

7. Schweißungen in den Pilotunternehmen

7.1 Beteiligte Pilotunternehmen

Als Pilotunternehmen beteiligen sich:

1. **Kvaerner Warnow Werft Warnemünde**
Werftstr. 10
18119 Rostock
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Dietrich
2. **Ingenieurtechnik und Maschinenbau GMBH (IMG)**
Industriestr. 8
19069 Rostock
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. K.-P. Behrendt
3. **Kirow Rail & Port AG**
Spinnereistr. 13
04179 Leipzig
Ansprechpartner: Dipl.-Ing. R. Herrschuh

Als Projektleiter möchte sich die IGMHS bei allen Beteiligten für die jederzeit sehr gute Zusammenarbeit bedanken, insbesondere für das Interesse der Pilotunternehmen an der Problematik.

7.2. Vorbereitung der Schweißungen

Zur Vorbereitung der Schweißungen in den Pilotunternehmen musste die Entscheidung für die zu untersuchenden GW/ZW-Kombinationen gefällt und die Schweißparameter festgelegt werden.

Die Pilotunternehmen entschieden sich nach eigenem Ermessen/Interesse für den durch sie zu schweißenden Grundwerkstoff (vgl. **Tab. 7.1**). Da keines der Pilotunternehmen Interesse an der Schweißung des S960 zeigte, wurden diese Schweißungen durch die Universität Rostock übernommen.

Grundlage der Entscheidung der zu untersuchenden GW/ZW-Kombinationen waren die Laboruntersuchungsergebnisse (vgl. Abschn. 6 dieses Berichtes). Auswahlkriterium war, dass die mechanisch-technologischen Eigenschaften, insbesondere die Festigkeit und Kerbschlagzähigkeit des Schweißgutes dem des Grundwerkstoffes entsprechen sollten.

Es wurden folgende Kombinationen untersucht:

Tab. 7.1: Untersuchungsvarianten für die Pilotunternehmen

Pilotunternehmen	Grundwerkstoff	Zusatzwerkstoff	Stoßart	Schweißposition	Probenbezeichnung	Ausführung und Bewertung in Anlehnung an
Kvaerner WarnowWerft Pilotunternehmen 1	S 890	B1	Stumpfnah	PA	W8B1	DIN EN 288-3
				PF	W8B1S	
			Kehlnah	PB	W8B1	
				PF	W8B1S	
		M5	Stumpfnah	PA	W8M5	
				PF	W8M5S	
Kehlnah	PB	W8M5				
	PF	W8M5S				
IMG Pilotunternehmen 2	S 890	B1	Stumpfnah	PA	I8B1	DIN EN 288-3
			Kehlnah	PB	I8B1	
		M5	Stumpfnah	PA	I8M5	
			Kehlnah	PB	I8M5	
				PF	I8M5S	
Universität Rostock	S 960	B1	Stumpfnah	PA	U9B1	DIN EN 288-3
		M5	Stumpfnah	PA	U9M5	
	S 1100	B1	Stumpfnah	PA	U11B1	
		M8	Stumpfnah	PA	U11M8	
Kirow Leipzig Pilotunternehmen 3	S 1100	B1	Stumpfnah	PA	K11B1	DIN EN 288-3
			Kreuzstoß	PB	K11B1	
		M8	Stumpfnah	PA	K11M8	DVS-Richtlinie 1702
			Kreuzstoß	PB	K11M8	

Bild 7.1 zeigt die verwendeten Probenformen nach DIN EN 288-3 /7.1/.

