

Einstellung einer einfachen MAG Stromquelle

oder

Das Märchen von Strom und Spannung

Erzählt von:

Dipl.-Ing. (FH) SFI IWE Lars Schimmelpfennig

Es soll ja ausgebildete Schweißer geben. Und Fachleute. Irgendwo da draußen. Mir sind derer schon so einige untergekommen, sowohl selbsternannte als auch echte. Dabei ist mir eines aufgefallen; immer und immer wieder werden die Begriffe Strom und Spannung beim MAG Schweißen lustig durcheinander geworfen. Es werden die tollsten Behauptungen aufgestellt und selbstverständlich wird keinen Millimeter davon abgerückt. Im Zweifel genügt eine Aussage wie „Das mag ja in der Theorie richtig sein, **aaaber** in der Praxis...“. Gut. Danke. Reicht schon. Da ich in der Ausbildung und auch sonst immer wieder versuche diese weit verbreiteten Missverständnisse zu korrigieren und stattdessen meine eigenen zu verbreiten, habe ich mich entschlossen auch ein paar nieder zu schreiben. Damit mir nicht dauernd gesagt wird, ich bekomme Provision von EWM habe ich für diesen Artikel mal Bilder von KEMPPI genommen. Im Übrigen habe ich natürlich kein Problem damit ganz öffentlich zu behaupten, dass eine Hand voll Hersteller wie KEMPPI, ESAB, EWM, LORCH,



MERKLE oder REHM ganz hervorragende Schweißmaschinen baut. Provision bekomme ich von keinem der genannten, aber Spenden sind immer willkommen. Früher gab es noch welche von UTP, ebenfalls sehr gut. Egal. Worum geht es also hier? Ich möchte an einem sehr einfachen Beispiel zeigen bzw. erklären, wie die Einstellung einer MAG Anlage in der Theorie funktioniert. Klar funktioniert das auch in der Praxis so, allerdings behaupte ich das ein guter Schweißer eine Anlage auch anhand von dem was er hört und sieht einstellen kann. Was ist nun das einfachste was man sich heutzutage als MAG Anlage hinstellt? Das wird wohl eine einfache stufengeschaltete Anlage sein, Abbildung 1 zeigt eine solche. Wie man sieht handelt es sich hier um eines der kleineren Modelle mit eingebauter Drahtfördereinheit und ohne Wasserkühlung. Es gibt nicht viele Verstellmöglichkeiten, genau richtig für unser Beispiel hier.

Abbildung 1: stufengeschaltete MAG Stromquelle

Was haben wir da also?

Fangen wir unten an; das untere Bedienfeld (Abbildung 2) hat drei Drehknöpfe. Von links nach rechts sehen wir den Netzschalter (An/Aus), Stufenschalter grob und zu guter Letzt Stufenschalter fein für die Einstellung der Maschinenkennlinie, also der Spannung.

Wie?

Der Spannung?

Ja.



Abbildung 2: unteres Bedienfeld



Abbildung 3: oberes Bedienfeld

Im oberen Bedienfeld (Abbildung 3) sehen wir noch das Potentiometer für die stufenlose Einstellung des Drahtvorschubes (oben) und eine Einstellmöglichkeit der Schweißzeit für die Punktschweißfunktion (unten). Das war's. Mehr ist nicht dran. Obwohl man diese Maschinengröße mit ihren 250A @ 30% in die Kategorie Spielzeug einstufen könnte, sind damit durchaus vernünftige Schweißnähte möglich. Natürlich kann sie nicht mit den großen Geräten (à la 500A @ 100%) in Punkto Ausstattung und Leistung mithalten, soll sie aber auch gar nicht.

Bevor es nun losgeht mit der Erkenntnis muss ein wenig Theorie bemüht werden. Wer jetzt auf einmal keine Lust mehr hat kann hier aufhören, die Theorie kommt erst auf der nächsten Seite.

Sie haben sich entschieden weiter zu lesen. Gut.

