

Automatisiertes Schienenschweißen als Zukunftsmodell im Gleisbau

Roboter gestütztes MSG-Schweißen für mehr Effizienz und Sicherheit in der Schieneninstandhaltung

MARKUS LEXHALLER | GREGOR SCHMID |
GERHARD SENDLHOFER

Das manuelle Schweißen gehört zu den komplexesten Vorgängen bei der Herstellung von endlos verschweißten Schienen. Das Fehlerpotential ist hoch, der Umgang mit schmelzflüssigem Stahl und die meist wenig ergonomische Haltung der Schweißer bringen eine erhöhte Verletzungsgefahr mit sich und führen nicht selten zu gesundheitlichen Langzeitschäden. Das Metallschutzgasschweißen (MSG) führt zu bedeutenden Verbesserungen in Bezug auf Sicherheit, Produktivität und Wirtschaftlichkeit – wenn es richtig eingesetzt wird. Die Automatisierung dieses Verfahrens durch den Einsatz von Robotern hebt die Arbeitsqualität und -sicherheit auf ein neues Niveau. Robel bringt diese Vorteile ab September 2020 auf die Schiene.

Optimierte Schweißprozesse und Werkstoffeigenschaften für den Einsatz am Gleis

1. Steigerung der Prozessqualität

Prozessabweichungen beim Schweißvorgang entstehen vor allem aufgrund von schlechten Arbeitsbedingungen (Beleuchtung, Witterung, offenes Nachbargleis), nicht ausreichender Fachkenntnis sowie Materialmängeln. Robel optimiert diesen Arbeitsschritt durch den Einsatz von speziell an den Gleisbau adaptierten

Schweißrobotern. Der Roboter befindet sich in einer mobilen Zelle und erledigt den jeweiligen Auftrag geschützt und ohne Sicherheitsrisiko für Mensch und Umwelt. Nicht optimale Ergebnisse aufgrund schlechter Sicht, widriger Umwelteinflüsse oder der Qualifikation des Schweißers entfallen. Eine Überwachung von Prozess- und Schweißnahtparametern sichert den automatisierten Ablauf. Zukünftige Entwicklungen sehen das Versenden dieser Messdaten an eine lernfähige künstliche Intelligenz vor, um eine stetige Optimierung des Prozesses zu gewährleisten.

Die hohe Prozesssicherheit des Roboterschweißens wurde in anderen Industrien schon vor Jahren bewiesen: Dünobleche im Automobilbau und Dickbleche im Schiffbau werden seit Langem erfolgreich mittels Robotern miteinander verschweißt. Robel arbeitet bei der Automatisierung des Schweißvorganges mit Industriepartnern zusammen, die langjährige Erfahrung im Roboterschweißen in das Projekt einbringen. Darüber hinaus setzt das Unternehmen selbst seit über 20 Jahren bei der Herstellung von Drehgestellen stationäre Schweißroboter ein.

2. Wann rechnet sich ein Schweißroboter?

Investitionskosten für eine Verbindungsschweißung von Schienen mit dem aluminothermischen Verfahren (AS) sind gering im Vergleich zur Anschaffung einer mobilen Roboterschweißanlage. Das MSG-Verfahren bringt jedoch wesentliche Vorteile mit sich, die

zu einer Kostenreduktion führen – die Investition amortisiert sich in wenigen Jahren:

Geringe Materialkosten

Der automatisierte Schweißprozess verbraucht deutlich weniger Betriebsmittel. Die Kosten je Schweißung, ohne Berücksichtigung der verkürzten Durchlaufzeiten, betragen ca. 1 zu 10 im Vergleich zum aluminothermischen Schweißen.

Kürzere Arbeits- und Sperrzeiten

Eine reduzierte Vorwärmtemperatur je nach Schientyp von ca. 200°C bis 300°C und der geringe lokale Energieeintrag verkürzen die Anwärm- und Abkühlphase; das aluminothermische Schweißen findet bei Vorwärmtemperaturen von ca. 900°C bis 1000°C statt.