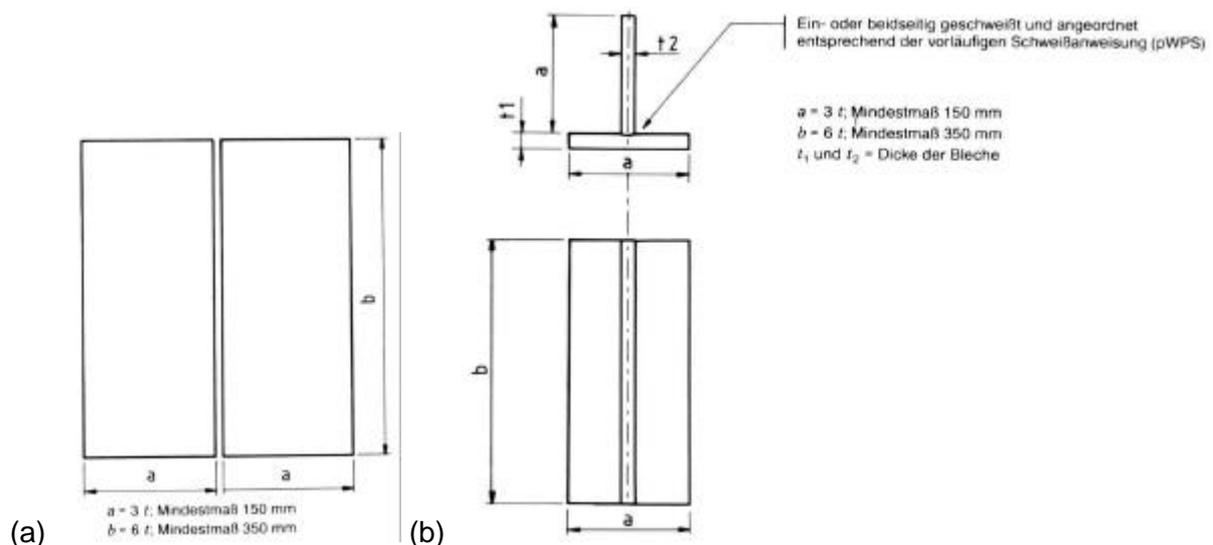


Bild 7.1 : Prüfstücke für eine Stumpfnah am Blech (a) und für eine Kehlnah am Blech (b) nach /7.1/

Die Probenform für die Prüfung nach DVS-Richtlinie 1702 /7.2/ ist **Bild 7.4** zu entnehmen.

7.3. Durchführung der Schweißungen

Die Schweißungen wurden Ende 2002 in allen Pilotunternehmen durchgeführt. Die zu schweißenden Prüfstücke wurden durch PL und P1 vorbereitet und in die Pilotunternehmen geliefert.

In den Pilotunternehmen standen Schweißer mit unterschiedlicher Erfahrung mit dem Schweißen von Fülldrähten zur Verfügung. Während die Schweißer in den Pilotunternehmen 1 und 2 bereits Fülldrähte verschweißt hatten, lagen bei dem Schweißer im Pilotunternehmen 3 keine Erfahrungen vor. Die größten Erfahrungen hatte der Schweißer im Pilotunternehmen 1.

Während der Schweißungen wurden, soweit möglich, Messungen der Abkühlzeiten als insitu-Messungen vorgenommen. **Tab. 7.2** in der Anlage zeigt einige ausgewählte Beispiele von Messungen im Vergleich zu Berechnungen. Nach Auswertung der Messungen wurde festgestellt, dass die Kalibrierung des Messwerterfassungssystems nicht korrekt war. Das zeigt sich in den z.T. in sehr großen Unterschieden zwischen den Werten aus der Rechnung und den Messungen. Dies gilt insbesondere für die Schweißungen im Pilotunternehmen 1. Nach nochmaliger Rücksprache mit dem Hersteller des Messwerterfassungssystems konnte der Fehler korrigiert werden. Das zeigten nachfolgende Messungen bei Schweißungen im Labor von P2. Die bei den Schweißungen in den Pilotunternehmen erfolgten Messungen können nicht in die Auswertung einbezogen werden, da nicht klar nachvollzogen werden konnte, welche Messungen mit Fehlern behaftet waren.

Es wurden die in den Vorversuchen ermittelten Schweißparameter empfohlen. Die Schweißer vor Ort hatten die Möglichkeit, die Parameter entsprechend ihrem eigenen „Empfinden“ anzupassen. Begründet ist dies durch die Verwendung anderer Stromquellen als in den Vorversuchen im Labor und der individuellen Erfahrung der Schweißer.

Vorgegeben wurde die Bedingung, die Wärmeeinbringung möglichst gering zu halten. Es wurde ohne Vorwärmung geschweißt und eine Zwischenlagentemperatur von 100°C eingehalten.

7.4 Ergebnisse der Untersuchung der Schweißungen

7.4.1 Auswahl der durchzuführenden Prüfungen

Die Auswertung erfolgte in Anlehnung an die DIN EN 288-3 /7.1/ und die DVS Richtlinie 1702 /7.2/.

Die **Bilder 7.2 bis 7.4** zeigen die Probelagen in den Prüfstücken nach /7.1/ und /7.2/

