen, Teil 1 Zulassungszertifikate der Schweißzusätze</b>	.....	<b>A-XXXIV</b>
<b>Anlagen, Teil 2 Protokolle der Zerstörungsfreien Prüfung</b>	.....	<b>A-XXXVII</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	.....	<b>41</b>

---

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	I-Nähte
<b>Abbildung 2:</b>	Schema einer V-Naht
<b>Abbildung 3:</b>	Schema einer UP-Anlage
<b>Abbildung 4:</b>	Schema UT
<b>Abbildung 5:</b>	Schema RT
<b>Abbildung 6:</b>	UP – Portal
<b>Abbildung 7:</b>	Vorbereitung der Schweißproben
<b>Abbildung 8:</b>	Durchfall des Schweißbades
<b>Abbildung 9:</b>	Proben Versuch 1
<b>Abbildung 10:</b>	Nahtüberhöhung
<b>Abbildung 11:</b>	Röntgenbild Versuch 2
<b>Abbildung 12:</b>	Röntgenbild Versuch 3
<b>Abbildung 13:</b>	pWPS Verfahrensprüfung
<b>Abbildung 14:</b>	Untersuchungen der Verfahrensprüfung
<b>Abbildung 15:</b>	Lage und Verwendung der Proben
<b>Abbildung 16:</b>	Lage der Kerben



## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	Verglichene Zeiten
<b>Tabelle 2:</b>	Versuchsparameter 1
<b>Tabelle 3:</b>	Versuchsparameter 2
<b>Tabelle 4:</b>	Versuchsparameter 3
<b>Tabelle 5:</b>	Schweißparameter Verfahrensprüfung

## Abkürzungsverzeichnis

<b>UP</b>	Unterpulver
<b>MAG</b>	Metall - Aktivgas
<b>MIG</b>	Metall - Inertgas
<b>SLV</b>	Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt
<b>VWT</b>	V: Charpy-V-Kerbe — W: Kerbe im Schweißgut — T: Kerbe durch die Dicke
<b>VHT</b>	V: Charpy-V-Kerbe — H: Kerbe in der Wärmeeinflusszone — T: Kerbe durch die Dicke
<b>WPS</b>	Welding Procedure Specification
<b>WPQR</b>	Welding Procedure Qualification Record
<b>pWPS</b>	preliminary Welding Procedure Specification

# 1 Einleitung

Um in der heutigen Zeit und Wirtschaftslage konkurrenzfähig zu bleiben und weiterhin in Deutschland produzieren zu können, sind Fertigungsverfahren mit einem hohen Wirkungsgrad, einer hohen Wirtschaftlichkeit, sowie einem hohen Mechanisierungsgrad notwendig. Das Unterpulverschweißen erfüllt diese Punkte sehr gut. Es ist das Verfahren mit dem höchsten Wirkungsgrad der Lichtbogenschweißprozesse und ist sehr wirtschaftlich. Doch die Wirtschaftlichkeit wird nicht nur durch den Wirkungsgrad beeinflusst. Andere Faktoren wie, Abschmelzleistung, Schweißgeschwindigkeit sowie die Vor- und Nachbearbeitungszeiten sind ebenso von Bedeutung.

In dieser Bachelorarbeit widme ich mich dem Thema Unterpulver I-Nahtschweißen, welches in der Firma „Stahl- und Brückenbau Niesky GmbH“ als mechanisiertes Verfahren für die Herstellung von I-Naht Stumpfstoßen angewandt werden soll. Es ist wichtig herauszufinden wie die Parameter zu wählen sind um eine Qualitätsgerechte I-Naht schweißen zu können. Dies wird mit mehreren Versuchen an Blechen mit einer Stärke von 14 mm geschehen. Weiterhin sollen die Ersparnisse im Vergleich zu anderen Nahtformen gegenübergestellt werden. Die Nähte, welche mit der I-Naht verglichen werden sollen sind V-Nähte. Hierbei soll nur das Unterpulverschweißen als Verfahren angewendet und in Betracht gezogen werden, da diese die Wirtschaftlichkeit verbessert.

Mit den Parametern wird eine preliminary Welding Procedure Specification (pWPS) erstellt. Diese soll mit einer Verfahrensprüfung qualifiziert werden.

Die Beprobung und die Auswertung der Verfahrensprüfung erfolgt in einem geeigneten Prüfinstitut wie z.B. der SLV Halle. Wird mit der Verfahrensprüfung nachgewiesen, dass der Hersteller das Verfahren beherrscht und es in der Fertigung anwenden kann.

## 1.1 Kapitelübersicht

Diese Bachelorarbeit besteht aus insgesamt 7 Kapiteln.

Nach der Einleitung in dem Ersten Kapitel wird im **2. Kapitel** der Stand der Technik wiedergegeben. Es wird im Allgemeinen aufgezeigt wie der Stand der Technik ist. Hier werden die aktuellen Nahtformen genannt und erklärt, sowie die Grundlagen zum UP-schweißen erklärt. Weiterhin wird auf die Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung eingegangen.

Das **3. Kapitel** beschäftigt sich mit den Gründen warum die Schweißung von I-Nähten eingeführt werden soll. Es wird die Zeitliche Ersparnis gegenüber den V-Nähten berechnet und verglichen. Des Weiteren wird auch ein Hinblick auf die wirtschaftliche Verbesserung gegeben.

Im **Kapitel 4** wird auf die Durchführung der Versuche eingegangen. Es werden die gewählten Parameter angegeben und der Ablauf der Versuche wiedergegeben.

**Kapitel 5** werden die Angeordneten Versuche ausgewertet. Dies geschieht mittels zerstörungsfreier Prüfung und der Anfertigung von Querschliffen.

Das **Kapitel 6** befasst sich mit der Einführung in die Fertigung. Hier werden die Prüfungen, welche an dem Blech der Verfahrensprüfung vollzogen wurden erklärt und wiedergegeben.

Die Ergebnisse und die Diskussionen über die Versuche werden im **Kapitel 7** beschrieben. Es wird darauf eingegangen wie die Parameter für eine I-Naht zu wählen sind. Ergänzend werden auch die ersparten Zeiten.

## 2 Stand der Technik

Das Schweißen von I-Nähten ist in der heutigen Zeit ein gängiges Verfahren. Viele Firmen verwenden dieses Verfahren schon seit geraumer Zeit. Um dieses Verfahren jedoch richtig zu beherrschen, benötigt man viel Erfahrung. Am besten ist es dies zuerst mittels Versuche zu machen. In der Abbildung 1 ist ein schematischer Aufbau von unterschiedlichen I-Nähten zu sehen.

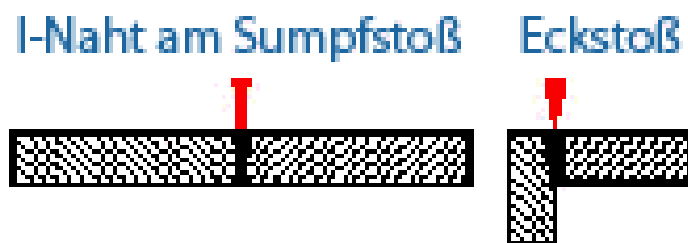


Abbildung 1: I-Nähte

Viele Verschiedene Verfahren gibt es für die Schweißung dieser Nahtform. Unter anderem sind diese Verfahren:

- UP- Schweißen
- Laserstrahlschweißen
- Elektronenstrahlschweißen
- Rührreibschweißen
- MAG / MIG bei Dünnscheiben

Es können mit den Richtigen Techniken der dazugehörigen Einrichtung sowie den notwendigen Erfahrungen Belchdicken bis zu 12 mm, laut DIN EN ISO 9692-2 mit einer Lage geschweißt werden.

## 2.1 Aktuelle Nahtform für Stumpfstöße in der Firma

In der Firma „Stahl und Brückenbau Niesky“ werden Aktuell Stumpfstöße meist mit einer V-Naht oder mit einer  $\frac{2}{3}$  X-Naht verarbeitet. Die Art der Nahtformen kommt auf die Dicke des Bleches an. Andere Nahtformen oder Bleche mit einem Dickensprung werden hier nicht im Fokus stehen, da sie zu selten verwendet werden.

Dickere Bleche (ab 25 mm) werden mit einer  $\frac{2}{3}$  X-Naht gestoßen. Mit diesem Verfahren wird zuerst eine Wurzel mit MAG geschweißt und dann mit dem Unterpulverschweißen die  $\frac{1}{3}$  Seite geschweißt. Wenn diese Seite fertig geschweißt ist wird das Blech herumgedreht und die Wurzel mittels Kohlelektrode ausgefugt. Als nächstes wird der Rest mit Füll- und Decklagen fertig geschweißt. In dieser Bachelorarbeit wird jedoch nicht auf diesen Dickenbereich eingegangen, weshalb auch diese Nahtform nicht näher erläutert wird.

Bei Stumpfstößen mit V-Naht wird in dicken Bereichen von 10 - 25 mm UP-Schweißen angewandt. Hierbei wird als erstes eine Wurzel in die Bleche gelegt. Anschließend wird das Blech in mehreren Lagen zugeschweißt. Nachdem es zugeschweißt wurde, wird die Wurzel wieder ausgefugt und eine Gegenlage geschweißt.

