

# **MSG-Laserstrahlhybridschweißen mit Faserlasersystemen**

---

**Anwendungspotenziale im Schienenfahrzeugbau**

**Bremen, 24.05.2005**

## Gliederung

**Prozessgrundlagen**

**Gerätetechnische Entwicklungen und technologische Untersuchungsschwerpunkte**

**Vorbereitung und Durchführung einer Musterfertigung an ausgewählten Baugruppen**

**Zusammenfassung und Ausblick**

## Verfahrensvergleich:

### Lichtbogen:

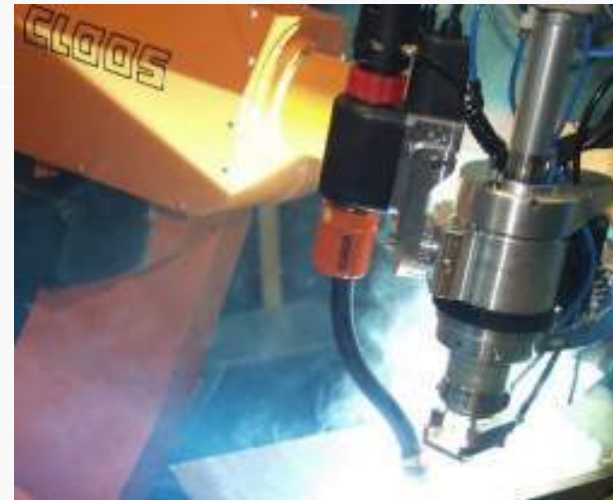
- preiswerte, konventionelle Energiequelle
- gezielte Beeinflussung der Wärmeführung
- beim MSG-Prozess: → Zugabe von Zusatzwerkstoff dadurch:
  - gute Spaltüberbrückbarkeit bzw. guter Toleranzausgleich
- metallurgische Gefügebeeinflussung

### Laser:

- hohe Schweißgeschwindigkeiten
- hohe Einschweißtiefe
- tiefe schmale Naht
- geringe thermische Belastung
- kleine Wärmeeinflusszone

### Hybridprozess:

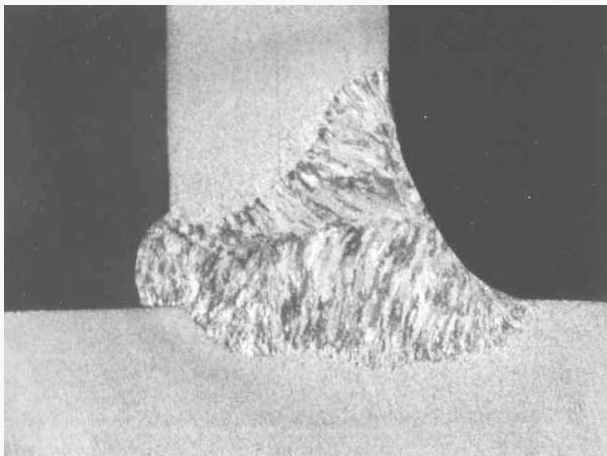
- Prozessstabilisierung durch Wechselwirkungen zwischen den Prozessen
- Steigerung des thermischen Wirkungsgrades
- Funktionsangepasste Nahtgeometrie
- erweiterte Schweißmöglichkeiten



## *Vorteile für den Schienenfahrzeugbau:*

- **Ein hoher Anteil der zu schweißenden Nähte am gesamten Nahtaufkommen sind Kehlnähte**
  - Erschließung neuer Möglichkeiten zur innovativen Fertigungsgestaltung durch Einsatz MSG-Laserhybridschweißprozess möglich
- **Der grundlegende wirtschaftliche Effekt am T-Stoß ist die Erzielung des Vollanschlusses ohne Nahtvorbereitung durch Einseitenschweißung bei Schweißgeschwindigkeiten im Bereich von ca. 40 - 60 cm/min**
  - maximal anzuschließende Blechdicke bei einseitiger Zugänglichkeit und einem überlagerten a-Maß von 5 mm beträgt zum derzeitigen Stand 10 mm