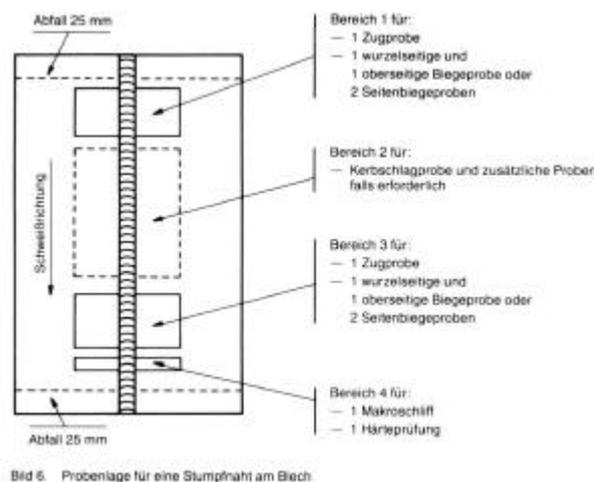


Bild 7.2 : Probelage für einen Stumpfstoß am Blech nach /7.1/

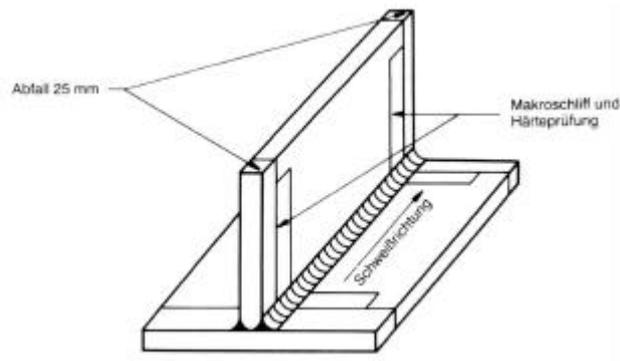
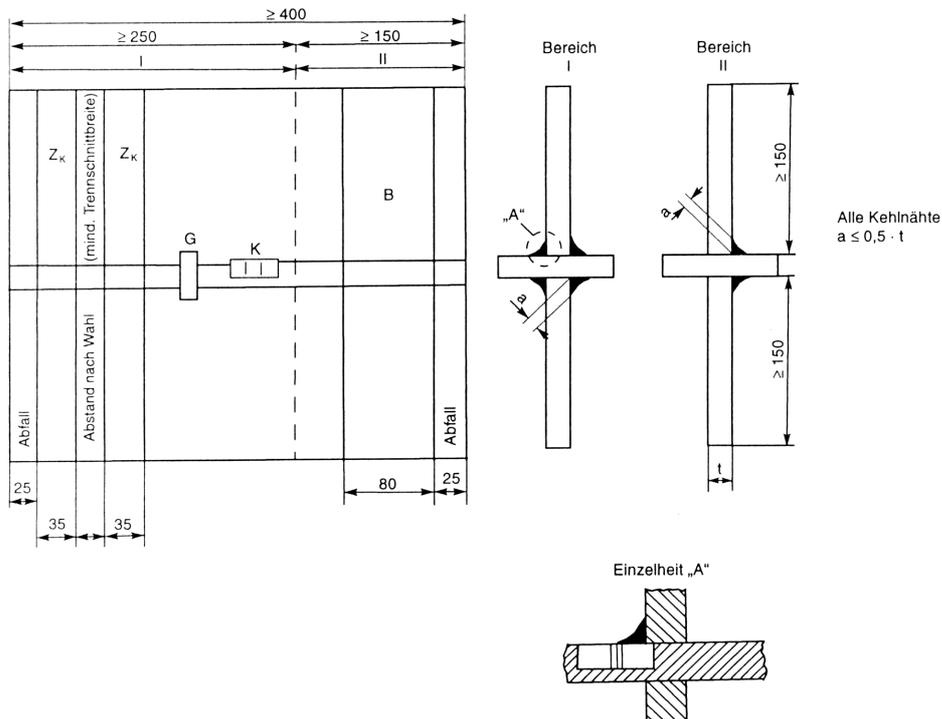


Bild 7.3 : Probenlage für eine Kehlnaht am Blech nach /7.1/

Anlage: Kehlnahtprüfstück (Kreuzstoß), Abmessungen und Probenentnahme



Z_K = Kreuzzugproben (2 Stück)
 K = Kerbschlagprobensatz (3 Kerbschlagproben)
 G = Gefügeprobe (Makroschliff¹⁾ und Mikroschliff²⁾)
 B = Bruchprobe

¹⁾ Härteprüfung am Makroschliff durchführen
²⁾ nur bei vergüteten oder ausscheidungsgehärteten Feinkornbaustählen

Bild 7.4: Kehlnahtprüfstück (Kreuzprobe), Abmessung und Probenentnahme nach /7.2/

Tab. 1 der DIN EN 288-3, vgl. **Tab. 7.3**, schreibt für regulär durchzuführende Verfahrensprüfungen eine Reihe von Untersuchungen und Prüfungen vor.

Es wurden nicht alle nach /7.1; 7.2/ vorgegebenen Prüfungen durchgeführt. Bei der Auswertung in Anlehnung an /7.1/ wurde:

- bei den Stumpfnähten auf die Ausführung der Durchstrahlungs- oder US-Prüfung, Oberflächenrissprüfung und Querbiegeversuchen
- bei den Kehlnähten auf die Ausführung der US- und Oberflächenrissprüfung verzichtet.

Bei den Untersuchungen unter Berücksichtigung von /7.2/ wurden keine US- und Oberflächenrissprüfung sowie Kerbschlagbiegeversuche ausgeführt.

