

Welches Fügeverfahren hat die besten Dämpfungseigenschaften?

Käferstein, B.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts, das von der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V. am Institut für Maschinenwesen gefördert wird, wird untersucht, wie groß die Fügestellendämpfung bei verschiedenen Fügeverfahren an dünnen Blechen ist. Das Ziel ist eine Auswahlhilfe zu bekommen, welche Verfahren an welcher Stelle in einer Struktur am sinnvollsten sind, um das Schwingungsverhalten zu optimieren. Im folgenden sind einige Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen dargestellt.

The Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., a German research association promotes a project at the IMW for the measurement and comparison of damping coefficients of different joining techniques. The aim is to obtain rules for the selection of the appropriate methods depending on the position in the structure. The following articles describes some results of the performed measurements to optimise the vibration behaviour of structures.

1 Einleitung

Aus den Vorversuchen mit einem vereinfachten, liegenden Prüfstand hatte sich die Notwendigkeit ergeben, einen größeren Prüfstand in stehender Bauweise mit berührungslosen Schwingungsaufnehmern zu errichten, **Bild 1**. Die Probengeometrie sollte in Anlehnung an DIN 53440 als Biegeprobe ausgeführt werden. Daher wurden die Prüfmuster axial vorgespannt und beidseitig fest geklemmt. Die Anordnung ist vertikal, um Schwerkrafteinflüsse zu eliminieren.

2 Messung

2.1 Messaufbau

Die Schwingungssignale werden nun jeweils ober- und unterhalb der Fügestelle mit seitlichem Versatz optisch durch Laservibrometer erfasst (1), wodurch die verschiedenen Schwingungsmoden identifiziert werden können. Die Vorspannung wird pneumatisch aufgebracht (2) und die Fixierung erfolgt separat über geschliffene Klemmbacken mit Führung (3). Diese werden hydraulisch gespannt und elektrisch verfahren (4). Die Klemmkraft ist proportional der Blechbreite und die Klemmbacken so optimiert,

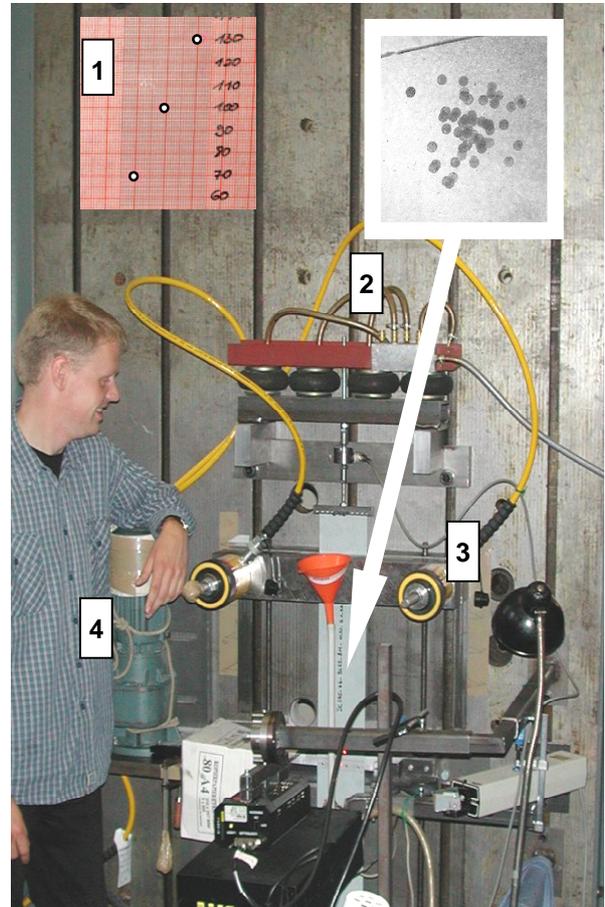


Bild 1: Prüfstand mit Schussbild der Kugeln und Lasermesspunkten

dass die Pressung möglichst homogen ist. Die Anregung erfolgt neben der Fügestelle reproduzierbar durch eine pneumatische Schussvorrichtung und Kunststoffkugeln. Damit erhält man ein tiefrequentes Anregungsspektrum, so dass die höheren Harmonischen leichter identifiziert werden.