Flexible Einsatzmöglichkeiten

Viele Schienenquerschnitte und Stahlqualitäten lassen sich ohne großen Umrüstaufwand verschweißen. Eigenschaften wie eine harte austenitische Mangan-Herzstückspitze oder eine tieftemperaturzähe Verbindung werden durch das Legieren der Schweißzusatzwerkstoffe und Schweißgase erzielt.

Präzises Arbeitsergebnis

Die Prozesssicherheit bleibt in einem definierten Temperaturbereich bestehen. Die Verfassung und das Geschick des Schweißers haben keinen Einfluss mehr auf die Schnelligkeit und Qualität der Schweißverbindung.

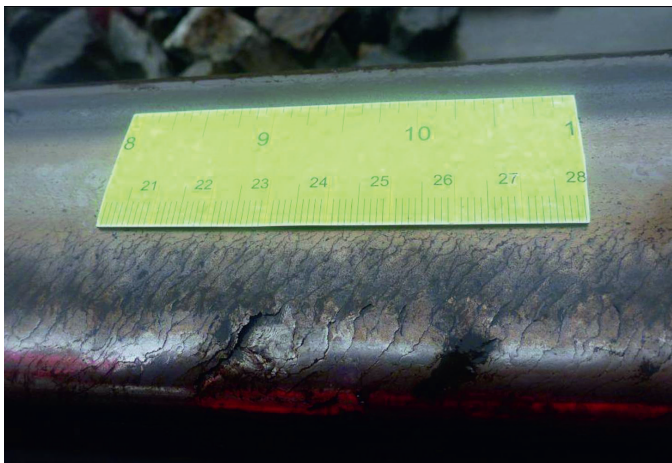


Abb. 1a/1b: Reparieren statt wegwerfen: Head Checks („schräg“) und tiefe Schleuderstellen, die üblicherweise einen Passschienenwechsel erfordern, lassen sich im automatisierten MSG-Schweißen wieder instandsetzen bzw. aufbauen und optimieren *Quelle: SBB und Archiv Alfred Wöhhart aus dem Handbuch Eisenbahninfrastruktur*

Darüber hinaus beinhaltet das automatisierte MSG-System alle Bausteine für die unterschiedlichsten Anwendungen im Bereich Schweißen im Gleisbau, wie:

- das Verbindungsschweißen von Schienen; auch als Schlusschweißung beim Einsetzen von Passschienenstücken
- das Ausbessern von Fehlern oder Schäden nach vorangegangener Zerspannung der betroffenen Stellen in fast allen Bereichen des Schienenquerschnitts oder an wichtigen Bauteilen von Weichen (z.B. Verschleiß, Verquetschungen, Rollkontaktermüdung und Schlupfwellen)
- das vollständige Wiederaufbauen von Fahrkanten, Weichenherzspitzen oder Schleuderstellen (Abb. 1a, 1b).

3. Hohe Werkstoffqualität für langlebige Schienen

Das Schweißverfahren bestimmt die Breite der Wärmeeinflusszone (WEZ): Das MSG-Verfahren reduziert die WEZ aufgrund geringerer Vorwärmtemperaturen und eines kleineren Schweißbereiches um bis zu 50 % verglichen mit aluminothermisch geschweißten Verbindungen (Abb. 2, Abb. 3, Abb. 4). Die Höhe der Härtespitzen und auch der Härteeinbruch können durch spezielle Schweißzusatzwerkstoffe zielgerichtet eingestellt werden. In Spezialanwendungen werden die Härtespitzen mit einer nachfolgenden örtlichen Wärmebehandlung wieder entspannt. Das Schliffbild wird feinkörniger (Abb. 5), die Schienenoberfläche wesentlich widerstandsfähiger und die Angriffsfläche für das Rad geringer. Die Folge ist eine Verlängerung der Schienen-Liegedauer.