MAG-Fülldrahtschweißen  
HY-Vorbereitung,  
Schweißen in einer Lage



Lichtbogenparameter

**Drahtvorschub: 3,7 m/min**

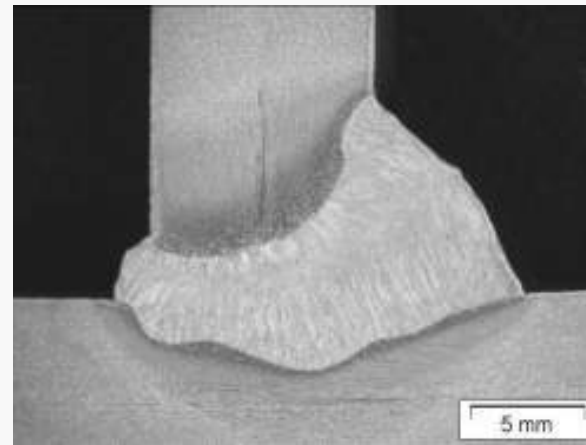
**Spannung: 25,8 V**

**Zusatzdraht: Fluxofil M8; 1,6 mm**

**Schweißgeschwindigkeit: 24 cm/min**

**Schweißzeit pro Nahtmeter: 250 s**

Hybridgeschweißte  
Kehlnaht  
ohne Fugenvorbereitung  
Schweißen in einer Lage



Lichtbogenparameter

**Drahtvorschub: 12,5 m/min**

**Spannung: 38,5 V**

**Zusatzdraht: G4Si1; 1,2 mm**

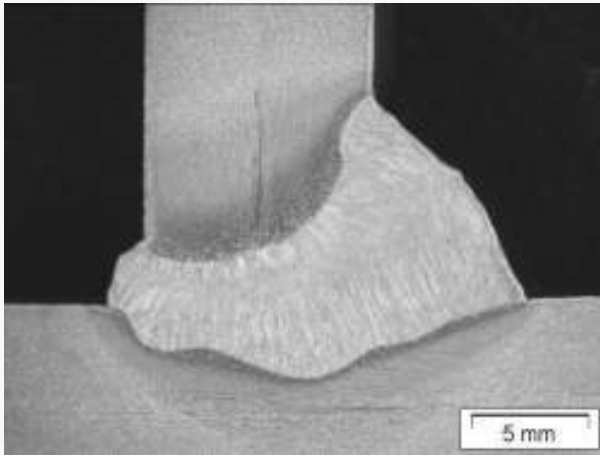
**Laserleistung: 4 kW**

**Schweißgeschwindigkeit: 100 cm/min**

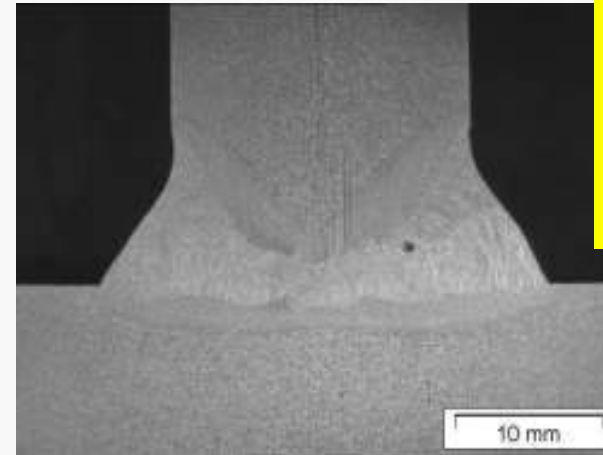
**Schweißzeit pro Nahtmeter: 60 s**

**Positive  
Effekte im  
Hinblick auf  
Schweißzeiten  
und Kosten  
für Naht-  
vorbereitung!**

- Darstellung der Prozessgrenzen bei 4 kW-Laserleistung am T-Stoß



Einseitenschweißung;  $v_s = 45 \text{ cm/min}$   
T-Stoß ( $t = 10 \text{ mm}$ , S355J2G3) eine Lage  
ohne Fugenvorbereitung



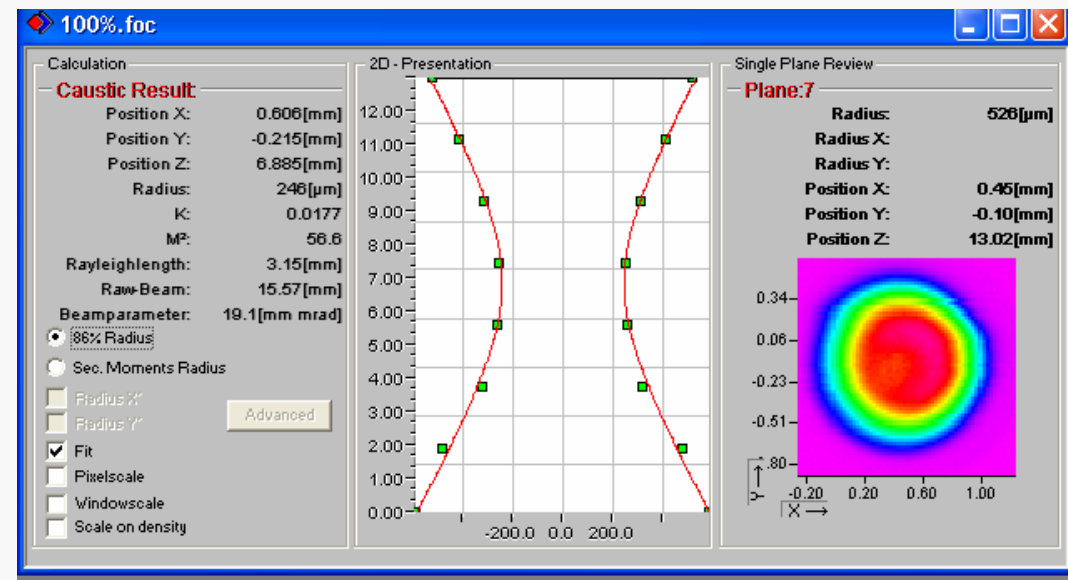
Zweiseitenschweißung;  $v_s = 40 \text{ cm/min}$   
T-Stoß ( $t = 20 \text{ mm}$ , S355J2G3) beidseitig eine  
Lage mit reduzierter Fugenvorbereitung

Ebenfalls positive  
Effekte auf  
Schweißzeiten  
und Kosten für  
Nahtvorbereitung  
feststellbar!

