

# Nahtverfolgung (seam tracking) mit Lichtbogensensor durch Schweißstromquellen für das Metall-Schutzgas-Schweißen mit abschmelzender Elektrode (MSG)

Dr.-Ing. Birger Jaeschke, Lorch Schweißtechnik GmbH, Auenwald, Deutschland, 3.09.2014

Toleranzen am Werkstück, an Aufnahme- und Spannvorrichtungen, an der Mechanisierungs- oder Automatisierungsvorrichtung, bis hin zum Drahtaustritt am Stromkontaktröhre des Brenners, sind Hindernisse bei der Reproduzierbarkeit des räumlichen Verlaufs einer Schweißnaht. In dieser Fachdokumentation wird die Unterstützung durch Lorch Schweißstromquellen bei der Signalaufbereitung für eine Nahtverfolgung dargelegt.

## 1 Grundprinzip des Lichtbogensensors

Beim MSG-Schweißen ergeben sich die momentanen Werte von Strom  $i(t)$  und Spannung  $u(t)$  aus dem Zusammenspiel von:

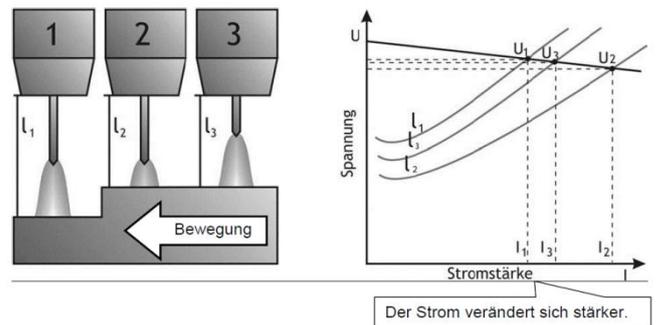
- Einstellungen und Eigenschaften der Schweißstromquelle;
- Drahtvorschubgeschwindigkeit;
- elektrischen Eigenschaften des freien Drahtendes;
- elektrischen Eigenschaften des Lichtbogens.

Man erhält stabile Schweißarbeitspunkte durch den Einsatz geeigneter Stromquellenkennlinien sowie durch überlagerte Regelungsstrategien.

Zwei Grundtypen sind zu unterscheiden:

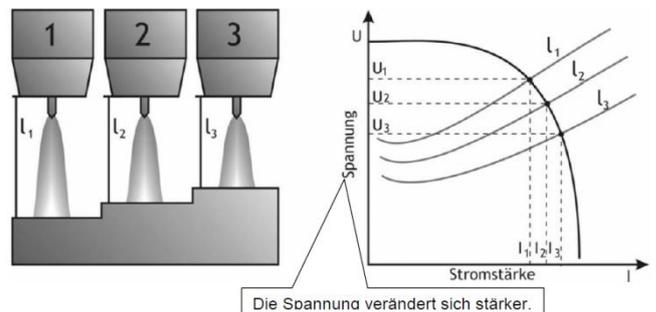
- Fast horizontale oder flach fallende Kennlinien (Konstantspannungskennlinie, engl. *constant voltage CV*);
- Steil fallende Kennlinie (Konstantstromkennlinie, engl. *constant current CC*).

Klassische Transformator-Stromquellen für das MSG-Schweißen weisen flach fallende Kennlinien auf. Bei Änderung der Lichtbogenlänge und/oder der Länge des freien Drahtendes verändert sich der Schweißstrom stärker als die Schweißspannung, vergl. **Bild 1**. Mit kürzerem Lichtbogen ( $L_1 > L_2$ ) erhöht sich der Schweißstrom, so dass wieder mehr Draht abgeschmolzen wird und der Lichtbogen sich verlängert ( $L_2 < L_3$ ). Man spricht auch vom „inneren Selbstaussgleich“ oder „innerer Regelung“.



**Bild 1:** Abhängigkeit von Strom, Spannung und Lichtbogenlänge bei flach fallender Kennlinie nach [1]

Moderne geregelte Stromquellen ermöglichen in besonderen Fällen für das MSG-Schweißen steil fallende Kennlinien. Früher wurde dies von klassischen Schweißstromquellen nur für das Metallschutzgasschweißen (Stabelektroden-schweißen, engl. *metal manual arc, MMA*) und für das WIG-Schweißen angewandt. Bei Änderung der Lichtbogenlänge verändert sich die Lichtbogenspannung stärker als der Schweißstrom, vergl. **Bild 2**. Mit kürzerem Lichtbogen ( $L_1 > L_2 > L_3$ ) verringert sich die Lichtbogenspannung.