Zum vorliegenden positiven Nachweis der Eignung des MSG-Verfahrens wurden als Prüfwerte die in der EN 14587-2 für das Abbrennstumpfschweißen angeführten Festigkeits- und Elastizitätswerte herangezogen (Tab. 1). Das für das MSG-Schweißen eingesetzte Material in Verbindung mit der deutlich reduzierten Arbeitstemperatur führt zu optimaler Werkstoff-Qualität: Die Schweißnaht ist elastischer,

die Bruchanfälligkeit sinkt signifikant.

Automatisiertes MSG-Schweißen im Vergleich zu gängigen Verfahren

Hervorragende Schweißqualitäten werden mit Abbrennstumpfschweißgeräten erzielt. Diese Kombination aus Elektro- und Werkzeugmaschine, ursprünglich aus dem stationären Bereich, ist jedoch mit hohen Anschaffungskosten verbunden und wird ausschließlich zum Verbindungsschweißen eingesetzt. Kleine Reparaturen lassen sich damit nicht wirtschaftlich ausführen, Auftragsschweißungen sind gänzlich unmöglich.

Das aluminothermische Schweißverfahren verlangt erheblich geringere Investitionen in Anlagen und Maschinen, die Kosten pro Schweißung sind aber aufgrund hoher Material- und Personalkosten höher. Zudem ist der Gussvorgang unflexibel, fehleranfällig und wegen hoher Temperaturen und mangelnder Ergonomie eine ständige Bedrohung für die Gesundheit des Bedieners. Für die Qualität der AS-Schweißungen sind gut ausgebildete, geprüfte und zertifizierte Schweißer unverzichtbare Voraussetzung.

Das neue MSG-Verfahren mit Schweißrobotern ist günstiger als Abbrennstumpfschweißen sowie präziser und sicherer als aluminothermisches Schweißen. Der größte Vorteil liegt in der flexiblen Ausgestaltung des Systems – von Auftragsschweißungen über Verbindungsschweißen bis hin zum 3D-Wiederaufbau in verschiedenen Trägerfahrzeugen (Abb. 6).

Sicherheit für Anwender, Umwelt und Verkehr

Die Sicherheit von Mensch und Umwelt über den gesamten Prozesszeitraum ist eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung der Schweißtechnik im Bahnbau. Robel setzt hier auf eine patentierte Kombination aus Einhausen und Überwachen.

- Der Roboter wird ausschließlich in einem geschlossenen, sensorgestützt überwachten Arbeitsraum eingesetzt. Ein unbeab-

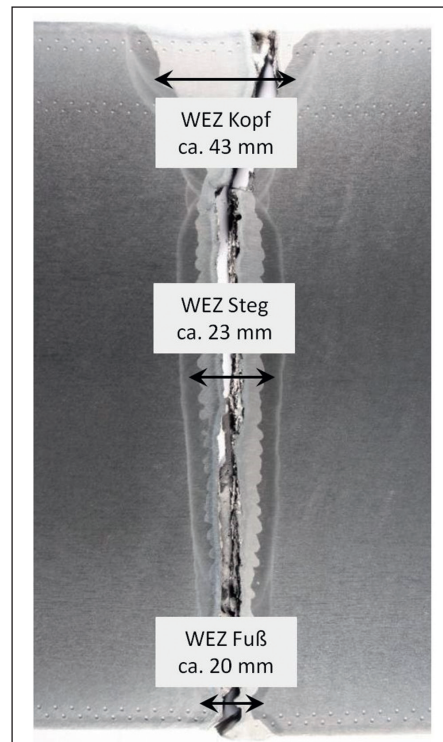


Abb. 2: Schwachstellen-Minimierung: Das MSG-Verfahren reduziert die Wärmeeinflusszone um 50 Prozent verglichen mit einer aluminothermischen Schweißung.

Quelle: ROBEL Bahnbaumaschinen GmbH

sichtigtes Betreten dieses Arbeitsraumes oder die Gefährdung von Passanten durch den Lichtbogen (verblitzen/blenden), ist ausgeschlossen.