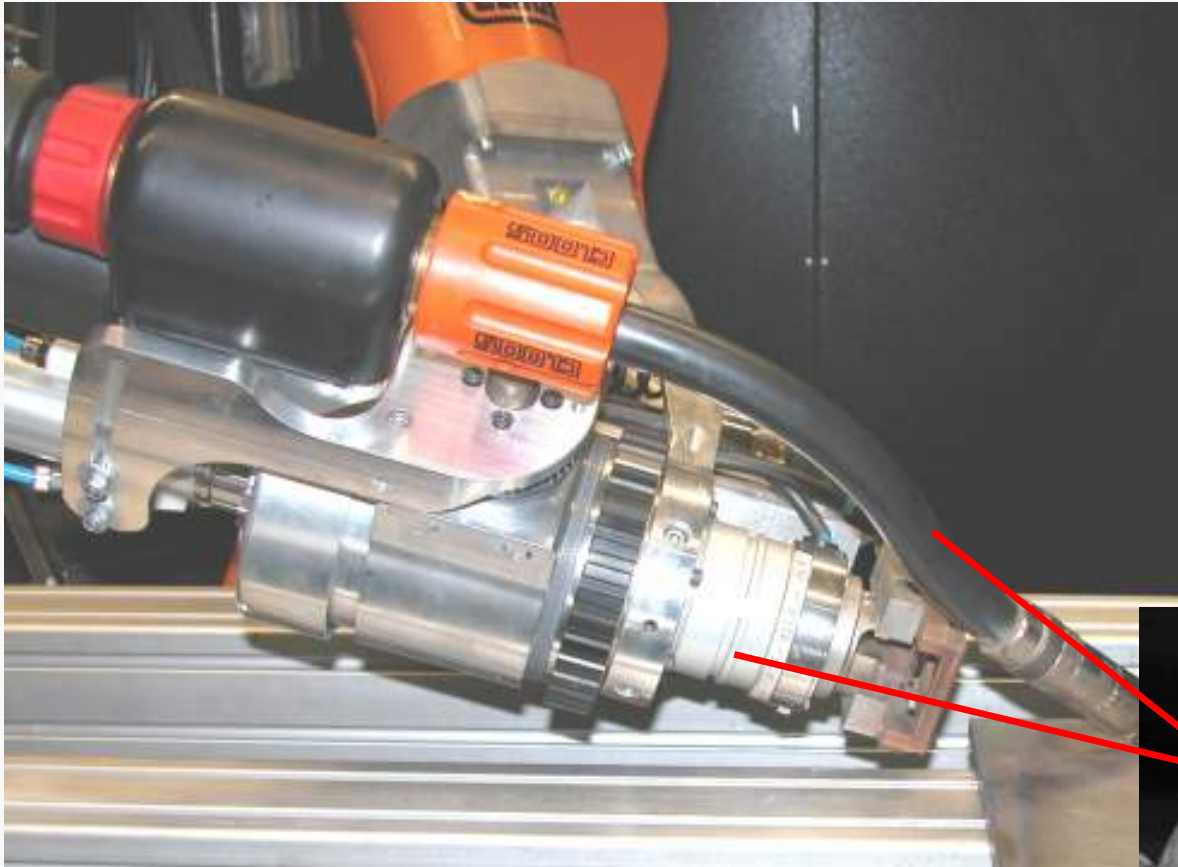
## Gerätetechnischer Entwicklungsstand:



- Laserausgangsleistung: 4,8 kW  
Wellenlänge: 1070 nm  
Faserkerndurchmesser:  $\varnothing$  300  $\mu$ m  
Bearbeitungsbrennweiten:
- Kollimator: 120 mm
  - Fokussierung: 120 mm, 200 mm



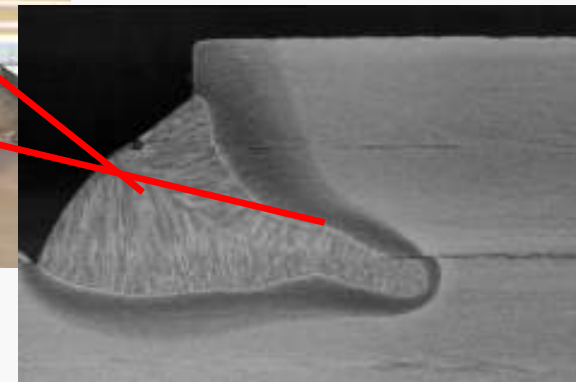
## Gerätetechnischer Entwicklungsstand:



Anstellwinkel am  
T- und Überlapp-  
stoß

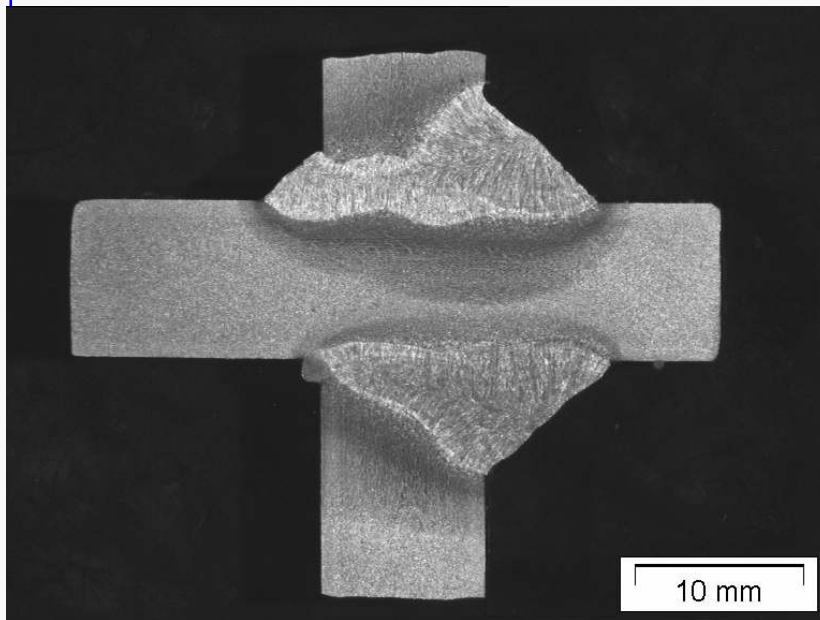
Lichtbogen:  $45^\circ$   
Laser:  $< 12^\circ$