Die zusätzlich nach /7.2/ für die Kreuzproben geforderten Bruch- und Kreuzzugproben wurden ausgeführt.

Die Bewertung der Unregelmäßigkeiten erfolgte entsprechend DIN EN 25817 /7.3/ in der Bewertungsgruppe B (hoch).

Tab. 7.3: Untersuchung und Prüfung der Prüfstücke (Tab. 1 aus /7.1/)

Prüfstück	Prüfart	Prüfumfang	Fußnote
Stumpfnah Bilder 1 und 2	Sichtprüfung Durchstrahlung oder Ultraschall Oberflächenrißprüfung Querzugversuch Querbiegeversuch Kerbschlagbiegeversuch Härteprüfung Makroschliff	100 % 100 % 100 % 2 Proben 2 wurzelseitige und 2 oberseitige Proben 2 Sätze verlangt 1 Probe	— — 1 — 2 6 3 —
T-Stumpfloß ¹⁾ Bild 3 Rohrabzweigung ²⁾ Bild 4	Sichtprüfung Oberflächenrißprüfung Ultraschall Härteprüfung Makroschliff	100 % 100 % 100 % verlangt 2 Proben	— 1 4 und 7 3 —
Kehlnaht am Blech ³⁾ Bild 5 Kehlnaht am Rohr ³⁾ Bild 4	Sichtprüfung Oberflächenrißprüfung Makroschliff Härteprüfung	100 % 100 % 2 Proben verlangt	— 1 — 3
¹⁾ Farbeindringprüfung nach ISO 3452 oder Magnetpulverprüfung. Für nichtmagnetische Werkstoffe nur Farbeindringprüfung. ²⁾ Je 2 Biegeproben, wurzelseitig und oberseitig im Zugbereich, können vorzugsweise durch 4 Seitenbiegeproben bei $t \geq 12$ mm ersetzt werden. ³⁾ Nicht gefordert für Grundwerkstoffe: — ferritische Stähle mit $R_m \leq 420$ N/mm ² ($R_e \leq 275$ N/mm ²) — Stähle der Gruppe 9. ⁴⁾ Nur für ferritische Stähle und für $t \geq 12$ mm. ⁵⁾ Wenn die pWPS oder die WPS nicht durch andere Verfahren anerkannt ist, sollten zusätzliche Prüfungen der mechanischen Eigenschaften in Betracht gezogen werden. ⁶⁾ 1 Satz im Schweißgut und 1 Satz in der WEZ. Ist nur für Wanddicken $t \geq 12$ mm und nur für Grundwerkstoffe mit festgelegter Kerbschlagzähigkeit durchzuführen, oder wenn dies durch eine Anwendungsnorm verlangt wird. Falls keine Prüftemperatur vorgeschrieben ist, erfolgt die Prüfung bei Raumtemperatur. Siehe auch 7.4.4. ⁷⁾ Für Außendurchmesser ≤ 50 mm wird keine Ultraschallprüfung verlangt. Falls es bei Rohraußendurchmessern > 50 mm technisch nicht möglich ist, Ultraschallprüfung anzuwenden, ist — wenn möglich — eine Durchstrahlungsprüfung für Rohrabzweigungen durchzuführen (Bild 4).			

7.4.2 Sichtprüfung

Alle Verbindungen wurden einer Sichtprüfung unterzogen. Oberflächenrisse traten nur bei der Kreuzprobe, die im Pilotunternehmen 3 mit dem Zusatzwerkstoff M8 geschweißt wurde, auf. Die Probe wurde trotzdem in die weitere Auswertung einbezogen. Z.T. wurden Einbrandkerben festgestellt. Diese Proben wurden gekennzeichnet, um an den Makroschliffen die Einbrandkerbtiefe auszumessen und mit den Angaben in DIN EN 25817 zu vergleichen.

Nach der Sichtprüfung wurden die Proben getrennt und die notwendigen Einzelproben durch mechanische Bearbeitung vorbereitet.

7.4.3 Makroschliffe

Es wurden Makroschliffe aller Verbindungen hergestellt (Ausnahme Probe U11M8). Auf eine ausführliche Dokumentation aller Schliffbilder wird in diesem Abschlussbericht verzichtet. Alle Schliffe wurden digital fotografiert und die Bilder archiviert. Bei Bedarf sind alle Bilder beim PL abrufbar.

Alle Schliffflächen wurden visuell auf Unregelmäßigkeiten nach DIN EN 25817 untersucht. Bei den 21 in den Pilotunternehmen ausgeführten Schweißungen traten bei 4 Schweißungen Fehler in Form von ungenügender Durchschweißung, Einbrandkerben, Rissen, Poren und Bindefehlern auf (vgl. **Bilder 7.5 bis 7.7**, s. Anlage).

