

# Erhöhung der Lebensdauer von Fahrbahnübergängen mit Hilfe des höherfrequenten Hämmerns

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner<sup>1</sup>, Jörn Berg M.Sc.<sup>1</sup>, Dr.-Ing. Christiane Butz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Metall- und Leichtbau, Universitätsstraße 15, Universität Duisburg-Essen, Deutschland  
E-Mail: iml@uni-due.de*

<sup>2</sup> *Maurer Söhne GmbH & Co. KG, Frankfurter Ring 193, München, Deutschland  
E-Mail: butz@maurer-soehne.de*

## ZUSAMMENFASSUNG

Bestandteile von Brückenfahrbahnübergängen stellen stark ermüdungsbeanspruchte Bauteile dar. Schweißdetails, die eine endliche Lebensdauer aufweisen, bedürfen hierbei eine erhöhte Aufmerksamkeit. Eine Möglichkeit zur Lebensdauer-Verlängerung stellen Schweißnahtnachbehandlungsverfahren – im vorliegenden Fall das höherfrequente Hämmern – dar. Zur Ermittlung der ertragbaren Lastwechselzahlen bis zum Erstriss wurden Dauerschwingversuche an im Schweißzustand belassenen und mit höherfrequenten Hämmern nachbehandelten Mittelträgern als Bestandteil eines Fahrbahnübergangs durchgeführt. Infolge der Nachbehandlung konnte eine deutliche Steigerung der ertragbaren Lastwechselzahlen festgestellt werden, obwohl im vorliegenden Fall die Anrissstelle aller Versuchskörper nicht im nachbehandelten Nahtübergangsbereich sondern daneben lag.

## 1 Einleitung

Ermüdungsbeanspruchte Konstruktionen finden sich im Bauwesen z. B. im Brücken-, Kran- oder Windenergieanlagenbau wieder, in denen die Bauteile hohen Lastwechseln ausgesetzt sind. Infolge der lokalen Schädigung des Werkstoffes beim Ermüdungsvorgang besitzen diese Bauwerke allerdings eine endliche Lebensdauer. Insbesondere an geschweißten Konstruktionsdetails werden die Ermüdungssicherheit und die Lebensdauer erheblich reduziert, da mit dem Schweißprozess auch direkt Einbußen der Ermüdungsfestigkeit verbunden sind. Mit dem Einsatz von höherfrequenten Hämmerverfahren ist eine Steigerung der Ermüdungsfestigkeit lokal an geschweißten Stahlkonstruktionen möglich.

Die Maurer Söhne GmbH & Co. KG entwickelt und baut Fahrbahnübergangskonstruktionen für Brücken. Infolge der hohen dynamischen Lasten aus überquerendem Schwerverkehr treten an geschweißten Details wechselnde Spannungsspitzen auf, die häufig Ausgangsort eines Ermüdungsrisses sind. Mit Hilfe von Dauerschwingversuchen wurden Mittelträger mit gurtseitig aufgeschweißtem Drehteller als Bestandteil von Fahrbahnübergängen hinsichtlich ihres Ermüdungsverhaltens näher untersucht.

## 2 Dauerschwingversuche

### 2.1 Allgemeines

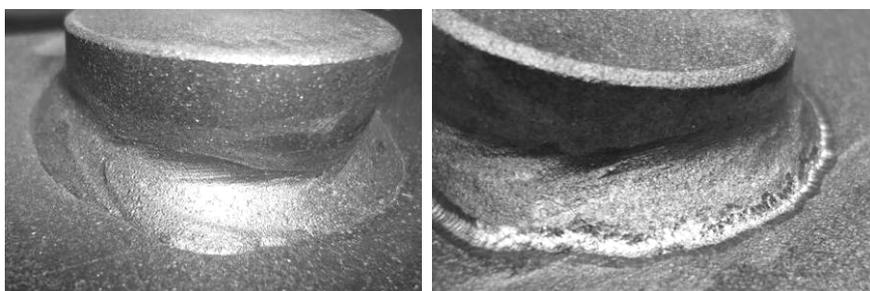
Im Rahmen experimenteller Untersuchungen wurden am Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen für die Maurer Söhne GmbH & Co. KG, München, Dauerschwingversuche an Mittelträgern von Brückenfahrbahnübergängen zur Ermittlung des Einfluss des

höherfrequenten Hämmerns auf die Lebensdauer des Schweißnahtanschlusses des Drehtellers an den Mittelträger durchgeführt, siehe Abbildung 1 [Stranghöner/Berg, 2010a/2010b].