**Ziel: Maximierung der angebundenen Fläche**

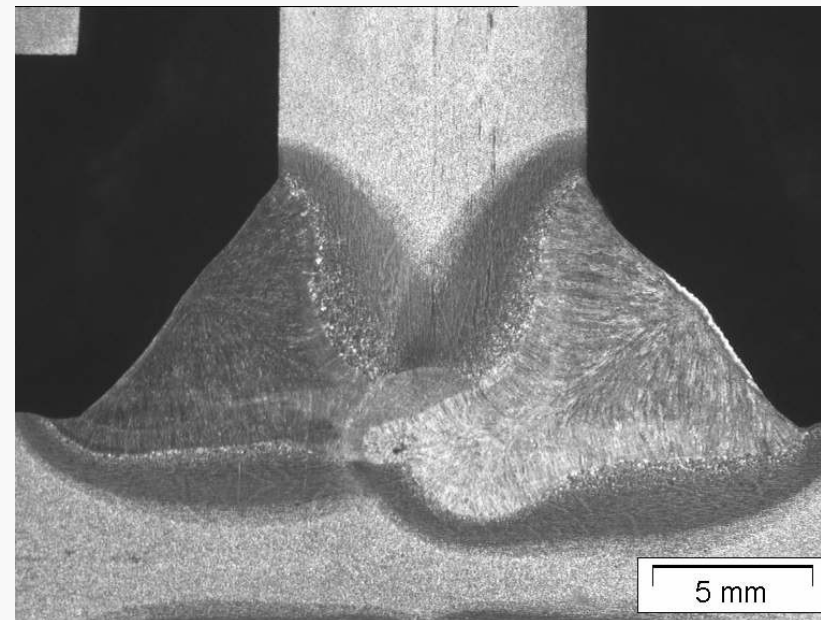


## Qualifizierung des Hybridprozesses für die Anforderungen des Schienenfahrzeugbaus

### Voruntersuchung am Kreuzstoß



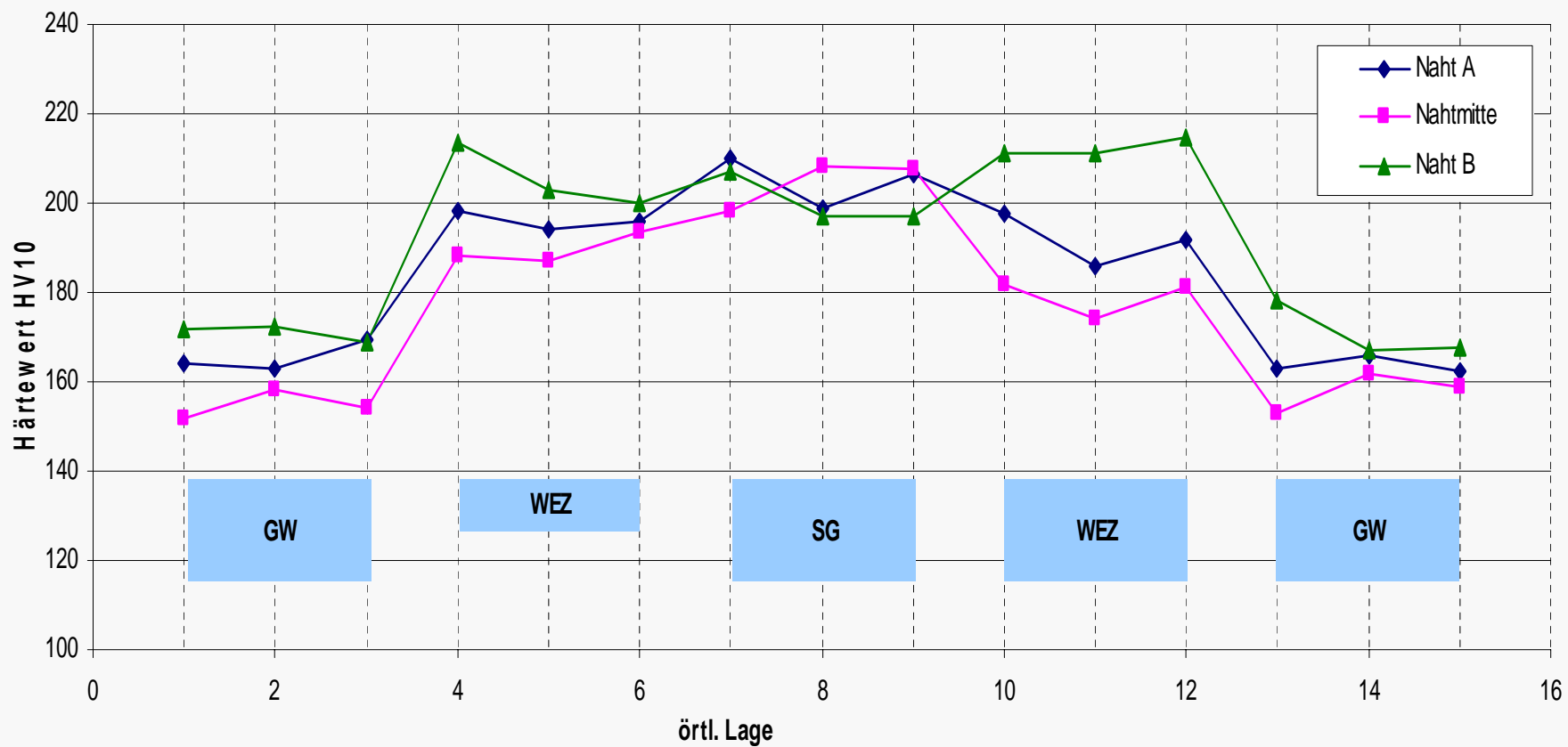
Stromstärke	320 A
Spannung	31 V
Drahtvorschub	11 m/min
Schweißgeschwindigkeit	0,45 m/min
Laserleistung	4400 W