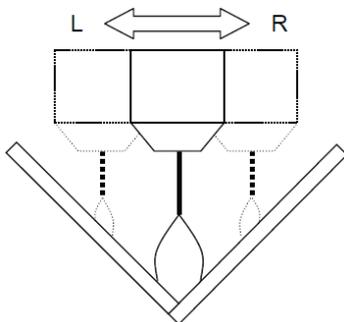


**Bild 2:** Abhängigkeit von Strom, Spannung und Lichtbogenlänge bei stark fallender Kennlinie nach [1]

Der Lichtbogen kann in Verbindung mit dem freien Drahtende daher als Sensor für geomet-

rische bzw. räumliche Veränderungen verwendet werden, denn die Veränderungen gehen in die messbaren Signale von Strom und/oder Spannung ein.

Je nach Regelprinzip der Schweißstromquelle können entweder die Spannung, oder der Strom, oder sogar beide Größen in bestimmten Zusammenhängen, den besten Informationsgehalt bezüglich der Lichtbogenlänge bzw. der Länge des freien Drahtendes tragen, vergl. **Bild 3**.



**Bild 3:** Unterschiedliche Längen vom Lichtbogen und vom freien Drahtende bei unterschiedlicher Lage des Schweißbrenners in Bezug auf die Mitte der Schweißfuge

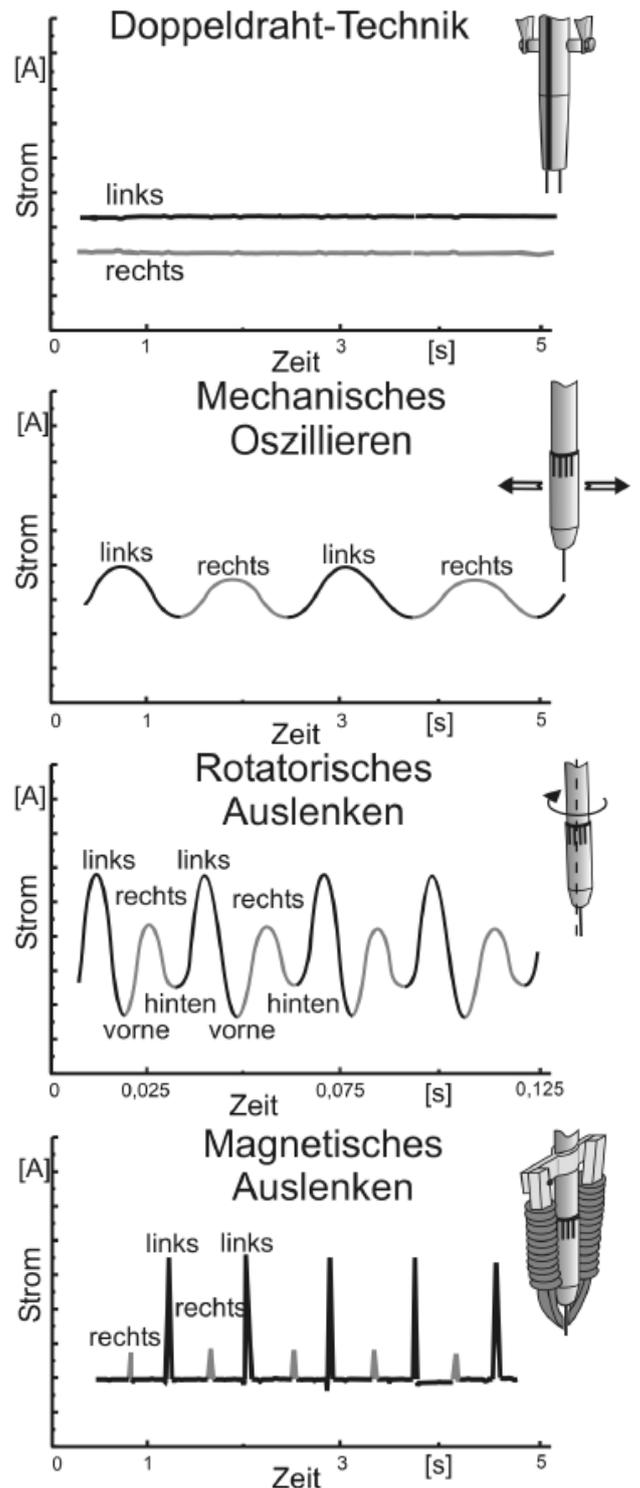
**2 Grundprinzip der Nahtverfolgung**

Der Begriff der Nahtverfolgung soll hier die Nahtfindung mit einschließen.

Es wird an dieser Stelle zur Erklärung angenommen, dass die Schweißstromquelle eine flach fallende Kennlinie (Konstantspannungskennlinie) aufweist, da nahezu alle Bilder und Erläuterungen der bisherigen Fachliteratur darauf beruhen. Später wird gezeigt, wie dieses Verständnis sich auf moderne Prozessregelungen übertragen lässt.

**Bild 4** zeigt verschiedene Arten der Abtastung der Fuge.

Bei der Doppeldraht-Technik brennen 2 Lichtbögen, einer rechts, der andere links von der Fuge, vergl. auch die Lage der Fuge und der Lichtbogenpositionen L und R in **Bild 3**. Der kürzere Lichtbogen bewirkt den höheren Strom, offensichtlich ist in **Bild 4** der linke Lichtbogen kürzer. Man könnte jetzt die Differenz der Ströme (Links-Rechts) als Lagesignal benutzen, um durch mechanische Bewegung die Nahtfuge wieder in die Mitte zu bringen.