2.2 Untersuchte Proben

Die Planung des Versuchsumfangs erforderte eine Beschränkung auf die Variation wichtiger Parameter. In **Tabelle 1** sind die untersuchten Parameter und deren Einstellstufen aufgelistet. Für die Versuche wurden Werkstoff, Oberfläche und Fügestellengröße pro Verfahren konstant gelassen. Für jeden Probentyp wurden zur Eliminierung von Schwankungen drei Probenkörper angefertigt, die je mit 5 Schüssen pro Einspann-/Längenkombination angeregt wurden. Die Breite wurde in 4 Stufen, die Überlappung, die axiale Vor-

Material 1 Werkstoff und Dicke	Surface quality 2 Oberfläche	Method 3 Verfahren	Size of joint 4 Größenangabe Fügestelle
DC075 DC 05, S= 0,75 mm DC100 DC 05, S= 1,0 mm	Zb beids. Elek. verz., Un unbehandelt (blank)	OO glatter Probestab (no joints) Bl Blindnieten (blind riveted) Cr Clinchen Rundpunkt (clinched) Kg Kleben (glued green) Kb Kleben (glued blue) LI Laserlinienschweißen (laser welded) Pu Punktschweißen (spot welded) Sc Schrauben (srewed) St Stanznieten (punch riveted)	OO 0 mm 65 3x5, Setzkopf d=6,5 mm 50 Rundpunkt d=5mm w*o Klebfläche cm² (glued area cm²) w*o i.e. width x overlap xx Schweißnahtbreite in 1/10 mm 45 Linsen-D 4,5 mm, bei S=0,8 55 Kopf-D = 5,5 bei M3 35 Halbhohlstanzniet: D 3,5x4
Witdth 5 Breite	Overlap 6 Überlappung	Pattern and number of joints 7 Fügestellenzahl und Anordnung	Special tag 8 Sonderkennzeichnung
B30 30 mm B60 60 mm B90 90 mm B120 120 mm	U20 20 mm U25 25 mm U30 30 mm U50 505 mm	Q1 eine quer zum Streifen (joints perpendicular) L1 längs, 5 entlang des Streifens (5 joints) L2 längs, 9 entlang des Streifens (9 joints) L3 längs, 17 entlang des Streifens (17 joints) M1 Muster 1 etc. (special pattern type)	KK Keine (No tag) La Lange Probe (long specimen) Vg vorgespannt (prebended) Oe Ölbehandelt Zy Zyklisch belastet
Running number 9 lfd. Proben-Nr.			
xx 01 etc.			

Example: Specimen made from mild steel of 0.75 mm thickness and zinc surface. Joining method clinching with 25 mm overlap and 2 joints perpendicular to spec. axis. The second spec. of three is to be tested.

DC075_Zb_Cr50_B60_U25_Q1_KK_02

tional Instruments aus Mönchengladbach, Medusa von Mahrenholtz & Partner aus Hannover und Matlab von The MathWorks eingesetzt. Mit DasyLab, einem graphischen Tool zum Steuern von Messwertrechnersystemen, werden die Daten erfaßt und gespeichert.

Tabelle 1: Untersuchte Parametervariationen

spannung und die Klemmlänge in je 3 Stufen variiert. Zusätzlich wurden alternative Proben mit 5, 9, und 17 Fügestellen in Längsrichtung angefertigt, um besser den Einfluß der Anordnung erfassen zu können. Damit ergibt sich ein Untersuchungsumfang von ca. 2580 Einzelversuchen.