## 2.2 Versuchskörper

Bei den untersuchten Versuchskörpern handelt es sich um Mittelträger einer Schwenktraversen-Dehnfuge als Bestandteil eines Brückenfahrbahnübergangs. Die untersuchten Mittelträger der Stahlgüte S355J2 haben eine Länge von 1200 mm, eine Höhe von 125 mm und eine Breite von 90 mm. Das Kerbdetail besteht aus einem aufgeschweißten Drehteller und befindet sich in Trägermitte auf dem im Versuchsaufbau im Druckbereich liegenden Obergurt. Der Drehteller ist mit einer umlaufenden Kehlnaht und HY-Naht aufgeschweißt und hat einen Durchmesser von 49 mm. Beim Einbau des Mittelträgers in das Bauwerk wird der Träger mit dem Drehteller nach unten orientiert eingebaut, da der Drehteller den Auflagerpunkt auf der Schwenktraversen-Dehnfuge in einem Durchlaufsystem darstellt.

Während der Versuchsdurchführung wurde zwischen zwei Arten von Versuchskörpern unterschieden: im Schweißzustand belassen und mit dem höherfrequenten Hämmerverfahren des Pneumatic Impact Treatments (kurz: PIT) nachbehandelt. Die Nachbehandlung erfolgte durch die PITEC GmbH im Labor des Institutes für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen, wobei ausschließlich der Schweißnahtübergang zum Mittelträger jedoch nicht zum Drehteller nachbehandelt wurde. Abbildung 1 zeigt einen Vergleich zwischen im Schweißzustand belassenem und mit PIT nachbehandeltem Nahtübergang. Die plastischen Eindrücke, die in einer Induktion von Druckeigenspannungen, einer Verfestigung der oberflächennahen Schicht und einer Reduktion der Kerbwirkung resultieren [Kuhlmann/Günther, 2009], sind im Bereich des Schweißnahtübergangs optisch deutlich erkennbar.



**Abbildung 1: Vergleich zwischen im Schweißzustand belassenem (links) und mit PIT nachbehandeltem (rechts) Schweißnahtübergang zum Mittelträger**

## 2.3 Versuchsaufbau und –durchführung

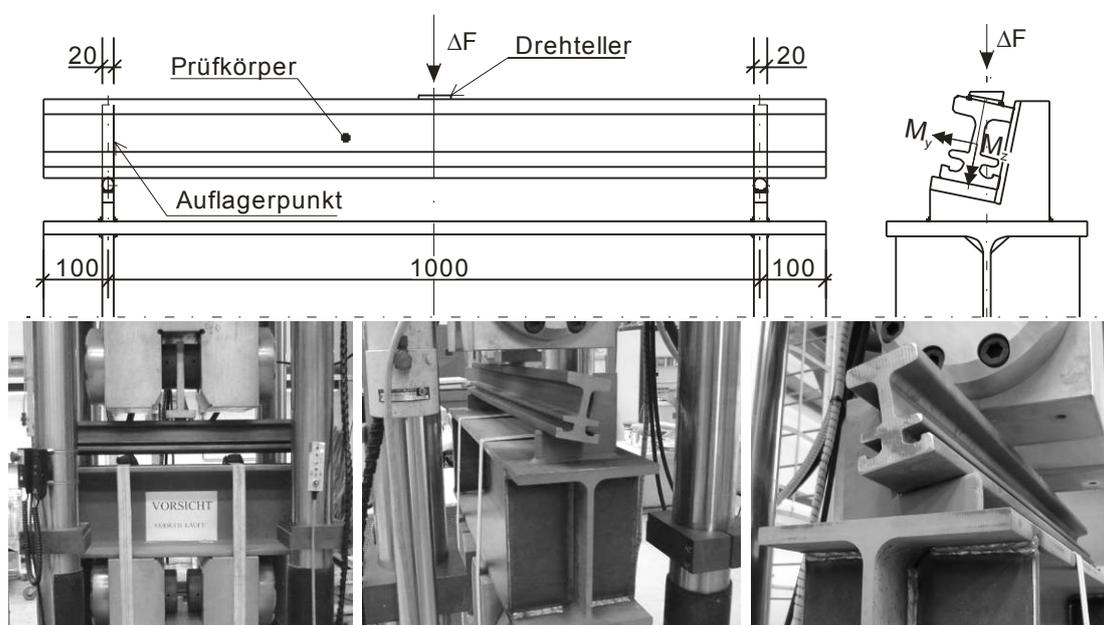
Das Versuchsprogramm umfasste insgesamt die Prüfung von 12 Versuchskörpern, welche in einem Dreipunktbiegeversuch schwingend beansprucht wurden. Die einzelnen Versuchsdaten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

