

Kurzfassung

Laboruntersuchung zur Prozess- stabilität beim Niet-Clinchen

Dissertation zur Erlangung
des akademischen Grades

**Doktor-Ingenieur
Dr.-Ing.**

vorgelegt

der Fakultät für Maschinenbau der
Technischen Universität Chemnitz

von Dipl.-Ing. Marc Reinstettel
geboren am 18.09.1977 in Colmar / Frankreich

München, den 16.04.2007

Inhaltsverzeichnis

1	Werkstoffkonzepte im Karosseriebau.....	4
2	Stand der Technik	5
2.1	Mechanische Fügeverfahren	5
2.2	Thermische Fügeverfahren	6
2.3	Hybridverfahren	7
3	Zieldefinition und Aufgabenstellung	8
4	Prüfmethoden.....	9
5	Festigkeitsuntersuchungen	10
5.1	Quasistatische und dynamische Festigkeitsuntersuchungen ohne Klebstoff.....	10
5.2	Crash-Test ohne Klebstoff	11
5.3	Quasistatische und dynamische Festigkeitsuntersuchungen mit Klebstoff.....	13
5.4	Crash-Test mit Klebstoff:	14
6	Versuchsauswertung.....	15
7	Weiterentwicklung beim Nietclinchen	20
8	Prozessschwankungen beim Nietclinchen	22
9	Zusammenfassung.....	25

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Gewichtsreduzierter Aluminium Vorderbau (GRAV) der aktuellen 5er Reihe	4
Abb. 2: Übersicht der Fügeverfahren	7
Abb. 3: Probenabmessungen nach BMW Norm	9
Abb. 4: Quasistatische Festigkeit ohne Klebstoff.....	15
Abb. 5: Dynamische Festigkeit ohne Klebstoff.....	16
Abb. 6: Energieaufnahme der Crashproben ohne Klebstoff.....	16
Abb. 7: Quasistatische Festigkeit im Scherzug mit Klebstoff	17
Abb. 8: Dynamische Festigkeit im Scherzug mit Klebstoff.....	17
Abb. 9: k- Faktor mit Klebstoff.....	18
Abb. 10: Energieaufnahme der Crashproben mit Klebstoff.....	18
Abb. 11: Gesamtübersicht über alle Versuchsreihen in Werten.....	19
Abb. 12: Kostenaufstellung über die einzelnen Verfahren	19
Abb. 13: Kostenaufstellung über den ganzen Prozess	20
Abb. 14: Fügematrix der erlaubten Blechpaarungen.....	21
Abb. 15: Effekte des Versuchplan nach Taguchi	23
Abb. 16: Effekte des faktoriellen fraktionellen Versuchsplan	24

1 Werkstoffkonzepte im Karosseriebau

Die Entwicklung des heutigen Karosseriebaus schreitet ständig voran. Widerstandspunktgeschweißte Stahlkarosserien stellen gegenwärtig noch immer den Standard in der Automobilindustrie dar. Die Weiterentwicklung zu hochfesten Stahlsorten ermöglicht eine erste Gewichtsreduzierung. Als das immer mehr an Bedeutung gewinnende Aluminium in diesem Bereich vordrang, blieb es nicht aus, sich mit neuen Materialpaarungen wie Aluminium-Aluminium (Al-Al) und im Mischbau Aluminium-Stahl (Al-St) auseinanderzusetzen (siehe Abb. 1). Durch die gestiegene Anforderung im Crashtest müssen auch diese neuen Karosserien immer höhere Festigkeitskennwerte und ein besseres Energieaufnahmevermögen erreichen.

Für das Fügen der neuen Werkstoffkombinationen aus Al-Al, Al-St bzw. Aluminium mit hochfestem Stahl, soll die Prozessstabilität des in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnenden **Nietclinchen**, aufgezeigt werden.

Mit dieser Aufgabenstellung befasst sich die Dissertation.