Die Bleche sind in dieser Annahme gleich dick ( $t_1=t_2$ ). Es wird hierbei noch unterschieden ob die Schweißung mit Badsicherung oder ohne Badsicherung durchgeführt wird. Mit Badsicherung wird der Öffnungswinkel ( $\beta$ ) mit  $20^\circ$  und der Abstand ( $b$ ) der Bleche mit 6 mm angenommen. Wird die V-Naht ohne eine Badsicherung durchgeführt ist der Öffnungswinkel mit  $25^\circ$  zu wählen und der Abstand mit 0 mm bis maximal 2 mm. (siehe Abbildung 2)

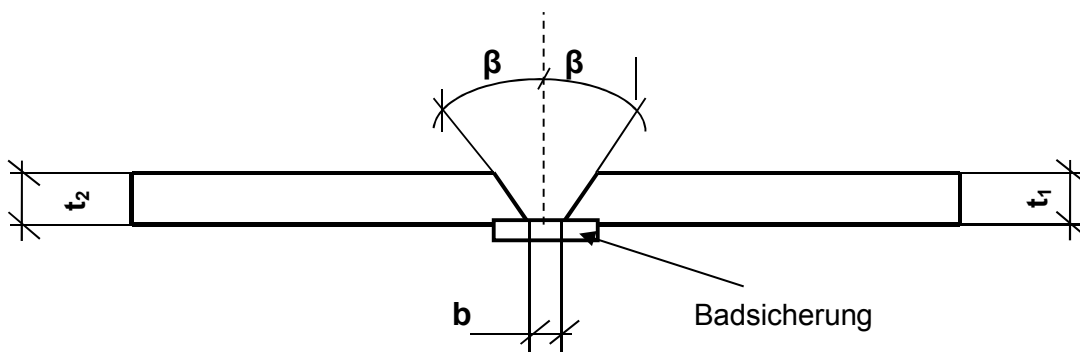


Abbildung 2: Schema einer V-Naht



## 2.3 Schweißzusätze

### Drahtelektrode

Als Schweißzusatzwerkstoffe werden Drahtelektroden verwendet. Hierbei ist die Oberfläche des Drahtes verkupfert. Dies minimiert den Reibungswiderstand, schützt vor atmosphärischer Korrosion und verbessert gleichzeitig den Stromübergang.

Übliche Durchmesser für Drahtelektroden betragen 4 mm. Ist eine geringe Ausbringung erwünscht bzw. eine hohe Gefahr dass die Wurzel Durchfällt, können auch Drahtelektroden mit einem Durchmesser von 3mm verwendet werden. Bei der Verwendung sehr hoher Stromstärken werden meist 5 mm Drahtelektroden eingesetzt.

### Schweißpulver

Die Aufgaben des Schweißpulvers sind unterteilt in:

- **Erhöhung der Leitfähigkeit der Lichtbogenstrecke**, was zum besseren Zünden und einem stabileren Lichtbogen führt
- **Bildung der Schlackenschicht**, was die Abkühlgeschwindigkeit senkt, die Raupe formt und das geschmolzene Schweißgut schützt
- **Bildung eines Schutzgasstromes**, was Schutz vor Einflüssen der atmosphärischen Gasen (Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff) bietet
- **Desoxidieren und Auflegieren**, was die Eigenschaften des Schweißgutes beeinflusst

Die Beeinflussung der mechanisch- technologischen Eigenschaften ist von den Basizitätsgrad (B) nach „Boniczewski“ abhängig. Mit steigendem Basizitätsgrad steigt auch die Kerbschlagzähigkeit des Schweißgutes. Unterschieden wir es in:

- B<1                    sauer
- B=1                    neutral
- B>1                    basisch
- B>3                    hochbasisch

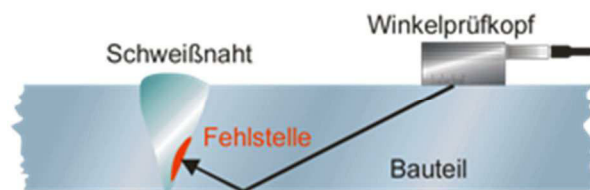
Bei Einlagenschweißungen ist die Zusammensetzung des Schweißgutes nahezu nur von dem Grundwerkstoff Abhängig. Grund dafür ist der hohe Aufschmelzgrad. Mit steigender Anzahl der Lagen wird sie immer mehr aus der Draht-Pulverkombination bestimmt.



## 2.4 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

### Ultraschallprüfung (UT)

Die Ultraschallprüfung ist sehr gut um flächige Ungängen wie Risse, Bindefehler usw. ausfindig zu machen, da diese gut reflektiert werden können. Poren beispielsweise sind schlechte Reflektoren und bringen daher nur einen sehr niedrigen Ausschlag. UT ergänzt sich sehr gut mit der Durchstrahlungsprüfung, da hier voluminöse Fehler gut zu erkennen sind. Die Funktionsweise dieses Verfahrens basiert auf der Ausbreitung einer Welle, hier die Schallwelle (Ultraschall). Der Schall geht durch das Bauteil und wird an Grenzfläche reflektiert. Hier ändert sich der Schallwiderstand, d.h. Änderung der Dichte und der Schallgeschwindigkeit. Dies wird als Echo bezeichnet. Ungängen wie Risse oder Bindefehler bewirken so eine Änderung des Schallwiderstandes. Eine glatte Oberfläche und genügend Platz um den Prüfkopf zu bewegen ist Voraussetzung für eine Prüfung. Der Schall wird bei der Prüfung mit einem bestimmten Winkel in das Werkstück eingeleitet (Abbildung 7).



**Abbildung 4: Schema UT**

Typische Winkel für die Prüfung liegen bei  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  und  $70^\circ$ . Beispielsweise ist bei einem Flankenwinkel von  $30^\circ$  ein Prüfkopf mit dem Einschallwinkel von  $60^\circ$  optimal um Bindefehler an den Flanken zu finden. Die Dopplungsprüfung wird parallel zum Bauteil durchgeführt ( $90^\circ$ ). Ein Ausschlag auf dem Bildschirm hängt von vielen Faktoren ab:

- Orientierung
- Geometrie
- Schallweg
- Größe

Eine genaue Beschreibung der Fehlergröße ist nicht aufgrund der Echohöhe mit der verwendeten Technik möglich. Daher vergleicht man die Höhe des Echos mit der Höhe des vorgeschriebenen Echohöhe. In der DIN EN 1712 ist dann festgelegt, um wie viel der vorgeschriebene Ausschlag überschritten werden darf.

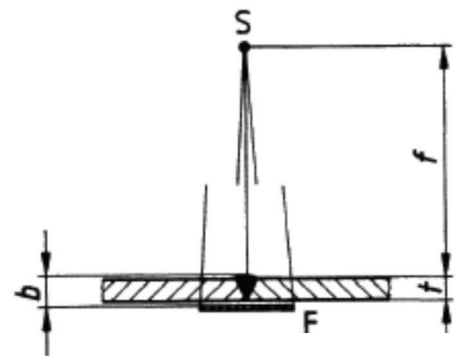
### Durchstrahlungsprüfung (RT)

Bei der Durchstrahlungsprüfung sind Ungängen die Voluminös sind gut erkennbar. Risse und Bindefehler sind nur gut erkennbar wenn dieser zu Durchstrahlungsrichtung Orientiert ist. Diese werden auf einen radiografischen Film (Röntgenfilm) abgebildet. Der Film wird über die gesamte Lebensdauer eines Objektes aufbewahrt.

Ungängen wie die eine geringere dichte (z.B. Poren) wie das zu Prüfende Werkstück haben werden dunkler angezeigt. Wenn die Dichte der Ungängen höher ist (z.B. Wolframeinschlüsse) werden diese heller angezeigt. Dies liegt daran das die Röntgenstrahlung unterschiedlich gut das Material Durchdringen kann und so die Intensität der Strahlung unterschiedlich stark ist. In Regelwerken kann dann verglichen werden ob diese Ungängen im zulässigen Bereich liegen oder nicht. Für die Durchführung der Prüfung müssen Verschiedene Kriterien erfüllt werden:

- Bauteil muss auf beiden Seiten zugänglich sein
- Ein ausreichender Abstand zwischen Bauteil und Strahlenquelle muss gegeben sein
- Maximaltemperatur ist auf 70°C begrenzt
- Ein gewisser Bereich muss von Personen freigehalten werden

Ein Schematischer Aufbau einer Durchstrahlungsprüfung von einer Schweißnaht in einem Blech ist in der Abbildung 8 Dargestellt. Die Prüfung von Stumpfnähten ist, bedingt durch die Geometrie, besser geeignet als die von Kehlnähten. Bei Kehlnähten müssen unterschiedlich Wanddicken Durchstrahlt werden und dadurch Schwankt die Schwärzung auf dem Film sehr stark. Dies führt zu einer schlechten Darstellung der Ungängen und können somit nur schwer gefunden werden. Für den Qualitativen Nachweis der des Belichteten Filmes werden Bildgüteprüfkörper verwendet. Diese Bestehen aus Drähten in Verschiedenen Dicken, welche in Folie eingeschweißt sind. Während der Prüfung wird der Bildgüteprüfkörper mit Durchstrahlt und ist auf dem Röntgenfilm zu sehen. Durch auszählen der Drähte wird dann ermittelt ob der Röntgenfilm den Qualitätsanforderungen entspricht oder ob die Prüfung wiederholt werden muss.



**Abbildung5: Schema RT**

## 3 Gründe für die Einführung

Das I-Naht schweißen soll eingeführt werden, damit das Fügen von Stumpfstößen bis 16 mm weniger Zeit und Aufwand benötigt. Dies ist wichtig damit die Produktion schneller und kostengünstiger erfolgen kann und somit die Firmen Konkurrenzfähigkeit gesichert wird.

### 3.1 Zeitliche Ersparnis

Die Zeitliche Ersparnis die man durch das UP-Schweißen von I-Nähten hat ist immens. Die Nähte müssen nicht mehr vorbereitet werden. So fällt die Zeit, welche für das anfasen der Bleche notwendig ist, komplett weg.