Bewertet man die aufgetretenen Fehler nach o.g. DIN EN 25817, so kann folgendes eingeschätzt werden:

- die ungenügenden Durchschweißungen (vgl. Bild 7.5) sind **nicht zulässig**
- die festgestellten Einbrandkerben an den Kreuzproben (vg. Bild 7.6) von 1,5 und 0,7mm sind für Bewertungsgruppe B **nicht zulässig** (Bewertungsgruppe B: $\leq 0,5\text{mm}$). Alle anderen Einbrandkerben sind $< 0,5\text{ mm}$ und damit zulässig
- Risse (vgl. Bild 7.6b) sind **nicht zulässig**
- die aufgetretenen Poren (vgl. Bild 7.7a) sind **zulässig**. Allerdings kann mittels der Makroschliffe keine Bewertung der gesamten Naht vorgenommen werden. Dazu wäre eine vorgelagerte zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung notwendig gewesen.
- Bindefehler mit z.T Schlackeeinschlüssen und weiterführendem Riss (vgl. Bild 7.7b) sind **nicht zulässig**

In **Tab. 7.4** sind die Bewertungsergebnisse nach /7.3/ zusammengefasst:

Tab. 7.4: Bewertungsergebnisse der Sichtprüfung und der Makroschliffe für die untersuchten Verbindungen in der Bewertungsgruppe B nach DIN EN 25817 /7.3/

Proben- bezeichnung	Bewertungsergebnisse in Abhängigkeit von den Unregelmäßigkeiten nach /7.3/					Gesamt- bewertung
	Risse	Poren	Bindefehler	ungenügende Durchschweißung	Einbrandkerben	
W8B1 ¹⁾	-	-	-	-	-	o.B.
W8B1S ¹⁾	-	-	-	-	-	o.B.
W8B1 ²⁾	-	-	-	-	-	o.B.
W8B1S ²⁾	-	-	-	-	-	o.B.
W8M5 ¹⁾	-	-	x	-	-	m.B.; n. b.
W8M5S ¹⁾	-	-	-	x	-	m.B.; n. b.
W8M5 ²⁾	-	-	-	-	-	o.B.
W8M5S ²⁾	-	-	-	-	-	o.B.
I8B1 ¹⁾	-	-	-	-	-	o.B.
I8B1 ²⁾	-	-	-	-	-	o.B.
I8M5 ¹⁾	-	-	-	-	-	o.B.
I8M5 ²⁾	-	-	-	-	-	o.B.
I8M5S	-	-	-	-	-	o.B.
U9B1 ¹⁾	-	-	-	-	-	o.B.
U9M5 ¹⁾	-	-	-	-	-	o.B.
U11B1 ¹⁾	-	x	-	-	-	m.B.
U11M8 ¹⁾	-	-	-	-	-	o.B.
K11B1 ¹⁾	-	-	-	-	-	o.B.
K11B1 ³⁾	-	-	-	-	x	m.B.; n. b.
K11M8 ¹⁾	-	-	-	-	-	o.B.
K11M8 ³⁾	x	-	-	-	-	m.B.; n. b.

¹⁾ Stumpfnah

²⁾ Kehlnah

³⁾ Kreuzstoß

o. B. ohne Befund

m. B. mit Befund

n. b. nicht bestanden

Trotz der Bewertungen entsprechend Tab. 7.3 wurden alle Verbindungen in die weitere Auswertung einbezogen.

7.4.4 Härtemessung

Die Härtemessungen wurden in Anlehnung an DIN 1043 T.1 /7.4/ durchgeführt.

In den **Bildern 7.8 bis 7.10** sind beispielhaft je ein Härteverlauf, gemessen über einer Stumpfnah (**Bild 7.8**), einer Kehlnah (**Bild 7.9**) und einem Kreuzstoß (**Bild 7.10**), dargestellt.

Die Härtemessungen an allen Proben sind registriert und können bei Bedarf bei der PL abgerufen werden. Die **Bilder 7.8 bis 7.10** sind als Bilder im Anlagenteil dem Bericht beigelegt.

Die Ergebnisse der Härtemessungen sind in **Tab. 7.5** zusammengefasst. Sie ergeben sich aus der Mittelwertbildung der Ergebnisse in den einzelnen Bereichen (GW; WEZ; SG).