- Lärm- und Abgasemissionen, Feinstaub und die entstehenden Prozessgase werden gekapselt, gezielt abgesaugt, behandelt und abgeführt.
- Der Bediener arbeitet an einem sicheren, ergonomischen Bedien- und Steuerstand außerhalb des Roboter-Arbeitsbereiches und überwacht von dort den automatischen Prozess.

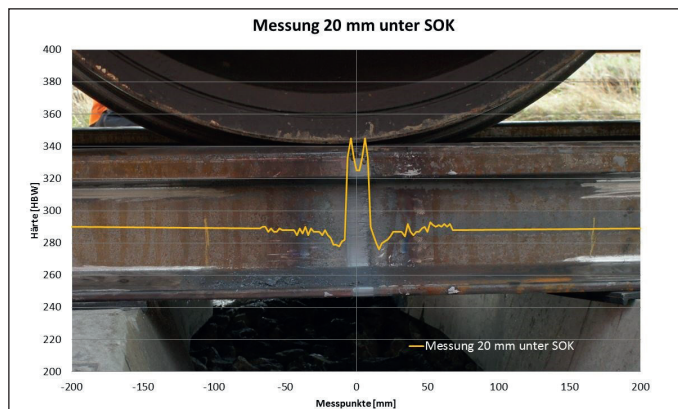


Abb. 3: Maximale Belastbarkeit: Der beim automatisierten Schweißen eingesetzte Zusatzwerkstoff härtet das Material und verringert so die Wärmeeinflusszone – es erfolgt keine Beeinträchtigung durch das Rad.

Quelle: Plasser & Theurer



Abb. 4: Durch Verschleiß bedingte Dellen in der Weichglühzone einer aluminothermischen Schweißung.

Quelle: ÖBB

	Minstdurchbiegung [mm]	Mindestbiegekraft für Zulassung und Produktion [kN]
	Stahlsorten R220, R260, R260Mn und R350HT	Stahlsorten R260, R260Mn und R350HT
Schienenprofil 60E2 EN 14587-2; Tabelle A.1	>= 20	>= 1600
Schienenprofil 60E2 – R260 ROBEL	34,8	1723

Tab. 1: Höhere Elastizität, geringere Bruchanfälligkeit: Vergleich der beim automatisierten Schweißen erreichten Werte mit der für das Abbrennstumpfschweißen gültigen Norm EN 14587-2.

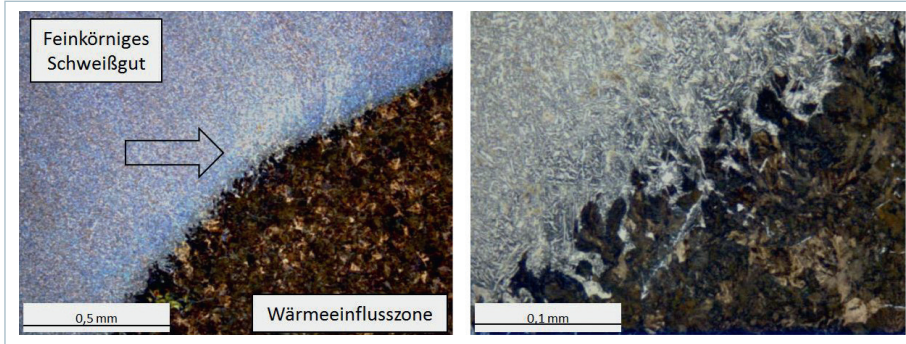


Abb. 5: Metallurgische Untersuchungen bei geätzten Probeschienenstücken mit 3% HNO₃ zeigen ein deutlich feinkörnigeres Schlibbild im Übergang von Schweißgut zu Wärmeeinflusszone.

Quelle: ROBEL Bahnbaumaschinen GmbH



Abb. 6: Statt Bauteile auszutauschen, wird die ursprüngliche Geometrie in kurzer Zeit schichtweise rekonstruiert und somit vollständig wiederhergestellt.