Es werden in dieser Betrachtung Bleche mit einer Stärke von 16 mm berücksichtigt. Gewählt wurde diese Stärke, da auch die Verfahrensprüfung mit derselben Stärke durchgeführt wird.

Zum I-Naht schweißen werden nur zwei Lagen benötigt. Schweißt man Bleche von 16 mm Dicke mit einer V- Naht, wäre die Anzahl für die benötigten Lagen höher. Es würden Neben der Wurzel eine Deck- und eine Fülllage hinzukommen, sowie eine Gegenlage nach dem Ausfügen. Insgesamt wären es somit 4 Lagen die für diese Schweißung notwendig wären. Folglich werden mit I-Nähten nur die Hälfte der Lagen benötigt. Dadurch kann Zeit eingespart werden.

In Tabelle 1 werden die Zeiten gegenüber gestellt und miteinander Verglichen. Die in dieser Tabelle angegebenen Werte, sind Werte die für einen Meter Blech benötigt werden. So sind Schweiß- und Brennzeiten pro Meter gerechnet. Die Brennzeiten sind hier nicht für den Zuschnitt, sondern für das anfasen der Nahtgeometrie. Das Brennen des Bleches auf Maß, sowie das Wenden des Bleches ist unabhängig von der Nahtgeometrie immer gleich und wird deshalb nicht mit berücksichtigt. Rüst- und Wendezeiten sind immer Absolut und werden als Tatsächlich erforderliche Zeit angegeben.

Parameter / Nahtgeometrie	V - Naht	I - Naht	Ersparte Zeit
<b>Brennzeiten für die Nahtvorbereitung</b>			
<b>Rüstzeit</b>	8 min	Entfällt	8 min
<b>Brennzeit</b>	4 min	Entfällt	4 min
<b>Abrüstzeit</b>	8 min	Entfällt	8 min
<b>Schweiß- und Bearbeitungszeiten</b>			
<b>Wurzelschweißung</b>	5 min	Entfällt	5
<b>Schweißen der Füll-, Decklage</b>	3 mal 5 min	5	10
<b>Ausfugen</b>	7 min	Entfällt	7
<b>Gegenlage Schweißen</b>	4,5 min	5	0,5
<b>Gesamtzeit</b>	<b>51,5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>41,5 min</b>

Tabelle 1: Vergleich der Zeiten

Durch den Entfall von sehr vielen zusätzlichen Schritten ist zu sehen, dass eine Ersparnis von über 40 min durch diese Technologie möglich ist. Durch diesen ausfallen wird sehr viel Zeit gespart und es kann somit Effizienter eine Naht vorbereitet und geschweißt werden.

## 3.2 Wirtschaftlichkeit

Neben der Zeiteinsparung sind auch Einsparungen von Zusatzwerkstoffen bzw. Elektroden möglich. So wird weniger Zusatzwerkstoff durch das Einsparen von Lagen gebraucht. Auch das Ausfugen der Wurzel entfällt hier, wodurch der Bedarf an Kohleelektroden wegfällt.

Für diesen Berechnungsansatz fließen nur die Zeiten ein. Andere Faktoren wie zusätzlicher Zusatzwerkstoff (Draht, Pulver), Kohleelektroden (3 Stück pro Meter) werden nicht mit in Betracht gezogen.

Die Kosten für eine Stunde Arbeit werden mit 35 Euro angesetzt. Da bei einer I-Naht gewisse Zeiten wegfallen (siehe Tabelle 1) können viele Kosten für die ersparte Zeit eingespart werden. Die Zeit, welche man auf einen Meter einspart beläuft sich auf 41,5 min. Multipliziert man diese Zeit mit den Kosten die pro Stunde veranschlagt werden, kommt man auf eine Einsparung von 24,15 € (siehe Formel 1.1). Diese Kosten spart man pro Meter geschweißter Naht ein.

$$t \times K_{\text{pro Stunde}} = K_{\text{pro Meter}} \quad [1.1]$$

$$0,69 \frac{h}{m} \times 35 \frac{\text{€}}{h} = 24,15 \frac{\text{€}}{m}$$

K... Kosten

t... Eingesparte Zeit

## 4 Durchführung der Versuche

Die Versuche werden alle an einem UP Schweiß Portal vorgenommen (siehe Abbildung 6).



**Abbildung 6: UP - Portal**

Es werden immer Bleche mit den Maßen 290 x 14 x 2500 verwendet, welche in verschiedene Abschnitte unterteilt werden. Die Länge der Abschnitte beträgt immer 400 mm. Sowie eine 100 mm Anlauf- und Auslaufstrecke, welche anstatt Endkrater verwendet wurden.

Die Parameter welche für die Durchführung der Versuche gewählt wurden, werden in einer Tabelle angegeben. Wobei die Werte aus den Maschinenwerten abgelesen wurden. Das Erstellen der WPS wird auch mit den Maschinenwerten geschrieben.

## 4.1 Versuchsaufbau / -ablauf

Der Aufbau der Versuche erfolgt mit zwei Blechen gleicher Stärke, welche direkt aneinander gelegt wurden, so dass ein Luftspalt kleiner 1mm zwischen ihnen ist. Die Blechdicke beträgt 14 mm. Sie werden durch das MAG schweißen miteinander geheftet um eine Sichere Positionierung der Bleche zu gewährleisten. Dies ist in Abbildung 7 zu sehen.



**Abbildung 7: Vorbereitung der Schweißproben**

Die Heften wurden mit Kreide markiert, um später ihre Lage bestimmen zu können. Um so eindeutig bestimmen zu können, wie sehr sie die Qualität der Schweißung beeinträchtigen. Die Ausrichtung erfolgte über das Vermessen des Stoßes, auf beiden Seiten.

### 4.1.1 Versuch 1

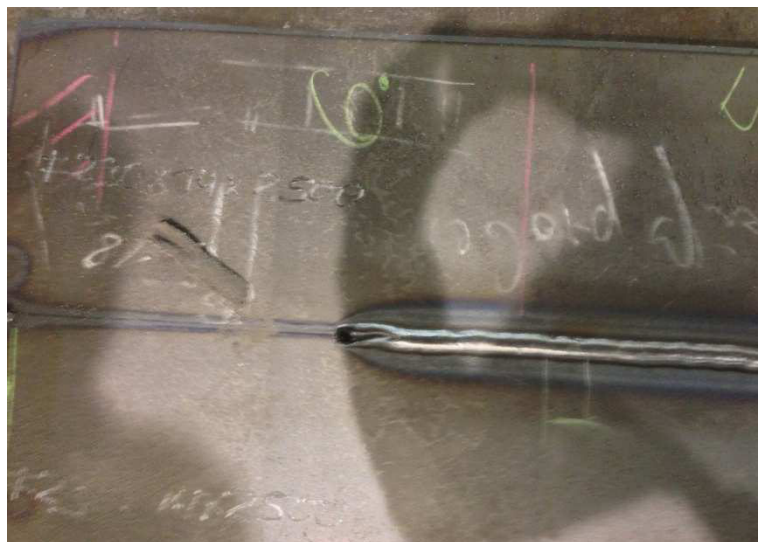
Mit dem ersten Versuch wird nur eine einseitige I-Naht geschweißt. Dabei sollen erste Erkenntnisse zu Einbrandtiefe, Nahtgeometrie, Nahtbreite und Nahtüberhöhung gewonnen werden. Um der Winkelschrumpfung bei einseitigem Schweißen entgegen zu wirken, wird auf der Gegenseite eine durchgehende MAG – Naht geschweißt. Die Eigenspannung soll hier noch außen vor gelassen werden. Sie wird erst mit in Betracht

gezogen wenn die I-Naht von beiden Seiten geschweißt wird. Der Versuch beginnt mit einer Niedrigen Stromstärke, welcher im Laufe der Abschnitte stetig ansteigt. Wo hingegen die Spannung sich von Abschnitt zu Abschnitt immer ändert. Die Schweißgeschwindigkeit soll hier immer gleich bleiben (Tabelle 2).

Parameter / Abschnitt	1	2	3	4	5	6
<b>Stromstärke (A)</b>	580	630	670	730	780	< 780 durgefallen
<b>Spannung (V)</b>	30	28	27,7	27,5	28	durchgefallen
<b>Einbrand (mm)</b>	7	8	8,5	9,5	11	
<b>Geschwindigkeit (cm/min)</b>	28					

**Tabelle 2: Versuchsparameter 1**

Die Schweißung verlief bis zu dem 6. Abschnitt ohne Probleme. Erst hier wurde die Stromstärke so hoch, so dass das Schweißbad durchgefallen ist. Die maximal zulässige Stromstärke war bei 780 A gemessen. Erst nach Überschreitung dieser Stromstärke viel das Schweißbad durch, was in Abbildung 8 zu sehen ist.



**Abbildung 8: Durchfall des Schweißbades**

Eine zu große Nahtüberhöhung war auf Grund nicht richtig abgestimmter Schweißparameter gleich nach dem Entfernen der Schlacke zu sehen.



### 4.1.2 Versuch 2

Bei Versuch 2 sollte eine beidseitig geschweißte I-Naht ausgeführt werden. Als erste Naht wurde von der Seite ohne Hefter geschweißt. Die Hefter wurden beschliffen nachdem sie angebracht wurden. Aus diesem Grund wurden im Versuch 2 die Hefter in der Auswertung nicht berücksichtigt. Hier wurden auch 6 Versuchsabschnitte gewählt. Diese wurden bei der 2. Naht jedoch in 5 Abschnitte gekürzt. Es wurden alle Parameter geändert und somit versucht, dass die Nahtüberhöhung aus dem Versuch 1 im Toleranzbereich liegt.