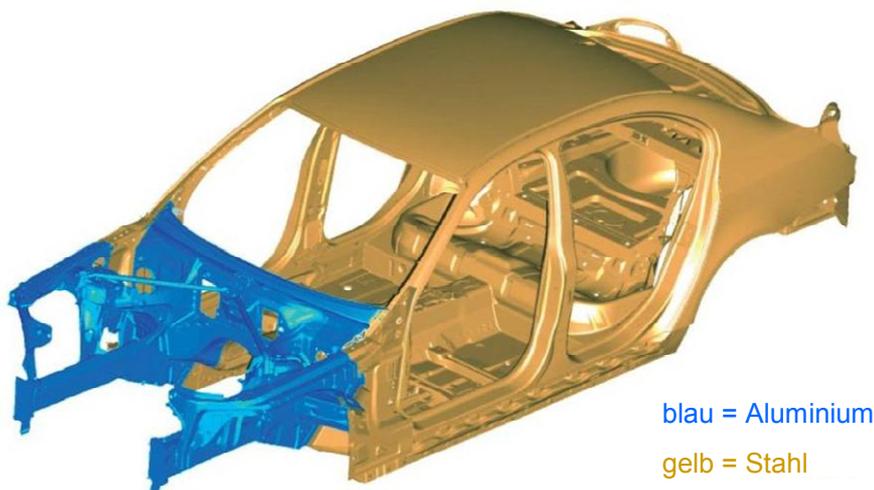


Abb. 1: Gewichtsreduzierter Aluminium Vorderbau (GRAV) der aktuellen 5er Reihe

Die Ziele für die Zukunft sind klar definiert. Die ökologischen und ökonomischen Zielsetzungen für den modernen Karosseriebau sind heute höher denn je. Im Gegensatz zu früher ist es heute noch wichtiger gewichts- und kostenreduziert zu bauen. Dennoch müssen die Karosserien immer höhere Anforderungen in ihren Bereichen erfüllen.

In dieser Arbeit wurden Laboruntersuchungen zu diesen Anforderungen durchgeführt. Als Basis hierfür dienten das Halbhohlstanznieten und das Clinchen. Der Einsatz dieser zwei Verfahren ist bei Aluminium- und Mischbauverbindungen der heutige Stand der Technik. Sie bieten vor allem in Kombination mit Klebstoff (als Hybridverfahren) einen entscheidenden Vorteil gegenüber heutigen thermischen Fügeverfahren. In dieser Arbeit dient das Halbhohlstanznieten als Referenzverfahren in allen Laboruntersuchungen.

Eine immer breitere Auswahl der zu fügenden Materialpaarungen setzt auch eine für jede Paarung abgestimmte Füge-technik voraus. Deswegen müssen auch neue und innovative Konzepte der kalten Füge-technik ständig weiterentwickelt werden.

2 Stand der Technik

Bei den heutigen punktförmigen Fügeverfahren (Abb. 2) wird grundsätzlich zwischen mechanischen, thermischen und Hybridverfahren unterschieden. In diesem Kapitel werden sollen die untersuchten Verfahren in ihre Hauptgruppen eingliedert und näher erläutert.

2.1 Mechanische Fügeverfahren

Halbhohlstanznieten: Ist ein Verfahren, welches durch ein schneidendes Hilfsfügeteil (den Stanzniet) die Blechpaarungen verbindet. Durch Erreichen eines Hinterschnitts im matrizen-seitigen Blech und die Kopf-form des Stanznietes im stempelseitigen Blech, wird eine formschlüssige Verbindung hergestellt. Das Verfahren eignet sich gut für Sichtbereiche, erfordert aber eine zweiseitige Zugänglichkeit.

Clinchen: Benötigt auch eine zweiseitige Zugänglichkeit, jedoch kein Hilfsfügeteil, da die Bleche durch Umformen formschlüssig verbunden werden.