**Tabelle 1: Kenndaten des Versuchsprogramms**

Versuchsaufbau	Anzahl der Versuche	Schweißnahtzustand	Stahlsorte	R [-]	Frequenz [Hz]	$\Delta F$ [kN]
1	1	AW	S355J2	0,3	4-5	98,5
	5	AW		0,1		126,6
	3	PIT				
2	3	AW			3,3	

Die horizontale Beanspruchung der Fahrbahnübergänge im Bauwerk wurde durch einen um einen Winkel von  $11,31^\circ$  um die Trägerlängsachse verdrehten Einbau der Versuchsträger abgebildet. Dies entspricht einem Verhältnis von horizontal zu vertikal einwirkender Kraft von 20 %. Infolge des gewählten Versuchsaufbaus wurden die Mittelträger auf Biegung um beide Hauptachsen sowie durch ein über die gesamte Trägerlänge konstantes Torsionsmoment belastet. Das Detail des Drehtellers lag während der Versuchsdurchführung auf dem im Versuchsaufbau oben orientierten Biegedruckgurt.

Während der Versuchsdurchführung kamen zwei unterschiedliche Versuchsaufbauten zum Einsatz, die sich in der Art der Lasteinleitung und Auflagerkonstruktion unterscheiden. Im Versuchsaufbau 1, siehe Abbildung 2, wurden sechs im Schweißzustand belassene („O1“-„O6“) und drei mittels PIT nachbehandelte („P1“-„P3“) Versuchskörper untersucht. Die Lasteinleitung erfolgte hier durch einen Stempel über Kontakt. Im Bereich der beiden Auflager lag der Träger jeweils am Untergurt und an den Seiten von Ober- und Untergurt einseitig auf.



**Abbildung 2: Versuchsaufbau 1: Lasteinleitungs- und Auflagerkonstruktion**

Im Rahmen weiterführender Untersuchungen wurden in einem veränderten Versuchsaufbau 2, siehe Abbildung 3, drei weitere im Schweißzustand belassene Versuchskörper mit geändertem Lasteinleitungsdetail („AW1“-„AW3“) untersucht. Die Lasteinleitung in den Drehteller erfolgte durch eine Welle und zwei jeweils mit einem Radialgelenklager angeschlossene Laschen. Im Bereich der Auflager wurden Rundquerschnitte aus gehärtetem Edelstahl verwendet, um den Abrieb der Auflager über die komplette Versuchsdauer möglichst gering zu halten. Zusätzlich wurde der Untergurt jeweils an den Auflagern seitlich gehalten.

Die Dauerschwingversuche wurden kraftgesteuert mit einer sinusförmigen Kraft-Zeit-Funktion bei Prüffrequenzen zwischen 3,3 Hz und 5,0 Hz in einer institutseigenen 1,6 MN Schenck Hydropuls-Prüfmaschine durchgeführt. Das Spannungsverhältnis lag mit Ausnahme eines Versuchskörpers bei  $R = 0,1$ , so dass sich eine Spannungsschwingbreite in Obergurtmitte von  $\Delta\sigma = 166 \text{ N/mm}^2$  ergab. Da das untersuchte Kerbdetail des aufgeschweißten Drehtellers während der Schwingversuche im Biegedruckbereich lag, konnte der Zeitpunkt des technischen Anrisses nicht direkt festgestellt werden, da ein Anriss im Biegedruckbereich nicht in einer Verlängerung des Kolbenwegs aufgrund reduzierter Steifigkeit resultiert und somit nicht als

mögliches Abbruchkriterium in Erwägung gezogen werden kann. Stattdessen wurde der Träger nach definierten Lastspielintervallen ausgebaut und mittels Farbeindringprüfung auf oberflächennahe Risse im Bereich des aufgeschweißten Drehtellers überprüft. Als Durchläuferkriterium wurde eine Lastwechselzahl von  $5 \cdot 10^6$  angesetzt.