**Bild 4:** Abtasten der Fuge mit Lichtbogensensoren nach DVS-Merkblatt 0927-1 [1]

Beim normalen MSG-Schweißen mit nur einem Draht ist eine Bewegung des Lichtbogens zur Nahtverfolgung erforderlich, um auf Grund unterschiedlicher Lichtbogenlängen zu zeitlichen Signalverläufen zu kommen, aus denen

sich Schlüsse bezüglich der relativen Lage vom Lichtbogen zur Nahtfuge gewinnen lassen.

Am häufigsten wird das mechanische Oszillieren des gesamten Brennerkopfes, auch Pendeln genannt, angewandt.

Das rotatorische Auslenken erfordert spezielle Brenner, dafür ist es für den Einsatz unter beengten Verhältnissen geeignet, wie z.B. beim Engspaltschweißen.

Das magnetische Auslenken wird in besonderen Fällen angewandt, weil nur die Lichtbogensäule durch elektromagnetische Kräfte bewegt wird.

Die Verarbeitung und Auswertung der Signale, welche von zeitlich bewegten Lichtbögen mit Längenänderungen gewonnen werden, stellt besondere Anforderungen, welche im Folgenden behandelt werden.

### 3 Signalfilterung

Der MSG-Schweißprozess kann je nach Einstellung ein sehr dynamischer Vorgang sein, bei dem sich Strom und Spannung zeitlich stark ändern.

Um trotz dieser ständigen dynamischen Änderungen aus den Signalverläufen von Strom und Spannung nutzbare Aussagen zur Lichtbogenlänge gewinnen zu können, müssen die dynamischen Verläufe gefiltert werden.

Eine weitere Notwendigkeit zur Signalfilterung ist das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem. Da inzwischen alle modernen Einrichtungen zur Nahtverfolgung digitale Systeme mit diskreten Buszykluszeiten zum Informationsaustausch sind, ist dieses grundlegende Theorem der Nachrichtentechnik, Signalverarbeitung und Informationstheorie unbedingt zu beachten. Demnach darf bei harmonischen Signalen die höchste genutzte Grenzfrequenz maximal die Hälfte der Abtastfrequenz (in diesem Sinne auch der Busfrequenz) sein. Da kein Filter unendlich ideales Verhalten aufweist, ist hier ein Kompromiss zu treffen.

Die durch Filterung gewonnenen „geglätteten“ Verläufe müssen letztendlich noch genügend Dynamik aufweisen, um die Lichtbogenlängenänderungen selbst weiterhin zu tragen.

In Lorch Schweißstromquellen erfolgt die Signalfilterung in Abhängigkeit vom gewählten Schweißprozessstyp. Im Wesentlichen besteht sie aus den Schritten:

- Vorfilterung zur Unterdrückung der Inverterfrequenz in den Signalen;
- Hochfrequentes Abtasten der Signale von Strom und Spannung zur weiteren digitalen Signalverarbeitung (S-, P-Serien mit 80 kHz);
- Filtern der Signale in einer ersten digitalen Stufe zur Entfernung von Prozess-Störsignalanteilen (Tiefpass, einige kHz);
- Abtasten der Signale in einer weiteren digitalen Stufe zu bestimmten Zeitpunkten (entweder kontinuierlich, oder synchron zum Prozess beim Impulsschweißen);
- Filtern der Signale in einer weiteren digitalen Stufe zur Aufbereitung für die zyklische Bus-Kommunikation (Erfüllung des Abtasttheorems).

Wie bei jeder Echtzeit-Signalfilterung und Bus-Übertragung ist das gefilterte und übertragene Signal gegenüber dem Ursprungssignal zeitlich etwas verzögert.

Die zeitliche Verzögerung liegt im Bereich einiger 10ms.

### 4 Signalaufbereitung

Zusätzlich zur Signalfilterung erfolgt in Lorch Schweißstromquellen in Abhängigkeit vom gewählten Schweißprozessstyp eine Signalaufbereitung. Die Vorteile hierfür sind:

- a) Gewinnung des Signals zur Nahtverfolgung aus Signalkombinationen von Strom und Spannung, welche das Längensignal von Lichtbogen und freiem Drahtende für den vorliegenden Schweißprozessstyp am besten repräsentieren;
- b) Skalierung des Signals zur Nahtverfolgung, d.h. Verstärkung der Informationen zur Länge von Lichtbogen und freiem Drahtende, zur besseren Ausnutzung des zur Verfügung stehenden (numerischen und ggf. analogen) Wertebereiches.

Die Vorteile der Signalaufbereitung können erst mit modernen Stromquellen erschlossen werden.