TOX - Clinchnieten: Ist eine Kombination aus den erst genannten Verfahren, wobei ein volles Hilfsfügeteil, ohne schneidenden Anteil, durch einen Stempel in die Bleche geformt wird. Auch hier ist eine zweiseitige Zugänglichkeit erforderlich.

IWU- Nietclinchen: Diese Fügetechnik ist vergleichbar mit dem TOX-Clinchnieten. Im Gegensatz zum Verfahren der Fa. TOX wird hier ein Amboss, anstatt einer Matrize verwendet.

Vollstanznieten: Ein schneidender Vollniet wird durch eine Blechpaarung gestanzt. Dabei fließt das Material des Matrizenseitigen Bleches in die Ringnuten des Nietes und stellt somit eine formschlüssige Verbindung her. Auch hier ist eine zweiseitige Zugänglichkeit erforderlich. Dieses Verfahren eignet sich sehr gut für Sichtbereiche.

Blindnieten: Dieses Verfahren benötigt lediglich eine einseitige Zugänglichkeit. Jedoch müssen die zu verbinden Bleche vorgelocht bzw. vorgebohrt werden. Der Blindniet wird mit Hilfe eines Dornes, auf der Blindseite aufgespreizt. Durch diese Verformung und die Kopfform entsteht die formschlüssige Verbindung. Eine Variante sind selbstschneidende Blindniete. Bei ihnen entfällt die Vorlochoperation, jedoch wird eine zweiseitige Zugänglichkeit benötigt. Das Blindnieten ist in Sichtbereiche weniger geeignet.

FDS und PentaFlow Verschraubung: Bei diesen Verfahren handelt es sich um eine selbstschneidende und gewindefurchende Verschraubung, welche nur eine einseitige Zugänglichkeit benötigt. Der Unterschied zwischen FDS und PentaFlow Verschraubung liegt in der Anpresskraft und der Drehzahl im Fügeprozess. Beide Verschraubungsvarianten sind ungeeignet für Sichtbereiche.

2.2 Thermische Fügeverfahren

Widerstandspunktschweißen (WPS): Das traditionelle Verfahren zum Schweißen von Stahlverbindungen benötigt eine zweiseitige Zugänglichkeit und ist gut für Sichtbereiche geeignet. Für Aluminium Verbindungen ist es durch den hohen Verschleiß der Elektrodenkappen nur bedingt geeignet.

Rührreibschweißen: Bei diesem Verfahren arbeitet ein rotierendes Werkzeug an der Fugestelle. Unter hohem Druck und Rotation des Werkzeuges, erwärmt sich die Fugestelle und es entsteht eine quasistoffschlüssige Verbindung. Dafür ist eine zweiseitige Zugänglichkeit erforderlich.

Plasmapunktschweißen: Ist vergleichbar mit dem WPS, jedoch benötigt es nur eine einseitige Zugänglichkeit und ist gut für dickere Bleche geeignet. Das Verfahren ist wartungsintensiv.

2.3 Hybridverfahren

Als Hybridverfahren werden die vorherig genannten Verfahren in Kombination mit Festigkeitsklebstoff bezeichnet. Hierbei zeigt sich ein weiterer Vorteil der mechanischen Fügeverfahren, da diese alle als Hybridverfahren angewendet werden können. Bei den thermischen Fügeverfahren kann das Plasmapunktschweißen nicht als Hybridlösung eingesetzt werden. Das Rührreibschweißen muss noch auf die Eignung als Hybridverfahren getestet werden.