Mit einer Meßzeit von 20 s pro Ausschwingvorgang ergeben ca. 80 h auszuwertende Zeitdaten mit 35Gbyte Speichervolumen. Da auch Frequenzabhängigkeit der Dämpfung untersucht werden sollte, müssen geeignete Vorspannungs-/ Einspannlängenkombinationen ausgewählt werden. Um einen gleichmäßigen Verlauf der Meßpunkte über die Frequenz zu erreichen wurden anhand von FE-Rechnungen sinnvolle Klemmlängen/ Vorspannkraft-Verhältnisse errechnet, **Bild 2**.

2.3 Auswertung

Zur Auswertung der Daten wurde DasyLab von Na-

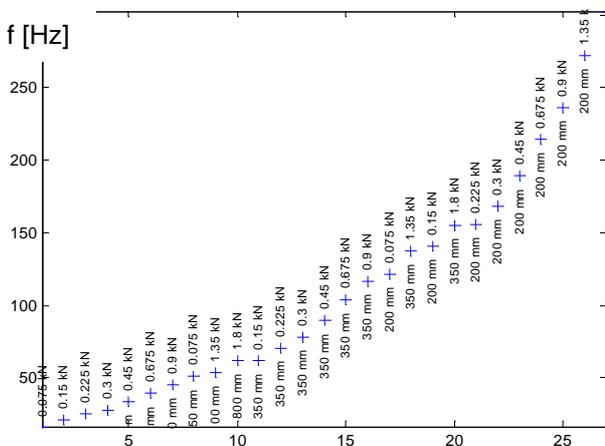


Bild 2: Frequenzen verschiedener Längen/ Vorspannkombinationen

Dämpfungsgrad (Lehrsches Dämpfungsmaß)

$$D = \frac{\delta}{\omega_0} = \frac{d}{2m\omega_0}$$

m: Masse
ω₀: Eigenfrequenz

$$D_r = \frac{\Lambda_r}{\sqrt{4\pi^2 - \Lambda_r^2}}$$

Ausschwingkurve

$$A(\tau) = A_0 e^{-D\tau}$$

dimensionslose Zeit (=laufende Phase in [RAD]) $\tau = \omega_0 t$

Bild 3: Formeln für D

Medusa berechnet mit einem speziellen Optimierungsverfahren die gesuchten Frequenz- und Dämpfungswerte in Abhängigkeit von der Amplitude durch eine Schwingungsanalyse im Zeitbereich. Diese "VADT" ist zwar sehr rechenaufwändig, liefert aber sehr genaue Ergebnisse bei schon wenigen Schwingungsperioden. Matlab wurde zur Steuerung der Auswertung, Ergebnisvisualisierung und Datenhaltung verwendet. Ausgewertet wurden acht Perioden der tiefsten Frequenz im Signal mit einer 60%-igen Überlappung des Auswertebereichs. Als Ergebnis wurde der Dämpfungsgrad D, **Bild 3**, angegeben, der dem Exponenten in den Abklingkurven bei dimensionsloser Zeitdarstellung entspricht. Die dimensionslose Zeit errechnet sich aus der tatsächlichen Meßzeit und der Kreisfrequenz, so dass sich Ausschwingvorgänge bei verschiedenen Frequenzen vergleichen lassen. **Sie entspricht dem insgesamt durchlaufenen Phasenwinkel.**