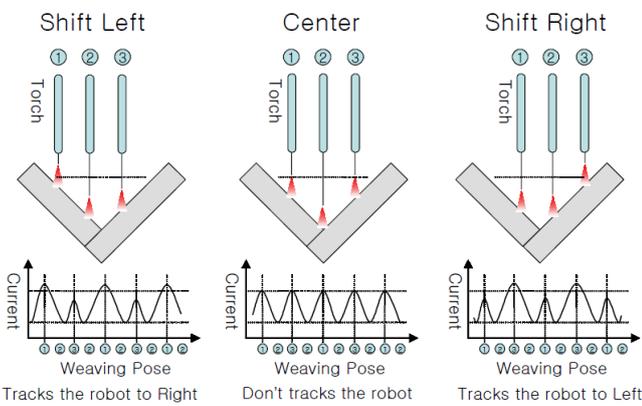
Es ist für den Anwender wichtig zu verstehen, dass aufbereitete Signale zur Nahtverfolgung NICHT mehr einfach dem gefilterten Schweiß-

strom entsprechen, wie dies früher ohne Signalaufbereitung meistens der Fall war.

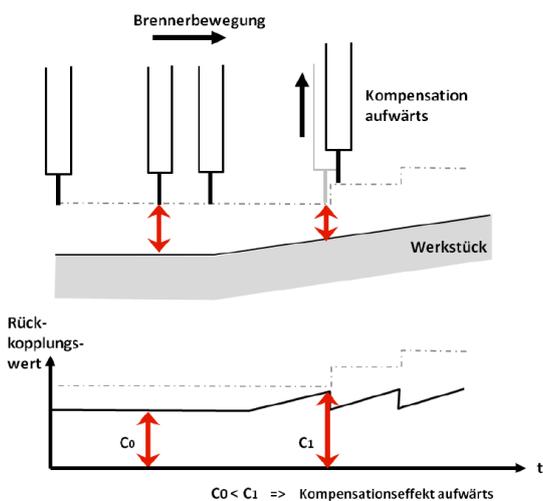
### 5 „Klassisches“ Nahtverfolgungssignal

Für das normale MSG-Schweißen mit Stromquellen fast horizontaler Kennlinie war es „klassisch“ üblich, einfach den Schweißstrom (z.B. über einen Shunt) zu messen und das so gewonnene Signal der Nahtverfolgungseinrichtung zuzuführen.

Die Strategien zur Nahtverfolgung sind von den meisten Roboterherstellern daher in Bezug auf den Schweißstrom beschrieben, unterscheiden sich evtl. in den Details, sind im Prinzip aber ähnlich, vergl. **Bild 5** und **Bild 6**.



**Bild 5:** Prinzip der Auswertung des „klassischen“ Nahtverfolgungssignals zur horizontalen Führung, Bildquelle Hyundai Hi4 [3]



**Bild 6:** Prinzip der Auswertung des „klassischen“ Nahtverfolgungssignals zur vertikalen Führung, Bildquelle FANUC [4]

### 6 Das Lorch Nahtverfolgungssignal

Wie in Kapitel 3 und 4 beschrieben, handelt es sich beim Lorch Nahtverfolgungssignal um ein speziell für die Nahtverfolgung aufbereitetes Signal.

Der numerische Zahlenbereich des digitalen Bus-Signals geht von 0 bis 10000, auf der optional verfügbaren analogen Schnittstelle entspricht dies einem Signal-Spannungsbereich von 0V bis 10V.

Für Prozessregelvarianten, welche das „klassische“ normale MSG-Schweißen mit fast horizontaler Kennlinie nachbilden (sogenannte Spannungsregelung, U-Regelung), entspricht die Skalierungsfunktion **Gl.1**.

$$y = Gain_1 \times x_c \tag{Gl.1}$$

In Gl.1 ist  $x_c$  der gefilterte Strom und  $Gain$  beträgt 10. Damit wird in diesem Fall bei einem Schweißstrom von statisch 100A ein Bus-Signalwert von numerisch 1000 und ein Analog-Signal von 1V geliefert.

Es ist zu beachten, dass dieses Signal nur zur Nahtverfolgung gedacht ist, und dass Lorch es sich vorbehält, die Skalierung (z.B. bei anderen Prozessvarianten) zur Optimierung der Nahtverfolgung zu ändern.

Für Prozessregelvarianten, welche im Gegensatz zur U-Regelung überwiegend stromgeregelt sind (I-Regelung), z.B. bestimmte Kennlinien der S-Serie für das normale bzw. Standard-MSG-Schweißen, oder für das Impulsschweißen, entspricht die Skalierungsfunktion **Gl.2**.

$$y = Gain_n \times (Offset_n - x_v) \tag{Gl.2}$$

In Gl.2 ist  $x_v$  ein aus der Spannung gewonnenes Signal.  $Gain_n$  und  $Offset_n$  sind von der Prozessregelvariante „n“ abhängig. Das Nahtverfolgungssignal nach Gl.2 ist so gestaltet, dass bei einer Verkürzung des Lichtbogens und/oder der Länge des freien Drahtendes sich der Wert des Nahtverfolgungssignals erhöht. Damit entspricht es vom Denken und der Richtung her dem erwarteten „klassischen“ Verhalten, hat jedoch mit dem Schweißstromwert nichts zu tun.