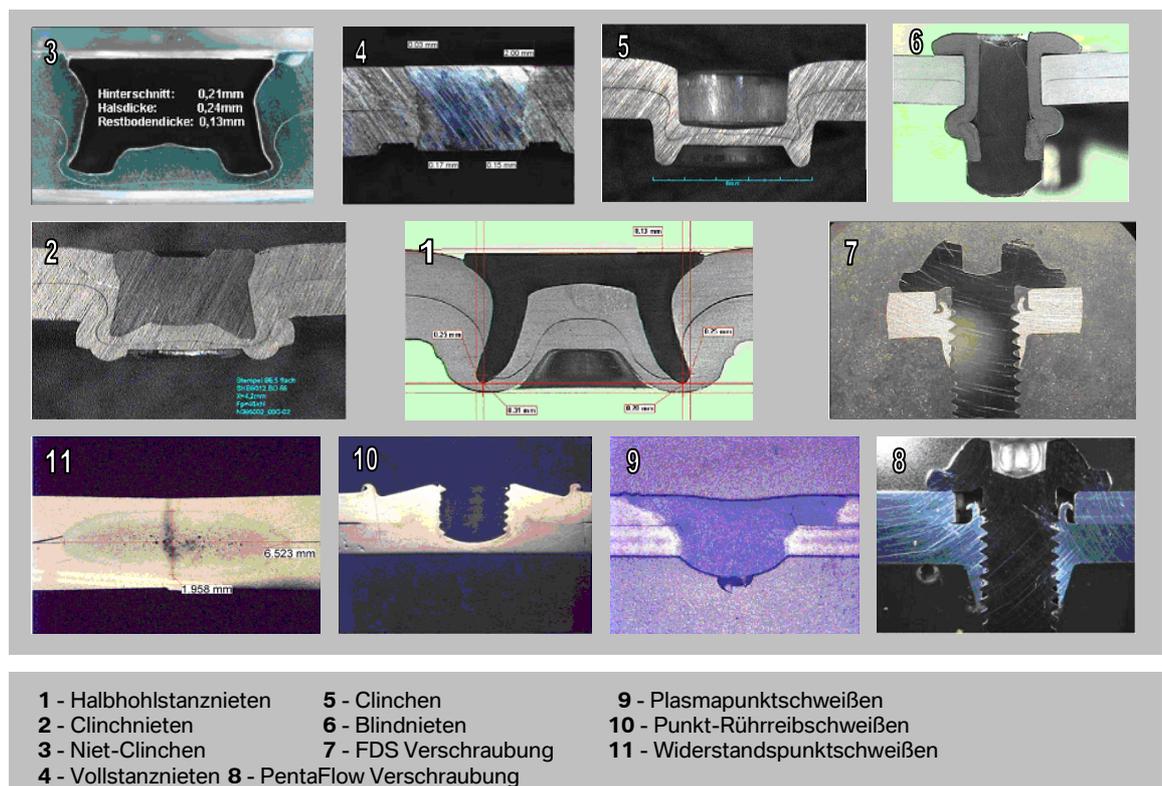


Abb. 2: Übersicht der Fügeverfahren

In der Produktion muss auf fügespezifische Faktoren geachtet werden, wie z.B. Zugänglichkeit, Vorlochoperationen sowie Eignung auf Verwendung in Sichtbereichen.

Auch die Fügeanlagen unterliegen einem ständigen Entwicklungsprozess.

Bei den Untersuchungen für diese Arbeit ist der heutige Stand der Technik verwendet worden. Für den Nachweis der Prozessstabilität beim Nietclinchen, wurde eine neuentwickelte und im Einsatz befindliche Stanznietzange der Firma Tucker verwendet, welche auf einem Industrieroboter der Fa. Kuka angebracht ist. Solch eine Anlage wird auch in der Produktion bei BMW eingesetzt.

3 Zieldefinition und Aufgabenstellung

In dieser Arbeit wurde das Nietclinchen mit den heute bekannten punktförmigen Fügeverfahren verglichen.

Besonderes Augenmerk lag auf dem Vergleich mit dem Referenzverfahren des Halbhohlstanznietens. Diese Gegenüberstellung dient dazu, die Schwachstellen sowie die Vorzüge des Nietclinchens zu erkennen (z.B. keine Luftkanalbildung bei Verwendung von Klebstoff). Diese Vor- und Nachteile zeigen sich in den durchgeführten Laboruntersuchungen. Daraus können Schlüsse für die Verbesserungen der Prozessstabilität in der Produktion gezogen werden.