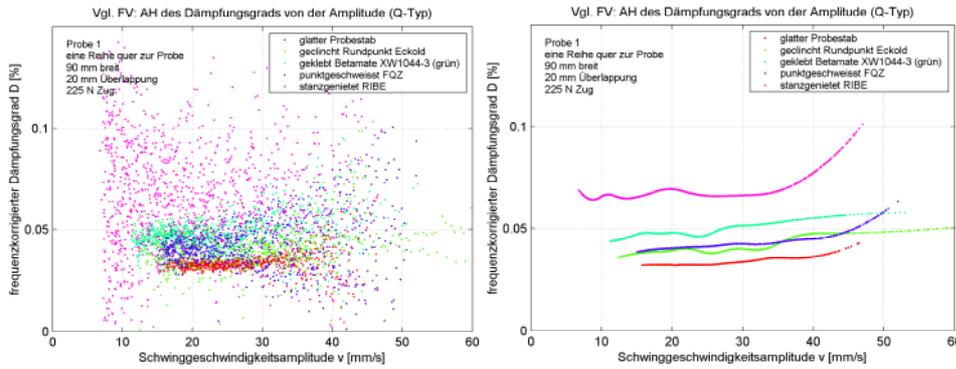


Bild 4: Dämpfungskurven vor und nach der Spline-Interpolation

Die Dämpfungswerte unterliegen sehr starken Streuungen. Daher muss durch eine Mittelung der tatsächliche Verlauf über der Amplitude errechnet werden, **Bild 4**. Dazu wird die gemessene Punktwolke durch abschnittsweise Spline-Interpolation nach dem Least-Squares-

Verfahren genähert, so dass der Kurvenverlauf eindeutig zu erkennen ist. Da sich aufgrund geringer Massen- und Steifigkeitsunterschiede der Proben unterschiedliche Frequenzen einstellen, muss zusätzlich eine Vergleichsbasis mit einer festen Bezugsfrequenz geschaffen werden. Es wird eine gemittelte Frequenz herangezogen, auf die mit einem Ein-Massen-Schwinger-Ansatz der Dämpfungsgrad umgerechnet wird.

3 Ergebnisse

In **Bild 4** werden für einige Verfahren die Struktur-dämpfungswerte für die verschiedenen Längspro-

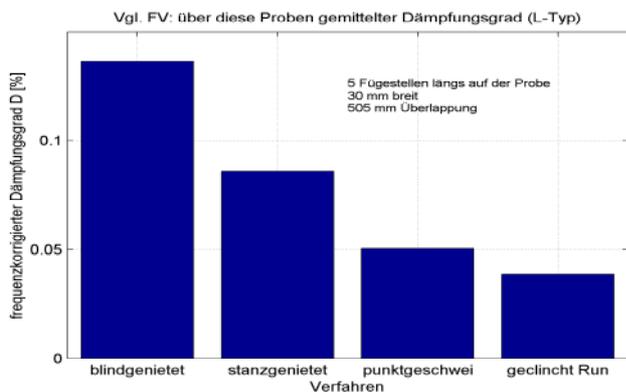


Bild 5: Gemittelte Dämpfungswerte

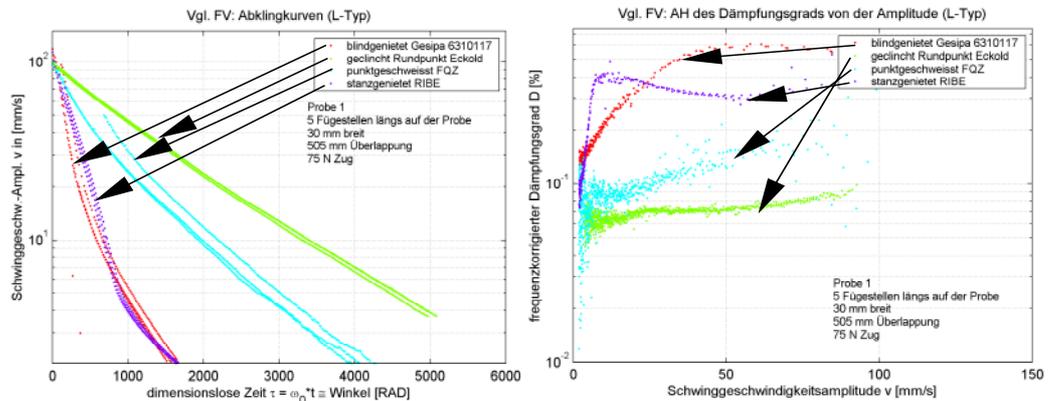


Bild 6: links: Abklingkurve im log-Maßstab über die Zeit; rechts: Dämpfungsverlauf über die Amplitude (entspricht in etwa der Ableitung)

verringern als die Anzahl der Fügestellen.