Stromstärke	320 A
Spannung	32 V
Drahtvorschub	13 m/min
Schweißgeschwindigkeit	0,7 m/min
Laserleistung	3500 W

## Qualifizierung des Hybridprozesses für die Anforderungen des Schienenfahrzeugbaus

durchschnittliche Härtewerte über 3 Proben



## Qualifizierung des Hybridprozesses für die Anforderungen des Schienenfahrzeugbaus

### Festigkeitsuntersuchungen:

- **Statische Festigkeit:**
  - Ermittlung der Festigkeiten im Zugversuch
  - Bruch erfolgte im Grundwerkstoff

#### Festigkeiten des Kreuzstoßes bei einseitiger Schweißung

	vorhanden		Mindestwert
Streckgrenze $R_e$	401 N/mm <sup>2</sup>	>	360 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit $R_m$	580 N/mm <sup>2</sup>	>	520 N/mm <sup>2</sup>

#### Festigkeiten des Kreuzstoßes bei beidseitiger Schweißung

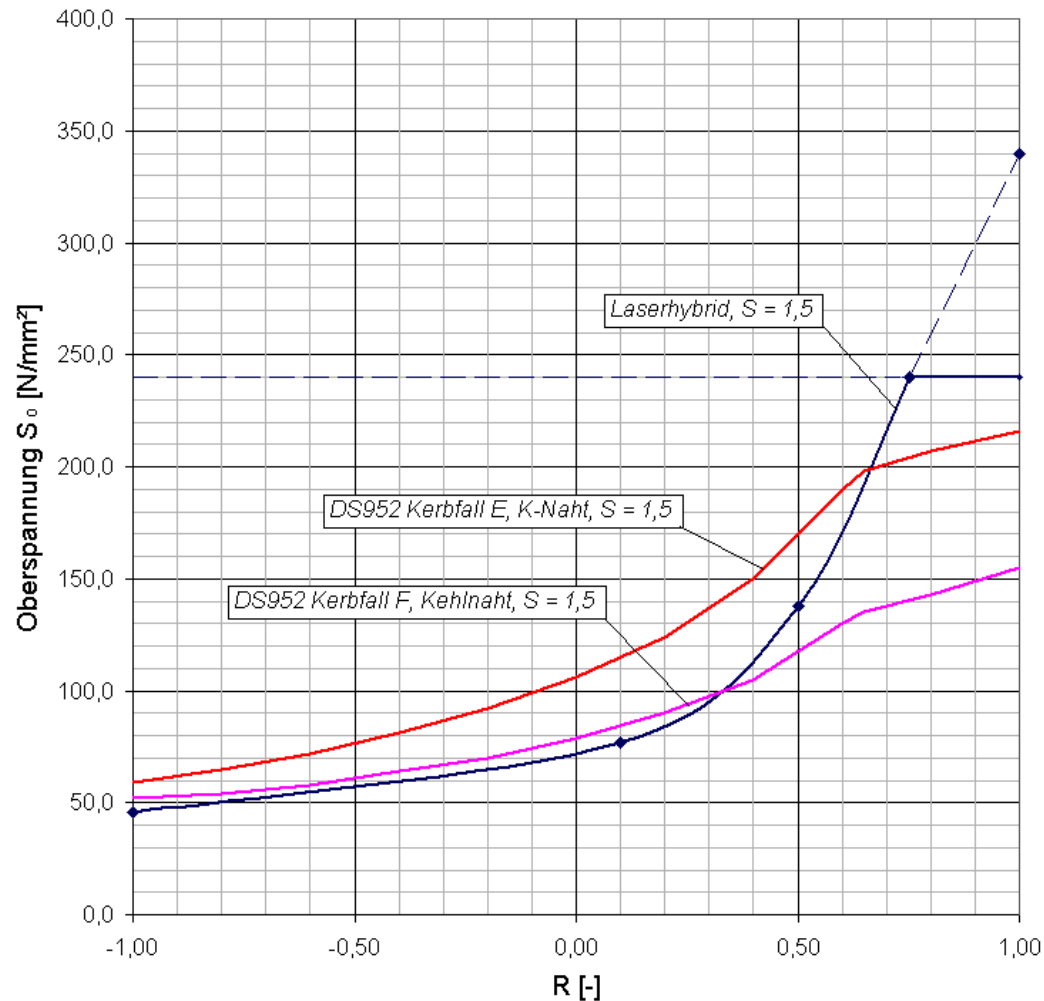
	vorhanden		Mindestwert
Streckgrenze $R_e$	420 N/mm <sup>2</sup>	>	360 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit $R_m$	536 N/mm <sup>2</sup>	>	520 N/mm <sup>2</sup>