Tab. 7.5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Härtemessung an den Schweißverbindungen der Pilotunternehmen

Pilotunternehmen und Art der Schweißung	Probenbezeichnung	Härtewerte in HV10		
		Ø gemessen im GW	max. gemessen in WEZ	Ø gemessen im SG
<u>Kvaerner WW: S890</u>				
SN; B1; PA	W8 B1	286	421	328
SN; M5; PA	W8 M5	324	450	296
SN; B1; PF	W8 B1 S	307	413	280
SN; M5; PF	W8 M5 S	310	483	310
KN; M5; PB (beidseitig)	W8 M5.1 +.2	322	503	308
KN; M5; PF	W8 M5.1 +.2 S	304	459	366
KN; B1; PB	W8 B1.1 + .2	310 (318)	478 (442)	369 (340)
KN; B1; PF	W8 B1.1 + .2 S	280	455	393
<u>IMG: S890</u>				
SN; B1; PA	I8 B1	308	459	355
SN; M5; PA	I8 M5	313	459	313
KN; B1; PB (beidseitig)	I8 B1.1 + .2	306	488	374
KN; M5; PB (beidseitig)	I8 M5.1 + .2	311	579	388
KN; M5; PF	I8 M5.1 + .2 S	317	493	308
<u>Uni: S960</u>				
SN; B1; PA	U9 B1	350	450	388
SN; M5; PA	U9 M5	351	459	320
<u>Kirow: S1100</u>				
SN; B1; PA	K11 B1	319	383	357
SN; M8; PA	K11 M8	340	405	372
Kreuzstoß; B1; PB	K11 B1	390	455	405
Kreuzstoß; M8; PB	K11 M8	395	455	396
<u>Uni: S1100</u>				
SN; B1; PA	U11 B1	351	455	391
SN; M8; PA	U11 M8	-	-	-

Vergleicht man die durchschnittlich im GW gemessenen Werte der Härte, so kann festgestellt werden, dass diese nicht in jedem Fall den Angaben aus der Tabelle mit den Eigenschaften des Ausgangsgefüges bei den Schweiß-ZTU-Schaubildern (vgl. **Bilder 4.2 bis 4.5** in der Anlage) übereinstimmen.

Folgende durchschnittlichen Werte wurden im GW gemessen (vgl. **Tab. 7.4**):

S 890: in den Pilotuntern.:	309 HV10	S-ZTU-SB :	308 HV10
S 960: in den Pilotuntern.:	350 HV10	S-ZTU-SB :	393 HV10
S1100: in den Pilotuntern.:	359 HV10	S-ZTU-SB :	422/455 HV10

Für den S 1100 liegt der Wert deutlich unter den an den Dilatometerproben gemessenen. Zur Beurteilung der max. in der WEZ gemessenen Werte kann man die nach DIN EN 288-3 zulässigen Härtehöchstwerte entsprechend **Tab. 7.6** heranziehen.

An den Schweißungen in den Pilotunternehmen wurden durchschnittlich gemessen:

S 890: in den Pilotuntern.: 456 bzw. 492 HV10

S 960: in den Pilotuntern.: 455 HV10

S1100: in den Pilotuntern.: 431 HV10

Tab.7.6: Zulässige höchste Härtewerte (HV10), für vergütete Feinkornbaustähle mit einer gewährleisteten Mindeststreckgrenze von $R_e > 500\text{MPa}$ ¹⁾ /7.1/

Einzelraupe Stumpf- und Kehlnaht		mehrlagige Stumpf- und Kehlnaht	
nicht wb	wb ³⁾	nicht wb	wb
450	²⁾	420	²⁾

¹⁾ Für Stähle mit min. $R_e > 885\text{MPa}$ sind Sondervereinbarungen notwendig

²⁾ Sondervereinbarungen sind notwendig

³⁾ wb ... wärmebehandelt

Die durchschnittlich gemessenen Werte übersteigen diese Angaben. Einzelmesswerte liegen z.T. auch darunter (vgl. Tab. 7.4). Es ist nicht gewährleistet, dass bei den Messungen immer die Maximalwerte „getroffen“ werden. Hier muss ein Achtungszeichen gesetzt werden, da die realen Maximalwerte auch über den gemessenen liegen können.

Des weiteren muss auf die Fußnote 1) der Tab. 7.5 hingewiesen werden, die für die untersuchten Stähle Sondervereinbarungen notwendig macht. Hier kann ein Kriterium die Rissfreiheit nach dem Schweißen bzw. die gezielte Untersuchung der Stähle in Kaltrisstests sein. Ein weiteres Kriterium kann die Bruchlage bei der Durchführung von Zugversuchen an entsprechenden Schweißnahtproben sein. Darauf wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

7.4.5 Mechanisch-technologische Eigenschaften

Die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Schweißverbindungen wurden in Zug- und Kerbschlagbiegeversuchen ermittelt.

In **Tab. 7.7** (s. Anlage) sind die Ergebnisse der mechanisch-technologischen Untersuchungen zusammengefasst.

Für die Schweißungen mit den Stählen S890 und S960 liegen bei den Zugversuchen die Brüche grundsätzlich im GW. Für den S1100 wurden Bruchlagen entweder in der WEZ oder im SG ermittelt. Das bestätigt die schon in den Vorversuchen ermittelte Aussage, dass es im Rahmen des Projektes nicht gelungen ist, eine „matching“ oder „overmatching“ Variante für einen Fülldraht für das Verschweißen eines S1100 zu entwickeln.