Jede Stromquelle hat eine statische Kennlinie, die so genannte Maschinenkennlinie. Nun gibt es nicht eine einzige, sondern (bei stufengeschalteten) eine pro Stufe. Bei modernen Anlagen kann man stufenlos durchs Maschinenkennfeld surfen. Wie das aussieht, zeigt ein U-I-Diagramm wie das folgende:

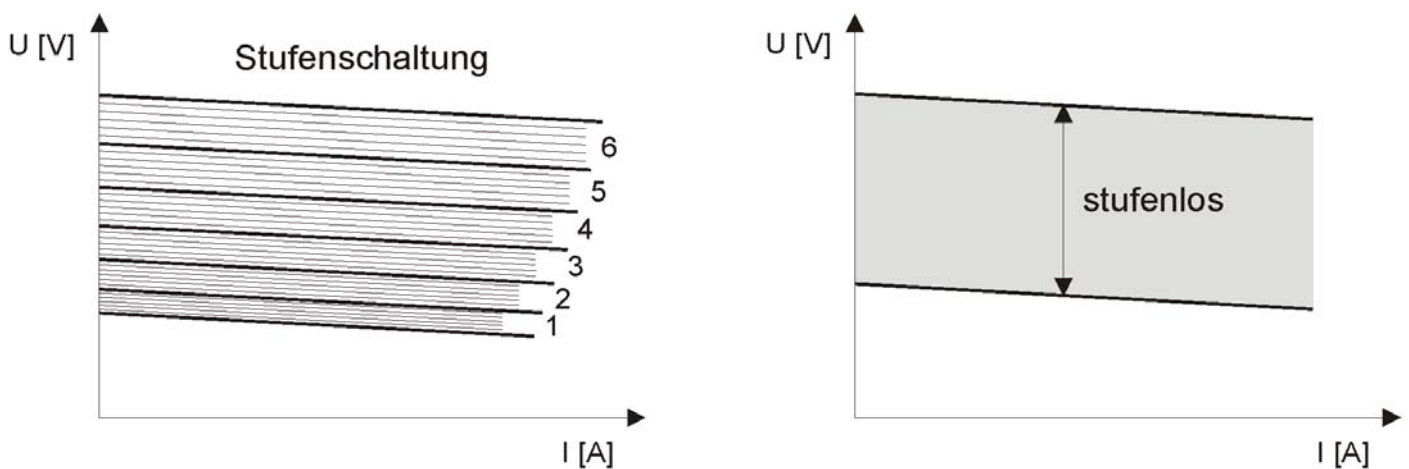


Abbildung 4: U-I Diagramm (schematisch) für Stufenschaltung (li.) und stufenlos (re.) /1/

Man sieht links sechs Kennlinien, diese Stromquelle ist also Stufengeschaltet und besitzt sechs grobe sowie sieben feine Stufen. Rechts ist eine stufenlose Verstellung dargestellt wie sie heutzutage bei den „besseren“ Maschinen üblich ist. Nun sieht der geneigte Leser, dass es sich bei den Kennlinien um Geraden handelt. Genau betrachtet sind es zwar keine exakten Geraden, besonders wenn die Stromstärke gegen Null geht, aber näherungsweise sind es Geraden. Das ist natürlich nicht immer der Fall, die erforderliche Kennlinienform ist abhängig vom Schweißverfahren. Für das hier behandelte MAG Schweißen werden allerdings immer (obwohl sich bei dem Wort *immer* immer Misstrauen einstellen sollte sind mir bisher keine Ausnahmen bekannt) Schweißmaschinen mit dieser Charakteristik eingesetzt. Da sich bei Änderung der Stromstärke die Spannung nur wenig bis gar nicht ändert (abhängig von der Neigung der Kennlinie), sprechen wir hier von einer flach fallenden oder bei Anstieg = 0 von einer Konstantspannungskennlinie. Die Regelung der Lichtbogenlänge erfolgt durch den Strom, was als innere Regelung oder auch ΔI -Regelung bezeichnet wird. Auf andere Kennlinienformen werde ich an dieser Stelle nicht eingehen um die Verwirrung so gering wie möglich zu halten. So. Die Hälfte ist geschafft. Was noch fehlt sind die Lichtbogenkennlinien. Diese sind unter anderem abhängig vom Schutzgas und Drahtdurchmesser und werden experimentell ermittelt. Wie so was aussieht zeigt die folgende Abbildung:

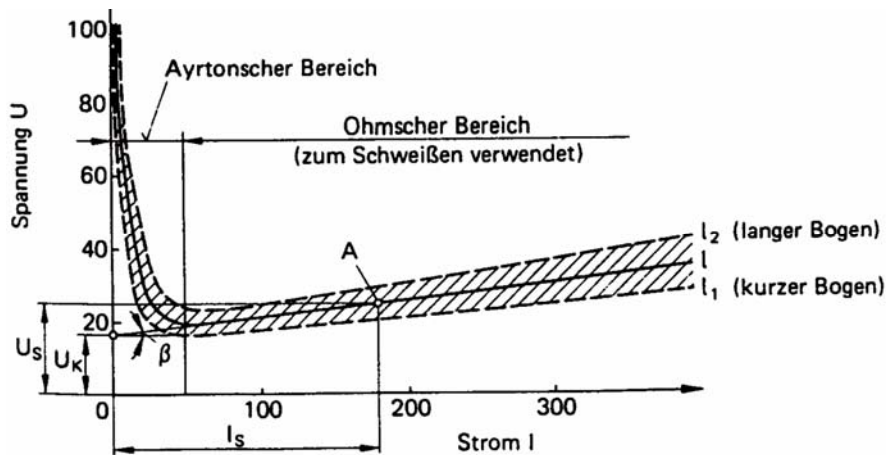


Abbildung 5: Lichtbogenkennlinien

Der Bereich links (ayrton'scher Bereich) ist zum Schweißen ungeeignet, wir bewegen uns nur im (linearen) ohmschen Bereich. Der ganze Trick ist jetzt das Überlagern von Maschinen- und Lichtbogenkennlinien. Dabei entsteht ein - nennen wir es mal Kennfeld - mit vier Begrenzungen:

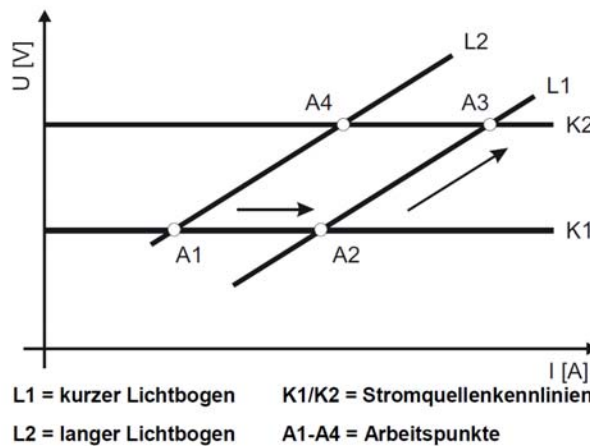


Abbildung 6: Kennfeld (schematisch) /1/

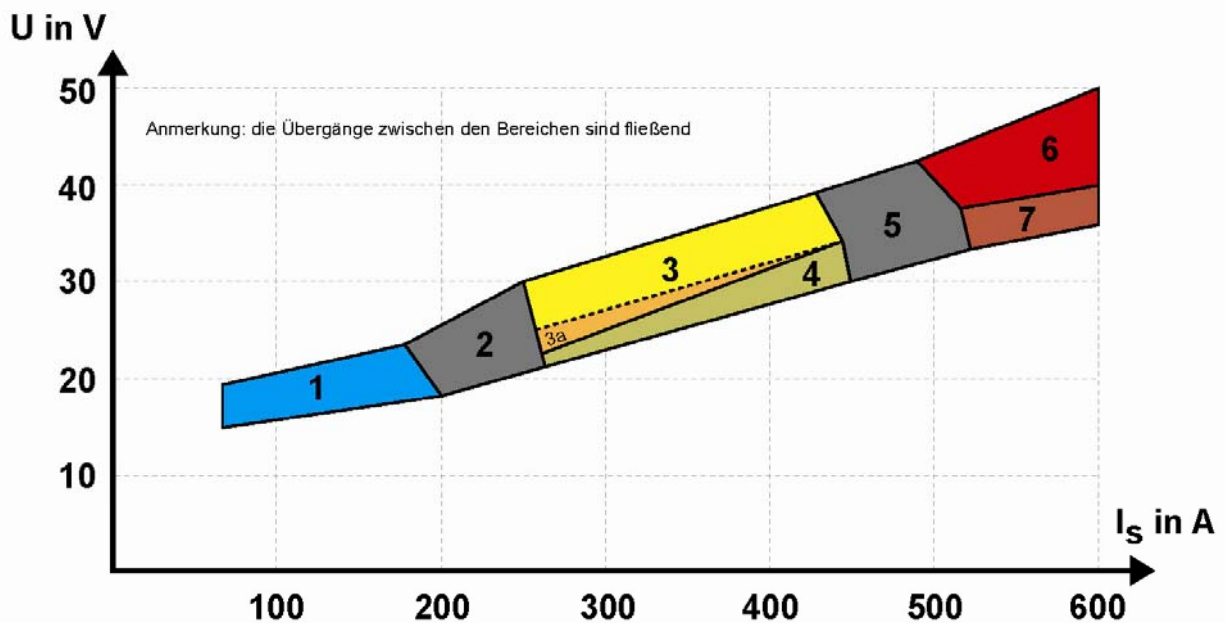
Die Grenzen bilden:

- die kleinste Spannung bei der der Lichtbogen noch brennen kann (unterste Maschinenkennlinie K1)
- die höchste Spannung (oberste Maschinenkennlinie K2)
- der kürzeste noch stabile Lichtbogen (L1)
- der längste noch stabile Lichtbogen (L2)

Innerhalb dieser grenzen befindet sich nun der Arbeitspunkt den der Schweißer einstellen kann und muss. Wenn er mit hoher Leistung schweißen will wird er Arbeitspunkt A3 wählen, kleinste Leistung hat Arbeitspunkt A1. Wem das komisch vorkommt, der erinnere sich an Physikunterricht 7. Klasse: $P = U \cdot I$

Natürlich müssen die Arbeitspunkte nicht auf den Grenzen liegen, das sind die Höchst- bzw. Tiefstwerte. Wenn wir uns nun noch erinnern wie die verschiedenen Lichtbogenarten in diesem Kennfeld liegen hat hoffentlich auch der Letzte eine Vorstellung davon, siehe hierzu Abbildung 7.

Abbildung 7: Lichtbogenarten beim MAG Schweißen (schematisch)



- 1 Kurzlichtbogen
- 2 Übergangslichtbogen
- 3 Sprühlichtbogen
- 3a kurzer Sprühlichtbogen (z.B. ForceArc)
- 4 Hochleistungs-Kurzlichtbogen
- 5 Übergangslichtbogen
- 6 Rotationslichtbogen
- 7 Hochleistungs-Sprühlichtbogen



Zurück zum Anfang.

Was passiert wenn wir an welchem Kopf drehen? Durch drehen an den Stufenschaltern ändern wir die Maschinenkennlinie, also die Spannung. Dadurch ändert sich die Länge des Lichtbogens, bei höherer Schaltstufe (und somit höherer Spannung) wird der Lichtbogen länger. Schaltet man eine kleinere Stufe, wird der Lichtbogen kürzer. Dabei bewegen wir uns näherungsweise vertikal durch das schöne bunte Bild (Abbildung 7). Übertreibt man es zu sehr mit der Schalterei wird man aus dem brauchbaren Kennfeld herauskommen (wir erinnern uns an Abbildung 6). Was nun? Der Schweißer muss den Drahtvorschub nachregulieren und damit die Lichtbogenkennlinie ändern. Da der Drahtvorschub in nahezu linearem Verhältnis zur Stromstärke steht lehne ich mich so weit aus meinem imaginären Fenster dass ich sage, der Schweißer ändert die Stromstärke über den Drahtvorschub. Dreht der Schweißer den Vorschub weiter auf (sagen wir z.B. von 12m/min. auf 15m/min.) wird sich die Stromstärke erhöhen. Bei verringern der Drahtfördergeschwindigkeit sinkt auch die Stromstärke.

Wozu ist das nun alles gut?