Die genauen Werte von  $Gain_n$  und  $Offset_n$  werden für die einzelnen Prozessregelvarianten

nicht angegeben, da die Thematik zu komplex ist.

Das Nahtverfolgungssignal ist einzeln zugänglich entsprechend der Beschreibung der Optionen, Busschnittstellen und des Automatisierungsinterfaces von Lorch.

Das „klassische“ Signal des gefilterten Schweißstromwertes ist ebenfalls zugänglich entsprechend der Beschreibungen. Auch wenn es prinzipiell für die „klassische“ Art der Nahtverfolgung bei geeigneten spannungsgeregelten Prozessregelvarianten verwendet werden könnte, wird dies nicht empfohlen, da es von Lorch nicht für die Nahtverfolgung optimiert ist.

## 7 Grenzen und Probleme der Nahtverfolgung

Es gibt etliche Randbedingungen, die eine Nahtverfolgung mit dem Lichtbogensensor erschweren oder sogar verhindern.

Folgende Randbedingungen verhindern eine Nahtverfolgung mit dem Lichtbogensensor:

- Keine wesentliche Änderung der Länge des Lichtbogens und/oder der Länge des freien Drahtendes;
- Störungen im Prozess, welche die Längenänderungen zu stark überlagern;
- Verstellung des Prozesses während des Schweißens (z.B. Rampen);
- Ungeeignete Einstellung des Schweißprozesses.

Ein deutliches Beispiel für eine ungeeignete Einstellung des Schweißprozesses ist der stromgeregelter Standard-MSG-Prozess (S-Serie, bestimmte Kennlinien), wenn er im stabilen Sprühlichtbogenbereich bei 1mm G3Si1 betrieben wird. Dort finden auch bei Lichtbogenlängenänderungen kaum Änderungen des Schweißstromes statt. Da beim Standard-MSG-Prozess hier Gl.1 verwendet wird, ist weder auf dem Nahtverfolgungssignal, noch auf dem „klassischen“ Stromsignal, ein für die Nahtverfolgung nutzbarer Signalverlauf vorhanden. Die Nahtverfolgung funktioniert im Sprühlichtbogen hier einfach nicht, auch wenn sie im Kurzlichtbogenbereich gut geht.

Die Lösung wäre hier die Verwendung eines spannungsgeregelten Standard-MSG-Prozesses für den Sprühlichtbogenbereich.

Grundlage jeder gut funktionierenden Nahtverfolgung mit Lichtbogensensor ist ein stabil eingestellter Schweißprozess, der deutliche Längenänderungen am Lichtbogen zur Nahtverfolgung ohne Instabilitäten erlaubt.

## 8 Hinweise von Roboterherstellern

Es soll an dieser Stelle besonders darauf hingewiesen werden, dass an der Steuerung, welche die Nahtverfolgung durch mechanische Bewegung realisiert, zwei Signale miteinander in Beziehung gebracht werden, welche gegenüber der Realität unterschiedliche Verzögerungszeiten aufweisen.

Zum ersten weist die Reaktion des Lichtbogens, sowie die Signalaufbereitung und Übertragung des Nahtverfolgungssignals eine gewisse Verzögerungszeit auf.

Zum zweiten weist auch die mechanische Bewegung, deren Ausregelung bzw. Erfassung durch den Roboter, eine gewisse Verzögerungszeit auf.

Beide Verzögerungszeiten sind nicht gleich, oft auch unbekannt. Daher ist eine geeignete zeitliche Synchronisation (durch Verzögerung des „schnelleren“ Signals) in der Nahtverfolgungseinrichtung erforderlich.

Viele wertvolle Hinweise zur richtigen Einstellung und Anwendung der Nahtverfolgung sind in den Dokumentationen der Roboterhersteller enthalten, siehe [3], [4], [5].

Beispielhaft soll hier aus der Dokumentation von FANUC zu TAST (wie die Funktion dort heißt) zitiert werden [4]:

*Die Art und Weise, wie TAST arbeitet, kann durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden. Sind die Parameter einmal gesetzt, benötigt man für die meisten Anwendungen während des Prozesses keine Anpassung mehr. Faktoren, die Einfluss nehmen können auf TAST:*

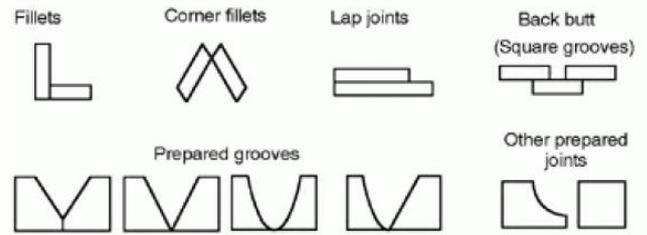
- *Veränderungen des Schweißdrahtes (z.B. Stahl oder rostfreier Stahl) und Veränderungen des Schweißdrahtdurchmessers*
- *Extreme Änderungen der Schweißgrößen*
- *Veränderungen des Schweißortes bezogen auf die Schweißnuten*
- *Gaszusammensetzung*