## ***Qualifizierung des Hybridprozesses für die Anforderungen des Schienenfahrzeugbaus***

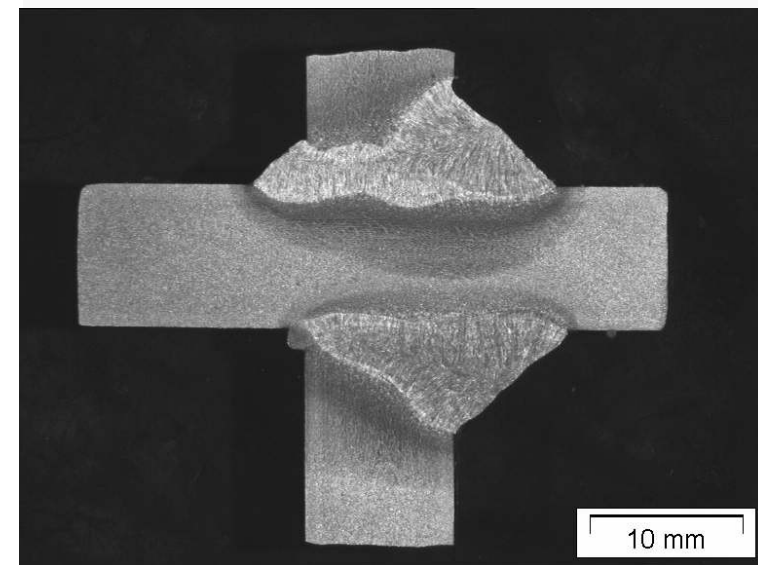
### **Ermüdungsfestigkeit:**

- Ermittlung über einstufige Belastungsversuche
- Prüfung erfolgte mit Grenzspannungsverhältnissen  
 $R = -1,0$ ;  $R = +0,1$  und  $R = +0,5$
- Ermittlung Dauerfestigkeitsschaubilder aus Wöhlerlinien, Überlebenswahrscheinlichkeit  $P_{\bar{u}} = 50 \%$  und Lastwechselzahl  $N = 2.000.000$ , Sicherheit  $S = 1,5$
- Überbewertung Ermüdungsfestigkeit in der Nähe der statischen Festigkeit ( $R=1$ ) ist auszuschließen → Abschneiden der Dauerfestigkeitslinien nicht bei vorhandener Streckgrenze sondern bei mind. erforderl. Streckgrenze
- MKJ-Diagramme für Kreuzstöße mit unterschiedl. Nahtausführung in Bahnvorschrift DS 952
  - unbearbeitete K-Nähte → Kerbfall E
  - Kehlnähte → Kerbfall F

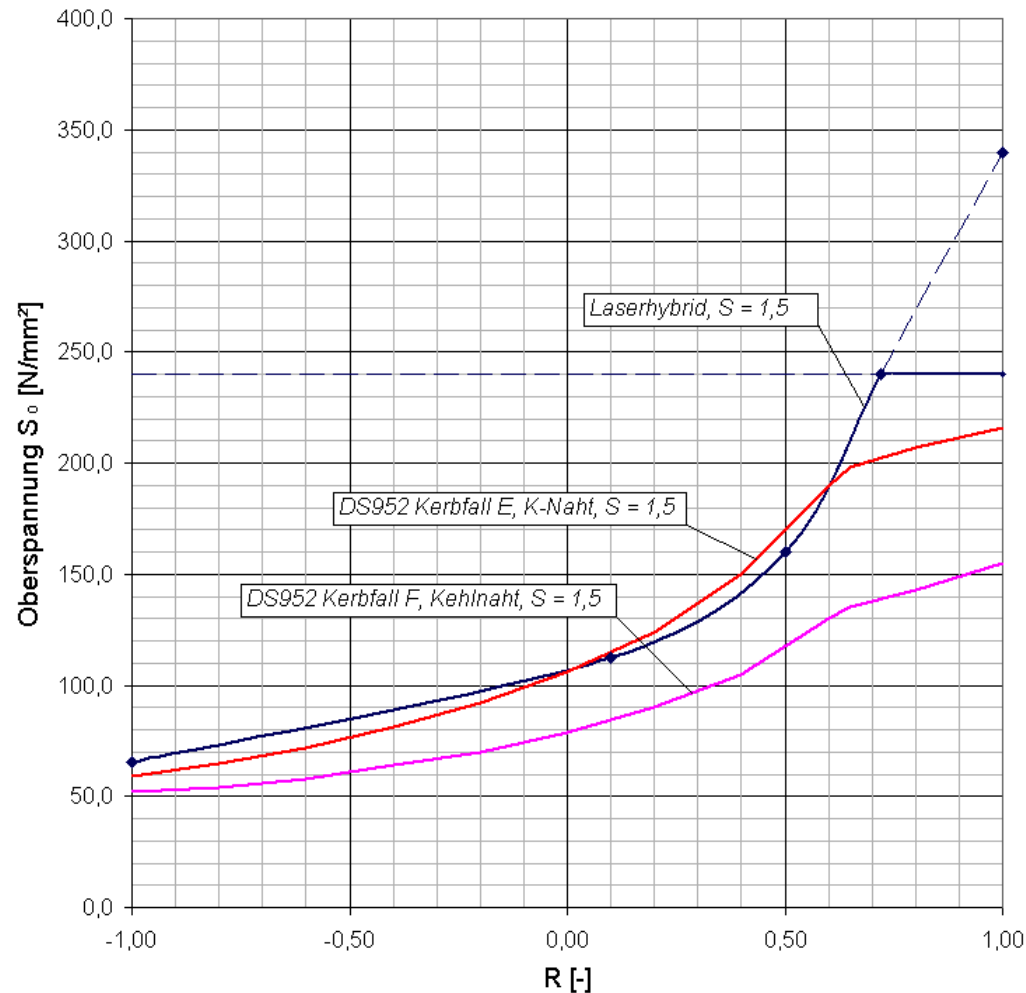
## Qualifizierung des Hybridprozesses für die Anforderungen des Schienenfahrzeugbaus