Es gibt gewisse Zusammenhänge im Schweißprozess die mit all dem zutun haben. Ein guter Schweißer kennt diese Zusammenhänge und kann durch diese Kenntnisse das Schweißergebnis beeinflussen. Im Folgenden will ich einige dieser Dinge kurz anführen; ich fange mit der Spannung an. Erhöhen wir die Spannung durch Schalten einer höheren Stufe (und bleiben dabei im Kennfeld) dann wird der Lichtbogen länger. Das bewirkt eine breitere und flachere Naht (die Einbrandtiefe nimmt durch steigende Lichtbogenleistung zu). Gleichzeitig kommt es durch den längeren Lichtbogen zu einem erhöhten Abbrand von Legierungselementen des Drahtes beim Werkstoffübergang, besonders unvorteilhaft ist das bei hochlegierten Zusatzwerkstoffen. Das Geräusch eines solchen Lichtbogens ist (unter argonreichem Mischgas wie dem guten alten 82/18) und entsprechender Stromstärke (wir sind im Bereich des Sprühlichtbogens) hochfrequent und rauschend, im besten Fall gibt es keine hörbaren Kurzschlüsse. Es ist eine vermehrte Rauchbildung zu verzeichnen. Kein guter Lichtbogen. Reduzieren wir die Spannung durch herunterschalten passiert genau das Gegenteil. Der Lichtbogen wird kürzer, bald macht sich ein vernünftiger Sprühlichtbogen durch Knistern - hervorgerufen durch gelegentliche Kurzschlüsse beim Werkstoffübergang - bemerkbar. Das ist ein guter Lichtbogen. Wir befinden uns in der Mitte des Kennfeldes und im unteren Spannungsbereich des Sprühlichtbogens.

Bei weiterem Herunterschalten verkürzen wir den Lichtbogen immer mehr; es kommt zu vermehrten Kurzschlüssen und Spritzerbildung bis hin zum Eintauchen des nicht abgeschmolzenen Drahtendes in das Schmelzbad.



Irgendwann ist das Ende erreicht, Lichtbogen aus. Dann folgt ein starker Stromanstieg und eine Widerstandserwärmung des freien Drahtendes, dieses schmilzt explosionsartig und spritzt ganz wunderbar auf unser Bauteil.

An dieser Stelle ein kurzer Einwurf meinerseits: genau hier knüpfen die „neuen Lichtbögen“ wie ForceArc, SpeedArc usw. an die nichts sind als ein sehr kurzer Sprühlichtbogen. Das ist mit stufengeschalteten Maschinen nicht drin, dafür braucht es moderne digitale Regelung und Invertertechnologie. siehe dazu „ForceArc, SpeedArc und Co., was steckt dahinter“ im Downloadbereich von www.x-engineering.info

Wir stellen fest, dass wir bisher den Strom bzw. Drahtvorschub noch nicht angefasst haben. Dies machen wir jetzt. Wenn wir mit unserem heruntergeschalteten Lichtbogen wieder arbeiten möchten müssen wir den Drahtvorschub (und somit den Strom) ebenfalls zurücknehmen. Wir verlassen dann irgendwann den Bereich des Sprühlichtbogens und kommen in den Kurzlichtbogenbereich. (Den Übergangsbogen übergehen wir, denn der gefällt uns nicht.) Was passiert? Durch Herabsetzen des Stromes verringert sich die Abschmelzleistung und die Einbrandtiefe. Die Nahtbreite bleibt weitestgehend wie sie ist, allerdings wird die Naht flacher durch kleinere Abschmelzleistung. In entgegengesetzter Richtung (will heißen: bei Erhöhung der Drahtfördergeschwindigkeit) steigt die Abschmelzleistung an. Die Einbrandtiefe erhöht sich leicht, die Naht wird überwölbt, der Lichtbogen kürzer. Schön.

In einem schmalen Bereich kann man durch alleiniges Verstellen von Strom oder Spannung den Prozess beeinflussen, allerdings kommt man damit nicht sehr weit. Man wird fast immer beide Stellgrößen ändern müssen, um einen sauberen Lichtbogen und eine vernünftige Naht zu erreichen. Damit sind die Möglichkeiten unserer Beispielstromquelle ausgeschöpft, weitere Einstellmöglichkeiten gibt es nicht. Doch halt. Der Schweißer kann noch einiges tun um das Ergebnis entweder besser oder schlechter zu machen.

Die Brennerhaltung.

Sie hat einen Einfluss auf die Nahtgeometrie, ebenso wie der Kontaktrahabstand und die Schweißgeschwindigkeit. Da wir schon dabei sind und Sie sich bis hierher durch den Text gekämpft haben will ich Ihnen das nicht vorenthalten. Ein guter Schweißer kann also durch seine Brennerhaltung die Naht beeinflussen. (Das kann ein schlechter Schweißer übrigens auch, mit dem Unterschied das sein Einfluss eher negativ ist.) Dies tut er, indem er den Brenner stechend, neutral oder schleppend hält sowie den Abstand zum Werkstück (Kontaktrahabstand) verändert. Stechende Brennerhaltung führt zu einer flacheren Naht mit geringerem Einbrand. Bei Kehlnähten lässt sich so eine Hohlkehlnaht ausbilden.