Auch hier wurden wieder keine Endkraterbleche verwendet sondern wieder Anlauf- sowie Auslaufstrecken mit einer Länge von 100 mm. Die Parameter wurden nur geringfügig geändert. Hier war nicht die Aussage wichtig wie tief der Einbrand war sondern, wie die Parameter einzustellen sind damit die Nahtüberhöhung nicht zu stark ist. Deshalb wurden die Parameter nicht stetig erhöht oder gesenkt, sondern alternierend geändert. Weiterhin wurden alle Parameter geändert, was in der Tabelle 3 zu sehen ist. Wobei wieder der 1. Wert bei der 1. Naht verwendet wurde.

Parameter / Abschnitt	1		2		3		4		5		6
	Naht 1	Naht 2	Naht 1	Naht 2	Naht 1	Naht 2	Naht 1	Naht 2	Naht 1	Naht 2	Naht 1
<b>Stromstärke (A)</b>	600	600	640	600	690	600	580	560	580	560	550
<b>Spannung (V)</b>	30	27,8	30	28,6	31,8	30,8	32,5	30,3	30,6	31,1	29
<b>Geschwindigkeit (cm/min)</b>	31	27	32	27	35	26	37	26	40	30	42

**Tabelle 3: Versuchsparameter 2**

Es wurde diesmal beide Seiten UP geschweißt. Hier sollten die Bedingungen für eine erfolgreiche I-Naht so gut wie möglich sein. Das Aussehen der Naht wurde

während des gesamten Schweißvorganges überwacht. So konnte gleich reagiert werden und das Nahtaussehen verbessert werden. War die Naht zu sehr überhöht wurde die Spannung erhöht und / oder die Geschwindigkeit verringert. Die Stromstärke wurde dabei

auf die Parameter angepasst. Sie sollte jedoch nicht 550 A unterschreiten, da genügend Einbrand gewährleistet werden sollte.

### 4.1.3 Versuch 3

Mit dem 3. Versuch, sollten die Werte die bei der Auswertung des 2. Versuches als günstig angesehen wurden bestätigt werden. Hauptkriterium ist dabei ein ausreichender Einbrand und ein normgerechtes äußeres Nahtbild (Breite zu Höhe). Der Aufbau erfolgte analog zu den vorherigen Versuchen. So wurden die MAG Hefter auch wieder beschliffen.

Die Parameter wurden bei der Schweißung der 1. Naht nicht geändert da die Überhöhung im Toleranzbereich lag. Bei der 2. Naht wurden sie geändert. Es ist am Anfang zu sehen dass die Naht zu weit Überhöht ist. Die Stromstärke und die Geschwindigkeit wurden reduziert, damit die Naht breiter verlaufen konnte. Weiterhin wurde die Spannung leicht erhöht was ebenfalls zu einer breiteren und flacheren Naht führt. In der Tabelle 4 sind die gewählten Parameter dieses Versuches zu sehen.

Parameter / Abschnitt	Naht 1	Naht 2; 1	Naht 2; 2
<b>Stromstärke (A)</b>	600	690	620
<b>Spannung (V)</b>	30,8	31,8	32
<b>Geschwindigkeit (cm/min)</b>	26	30	28

Tabelle 4: Versuchsparameter 3

## 5 Auswertung der Versuche

Aus den geschweißten Versuchen werden je Abschnitt immer ein bis zwei Teile herausgebrannt. Anzahl der zu entfernenden Teile pro Abschnitt ist abhängig ob geheftet wurde oder nicht. Wenn in diesem Abschnitt geheftet wurde, wurden zwei Teile ausgebrannt. Die Rausgebrannten Teile werden geschliffen und auf ihren Einbrand, der Bindung an den Flanken, die Überhöhung der Schweißnaht sowie auf Ungängen geprüft.

### 5.1 Versuch 1

#### Sichtprüfung

Nach dem Schweißen wurden die Proben in drei Schritten beschliffen. Dies ist nötig um die Proben mit einer Adlerlösung zu benetzen. Erst nach dem Ätzen kann man den Einbrand der UP Naht messen und Beurteilen. Der erste Schliff war der Grobschliff und erfolgte an einem Bandschleifer mit einer sechziger Körnung. Hier wurde die Schlacke und die tiefen Rillen von dem Brennen entfernt, so dass nur noch das Blanke Metall zu sehen war. Als nächstes wurden die Proben mit dem Tellerschleifer fertig bearbeitet. Hier wurde um die Groben Rillen des Bandschleifers mit einer Schleifscheibe, mit achtziger Körnung, geglättet. Der letzte Schritt vor dem Ätzen war das Feinschleifen bis die Fläche Glänzend Glatt war. Hier wurde eine Schleifscheibe verwendet, welche eine vierhunderter Körnung besitzt. Erst jetzt konnte

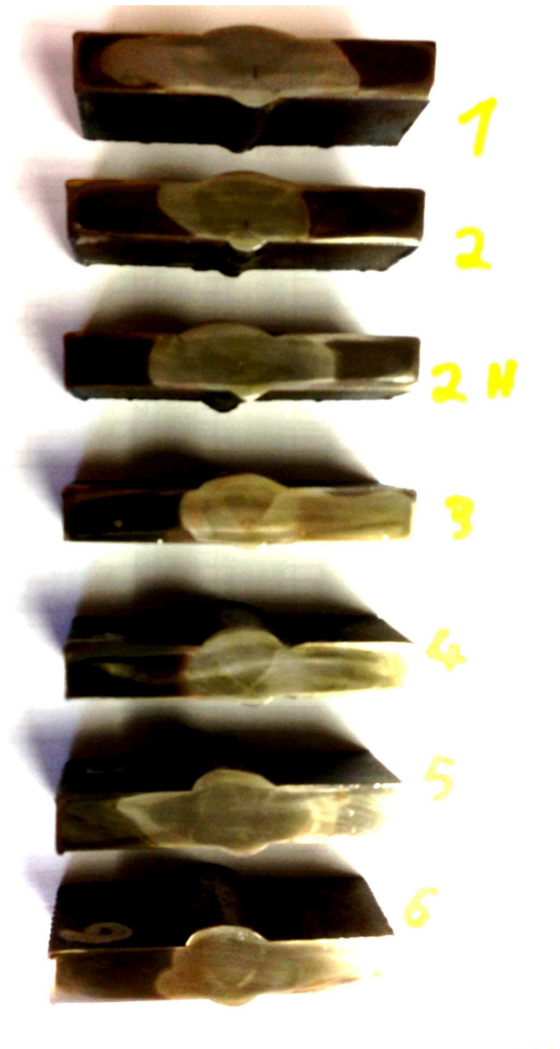


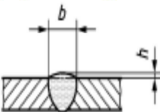
Abbildung 9: Proben

Geätzt werden. Die glatte Oberfläche ist nötig, damit die Adlerlösung die einzelnen Lagen richtig zum Vorschein bringt. Ist die Ätzung gelungen, wurde es mit Klarlack versiegelt.

Die einzelnen Versuchsproben sind in der Abbildung 9 zu sehen. Es ist zu beobachten, dass der Einbrand von Abschnitt zu Abschnitt immer tiefer in die Bleche hineingeht.

Weiterhin ist zu sehen, dass das Schweißgut ohne Fehler an die Flanken gebunden hat und das auch bei dem maximalen Einbrand. Gemessen wurde der Einbrand mit einem Bandmaß und erfolgte von der Oberseite des Bleches bis zum Tiefsten Punkt der Schweißnaht. Des Weiteren ist zu sehen, dass die Naht frei von Fehlern ist. Die Genauen Parameter welche für die einzelnen Abschnitte Angewendet wurden sind im Anhang Teil 1 zu sehen.

Für die Beurteilung der Nahtüberhöhung aus der DIN EN 5817 (Ordnungsnummer 502) wurde die Bewertungsgruppe B festgelegt. In der Abbildung 10 ist ein Ausschnitt dieser Norm zu sehen.

Unregelmäßigkeit Benennung	Bemerkungen	t mm	Grenzwerte für Unregelmäßigkeiten bei Bewertungsgruppen		
			D	C	B
Zu große Nahtüberhöhung (Stumpnaht)	Weicher Übergang wird verlangt. 	$\geq 0,5$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$ , aber max. 10 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$ , aber max. 7 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$ , aber max. 5 mm

**Abbildung 10: Nahtüberhöhung**

Die Nahtbreite (b) wurden an den Proben mit 19 mm und die Nahtüberhöhung (h) mit 5mm ausgemessen. Daraus ergibt sich das h nicht größer als 2,9 mm sein dürfte. Nach DIN EN ISO 5817 ergibt sich für h ein Sollwert  $\leq 2,9$  mm. Damit ist die Nahthöhe von 5 mm zu groß.

### Zerstörungsfreies Prüfen

Das Zerstörungsfreie Prüfen wurde vor den Schliffen gemacht. Hierfür wurde die Durchstrahlungsprüfung mittels Röntgenröhre an dem Versuchsstück durchgeführt. Die Ergebnisse waren wie erwartet. Die Proben waren bis zu dem maximalen Einbrand ohne Befund von Fehlern.

Zur Bestätigung des RT - Befundes wurde die Ultraschallprüfung verwendet. Sie wurde nicht an den Einzelnen Proben sondern wurde auch an dem Blech angewandt. Auch hier wurde kein Ausschlag im Schweißgut angezeigt.