Es wurden mit allen Fügeverfahren quasistatische und dynamische Festigkeitsuntersuchungen an Laborproben durchgeführt. Die Versuche wurden in zwei Reihen durchgeführt, ohne und mit Festigkeitsklebstoff. Verglichen wurden die, auf die Parameter, welche auf die Prozessschwankungen Einfluss nehmen, Parameter. Auch die für den Fügeprozess ausschlaggebenden Haupt- und Prozesseinflussgrößen gingen in die Laboruntersuchung ein.

Diese zwei Versuchsreihen wurden auch in den Crashversuchen fortgesetzt. Hier wurden alle Verfahren an Crashproben auf Energieaufnahmevermögen, Faltenbildung und Anzahl der offenen Fügepunkte nach dem Crash-Test untersucht.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen wurden Schlussfolgerungen über die Prozessschwankungen im Labor gezogen. Durch das Anwenden des mathematischen Modells von Taguchi wurde der Versuchsplan auf ein Minimum reduziert. Auch ein faktorieller fraktioneller Versuchsplan ist zum Vergleich der Versuchspläne herangezogen worden. Alle Untersuchungen wurden nach BMW genormten Standard durchgeführt.

4 Prüfmethoden

Für aussagekräftige Aussagen wurden die Proben mit der metallografischen Methode untersucht, um auch kleinste Fehler im Werkstück sowie Materialfehler und Risse der einzelnen Fügepunkte zu erkennen.

Alle Laborproben wurden nach hausinterner BMW-Norm angefertigt (Abb. 3). Die in den Untersuchungen erreichten quasistatischen Festigkeitskennwerte wurden an Kopf- und Scherzugproben ermittelt. Bei den dynamischen Versuchen wurden lediglich Scherzugproben verwendet.

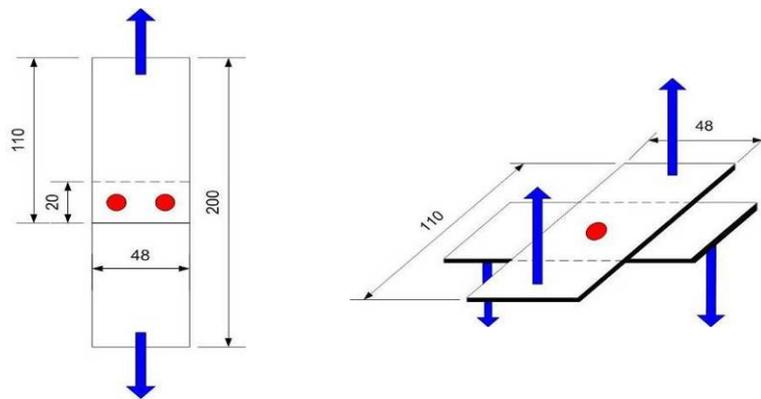


Abb. 3: Probenabmessungen nach BMW-Norm

Alle aus den Untersuchungen erhaltenen Werte sind an einer Materialpaarung Aluminium 1,5 mm- Aluminium 1,5 mm (AlMg3,5Mn) ermittelt worden.

Bei den quasistatischen Versuchen wurde ein Untersuchungsprogramm mit einem fest definierten Kraft-Weg-Diagramm verwendet. Die Ergebnisse der dynamischen Zugversuche wurden aus Wöhlerdiagrammen und einer errechneten Versagenswahrscheinlichkeit ermittelt. Auch diese wurden bei BMW an geprüften Maschinen durchgeführt.