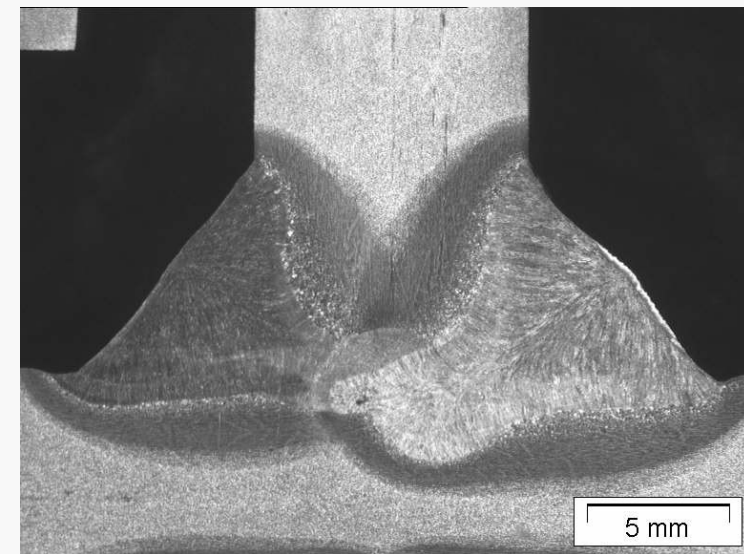
MKJ, 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit der einseitigen Laserhybridverbindung



## Qualifizierung des Hybridprozesses für die Anforderungen des Schienenfahrzeugbaus

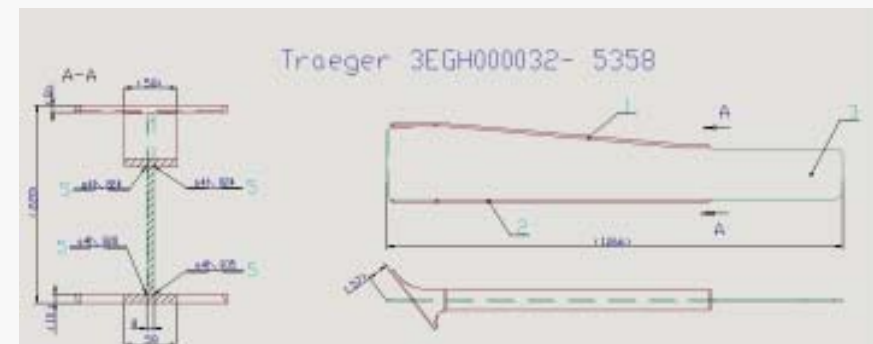
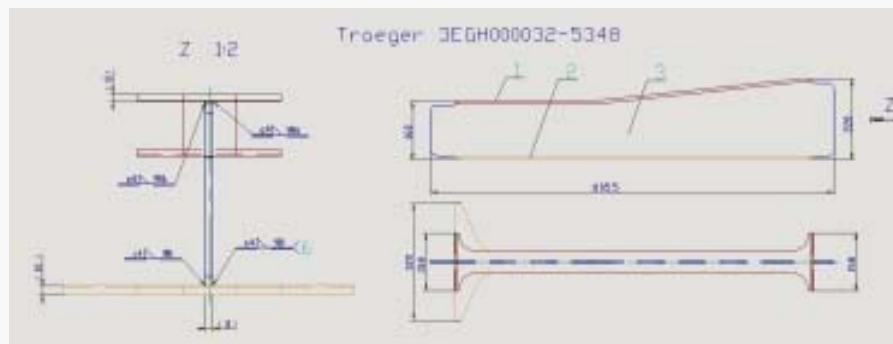


MKJ, 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit der beidseitigen Laserhybridverbindung



## *Vorbereitung und Durchführung einer Versuchsfertigung:*

- **Definition einer Musterfertigung zur Bewertung der Prozessstabilität und Reproduzierbarkeit der Parameter**
- **Auswahl von Trägerbaugruppen aus dem Bereich UG-Rahmen gemäß vorliegenden Fertigungsmöglichkeiten der SLV Halle GmbH**



- **notwendiges Zulassungsverfahren für Musterfertigung in Abstimmung mit EBA, Konstruktionsträger und Kunden  
→ überwachende Stelle SLV Berlin-Brandenburg**

## ***Vorbereitung und Durchführung einer Versuchsfertigung:***

### ***Vorrichtungskonzept:***

- **Anforderungen:**
  - lagegenaue Positionierung der Baugruppe
  - Sicherstellung Roboterzugänglichkeit
  - Sicherstellung maximaler Anzahl von Schweißungen in einer Aufspannung
- **erfolgreiche Qualifizierung der Vorrichtungstechnik erfolgte durch Abschweißen von 10 Trägerbaugruppen bei nur einmaliger Programmierung**
- **anschließend zerstörungsfreien Prüfung (UT) der voll angeschlossenen Nahtlängen**