## **5.2 Versuch 2**

### Sichtprüfung

Auch in den 2. Versuch erfolgte die Sichtprüfung wie in den vorherigen. Die Proben wurden wieder geschliffen sowie geätzt. Nach dem Atzen wurden die Proben wieder mit Klarlack versiegelt. Hier war gut zu sehen, dass die beidseitige Schweißung durchgängig genug Einbrand hatte, damit die jeweils gegenüberliegende Lage erfasst wurde. Gemessen konnte der Einbrand nicht werden, da sich die Lagen überschlagen.

Das Ziel die Überhöhung der Schweißnaht in den Toleranzbereich zu bekommen ist nur bedingt gelungen. Die Bereiche 1,2 und 4 haben eine zu hohe Nahtüberhöhung. Die Bereiche 3 und 5 liegen in der Toleranz der DIN EN ISO 5817 mit der Ordnungsnummer 502. Hier wurde die Überhöhung im Abschnitt 3 mit max. 3,4 mm gemessen. Die breite der Schweißnaht sind 2,4 mm. Es ergibt sich daraus das die max. zulässige Höhe 3,4 mm sein darf. Somit ist die Überhöhung noch in der zulässigen Toleranz. Ähnlich ist es in dem 5. Abschnitt.

### Zerstörungsfreies Prüfen

In diesen Versuch wurde vor dem Herausbrennen das gesamte Probestück mit Ultraschall sowie auch mittels Durchstrahlung geprüft. Die Ultraschallprüfung brachte mehrere Ausschläge am Anfang der Probe. Dies waren jedoch nur Scheinanzeigen. Die Untersuchung ergab, dass dies die Reflektion des Einbrandes war.

Das Röntgen bestätigte das, was man nach dem Ausschleifen der Proben gesehen hat. In der Abbildung 11 ist zu erkennen, dass weder Bindefehler, Risse oder andere Fehler in diesem Versuch vorhanden sind.



Abbildung 11: Röntgenbild Versuch 2

## 5.3 Versuch 3

### Sichtprüfung

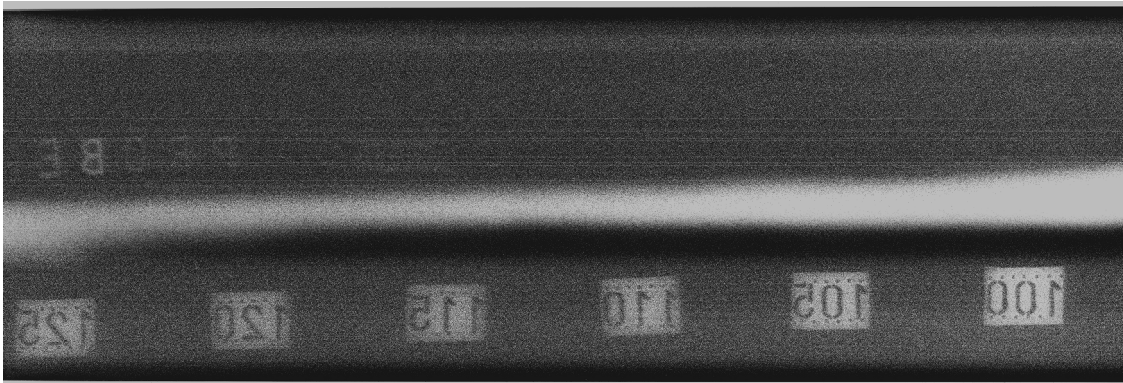
In diesem Versuch wurde der Hauptbestandteil der Überprüfung auf die Überhöhung der Schweißnaht gelegt. Nach dem Messen der Naht wurde festgestellt, dass die gesamte Naht ausreichend flach bzw. breit ist. Weiterhin konnte ein Porennest an der Auslaufstrecke festgestellt werden. Dies fließt nicht mit in die Bewertung ein, da in der späteren Fertigung Endkrater verwendet werden wodurch dieser Bereich entfällt.

### Zerstörungsfreie Prüfung

Mittels Ultraschallprüfung wurden wieder mehrere Scheinanzeigen angezeigt. Diese Scheinanzeigen zogen sich über die gesamte Naht. Die Tiefe war immer bei etwa 12 – 13 mm, am gleichen Rand der Naht. Das Bauteil noch einmal zur Überprüfung dieser

Anzeigen gewendet und von der gegenüberliegenden Seite geprüft. Diese Anzeigen waren wieder 12 -13 mm in der Tiefe des gleichen Randes. Die anzeigen der ersten Prüfung waren jedoch nicht mehr zu finden. Dies waren jedoch nur Scheinanzeigen, welche den Einbrand anzeigten.

Durch die Röntgenprüfung wurde letztlich auch nachgewiesen, dass diese Anzeigen nur ein Trugschluss waren. In der Abbildung 12 ist ein Abschnitt des Röntgenfilmes zu sehen. Es ist zu erkennen dass er ohne Befund ist. Dies war auch in den Übrigen Filmen zu sehen.



**Abbildung 12: Röntgenbild Versuch 3**

In diesem Abschnitt waren die meisten Anzeigen der Ultraschallprüfung. Es konnten auch hier keine Fehler festgestellt werden. Weder sind Fehler auf dem Bild zu sehen noch konnten welche bei der Auswertung gefunden werden.

## 6 Einführung in die Fertigung

Damit diese Technologie auch in der Fertigung angewendet werden kann, muss sie einer Verfahrensprüfung unterzogen werden. In der Verfahrensprüfung durchgeführten Versuche und Untersuchungen beziehen sich auch die DIN EN ISO 15614-1.

### 6.1 Schweißung der Verfahrensprüfung

Für die Verfahrensprüfung wurde der gleiche Ablauf wie die vorherigen drei Versuche gewählt. Es wurde zuerst das Blech ausgerichtet und anschließend geheftet. Im nächsten Schritt wurde dieses gewendet und die Seite gegenüber den Heftern mit der ersten Lage geschweißt. Nach der ersten Lage wurde das Blech wieder gewendet und die Gegenlage über die Hefter geschweißt.

Der Unterschied war die Stärke des Bleches. Es wurde ein Blech mit einer Stärke von 16 mm für die Verfahrensprüfung geschweißt. Ein dickeres Blech wurde wegen der Abdeckung des Geltungsbereiches gewählt (6.1.3). Die Parameter sind dabei ähnlich wie in dem 3. Versuch. In Tabelle 5 sind diese Werte angegeben.

<b>Parameter / Abschnitt</b>	<b>Naht 1</b>	<b>Naht 2</b>
<b>Stromstärke (A)</b>	600	650
<b>Spannung (V)</b>	30,8	32
<b>Geschwindigkeit (cm/min)</b>	26	27

Tabelle 5: Schweißparameter Verfahrensprüfung



Die hierfür verwendete und in das Prüflabor geschickte pWPS ist in der Abbildung 13 zu sehen.

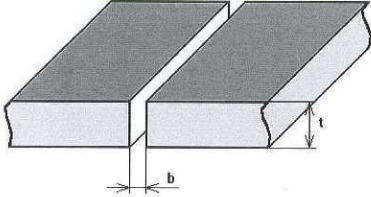
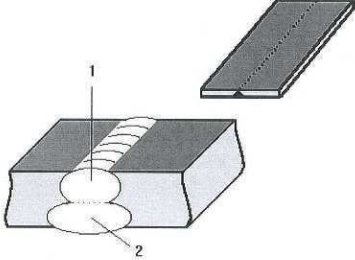

Stahl- und Brückenbau Niesky GmbH					Stahl- und Brückenbau Niesky				
02906 Niesky					Schweißanweisung (pWPS)				
Nahtform: Stumpfnah (BW)		Schweißverfahren des Herstellers: UP			Rev.: Erzeugnis:		WPS-Nr.: 0466		
Naht-Nr.: I-Naht (beidseitig)		Beleg-Nr.: ISO 15609-1 121 P/P BW 1.2 t16 PA			SGK/CP: Projekt-Nr.:		Zeichn.-Nr.:		
Ort: Niesky		Hersteller: Stahl- und Brückenbau Niesky			Prüfer oder Prüfstelle: Stahl- und Brückenbau Nie		Art der Vorbereitung und Reinigung: gestrahlt		
Schweißprozess: 121		WPQR-Nr.:			Grundwerkstoff(e): S355J2+N		1.0577		
Nahtart: BW P-Blech, T-Rohr: P/P		Schweißposition: PA			Werkstückdicke t [mm]: 16 / 16		Außendurchmesser D [mm]:		
Einzelheiten der Fugenformvorbereitung (Skizze *) : I-Naht beidseitig (b=< 1 mm)		Werkstückdicke t [mm]: 16 / 16			Außendurchmesser D [mm]:		Schweißposition: PA		
Gestaltung der Verbindung					Schweißfolge				
									
Einzelheiten für das Schweißen:									
Schweißraupe	Prozess	Zusatz-Durchm. [mm]	Stromstärke [A]	Spannung [V]	Stromart/Polung	Drahtvorschub [m/min]	Vorschubgeschwindigkeit <sup>1)</sup> [cm/min]	Wärmeeinbringung <sup>1)</sup> [kJoule/cm]	
			± 5%	± 5%			± 5%	± 5%	
1	121	4,00	600	31	DC+	--	26	42,92	
2	121	4,00	650	32	DC+	--	27	46,22	
Zusatzwerkstoffbezeichn.: S2 (DIN EN 14171)					OE-S2 (OERLIKON)		52.098.08		
Schweißzusatz: S SA FB 1 65 AC H5 (760)					OP 122 (OERLIKON)		51.098.11		
Sondervorschriften für Trocknung:					Weitere Informationen <sup>1)</sup>				
Schutzgas/Schweißpulverbezeichnung					z.B.: Pendeln (max. Raupenbreite): -				
- Schutzgas: -					(Amplit., Frequ., Verweilzeit): - - -				
- Wurzelschutz: -					Einzelheiten für das Pulsschweißen: -				
Gasdurchflussmenge [l/min]					Stromkontaktrahabstand [mm]: -				
- Schutzgas: -					Einzelheiten für das Plasmaschweißen: -				
- Wurzelschutz: -					Brenneranstellwinkel [Grad]: -				
Wolframelektrodenart/Durchmesser: - -					1) s. Schweißplan				
Einzelheiten über Ausfugen/Badsicherung: mit					2) <= 250°C				
Vorwärmtemperatur: 1) RT					(Qualifizierung der WPS nach DIN 15614)				
Zwischenlagtemperatur: 2)									
Wasserstoffarmglühen:									
Haltetemperatur:									
Wärmenachbehandlung: -									
Zeit, Temperatur, Verfahren: - - -									
Aufheiz- und Abkühlungsrate <sup>1)</sup> : - - -									
Hersteller					Prüfer oder Prüfstelle				
									