- Art des Schweißdrahtvorschubes oder des Schweißprozesses wie Kurzlichtbogen, Sprühlichtbogen oder gepulster Lichtbogen
- Änderung der Weaving-Parameter (Frequenz, Verweildauer)
- Oberfläche des Materials
- Extreme Veränderung der Arbeitsplatz-Umgebungstemperatur

Zu den empfohlenen Werkstück- und Nahtgrößen heißt es in [4]:

- Die Materialdicke sollte größer als 2 mm betragen.
- Die Schweißnuten sollten einen durchgehenden eingeschlossenen Winkel von 90° haben.
- Die Kehlnaht kann einen max. eingeschlossenen Winkel von 90° besitzen, und die Schenkellänge muss mehr als 5 mm betragen.
- Die minimale Pendel-Breite muss 3-mal dem Durchmesser der Elektrode oder größer entsprechen.
- Heftschweißpunkt, Schenkellänge, sollte wenn möglich kleiner oder gleich der Hälfte des Schweißpunktes sein und ein konkaves Profil aufweisen.
- Die gesetzte Schweißnaht sollte weniger als 15° von der optimalen Schweißnaht verdreht sein.
- Der Brenner muss vor dem Schweißvorgang nahe dem Schweißnahtmittelpunkt positioniert werden. "Touch sensing" könnte hilfreich sein.
- Bei der Eckkehlnaht und der Überlappungskehlnaht muss die Pendel-Breite 2 mm kleiner als die Dicke des Grundmaterials betragen.
- Der Nut-Abstand zwischen den zu schweißenden Teilen sollte innerhalb der normalen Schweißroboter-Toleranz liegen. Der Nut-Abstand sollte idealerweise auf dem gesamten Schweißweg konstant bleiben.

Die Roboterhersteller gehen in ihren umfangreichen Beschreibungen von der „klassischen“ MSG-Lichtbogensensorik aus und bezeichnen auch die in ihren Steuerungen verwendeten Signale entsprechend klassisch auch als „Referenzstrom“, „Nahtverfolgungs-Strom“ oder ähnlich.



**Bild 7:** Empfohlene Schweißfugen zur Nahtverfolgung, Bildquelle FANUC [4]

Das Lorch Nahtverfolgungssignal kann für derart bezeichnete Größen als **direkter Austausch** verwendet werden, da die logische Richtung bei Lichtbogen-Längenänderungen dieselbe ist.

Es sei aber hier nochmals darauf hingewiesen, dass das Lorch Nahtverfolgungssignal vom Zahlenwert her nicht direkt mit einem Stromwert gleichgesetzt werden kann, vergl. Gl.1 und Gl.2 in Kapitel 6.

Dem entsprechend müssen auch gegebenenfalls „klassisch“ bewährte „Verstärkungsfaktoren“ in der Steuerung der Nahtverfolgung beim Roboterhersteller an die zur Nahtverfolgung optimierte Skalierung des Lorch Nahtverfolgungssignals angepasst werden.

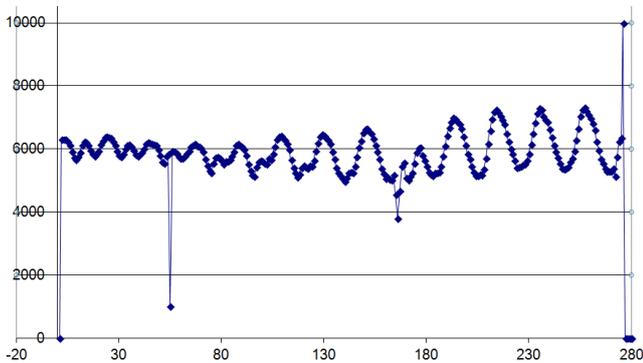
Mit dem Lorch Nahtverfolgungssignal ist es möglich, auch stromgeregelte Prozessregelvarianten für die Nahtverfolgung zu verwenden, sogar wenn manche Roboterhersteller in „klassischer“ Betrachtung der Thematik dies ausschließen.

## 9 Darstellung des Signalverlaufs

Mit geeigneten Messgeräten sind Datenaufnahmen und Darstellungen der Signalverläufe von Nahtverfolgungssignalen möglich.

**Bild 8** zeigt mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms importierte und dargestellte Daten. Sie wurden mit der Software PCANVIEW beim Pulsschweißen auf dem LorchNET (CAN-Bus) einer Lorch Stromquelle beim Impulsschweißen aufgenommen. Der Schweißbeginn (linke Seite) ist zentriert in der Fuge der Kehlnaht, im weiteren Verlauf der Schweißung wird die Fuge seitlich zur Flanke hin absichtlich verlassen (rechte Seite). Deutlich ist der veränderte Signalverlauf zu erkennen. Die Ausrei-

Ber nach unten stellen unerwünschte Prozessstörungen in Form von Kurzschlüssen dar.