5 Festigkeitsuntersuchungen

5.1 Quasistatische und dynamische Festigkeitsuntersuchungen ohne Klebstoff

Halbhohlstanznieten:

Kopfzugfestigkeit: 2,1 kN

Scherzugfestigkeit: 6,8 kN

Dynamische Oberlast: 5,0 kN bei 10^5 Lastwechseln

IWU- Nietclinchen:

Kopfzugfestigkeit: 1,1 kN

Scherzugfestigkeit: 5,9 kN

Dynamische Oberlast: 4,9 kN bei 10^5 Lastwechseln

TOX - Clinchnieten:

Kopfzugfestigkeit: 1,6 kN

Scherzugfestigkeit: 5,9 kN

Dynamische Oberlast: 5,0 kN bei 10^5 Lastwechseln

Clinchen:

Kopfzugfestigkeit: 2,0 kN

Scherzugfestigkeit: 4,9 kN

Dynamische Oberlast: 4,7 kN bei 10^5 Lastwechseln

Vollstanznieten:

Kopfzugfestigkeit: 0,8 kN

Scherzugfestigkeit: 4,0 kN

Dynamische Oberlast: 4,0 kN bei 10^5 Lastwechseln

Blindnieten:

Kopfzugfestigkeit: 2,9 kN

Scherzugfestigkeit: 6,3 kN

Dynamische Oberlast: 4,0 kN bei 10^5 Lastwechseln

FDS- und PentaFlow Verschraubung:

Kopfzugfestigkeit: 3,0 kN

Scherzugfestigkeit: 8,0 kN

Dynamische Oberlast: 4,5 kN bei 10^5 Lastwechseln

WPS:

Kopfzugfestigkeit: 2,5 kN

Scherzugfestigkeit: 8,3 kN

Dynamische Oberlast: 2,2 kN bei 10^5 Lastwechseln

Punkt- Rührreibschweißen:

Kopfzugfestigkeit: 1,9 kN

Scherzugfestigkeit: 6,4 kN

Dynamische Oberlast: 2,3

Plasmapunktschweißen:

Kopfzugfestigkeit: 1,7 kN

Scherzugfestigkeit: 7,2 kN

Dynamische Oberlast: 2,2 kN bei 10^5 Lastwechseln

5.2 Crash-Test ohne Klebstoff

Ein besonderes Augenmerk lag bei den Crashproben auf drei Einflüssen. Die Energieaufnahme der Probe, den Kurvenverlauf des Kraft-Weg-Diagramms sowie die Anzahl der geöffneten Verbindungspunkte nach dem Versuch. Für einen besseren Überblick ist in diesem Teil der Arbeit ein Ranking der einzelnen Proben erstellt worden, was einen ersten Vergleich ermöglichen soll. Bei den Proben wurde auf die Faltenbildung nach dem Crash geachtet, da diese eine sehr gute erste Bewertung der Ergebnisse erlaubt. Analog wurden auch diese zwei Versuchsreihen als Hybridlösung getestet.

Halbhohlstanznieten:

Energieaufnahme: 1,97 kNm

Faltenbildung: definierte kleine Falten

(Energieaufnahme 1/11; offene Punkte 4/11; Faltenbildung 3/11)

IWU- Nietclinchen:

Energieaufnahme: 1,76 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 9/11; offene Punkte 10/11; Faltenbildung 10/11)

TOX - Nietclinchen:

Energieaufnahme: 1,85 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 5/11; offene Punkte 6/11; Faltenbildung 8/11)

Clinchen:

Energieaufnahme: 1,83 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 7/11; offene Punkte 6/11; Faltenbildung 9/11)

Vollstanznieten:

Energieaufnahme: 1,61 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 11/11; offene Punkte 11/11; Faltenbildung 11/11)

Blindnieten:

Energieaufnahme: 1,90 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 2/11; offene Punkte 1/11; Faltenbildung 4/11)

FDS- Verschraubung:

Energieaufnahme: 1,88 kNm

Faltenbildung: definierte Falten lediglich gestört durch die großen Hilfsfügeteile