Dipl.-Ing.(FH) B. Meusel, 18.03.2013									
Name, Datum und Unterschrift					Name, Datum und Unterschrift				

Abbildung 13: pWPS Verfahrensprüfung

Der Verwendete Zusatzwerkstoff ist der gleiche wie in den Versuchen vorher. Die Drahtelektrode hat die Firmenbezeichnung „OE-S2“ und das Verwendete Pulver die Bezeichnung „OP122“. Beides ist von dem Unternehmen „Oerlikon“. Die Zulassungszertifikate für den Zusatzwerkstoff sind in dem Anhang Teil 1 zu finden.

Die Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung wurde durchgeführt, diese waren ohne Befund. Es wurde die Metallpulver-, Ultraschall- und Sichtprüfung angewandt. Dafür angefertigte Protokolle sind im Anhang Teil 2 zu finden.

## 6.2 Ablauf der Verfahrensprüfung

Zur Durchführung der Verfahrensprüfung wird das extra geschweißte Probestück in ein Prüflabor geschickt. In Abbildung 14 sind die Punkte dargestellt die bei der Verfahrensprüfung untersucht werden müssen.

Prüfstück	Prüfart	Prüfumfang
Stumpfstoß mit voller Durchschweißung – Bild 1 und Bild 2	Sichtprüfung	100 %
	Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung	100 %
	Oberflächenrissprüfung	100 %
	Querzugprüfung	2 Proben
	Querbiegeprüfung	4 Proben
	Kerbschlagbiegeprüfung	2 Sätze
	Härteprüfung	erforderlich
	Makroschliff-Untersuchung	1 Probe

**Abbildung 14: Untersuchungen der Verfahrensprüfung**

Die Durchführung der Zerstörungsfreien Prüfung wird von den Prüfern des „Stahl- und Brückenbau Niesky“ vollzogen.

Position und Verwendung der Versuchsproben

Für die Durchführung der Verfahrensprüfung wurde ein extra Probestück aus einem S355J2+N Stahl geschweißt. Aus dieser Probe wurde ein Stück mit den Maßen 1500x300x16 ausgebrannt welches zur Beprobung in ein Prüflabor geschickt wurde. Nach der DIN EN ISO 15614-1 müssen einzelne Teile aus der Eingeschickten Probe herausgetrennt werden um verschiedene zerstörende Prüfungen durchführen zu können. Die Lage der einzelnen sowie die dafür geforderte Prüfung sind in der Abbildung 15 zu sehen.

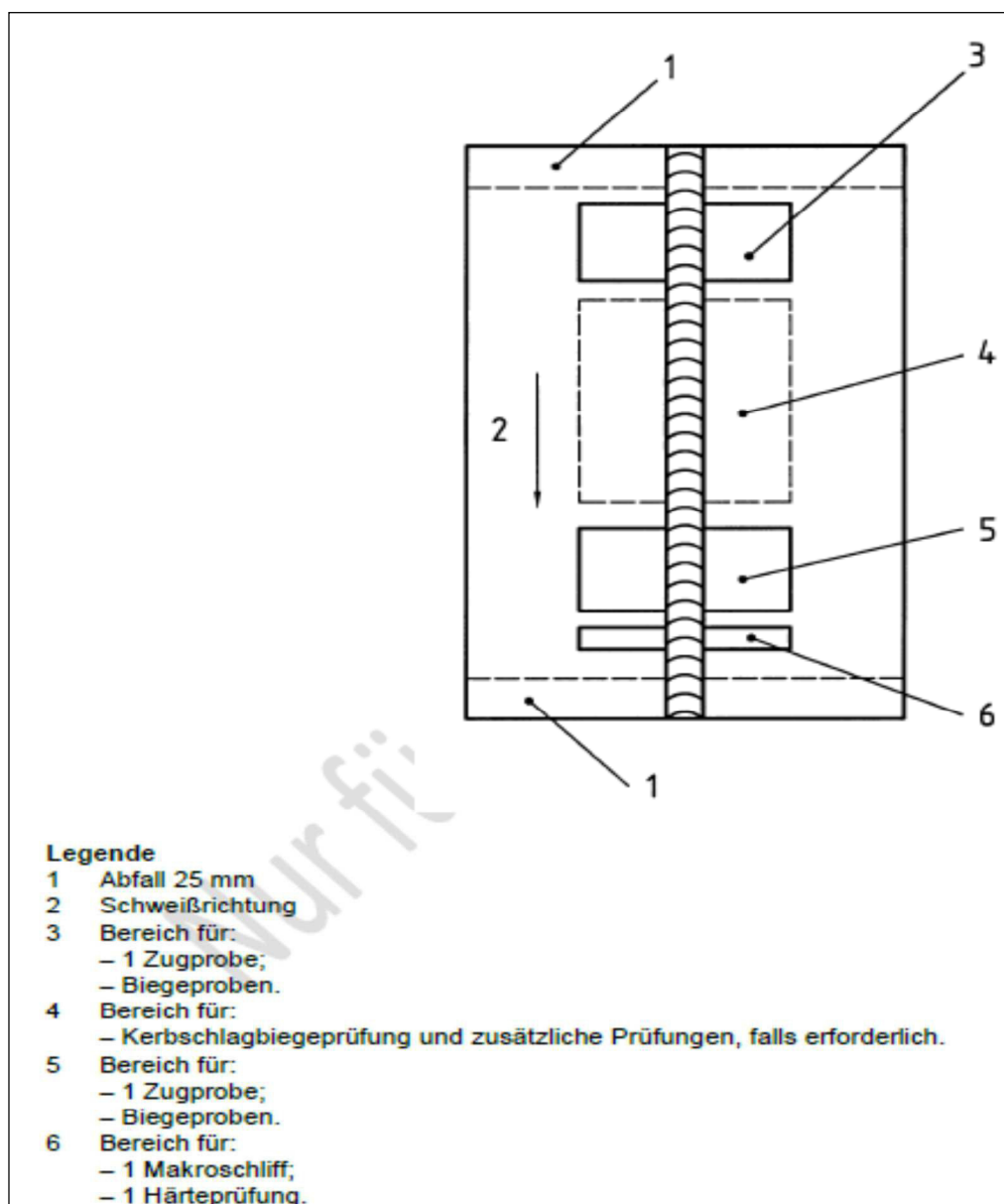


Abbildung 15: Lage und Verwendung der Proben

### **6.2.1 Zerstörungsfreie Prüfung**

Die Zerstörungsfreie Prüfung muss nach den Kriterien in der Abbildung 14 vor der Aufteilung der Proben vorgenommen werden. Weiterhin muss es den Anforderungen aus der DIN EN ISO 5817 genügen. Die Durchführung dieser Prüfung richtet sich nach den Vorschriften der Einzelnen Verfahren.

- Sichtprüfung (DIN EN 970)
- Ultraschallprüfung (DIN EN 1714)
- Magnetpulverprüfung (DIN EN 1290)

### **6.2.2 Zerstörende Prüfung**

Die Verteilung der einzelnen Zerstörenden Prüfungen muss nach der Abbildung 15 vorgenommen werden. Der Prüfumfang richtet sich nach der Abbildung 14. Für die Proben sowie die Durchführung der Zerstörenden Prüfungen, sind wieder die für das verwendete Verfahren Notwendigen Normen zu benutzen.

#### Querzugprüfung (DIN EN 895)

Es ist hier darauf zu achten, dass die Zugfestigkeit nicht geringer ist als die Mindestzugfestigkeit des Grundwerkstoffes.

#### Biegeprüfung (DIN EN 910)

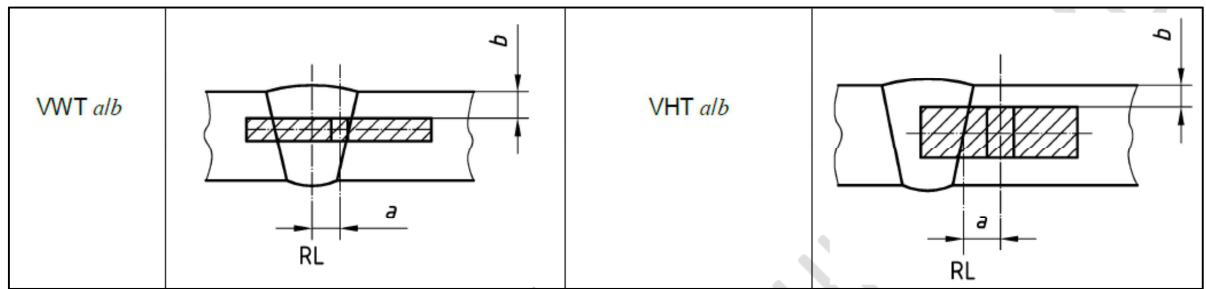
Die Durchführung der Biegeprüfung erfolgt an zwei wurzel- und zwei oberseitigen Querbiegeproben.