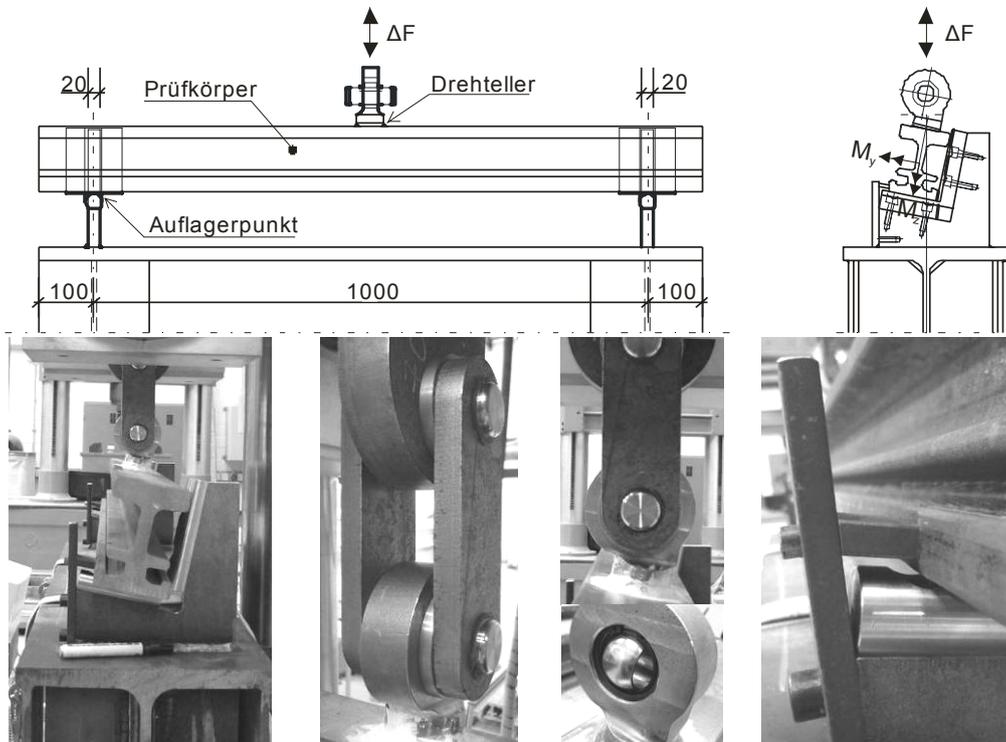


Abbildung 3: Versuchsaufbau 2: geänderte Lasteinleitungs- und Auflagerkonstruktion