Deutlicher erkennen lassen sich die auftretenden Mechanismen, wenn man den Dämpfungsverlauf über die Schwingamplitude aufträgt, **Bild 6**, r. Unterschiedliche Steigungen der Abklingkurven bedeuten unterschiedliche Dämpfungsfaktoren (I.). Je größer der Abfall, desto höher die Dämpfung. Bei einigen Fügeverfahren (Stanznieten und Blindnieten) tritt ein auffälliger Knick in den Kurven auf, d.h. es findet eine Art „Umschalten“ im Reibverhalten statt, dessen Ursachen noch näher zu eruieren sind.

In **Bild 7** wird der Einfluss eines viskosen Mediums (Öl) diskutiert, das nachträglich in die Fügestelle eingebracht wurde. Es zeigt sich, dass die Struktur-dämpfung deutlich durch ein viskoses Medium erhöht werden kann. Die Auswirkungen sind je nach Fügeverfahren und Kinematik im Fügestellenbereich unterschiedlich stark. Der Verlauf der Kurven für Punktschweißen und Clinchen sind sich ähnlich, bei den blindgenieteten und stanzgenieten

bentypen gegenübergestellt. Sie wurden durch Mittelung über alle Frequenzen und Vorspannungen errechnet. Es zeigt sich, dass mit steigender Fügestellenanzahl die Struktur-dämpfung nicht zwangsweise zunehmen muss und

das offensichtlich das Fügeverfahren mit den meisten Berührflächen und der geringsten Steifigkeit im Kontaktbereich die größte Dämpfung hat. Zudem scheint die Bewegungsmöglichkeit der Bleche zwischen den Fügestellen stärker die Dämpfung zu

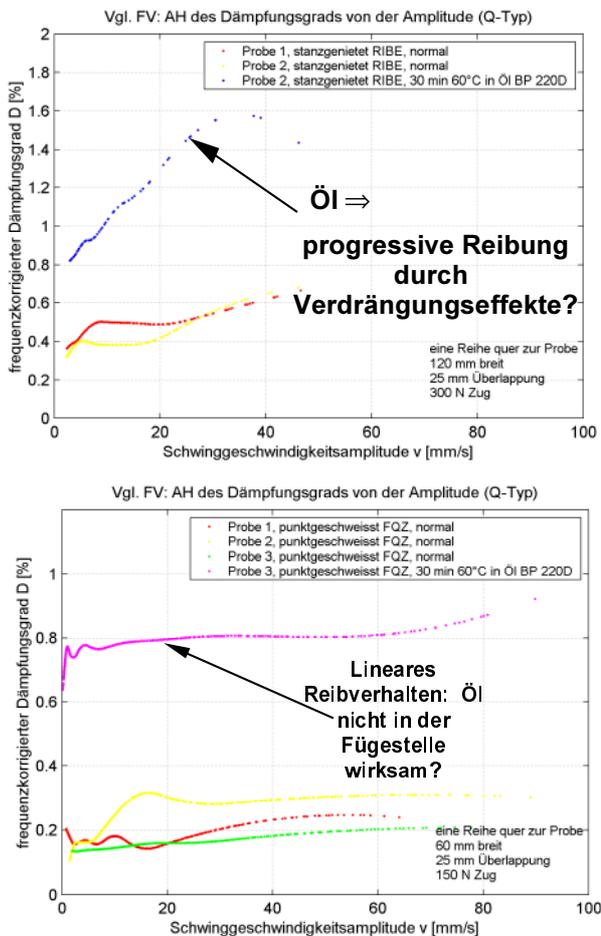


Bild 7: Dämpfungsverlauf bei viskosem Medium und stanzgenieteteter (oben) und punktgeschweißter (unten) Verbindung

Blechen treten nichtlineare Effekte z. B. durch Verdrängung des Öls deutlicher hervor.