Der Verwendete Biegedorn bzw. die innere Biegerolle muss 4 mal die Blechdicke bei einem Biegewinkel von 180° ergeben. In diesem Fall wäre der Durchmesser des Biegedornes 64 mm. Bei der Prüfung sind einzelne Fehler größer 3 mm (Poren, Einschlüsse, Bindefehler usw.), der Proben, in einer Richtung unzulässig. Jedoch sind Fehler der Probenkanten nicht zu berücksichtigen.

### Kerbschlagbiegeprüfung (DIN EN 875)

Die Kerbschlagbiegeprüfung wird in 2 Positionen mit je 3 Proben durchgeführt. Hier werden einmal das Schweißgut und die Wärmeeinbringungszone geprüft. Im Schweißgut wird der Probentyp VWT und in der Wärmeeinflusszone der Probentyp VHT benutzt. Die genaue Lage der Kerben ist in der DIN EN ISO 9016 festgelegt. Ein Ausschnitt aus dieser Norm ist in Abbildung 16 zu sehen. Bei der WEZ muss die Kerbe 1 – 2 mm von der Schmelzlinie entfernt liegen. Im Schweißgut muss die Kerbe auf der Schweißnahtmitte liegen. Die Charpy-V-Kerbe darf maximal 2 mm unterhalb der Oberfläche und quer zur Schweißnaht liegen.

Die Kerbschlagarbeit muss mit der des Grundwerkstoffes übereinstimmen.



**Abbildung 16: Lage der Kerben**

### Härteprüfung (DIN EN 1043-1)

Die Härteprüfung erfolgt nach Vickers und muss eine minimale Kraft von 10 HV aufweisen. Damit eine Bewertung des Schweißbereiches durchzuführen ist müssen die Härtewerte aus dem Grundwerkstoff, der Schweißnaht sowie der Wärmeeinflusszone genommen werden. Es sind zwei Eindruck Reihen bis zu einer Tiefe von 2 mm unterhalb der Oberfläche durchzuführen.

### **6.2.3 Geltungsbereich**

Der Geltungsbereich wird bezogen auf den Hersteller nach der pWPS qualifiziert, welche im Abschnitt 6.1.4 zu sehen ist. Diese pWPS ist gültig für die Durchführung mit gleichen technologischen und qualifiziert Überwachungen. Demzufolge ist dieses Verfahren nur für das UP – Schweißen anzuwenden.

Der Geltungsbereich für ein 16 mm starkes Blech liegt bei 0,5 t bis 2 t, wobei t die dicke des Bleches ist. Daher ist das I-Naht schweißen mit Blechen einer Stärke von 8 bis 32 mm im „Stahl- und Brückenbau Niesky GmbH“ qualifiziert und kann in diesem Dickenbereich durchgeführt werden. In der Praxis soll es jedoch nur bei Blechen von 12 bis 16 mm angewendet werden.

### **6.2.4 Bericht über die Qualifizierung eines Schweißverfahrens (WPQR)**

Dies ist ein Bericht über die Ergebnisse für die Beurteilung jedes einzelnen Prüfstückes. Aus einer WPQR können mehrere WPS abgeleitet werden. In einer WPQR muss jede Einzelheit einer WPS vorhanden sein, als auch die in den Abschnitt 6.2 vorhandene Prüfungen bestanden haben. Sind keine unannehmbaren Prüfergebnisse gefunden ist die WPQR das Ergebnis einer Schweißverfahrensprüfung am Werkstück. Ein Beispiel für eine WPQR ist in der DIN EN ISO 15614-1:2012-06, Anhang A zu finden.

## 7 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Versuche ausgewertet und Erörtert. Hauptsächlich wird darauf eingegangen wie gut das Schweißergebnis war. Leider konnte aus Zeitlichen Mangel das Ergebnis der Verfahrensprüfung noch nicht zur Verfügung gestellt werden. Die Auswertung der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung ergab ein zufriedenstellendes Ergebnis. Zu der Zerstörenden Werkstoffprüfung kann jedoch keine Aussage getroffen werden.

Um die I-Nahtschweißung richtig und qualitätsgerecht ausführen zu können, waren 3 Versuche nötig. Erst nach diesen drei Versuchen konnte eine Verfahrensprüfung mit realistischen Parametern geschweißt werden.

### 7.1 Kriterien für eine Erfolgreiche I-Naht Schweißung

Für die Schweißung einer I-Naht kommt es auf die richtige Abstimmung der Parameter zueinander an. Die Einstellung Einzelner Parameter brachte wenig Erfolg. Das größte Problem war, die Nahthöhe zur Nahtbreite in ein Verhältnis zu bringen, welches in der Toleranz liegt. Hierbei wurden auf drei Verschiedene Parameter berücksichtigt.

- **Strom:** Dieser Wert beeinträchtigte besonders die Tiefe des Einbrandes. Je höher der Strom ist desto tiefer wird auch der Einbrand. Auch das Abgeschmolzene Schweißgut steigt je höher die der Strom ist.
- **Spannung:** Mit diesem Wert wurde die Größe des Lichtbogens beeinflusst. Mit steigender Spannung wird der Lichtbogen breiter was sich auf die Breite der Schweißnaht niederlegt. Steigt die Spannung wird die Naht breiter.
- **Schweißgeschwindigkeit:** Durch diesen Parameter wird die Geschwindigkeit bestimmt mit der sich Schweißkopf nach vorn bewegt. Geregelt wird dabei, wie mit der Spannung, die Nahtbreite. Durch Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit wird die Naht höher und schmaler.

In der Verfahrensprüfung gewählten und aufeinander abgestimmten Parameter für die Naht 1 und die Naht 2 (Naht1 / Naht 2), brachte ein zufrieden stellendes Ergebnis. Leider konnte das Resultat der Verfahrensprüfung aus Zeitlichen Gründen nicht abgewartet werden.

- **Strom:** 600 A / 650 A
- **Spannung:** 30,8 V / 32 V
- **Schweißgeschwindigkeit:**  $26 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$  /  $27 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$

## 7.2 Ersparnisse von Zeit und Geld

Wie sich heraus gestellt hat ist die Einsparung von Zeit, welche man auf einen Meter spart sehr hoch. Die ersparte Zeit beläuft sich auf  $0,69 \frac{\text{h}}{\text{m}}$ . Dadurch das so viele Etappen die Zeit brauchen wegfallen ist es möglich Bleche schneller stumpf zu Stoßen. Mit der erhöhten Geschwindigkeit für die Fertigung können Aufträge schneller Abgeschlossen werden. Dies führt dazu, dass zusätzliche Kapazität geschaffen wird um einen neuen Auftrag anzunehmen.

Wo Zeit gespart wird, wird natürlich auch Geld gespart. Berechnet man die Zeit mit den Lohn der für die Fertigung berechnet wird kommt man auf eine Summe von 24,15 € die pro Meter (im Vergleich zu einer V-Naht) gespart werden. Durch diese Ersparnis kann man für künftige Aufträge günstigere Angebote machen, wodurch man Wettbewerbsfähig bleibt.



## Literatur

- SFI-2012      GSI - Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH: SFI-Aktuell 2012, Halle, 2012
- DIN EN ISO 5817      DIN EN ISO 5817:2012 Schweißen – Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) – Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten
- DIN EN ISO 15614-1      Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe  
verfügbar am Juni 2012
- Pro-beam 2013      pro-beam.com: Lexikon,  
<http://www.pro-beam.com/de/lexikon/I.htm>, verfügbar am 19.03.2013, 8.00 Uhr
- DIN EN 14610      Schweißen und verwandte Prozesse,  
verfügbar am Februar 2005
- DIN EN ISO 9016      Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen an Metallischen Werkstoffen,  
, verfügbar am Mai 2011

---

## Anlagen

Teil 1: Zulassungszertifikate Schweißzusätze..... A-I

Teil 2: Protokolle Zerstörungsfreie Prüfung..... A-III

# Anlagen, Teil 1: Zulassungszertifikate der Schweißzusätze



DB Systemtechnik  
Zertifizierungsstelle für Schweißzusätze  
32423 Minden

<b>Zulassungszertifikat für Schweißzusätze und Schweißhilfsstoffe</b>		
<b>Hersteller:</b> AIR LIQUIDE WELDING FRANCE, OERLIKON-Brand 13 Rue d'Epluches, Saint-ouen l' Aumône 95315 CERGY PONTOISE CEDEX FRANKREICH		
<b>Schweißzusatz:</b>	Schweißpulver	<b>DB-Zulassungs-Nr.:</b> 51.098.11
<b>Markenbezeichnung:</b>	OP 122	<b>Geltungsdauer:</b> 30.04.2014
<b>Normbezeichnung:</b>	DIN EN 760-S A FB 1 65 AC H5	
<b>Geltungsbereich aufgrund der nach VA 918 490 durchgeführten Eignungsprüfung:</b>		
Werkstoffgruppe nach CEN ISO/TR 15608 <sup>1)</sup>	UP-Draht-/Fülldrahtelektrode (Norm- oder Markenbezeichnung)	UP-Kombination (Normbezeichnung)
1.2	ISO 14171-A-S2	ISO 14171-A-S 38 2 FB S2
	ISO 14171-A-S3	ISO 14171-A-S 38 2 FB S3
	ISO 14171-A-S2 Mo	ISO 14171-A-S 42 2 FB S2Mo
	FLUXOCORD 35.25	ISO 14171-A-S 46 4 FB TZ
	FLUXOCORD 35.25.2D *) FLUXOCORD 35.25.3D *)	ISO 14171-A-S FB TZ
<b>Schweißprozess nach DIN EN ISO 4063:</b>	121	
<b>Schweißpositionen nach DIN EN ISO 6947:</b>	PA, PB	
<b>Stromart und Polung:</b>	= (+), -	
<b>Bemerkungen/Schweißbedingungen:</b>	*) In Kombination mit der Drahtelektrode OE-A 105 als Zusatzdraht	
<b>Minden, den 20.04.2011</b>		 (Dipl.-Ing. Böttcher - Leiter Zertifizierungsstelle)

<sup>1)</sup> Erläuterungen zu den mitgeltenden Werkstoffen sind der VA 918 490, Anhang 3 zu entnehmen.