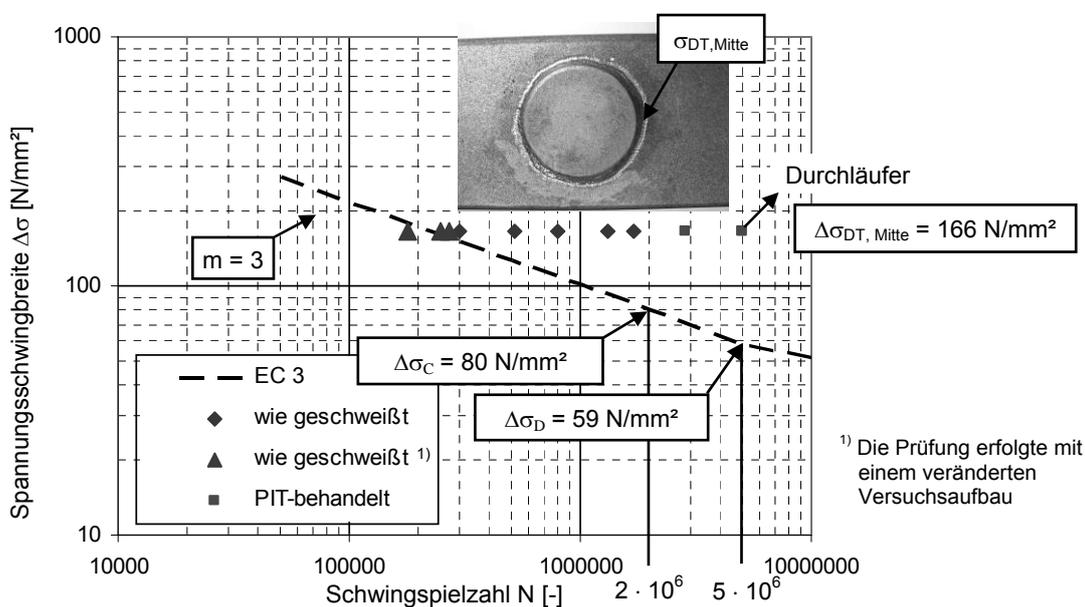
## 2.4 Versuchsergebnisse

In Tabelle 1 sind die Versuchsergebnisse zusammengefasst. Angegeben sind die Lastwechselzahlen, nach denen mittels Farbeindringprüfung ein Anriss erkennbar war.

Tabelle 1: Versuchsergebnisse

Versuchsaufbau	Versuch	Schweißnahtzustand	$\Delta F$ [kN]	$\Delta \sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	R [-]	LW [-]	Ergebnis RD: Riss im Schweißnahtübergang zum Drehteller
1	O6	AW	98,5	129	0,3	1.600.000	Kein Riss
	O5	AW	126,6	166	0,1	1.310.000	RD, Risslänge ~ 35 mm
	O4	AW	126,6	166	0,1	520.000	RD, Risslänge ~ 17 mm
	O3	AW	126,6	166	0,1	300.000	RD, Risslänge ~ 6 mm
	O2	AW	126,6	166	0,1	800.000	RD, Risslänge ~ 6 mm
	O1	AW	126,6	166	0,1	1.700.000	RD, Risslänge ~ 10 mm
	P1	PIT	126,6	166	0,1	5.000.000	Kein Riss
	P2	PIT	126,6	166	0,1	5.000.000	RD, Risslänge ~ 5 mm
2	P3	PIT	126,6	166	0,1	2.850.000/ 5.000.000	RD, Risslänge ~ 5 mm, kein Risswachstum von 2,85-5,0 Mio. LW erkennbar
	AW1	AW	126,6	166	0,1	270.000	RD, Risslänge ~ 25 mm
	AW2	AW	126,6	166	0,1	180.000	RD, Risslänge ~ 30 mm
	AW3	AW	126,6	166	0,1	250.000	RD, Risslänge ~ 20 mm

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die nachbehandelten Versuchskörper gegenüber den im Schweißzustand belassenen Versuchskörpern eine deutlich höhere Lebensdauer aufweisen. Des Weiteren ist bei den fünf im Schweißzustand belassenen Versuchskörpern („O2“-„O6“) eine wesentlich größere Streuung der ertragbaren Lastwechselzahlen bis zum erkennbaren Anriss gegenüber den drei Versuchskörpern („AW1“-„AW3“), die mit Versuchsaufbau 2 geprüft wurden, erkennbar. Dieser Umstand ist auf den geänderten Versuchsaufbau zurückzuführen, in dem sowohl die Lasteinleitung als auch die Auflagerkonstruktion verändert wurde und somit nahezu identische Versuchsbedingungen für die drei untersuchten Träger über die gesamte Versuchsdauer vorlagen, während sich bei Versuchsaufbau 1 im Laufe der Versuchsdurchführung Abnutzungserscheinungen sowohl an den Auflagern als auch auf der Unterkante des Lasteinleitungstempels bemerkbar machten. Ordnet man das Kerbdetail des aufgeschweißten Drehtellers näherungsweise in die Kerbfallklasse 80 nach DIN EN 1993-1-9 ein, so lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse der nachbehandelten Versuchskörper deutlich über der entsprechenden Wöhlerlinie liegen, siehe Abbildung 5.