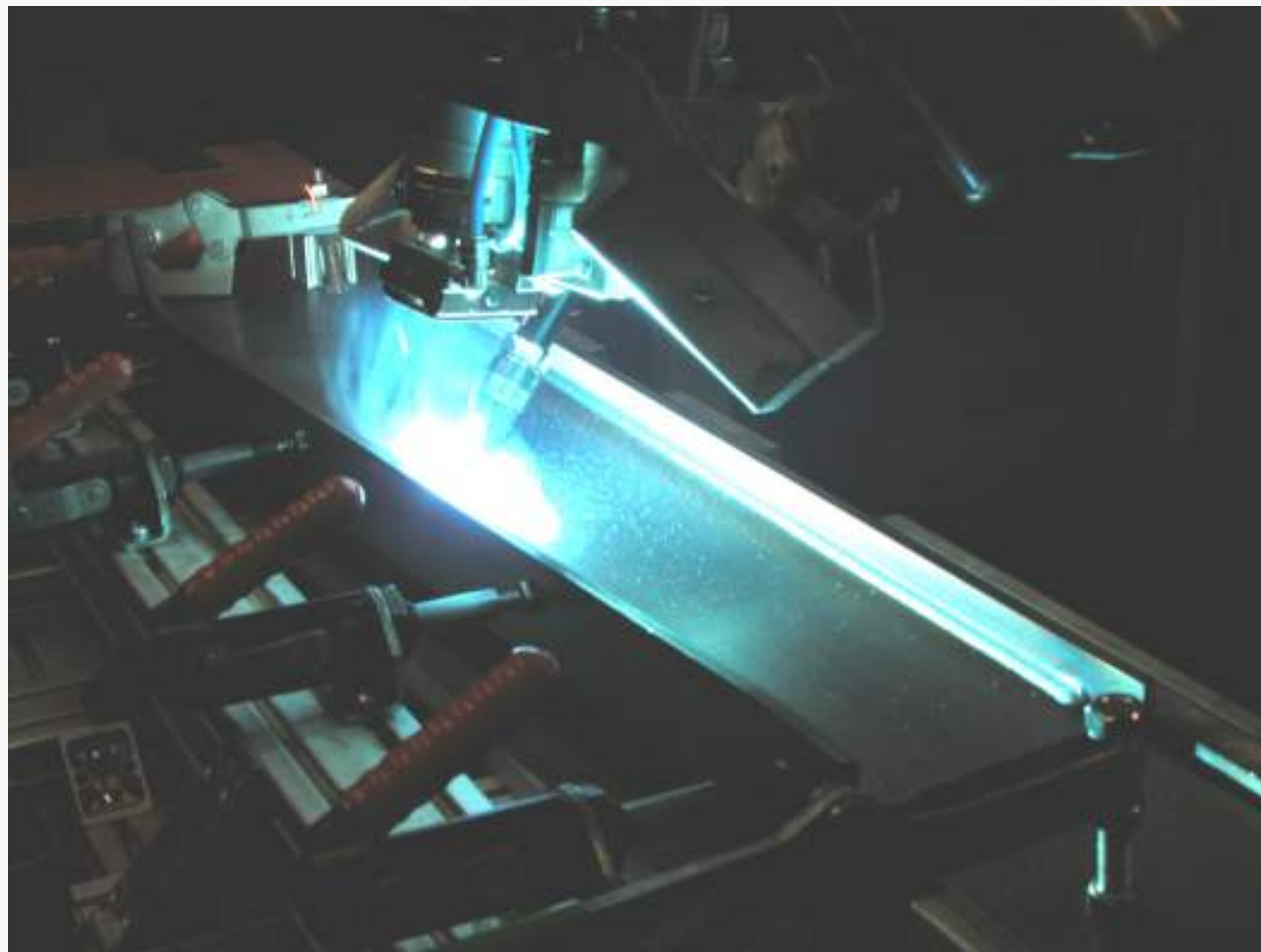
## *Vorbereitung und Durchführung einer Versuchsfertigung:*



- Einseitenschweißvorrichtung
- zum Schweißen beider Träger geeignet

## *Vorbereitung und Durchführung einer Versuchsfertigung:*

### *Fertigungsverlauf und Ergebnisse:*



Durchführung der  
Fertigungsschweißungen

## ***Fertigungsverlauf und Ergebnisse:***

- **Fertigungsbeginn von Trägerbaugruppen nach Abschluss des Zulassungsverfahrens und aller notwendigen Verfahrensprüfungen**
- **Fertigung von 40 Doppel-T-Trägern mit Doppelkehlnähten ( $a = 4 \text{ mm}$ ) bei voll angeschlossenem Stoß über eine Nahtlänge von 800 mm**
- **Schweißung jeweils einer Trägerseite in einer Aufspannung durch Umorientierung des Hybridschweißkopfes (Nutzung 2. Brennerachse)**
- **anfängliche Probleme in der Gestaltung der Nahtendbereiche**
- **bessere Abstimmung auf nachgelagerte Fertigungsschritte**
- **anschließend Fertigstellung qualitativ hochwertiger Baugruppen in kürzester Zeit, welche ohne weitere Anpassarbeiten in UG-Rahmen integriert wurden**

## *Fertigungsverlauf und Ergebnisse:*

- **Stichprobenartige Überprüfung der Länge des voll angeschlossenen Stoßes mittels Ultraschall**
- **Feststellung eines durchgehend fehlerfreien Durchschweißens**
- **nach Lösung der beschriebenen Probleme im Nahtendbereich stabiler, bewährter Fertigungsablauf**
- **Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf größere Nahtlängen in einem weiteren Fertigungsabschnitt**
- **Arbeit an einem Nahtverfolgungssystem zur Werkzeugführung am Stoß für Nahtlängen > 1000 mm erforderlich**

## Zusammenfassung

- **Schaffung eines Präzedenzfalles für die Anwendung von Hybridtechnologien im Schienenfahrzeugbau**
- **Integration der spezifischen Prozesseigenschaften des MSG-Laserhybridschweißens in die Normenfamilie DIN 6700**
- **Erfahrungen und Problemlösungen dienen als Basis für weiterführende Umsetzungen**
- **Bewährung des MSG-Laserhybridschweißens als stabile Technologie und wirtschaftliche Alternative**
- **Eignung der Laserquelle und der Gerätetechnik im Serieneinsatz nachgewiesen**
- **Erwartung erheblicher Einsparpotenziale in der technologischen Bearbeitung von Schienenfahrzeugbauprojekten**
  - Entfall aufwendiger Nahtvorbereitungsarbeiten insbesondere bei dynamisch belasteten Bauteilen



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**