Bei Schweißerprüfungen in Position PF (steigend) findet man häufig den Fehler von zurückgehendem Einbrand mit zunehmender Nahtlänge. Das kommt daher, dass der Schweißer unbewusst die Brennerstellung



mehr und mehr nach stechend verändert hat weil er zu sehr aus dem Handgelenk geschweißt hat. Weiterhin kann eine zu sehr stechende Brennerhaltung zu vorlaufendem Schmelzbad und somit zu Bindefehlern sowie zu Einbrandkerben führen. Eine neutrale Brennerhaltung ist wie der Name schon sagt neutral.

Schleppende Brennerhaltung erzeugt tiefen Einbrand und eine stärker gewölbte Naht, gut für Wurzelschweißung und für schlackebildende Fülldrähte.

Der Kontaktrahabstand.

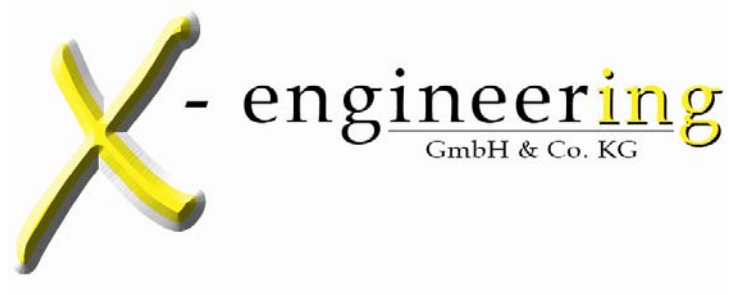
Er entscheidet darüber, wie lang das freie Drahtende ist. Je größer der Abstand, desto länger das freie Drahtende und desto höher der elektrische Widerstand darin. Das führt zu einem Absinken der Stromstärke und der Spannung, was wiederum zu weniger Einbrand führt. Außerdem steigt die Spritzerneigung, die thermische Belastung des Brenners wird reduziert.

Zu guter Letzt noch die Schweißgeschwindigkeit.

Sie entscheidet über den Querschnitt der Naht, je höher die Geschwindigkeit desto kleiner der Querschnitt. Bei zu geringer Geschwindigkeit wird das Schmelzbad gern mal zu groß, der Lichtbogen brennt dann auf dem Schmelzbad anstatt auf dem Grundwerkstoff was den Einbrand stark zurückgehen lässt und Bindefehler hervorrufen kann. Weiterhin ist für hitzeempfindliche Werkstoffe (z.B. Feinkornbaustähle) zu geringe Schweißgeschwindigkeit tödlich, da die eingebrachte Wärme (ok, genauer die Streckenenergie $E = \frac{U \cdot I}{v_s}$) zu groß und

das Gefüge **dauerhaft** geschädigt werden kann. Das ist übrigens auch der Grund, weshalb bei solchen Werkstoffen Strichraupentechnik anzuwenden ist, auch wenn so mancher „erfahrene“ Schweißer munter vor sich hin pendelt. Aber was das angeht kommt man sich dann schon mal vor wie Don Quichotte.

Wir haben jetzt die Möglichkeiten von Stromquelle und Schweißer ausgereizt und wie man sieht hängt alles irgendwie zusammen. Es kommt viel auf das Können des Schweißers an, denn er muss sowohl gewisse theoretische Kenntnisse als auch praktische Erfahrung und nicht zuletzt ein „Händchen“ für seine Arbeit mitbringen. Ich hoffe, ein wenig Licht ins Dunkel des MAG Schweißens gebracht zu haben und vielleicht wird der Ein oder Andere jetzt verstanden haben, dass die Stufen eben die Spannung einstellen und nicht den Strom.



Quellen:

Alle verwendeten Fotos und Diagramme ohne Quellennachweis sind selbst erstellt oder aus eigenen Unterlagen entnommen.

/1/ EWM GmbH, Einstellen von MIG/MAG Schweißgeräten leicht gemacht, www.ewm.de, 2011-01-20