Da der Einfluß der Pressungsverteilung zwischen den Fügstellen offensichtlich groß ist, wurde ein weiterer Versuch unternommen, bei dem Längsproben mit Vorspannung zwischen den Fügstellen hergestellt wurden. Dazu wurden die Bleche vorgebogen, **Bild 8**, so dass eine Aufwölbung an der Stelle entstand, an der die Fügung zu setzen war.

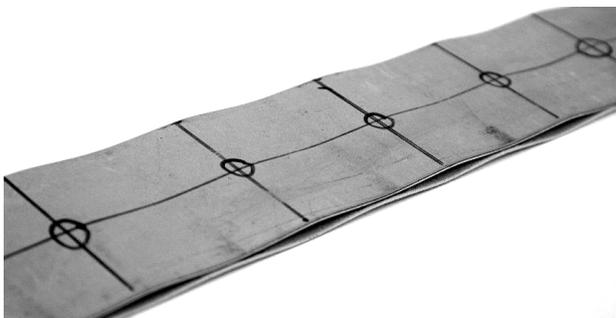


Bild 8: Vergebogene Bleche zur Erhöhung der Reibung zwischen den Fügstellen

Es zeigt sich, dass durch die Druckvorspannung das Reibverhalten zwischen den Fügstellen verbessert wird, **Bild 9**, da dort die geringste Steifigkeit und damit auch die größte Bewegungsmöglichkeit zur Energiedissipation vorhanden ist. Bei geringer Anzahl der Fügstellen sind die Reibeffekte größer, da aufgrund der kleineren Steifigkeit die Elastizität höher ist, als bei eng gesetzten Fügstellen.

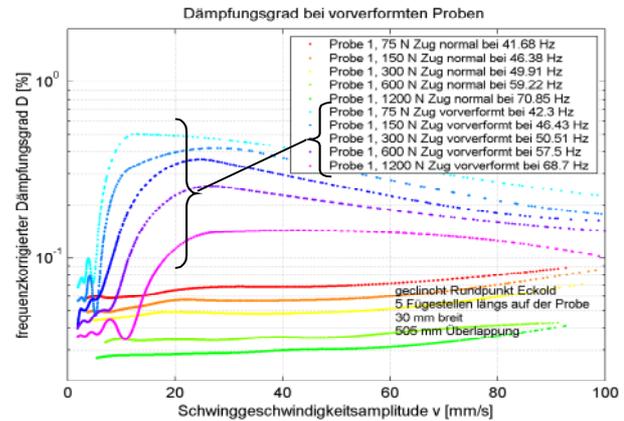


Bild 9: Deutliche Erhöhung der Reibung durch Vorbiegen

4 Ausblick

Aus Dickenmessungen und Pressungsmessungen soll zusätzlich auf die Reibverhältnisse im und um den Fügstellenbereich geschlossen werden. Dazu werden neben der Vermessung der Oberflächen zur Abschätzungen des Fügspalts auch Untersuchungen an Schlifffildern vorgenommen, die Aufschluß über den Kontaktpalt zwischen den Blechen geben.

5 Zusammenfassung

Fügstellen können durch Mikroschlupf die Dämpfung in Strukturen erhöhen. Dabei gibt es deutliche Unterschiede zwischen "weichen" und "steifen" Fügeverfahren. Je mehr Kontaktflächen in der Fügezone vorhanden sind, oder je kleiner die Vorspannungen bzw. die Pressungen sind, desto kleiner ist auch die Bewegungsmöglichkeit und damit die Dissipation. Es ist zu beachten, dass die vorliegenden Werte ausschließlich strukturdynamische Dämpfungswerte für die untersuchten Probengeometrien sind. Für die Ermittlung der reinen Dämpfungswerte einer Fügstelle ist die Materialdämpfung bei der entsprechenden Schwingungsform zu eliminieren.