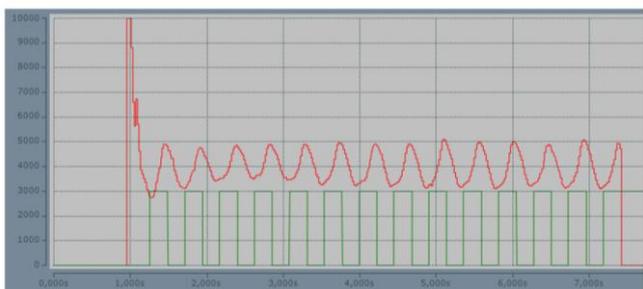


**Bild 8:** Darstellung eines digital aufgenommenen Signalverlaufs des Nahtverfolgungssignals

Man erkennt den Signalverlauf im numerischen Wertebereich zwischen 0 und 10000. Der Wert um 6000 stellt nicht den mittleren Schweißstrom dar, sondern entspricht beim stromgeregelten Impulsschweißen dem nach Gl.2 speziell skalierten Nahtverfolgungssignal. Die Abszisse des Diagramms zeigt die Anzahl der Datenpunkte im zeitlichen Verlauf. Jeder Datenpunkt entspricht einem Zeitabstand von etwa 20ms.

Die Aufnahme eines an einem schrägen Blech gependelten stromgeregelten Impulsprozesses zeigt **Bild 9**. Die grüne Linie zeigt den Moment der Brennerbewegung, die rote Linie stellt das Nahtverfolgungssignal dar.

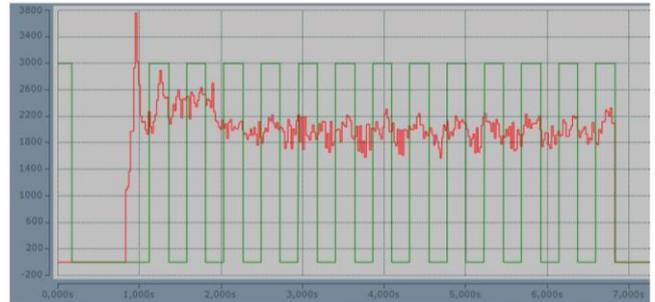
Der hohe Signalverlauf am Anfang stellt keinen Zündimpuls, sondern das Einschwingen der Signalfilterung nach Anwendung von Gl.2 dar, und muss ignoriert werden.



**Bild 9:** Aufnahme eines an einem schrägen Blech gependelten stromgeregelten Impulsprozesses. Bildquelle: Anwender

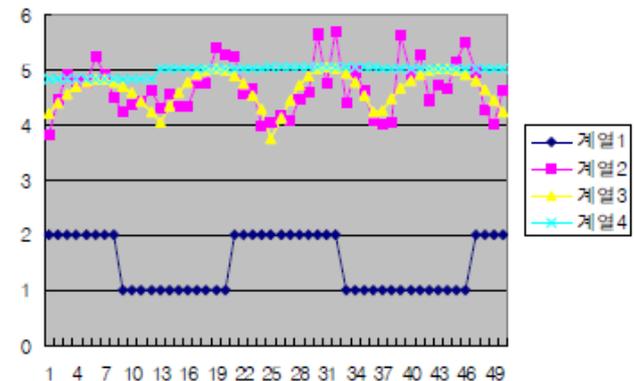
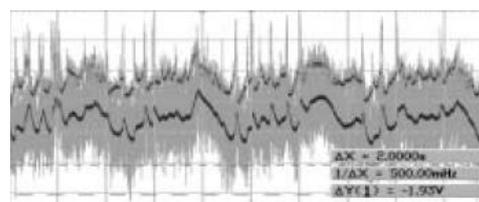
Ein spannungsgeregelter Standard-MSG-Prozess ist in **Bild 10** dargestellt. Diesmal entspricht der hohe Signalverlauf am Anfang tatsächlich einem Zündimpuls, denn der Filter nach Gl.1 schwingt von unten ein und bewirkt

keine Irritation wie bei Gl.2. Weiterhin ist im Anfangsbereich der Schweißung die Wirkung eines Hot-Starts erkennbar. Daher sollte die Nahtverfolgung erst nach einigen Sekunden beginnen, wenn der Schweißprozess sich mit dem gewünschten Schweißverhalten stabilisiert hat.