Quelle: ROBEL Bahnbaumaschinen GmbH

Aufgrund dieses Schutzkonzeptes gestaltet sich der Einsatz der Gleisbauroboter wesentlich schneller und kostengünstiger als das Einrichten einer herkömmlichen Baustelle. Die notwendigen Sicherheitsbetrachtungen erfolgen weitestgehend standardisiert und automatisiert. Dies erleichtert die Baustellenplanung und reduziert Sicherungs- und Rüstzeit auf ein Minimum.

Alle Schweißparameter wie Schweißstrom und -spannung, Drahtvorschub und Gasdurchflussmenge sowie der benötigte Energiebedarf werden über definierte Steuerungen aufgezeichnet und bei Bedarf mit einer aktiven Regelung kombiniert, welche den Schweißprozess weiter verbessert und Ausschuss sowie Fehler konsequent vermeidet. Zusätzlich besteht die Option, die aktuellen Umgebungsbedingungen, Tag und Uhrzeit, GPS- und Streckendaten der Baustelle sowie den Schienenzustand aufzuzeichnen und für spätere Auswertungen zu speichern. Für jeden automatisiert bearbeiteten Streckenabschnitt lassen sich so anhand der vorliegenden Daten und der Auslastung durch den Schienenverkehr präventive Maßnahmen für die Instandhaltung der Schienen treffen.

Anwenderfreundlichkeit vom Schweißer bis zum Anlagenführer

Die sensible Schnittstelle zwischen Mensch und Roboter ist auf programmgestütztes Arbeiten ausgelegt. Die Steuerung ist weitestgehend intuitiv bedienbar, es sind keine Programmierkenntnisse erforderlich. Die darüber hinaus notwendigen Fähigkeiten erwerben die Anwender in einem mehrtägigen Kurs. Bereits nach einer rund zweiwöchigen Einschulung sind Bediener in der Lage, auch kompliziertere Einstellarbeiten am Roboter vorzunehmen. Zusätzlich unterstützt Robel mit einem optionalen 24/7 Online Service: Experten schalten sich live in den Betrieb zu, optimieren Prozessschritte oder beheben Störungen per Fernwartung.

Zukunftssicher durch Automatisierung

Die Roboterschweißtechnik verändert die Arbeitsprozesse der Schieneninstandhaltung grundlegend und liefert so Lösungen für die drängendsten Themen im Gleisbau – Arbeitskräftemangel, Prozessgeschwindigkeit, Arbeitssicherheit und Umweltschutz:

- Auftragsschweißen von wenigen Millimetern bis zu mehreren Metern Länge auf Schienen und Weichenteilen verlängert die Lebensdauer dieser Eisenbahninfrastrukturelemente.
- Statt Bauteile auszutauschen wird die ursprüngliche Geometrie in kurzer Zeit wiederhergestellt. Diese schichtweise Rekonstruktion von Weichenteilen und -herzen ähnelt einem 3D-Druckverfahren (Abb. 6).
- Bekannte Reparaturverfahren wie z.B. das Ausfräsen von Schienenfehlern und das anschließende Aufschweißen erfordern erheblich weniger Zeit und Personal.

Bisheriges Verfahren	Neues Verfahren	Delta Investitionskosten	Delta Prozesskosten
Ein dreiköpfiger Bau-truppe fräst ein Stück Schiene aus und schweißt anschließend in mehreren Lagen wieder auf. Am Ende wird die Oberfläche durch Schleifen hergestellt.	Ein Schweißroboter in einem Container über der Schadstelle führt alle Aufgaben durch. Die Bedienung erfolgt durch nur einen Mitarbeiter.	600 T€ Anschaffungskosten für den Roboter-Container	- 2 Mitarbeiter 95 T€/Jahr - 50% Prozesszeit = 2-fache Anzahl Baustellen in der gleichen Zeit
Verbindungsschweißen durch aluminothermisches Schweißen	Verbindungsschweißen durch Roboter in Basis-Schienenfahrzeug	450 T€ Anschaffungskosten für Roboter-Fahrzeug	- aluminothermische Schweißpackung - 70% Prozesszeit 3-fache Anzahl Schweißungen pro Schicht = weniger Wartezeit für das Bauteam
Tausch Weichenherz mit Zweibegebagger, Gleiskraftwagen und Bautrupps (6 Personen)	Ein Schweißroboter im Container repariert das Weichenherz im 3D-Druckverfahren. Die Bedienung erfolgt durch 2 Personen.	600 T€ Anschaffungskosten für den Roboter-Container im Vergleich zu ca. 2 Mio. € Kosten für einen Gleiskraftwagen u. einen Zweibegebagger	- 4 Mitarbeiter -190 T€/Jahr - Weichenherz - 4 aluminothermische Schweißpackungen - 20% Prozesszeit