DB Systemtechnik  
Zertifizierungsstelle für Schweißzusätze  
32423 Minden

**Zulassungszertifikat  
für  
Schweißzusätze und Schweißhilfsstoffe**

**Hersteller:** AIR LIQUIDE WELDING FRANCE, OERLIKON-Brand  
13 Rue d'Epluches, Saint-ouen l' Aumône  
95315 CERGY PONTOISE CEDEX  
FRANKREICH

<b>Schweißzusatz:</b>	UP-Drahtelektrode	<b>DB-Zulassungs-Nr.:</b>	52.098.08
<b>Markenbezeichnung:</b>	OE-S2	<b>Geltungsdauer:</b>	30.04.2014
<b>Normbezeichnung:</b>	DIN EN ISO 14171-A-S2		

**Geltungsbereich aufgrund der nach VA 918 490 durchgeführten Eignungsprüfung:**

<b>Werkstoffgruppe nach CEN ISO/TR 15608<sup>1)</sup>:</b>	Je nach Zulassungsumfang des Schweißpulvers
<b>Schweißprozess nach DIN EN ISO 4063:</b>	121
<b>Durchmesserbereich:</b>	1,2 - 6,0 mm
<b>Bemerkungen/Schweißbedingungen:</b>	./.


Minden, den 20.04.2011

  
.....  
(Dipl.-Ing. Böttmeier - Leiter Zertifizierungsstelle)

<sup>1)</sup> Erläuterungen zu den mitgeltenden Werkstoffen sind der VA 918 490, Anhang 3 zu entnehmen.




Anlagen, Teil 2: Protokolle der Zerstörungsfreie Prüfung  
XXXVII

		<b>Ultraschall - Prüfbericht</b> Ultrasonic - Test Report			Bericht Nr.: UT 1 Testreport No.	
					Blatt: 1 von: 2 Sheet: of:	
<b>Angaben zum Object / Information for Object</b>						
<b>Auftraggeber:</b> Client		Stahl und Brückenbau Niesky GmbH				
<b>Kennwort:</b> Password		Verfahrensprüfung				
<b>Kom. -Nr.:</b> Report No.						
<b>Prüfobjekt:</b> Testobject		I-Stumpfstoß				
<b>Prüfört / Datum:</b> Location of test / Date:		Stahlbau Niesky		<b>Schweißverfahren:</b> Welding Process:		UP (121)
<b>Werkstoff:</b> Material		S355J2+N		<b>Prüfplan -Nr.:</b> Drawing No:		
<b>Abmessungen:</b> Dimension		Blech 16mm		<b>Prüfumfang:</b> Exend of exam.:		siehe Prüfplan
<b>Prüftechnische Angaben / Date of examination</b>						
<b>Prüfanweisung:</b> Test Procedure:				<b>Bewertungsgruppe:</b> Evaluation Group:		DIN EN ISO 5817, BG B
<b>Prüfspezifikation:</b> Test Specification:		keine		<b>Prüfklasse:</b> Testing Class:		PK B DIN EN ISO 17640
<b>Zulässigkeitsgrenzen:</b> Acceptance Level:		ZG 2 DIN EN ISO 11666		<b>Prüfung vor/nach/ohne Wärmebeh:</b> Test after/before/without Heat treatment:		Ohne
<b>Prüfgerät / Nr.:</b> Testing Equipment / No.		USM 35 X / 9471a		<b>Einschallposition nach DIN EN ISO 17640:</b> Scanning Position DIN EN ISO 17640		A/B
<b>Entfernungsjustierung entsprechend EN 583 - 2</b> Distance Adjustment according EN 583 - 2		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Kontrollkörper 1 nach EN 12223</b> / Calibration block according to EN 12223				
		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Kontrollkörper 2 nach EN 27963</b> / Calibration block according to EN 27963				
		<input type="checkbox"/> <b>Stufenkell, Bauteil</b> / stepped key, component				
		<input type="checkbox"/> <b>andere</b> / others				
<b>Bewertungs- methode:</b> Evaluation methode		<b>Anwendung der</b> Application of:		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Bezugslinienmethode (AVG)</b> / DGS - Methode		
				<input type="checkbox"/> <b>Vergleichslinienmethode</b> / Reference line methode		
<b>Prüfkopf:</b> Probe:		<b>Prüfkopf Nr.: 1</b> Probe No: 1 MWB 70°-4Mhz No: 01071	<b>Prüfkopf Nr.: 2</b> Probe No: 2 MWB 60°-4Mhz No: 01013	<b>Prüfkopf Nr.: 3</b> Probe No: 3 MSEB 0°-4Mhz No: 57462	<b>Prüfkopf Nr.: 4</b> Probe No: 4 MWB 60°-2Mhz No: 01634	<b>Prüfkopf Nr.: 5</b> Probe No: 5 MWB 45°-2Mhz No:02640
		<b>Empfindlichkeits- justierung</b> Adjustment of Sensitivity		$S_J = 25$ $V_J = 38$	$S_J = 25$ $V_J = 38$	$S_J =$ $V_J =$
$\Delta V$ wird durch geräteinterne Software berechnet!						
		$V_T = 2$ $\Delta V_K = 2$ $V_R = 56$	$V_T = 2$ $\Delta V_K = 0$ $V_R = 50$	$V_T =$ $\Delta V_K =$ $V_R =$	$V_T =$ $\Delta V_K =$ $V_R =$	$V_T =$ $\Delta V_K =$ $V_R =$
<b>Registrierungsgrenze:</b> Registration Limit:		KSR = 2	KSR = 2	KSR =	KSR =	KSR =
<b>Ankopplung:</b> Coupling:		Ankoryl				
<b>Methode / Hilfsmittel:</b> Method:		AVG - Vorsatzskala				
<b>Systemüberprüfung gemäß EN 12668 - 3</b> Systemcheck according to EN 12668 - 3		<input checked="" type="checkbox"/> i.O. / satisfy				
<b>Oberflächenzustand:</b> Surface condition:		<input checked="" type="checkbox"/> <b>gestrahlt</b> shot blasted		<input type="checkbox"/> <b>geschliffen</b> grinded		<input type="checkbox"/> <b>bearbeitet</b> machined
<b>Bemerkungen:</b> Remarks:		Prüfergebnisse siehe nachfolgende Seite(n). / Testresults see next page(s).				
Prüfort: Niesky Location		Prüfvermerk Approval note		Datum: 21.03.2013 Date		Donke Prüfaufsicht/Zert. No. 01 202 923/Z-07/0863/00 Examination supervisor
						Schöhl Prüfer/Zert. No. 01 202 923/Z-11/2468/02 Examination supervisor



Anlagen, Teil 2: Protokolle der Zerstörungsfreie Prüfung  
XXXIX

		<b>Sichtprüfung</b> visual examination		Bericht Nr.: VT 1 testreport No.:
		Blatt: 1	von: 1	sheet: of:
<b>Angaben zum Object / Information for object</b>				
<b>Auftraggeber:</b> client	Stahl und Brückenbau GmbH			
<b>Kennwort:</b> password	Verfahrensprüfung			
<b>Kom. -Nr.:</b> report No.:				
<b>Prüfobjekt</b> testobject	I-Stumpfnahprobe			
<b>Komponente / Bauteil:</b> component	Probe Blech 16mm	<b>Schweißverfahren:</b> welding process	UP (121)	
<b>Werkstoff:</b> material	S355J2+N	<b>Zeichnung -Nr.:</b> drawing No.:		
<b>Prüfflächenzustand:</b> surface preparation	gestrahlt	<b>Prüfumfang:</b> extend of exam.:	100%	
<b>Durchführung / performance</b>				
<b>Prüfanweisung /</b> test instruction	DIN EN ISO 5817; DIN EN 970	<b>Prüf- bzw. Anforderungsgruppe</b> examination group, requirement	B	
<b>Ergebnisse / results:</b>				
<input checked="" type="checkbox"/> ohne Beanstandungen / without interference <input type="checkbox"/> festgestellt Fehler (Unregelmäßigkeiten)				
<b>Bemerkungen / remarks</b>				
Die Probe wurde einer Sichtprüfung unterzogen. Dabei wurden insbesondere die Schweißnähte auf Unregelmäßigkeiten überprüft. Überprüfung der Schweißnähte auf: Einbrandkerben, Oberflächenporen, Endkrater, schroffe Schweißnahtübergänge sowie der Schweißnahtgeometrie (Nahtstärke, Nahtüberhöhung, Nahtsymetrie) u.s.w..  Prüfbedingungen nach DIN EN 970: Beleuchtungsstärke mind. 500lux Die Probe hat die Bedingungen der DIN EN ISO 5817 erfüllt.				
Niesky Prüfort location	keine Prüfvermerk approval note	21.03.2013 Datum date	Schöhl Prüfer / Zert. examiner	
FB Q-09		Stand 01/2011		



## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 08.05.2013

Tom Werner