**Bild 10:** Aufnahme eines spannungsgeregelten Standard-MSG-Prozesses. Bildquelle: Anwender

Da es sich um spannungsgeregeltes Standard-MSG-Schweißen handelt, entspricht der rückgesendete Wert des Nahtverfolgungssignals etwa dem Schweißstrom (2000 = 200A, vergl. Gl.1 in Kapitel 6). Die durch das Pendeln beeinflussten Stromänderungen sind zu erkennen, der Prozessverlauf ist aber recht unruhig, offensichtlich befindet man sich im Übergangsbogenbereich. Man sieht aber die tendenzielle Reaktion des Nahtverfolgungssignals auf die Brennerauslenkung.



**Bild 11:** Trotz eines unruhigen verrauschten Prozesses (obige graue Darstellung), Gewinn-

nung eines Bahnkorrektur-Hilfssignals (4. Spur, hellblau) aus der gefilterten Beurteilung (3. Spur, gelb) des Nahtverfolgungssignals (2. Spur, rosa) zum versetzt synchronisierten Pendelsignal (1. Spur, dunkelblau). Bildquelle Hyundai Hi4 [3].

Die Steuerung zur Nahtverfolgung des Roboterherstellers kann auch aus unruhigen Prozessverläufen und dem daraus gewonnenen Nahtverfolgungssignal oft noch hinreichende Informationen zur Nahtverfolgung gewinnen, siehe **Bild 11**.

Die Datenaufnahme und Darstellung ist auch mit einem Digitalspeicher-OSZilloskop (DSO) möglich, wenn zur Ausgabe des Nahtverfolgungssignals eine Interface-Baugruppe mit Digital-Analog-Wandlung verwendet wird, z.B. die Lorch INT06. Das Nahtverfolgungssignal wird dort (Stand 09/2014) auf Kanal 4 im Wertebereich zwischen 0V und 10V ausgegeben.

**10 Übersicht technische Daten**

Nahtverfolgungssignal, Stand 09/2014

Numerischer Wertebereich	0..10000
Numerische Auflösung	1
Int06-Analogspannungswertebereich	0V..10V
Auflösung Analogspannungswertebereich	12 Bit
Zykluszeit (nominal)	20ms
Logische Richtung des Nahtverfolgungssignals	Höhere Werte bei kürzerem Lichtbogen
Skalierung	Abhängig vom gewählten Prozesstyp

**11 Schnittstellen**

Das Nahtverfolgungssignal wird in älteren Dokumentationen von Lorch auch als Nahtverfolgungsspannung (seam tracking voltage) bezeichnet. Es handelt sich um das Nahtverfolgungssignal.

Es gibt Schnittstellenprotokolle für verschiedene Bussysteme und Robotertypen. In der Dokumentation zum LorchNet-Connector [6] sind die Beschreibungen zu finden, vergl. **Bild 12**.

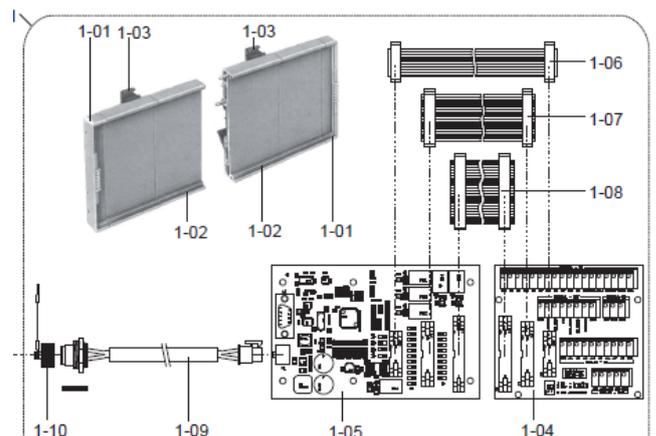


**Bild 12:** LorchNet Connector

Unterstützte Bussysteme sind (Stand 09/2014):

- CAN Gateway
- CanOpen
- DeviceNet
- EtherCat
- EtherNet IP
- ProfiPus
- ProfiNet

Die parallele analog-/digitale Schnittstelle von Lorch ist die INT06, vergl. **Bild 13**. Sie kann in der Maschine oder im Schaltschrank eingebaut werden. Auch hierfür ist eine umfangreiche Dokumentation vorhanden [7].



**Bild 13:** INT06 (1-05) mit Zubehör

## **12 Empfohlene Literatur**

[1] DVS-Merkblatt 0927-1 „Sensoren für das vollmechanische Lichtbogenschweißen“, DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf 2005.

[2] DVS-Merkblatt 0927-2 „Sensoren für das vollmechanische Lichtbogenschweißen, Hinweise zum Einsatz“, DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf 2008.

[3] The seam tracking with arc sensing, Hi4 Function, HYUNDAI 2002

[4] Arctool Bedienungshandbuch B-80944GE-3/01, FANUC Robotics

[5] LIBO Sensor A50 (through-the-arc-sensor), Bedienungshandbuch, KUKA 2003

[6] Betriebsanleitung LorchNet Connector, 909.1550.0-04, Lorch 2014

[7] Bedienungshandbuch Vorrichtungs-Interface Int06-1, 909.0530.0-03, Lorch 2014