Betrachtet man die Kerbschlagbiegeversuche, so wird folgendes deutlich:

Messungen bei RT:

- bei Kerblage in der WEZ erreichen alle Kerbschlagproben die erforderlichen 47J
- bei Kerblage im SG erfüllen die Kombinationen S1100/M8 den erforderlichen Wert nicht

Messungen bei -40°C :

- bei Kerblage in der WEZ erfüllen die steigend geschweißten Verbindungen die erforderlichen Werte nicht
- bei Kerblage im SG erfüllen die Kombinationen S1100/M8 und die steigend geschweißten Verbindungen den erforderlichen Wert nicht

Es wird deutlich, dass es einen Einfluss der Position auf die Zähigkeit der Verbindung gibt.

Bestätigt/unterstützt wird das durch Untersuchungsergebnisse an

Verbindungsschweißungen des P1 im unternehmenseigenen Labor (**Tab. 7.8**).

Tab. 7.8: Untersuchungsergebnisse bei P1 an Verbindungsschweißungen¹⁾ S1100/M1100²⁾

Schweiß- position	Ergebnisse aus Zugversuch			Ergebnisse aus Kerbschlagbiegeversuch in J; Kerblage SG bei		
	R _{p0,2} in MPa	R _m in MPa	A ₅ in %	0°C	-20°C	-40°C
PA	1066	1133	9	47	47	47
PA	1019	1085	8	57	55	63
PF	1083	1154	8	-	37	37

¹⁾ es wurde bei 150°C vorgewärmt; die Zwischenlagentemperatur betrug 180°C

²⁾ M1100 vergleichbar mit M8

7.5 Schlussfolgerungen

Die Schweißungen in den Pilotunternehmen führen zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Für die GW S890 und S960 haben sich die untersuchten Versuchschargen als geeignet erwiesen. Vorläufige Schweißanweisungen sind im Anhang auf den Seiten A41 bis A48 zusammengefasst.
2. Das Schweißen hochfester Stähle ist in hohem Maße von der Ausbildung und Erfahrung/Fertigkeit der Schweißer abhängig.
3. Für den S1100 konnte kein geeigneter Fülldraht ermittelt werden.
4. Die mechanisch-technologischen Eigenschaften sind von der Schweißposition abhängig.

7.6 Literatur:

/7.1/ DIN EN 288-3:

Anforderung und Anerkennung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe.
Teil 3: Schweißverfahrensprüfungen für das Lichtbogenschweißen von Stählen.
Ausgabe April 1992

/7.2/ DVS-Richtlinie 1702:

Verfahrensprüfungen im Stahlbau für Schweißverbindungen an hochfesten
schweißgeeigneten Feinkornbaustählen.
Nov. 1999

/7.3/ DIN EN 25817:

Lichtbogenschweißverbindungen an Stahl; Richtlinie für die Bewertungsgruppen von
Unregelmäßigkeiten.
Ausgabe 09/1992

/7.4/ DIN EN 1043-1:

Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen –
Härteprüfung - Teil 1: Härteprüfung für Lichtbogenschweißverbindungen.
Ausgabe 02/1996

8. Zusammenfassung/Fazit

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden unterschiedliche Versuchschargen von Fülldrähten der Firma Drahtzug Stein wire and welding GmbH Altleiningen (P1) in den Laboren des Institutes für Fertigungstechnik und Logistik der Universität Rostock (P2) und der Ingenieurgemeinschaft Meyer & Horn-Samodelkin GbR verschweißt und auf ihre Eignung für die schweißtechnische Verarbeitung von hochfesten Stählen ($R_{p0,2} \geq 890$ MPa) untersucht. Die aus diesen Vorversuchen als geeignet ermittelten Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-Kombinationen wurden in drei Pilotunternehmen unter Praxisbedingungen in Anlehnung an die DIN EN 288-3 getestet.

In Ergebnis aller Untersuchungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Für die Stähle S890 und S960 liegen mit den Versuchschargen B1 und M5 geeignete Fülldrähte für deren schweißtechnische Verarbeitung vor.
2. P1 hat für einige der untersuchten Fülldrähte eine Zulassung bei beantragt.
3. Für den Stahl S1100 konnte keine Fülldrahtvariante, die einer „matching-“ oder „overmatching“-Variante entspricht entwickelt werden.
4. Den Pilotunternehmen konnten für die schweißtechnische Verarbeitung der untersuchten Stähle pWPS übergeben werden.
5. Insb. der 2. Workshop hat mit den Reaktionen der Teilnehmer gezeigt, dass ein hohes Interesse an den Ergebnissen aus den Untersuchungen besteht. Es wurden von verschiedenen Unternehmen und Institutionen die Schweiß-ZTU-Schaubilder angefordert und Interesse am Abschlussbericht bekundet.