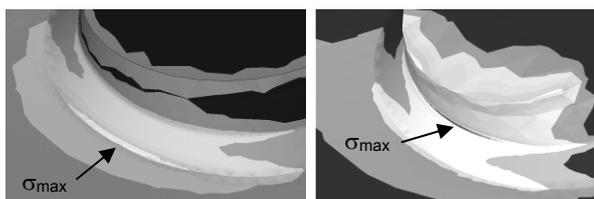
**Abbildung 5: Einordnung des Kerbdetails des aufgeschweißten Drehtellers in Wöhlerlinie der Kerbfallklasse 80 nach DIN EN 1993-1-9**

Bemerkenswert ist, dass sowohl die im Schweißzustand belassenen als auch nachbehandelten Versuchskörper ausschließlich im Bereich des Schweißnahtübergangs zum Drehteller, siehe Abbildung 6, und nicht am Ort der potentiellen Erstrissbildung – dem Nahtübergang zum Mittelträger – durch Rissbildung versagten. Dieses Phänomen wird auf folgende Faktoren zurückgeführt: Im Versuchsaufbau 1 erfolgte die Lasteinleitung durch einen Stempel über Kontaktpressung. Infolge entstehender Reibungskräfte zwischen Stempel und Drehtelleroberfläche wurde ein seitliches Ausweichen des Mittelträgerobergurtes in Feldmitte verhindert, so dass sich im Mittelträger bzw. in der Schweißnaht ein anderer Spannungszustand ergab als angenommen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Last infolge unplanmäßiger Imperfektionen des Versuchsaufbaus nicht konzentriert in den Drehteller eingeleitet wurde. Dieser Aspekt konnte mit Hilfe numerischer Berechnungen bestätigt werden. Infolge exzentrischer Lasteinleitung zwischen Stempel und Drehteller ergibt sich eine einseitige Spannkonzentration an dem Schweißnahtübergang zum Drehteller, siehe Abbildung 7. Aufgrund der geringeren Spannweite des Trägers im Vergleich zum Verbau in Realität ist eine größere Kraft notwendig, um den gleichen Spannungszustand im Mittelträger hervorzurufen. Für beide

Versuchsaufbauten gilt, dass infolge der nicht so starken Kerbwirkung des Drehtellers zuerst der Ermüdungsris im Bereich des Schweißnahtübergangs zum Drehteller entsteht, da dort eine höhere Spannungskonzentration aufgrund der kleineren Lasteinleitungsfläche vorliegt.



**Abbildung 6: Rissbild eines unbehandelten Versuchskörpers**



**Abbildung 7: Spannungskonzentration am Schweißnahtübergang zum Mittelträger bei zentrischer (links) und zum Drehteller bei exzentrischer (rechts) Lasteinleitung**

### 3 Zusammenfassung

Im Rahmen experimenteller Untersuchungen wurden Dauerschwingversuche an Mittelträgern eines Fahrbahnübergangs zur Ermittlung des Einfluss des höherfrequenten Hämmerns auf die Lebensdauer des Schweißnahtanschlusses des Drehtellers an den Mittelträger durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Schweißnahtnachbehandlung mittels höherfrequenten Hämmern eine deutliche Steigerung der ertragbaren Lastwechselzahlen bis zum Erstriss bewirkt, obwohl der Ort der Erstrissentstehung nicht mit dem Ort der Nachbehandlung übereinstimmt. Aufgrund dieses Ergebnisses kann vermutet werden, dass die Nachbehandlung am Nahtübergang zum Mittelträger auch einen Einfluss auf den nicht nachbehandelten Nahtübergang zum Drehteller hat, an dem der Erstriss entstanden ist. Zu diesem Phänomen erfolgen derzeit weitere Untersuchungen am Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen.

### 4 Literatur

DIN EN 1993-1-9:2006-03, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung*, Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2006.

Kuhlmann, U., Günther, H.-P. (2009), *Experimentelle Untersuchungen zur ermüdungssteigernden Wirkung des PIT-Verfahrens*, Versuchsbericht, Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf.

Stranghöner, N., Berg, J. (2010a), *Ermüdungsversuche an drei Mittelträgern einer Schwenktraversendehnfuge als Fahrbahnübergang zur Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit des Schweißnahtübergangs Drehteller/Mittelträger*, Versuchsbericht, Universität Duisburg-Essen, Institut für Metall- und Leichtbau.

Stranghöner, N., Berg, J. (2010b), *Untersuchung des Einflusses der Schweißnahtnachbehandlung durch höherfrequentes Hämmern mittels PIT bei ermüdungsbeanspruchten Lamellen einer Schwenktraversendehnfuge*, Versuchsbericht, Universität Duisburg-Essen, Institut für Metall- und Leichtbau.