Tab. 2: Automatisiertes MSG-Schweißen im Vergleich zu gängigen Verfahren

- Das Verbindungsschweißen von Schienenstößen wird schneller, führt zu einem wesentlich geringeren Wärmeeintrag und zu weniger Überstand. Dies verringert die Auskühlzeit, das Abscheren erübrigt sich (Abb. 7).
- Der Bediener kommt zu keiner Zeit mit dem Arbeitsbereich in Berührung, die Arbeit erfolgt unabhängig von hohen Temperaturen, Gefahrenstoffen und Witterungsverhältnissen.
- Wird als Schweißgerät ein Laser eingesetzt, kann dieser auch für Trennaufgaben verwendet werden.

Fazit

Schweißen ist ein neuralgischer Vorgang in der Schieneninstandhaltung und wichtiger Kosten- und Zeitfaktor für das Instandhaltungsunternehmen. Im Hinblick auf die zunehmend komplexen Anforderungen an den Gleisbau, vor allem in Zusammenhang mit Schnelligkeit, Prozess- und Arbeitssicherheit, geht an der Optimierung des Schweißverfahrens kein Weg vorbei. Neue MSG-Schweißverfahren in Verbindung mit einer Automatisierung durch den Einsatz von Schweißrobotern liefern eine mögliche

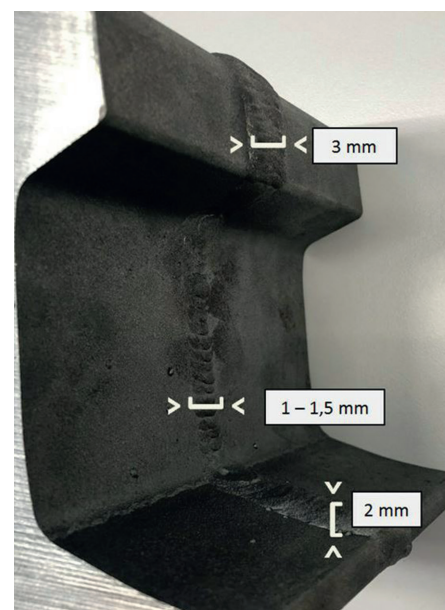


Abb. 7: Der überstehende Schweißwulst einer automatisierten Verbindungsschweißung in derzeitigem Entwicklungsstand: Am Schienenkopf ist genügend Material für den Feinschliff vorhanden, an der restlichen Schiene muss nicht nachgearbeitet werden. Quelle: ROBEL Bahnbaumaschinen GmbH

Antwort, wie Schweißen noch sicherer, wirtschaftlicher und präziser werden kann. ■



Markus Lexhaller B.Sc.
Mechanik Mobile Instandhaltungssysteme
ROBEL Bahnbaumaschinen GmbH, Freilassing
Markus.Lexhaller@robel.com



Dipl.-Ing. (FH) Gregor Schmid
Leiter Business Unit Systeme & Fahrzeuge
ROBEL Bahnbaumaschinen GmbH, Freilassing
Gregor.Schmid@robel.com



Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Sendlhofer
Leiter Robotik
ROBEL Bahnbaumaschinen GmbH, Freilassing
Gerhard.Sendlhofer@robel.com