Es ergeben sich aus Sicht der Bearbeiter des Projektes folgende offenen Probleme und Gesichtspunkte für die Weiterführung der Untersuchungen:

1. Im Laufe der Untersuchungen wurde deutlich, dass es einen Einfluss der zum Schweißen verwendeten Stromquelle, insbesondere ihrer herstellereinspezifisch gespeicherten Kennlinien, auf das Verschweißen von Fülldrahtelektroden und der Qualität der Schweißverbindungen gibt. Diesen Einfluss gilt es zur Gewährleistung einer reproduzierbaren Einführung der Drähte in die Praxis zu untersuchen.
2. Aus Untersuchungen an anderen Einrichtungen (vgl. Lit. 6.11) wurde deutlich, dass dem Anteil an Nadelferrit im Schweißgut eine höhere Aufmerksamkeit zu widmen ist, als es im Rahmen dieses Projektes möglich war. Die Ergebnisse des o.g. Projektes waren dem PL erst zu spät zugänglich. Eine systematische Untersuchung des Nadelferritanteils war auch nicht Gegenstand des Forschungsprojektes. Durch die Literatur wurde aber deutlich, dass gerade für die im Rahmen des Projektes untersuchten Stähle, die Nadelferritanteile im Zusammenhang mit der chemischen Zusammensetzung des Schweißgutes eine wesentliche Rolle spielen.
3. Während der Untersuchungen zeigte sich, dass die Qualifikation der Schweißer einen großen Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Das Verschweißen der neuentwickelten Fülldrahtelektroden, insbesondere die basischen Typen, erfordern eine gründliche Ausbildung, die den Besonderheiten der schweißtechnischen Verarbeitung insbes. hochfester Stähle mit Fülldrahtelektroden Rechnung trägt. Eine Ergänzung der Richtlinie zur Ausbildung von Metallschutzgasschweißern oder die Erstellung einer eigenständigen Richtlinie zur Ausbildung von Fülldrahtschweißern wird hiermit angeregt.

4. Bei der Verarbeitung des S1100 wurde deutlich, dass hohe herstellungsbedingte Eigenspannungen im Blech vorliegen. Diese überlagern sich bei der schweißtechnischen Verarbeitung mit den durch die örtliche Wärmeeinbringung entstehenden Schweiß eigenspannungen. Da nicht bekannt ist, was für ein herstellungsbedingter Eigenspannungszustand vorliegt, kann auch keine Abschätzung der Konsequenzen für dessen Überlagerung mit dem Schweiß eigenspannungszustand erfolgen. Hier ist Untersuchungsbedarf vorhanden. Interesse besteht hierfür insbesondere in der Kranbauindustrie (Pilotunternehmen 3).
5. Mit zunehmender Festigkeit der Stähle verlagert sich das Problem der Kaltrissneigung immer mehr in das Schweißgut. Dies kann im Implantversuch nachgewiesen werden. Da die untersuchten Stähle u.U. sehr sensibel bzgl. Kaltrissbildung reagieren können, erscheint eine Untersuchung des Einflusses der untersuchten und zu empfehlenden Fülldrähte bzgl. der Kaltrissneigung der Schweißverbindungen als notwendig.
6. Für den Stahl S1100 konnte noch kein uneingeschränkt geeigneter Zusatzwerkstoff entwickelt werden.

Im Rahmen des Projektes konnten eine Reihe von Fragen zur schweißtechnischen Verarbeitung der hochfesten Stahlqualitäten in Hinblick auf geeignete Zusatzwerkstoffe beantwortet werden. Es ergaben sich jedoch während der Bearbeitung des Projektes neue Fragestellungen, die im Rahmen der Projektbearbeitung nicht in die Untersuchungen einbezogen werden konnten.

Es wird ein Folgeantrag zur Lösung der offenen Fragen gestellt werden.

Die Ergebnisse dieser Projektbearbeitung werden im Rahmen eines Vortrages auf der Großen Schweißtechnischen Tagung im September 2003 in Berlin vorgestellt und mit den Fachkollegen diskutiert. Der Vortrag wurde termingemäß eingereicht und durch die Vortragskommission angenommen.

Das Schweiß-ZTU-Schaubild der Charge 4 des S1100 wird durch Kollegen der BAM in ein IIW-Dokument eingearbeitet werden.

Die Ingenieurgemeinschaft Meyer & Horn-Samodlekin GbR bewirbt sich mit dem Forschungsprojekt um den Ingenieurpreis der Ingenieurkammer M/V, der 2003 zum ersten Mal ausgelobt wird.

Dazu wurde ein Poster erstellt, welches auch Nichtfachleuten die wesentliche Vorgehensweise und Ergebnisse des Projektes vorstellen soll (vgl. Anlage, A49).