(Energieaufnahme 3/11; offene Punkte 1/11; Faltenbildung 1/11)

PentaFlow- Verschraubung:

Energieaufnahme: 1,87 kNm

Faltenbildung: definierte Falten lediglich gestört durch die großen Hilfsfügeteile

(Energieaufnahme 4/11; offene Punkte 1/11; Faltenbildung 2/11)

WPS:

Energieaufnahme: 1,85 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 5/11; offene Punkte 5/11; Faltenbildung 7/11)

Punkt- Rührreibschweißen:

Energieaufnahme: 1,70 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 10/11; offene Punkte 8/11; Faltenbildung 6/11)

Plasmapunktschweißen:

Energieaufnahme: 1,83 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 7/11; offene Punkte 7/11; Faltenbildung 5/11)

5.3 Quasistatische und dynamische Festigkeitsuntersuchungen mit Klebstoff

Bei beiden Versuchsreihen mit Klebstoff wurden nur fünf Fügeverfahren ausgewählt: Halbhohlstanznieten, Clinchen, Clinchnieten, Nietclinchen und Widerstandspunktschweißen. Dies sind die Verfahren, welche am häufigsten als Hybridlösung in der Produktion zu finden sind.

Halbhohlstanznieten:

Scherzugfestigkeit: 14,8 kN

Dynamische Oberlast: 5,8 kN bei 10^5 Lastwechseln

IWU-Nietclinchen:

Scherzugfestigkeit: 15,3 kN

Dynamische Oberlast: 7,5 kN bei 10^5 Lastwechseln

TOX - Clinchnieten:

Scherzugfestigkeit: 14,5 kN

Dynamische Oberlast: 6,4 kN bei 10^5 Lastwechseln

Clinchen:

Scherzugfestigkeit: 15,9 kN

Dynamische Oberlast: 9,0 kN bei 10^5 Lastwechseln

WPS:

Scherzugfestigkeit: 13,8 kN

Dynamische Oberlast: 6,5 kN bei 10^5 Lastwechseln

5.4 Crash-Test mit Klebstoff:

Halbhohlstanznieten:

Energieaufnahme: 2,29 kNm

Faltenbildung: definierte kleine Falten

(Energieaufnahme 5/5; offene Punkte 2/5; Faltenbildung 3/5)

IWU-Nietclinchen:

Energieaufnahme: 2,34 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 3/5; offene Punkte 5/5; Faltenbildung 5/5)

TOX- Clinchnieten:

Energieaufnahme: 2,33 kNm

Faltenbildung: definierte kleine Falten

(Energieaufnahme 4/5; offene Punkte 4/5; Faltenbildung 2/5)

Clinchen:

Energieaufnahme: 2,43 kNm

Faltenbildung: undefiniert

(Energieaufnahme 1/5; offene Punkte 3/5; Faltenbildung 4/5)

WPS:

Energieaufnahme: 2,40 kNm

Faltenbildung: definierte kleine Falten

(Energieaufnahme 2/5; offene Punkte 1/5; Faltenbildung 1/5)

Weiter werden die vom Versuch ermittelten Computerergebnisse aufgezeichnet und zur späteren Auswertung herangezogen.

6 Versuchsauswertung

Durch Zusammenfassen der Ergebnisse sind aus den Versuchsreihen Folgerungen zu ziehen. Ohne Klebstoff, im quasistatischen Festigkeitsversuch, konnten bei der kalten Fügetechnik die beiden Verschraubungsarten, sowohl im Scher- als auch im Kopfzug die größten Festigkeitskennwerte aufweisen. Bei der warmen Fügetechnik war das Widerstandspunktschweißen das beste Verfahren. Diese Werte übertrafen das Referenzverfahren Halbhohlstanznieten. Bei den Nietverfahren erreichte das Blindnieten die höchsten Werte im Kopf- und Scherzug (Abb. 4).

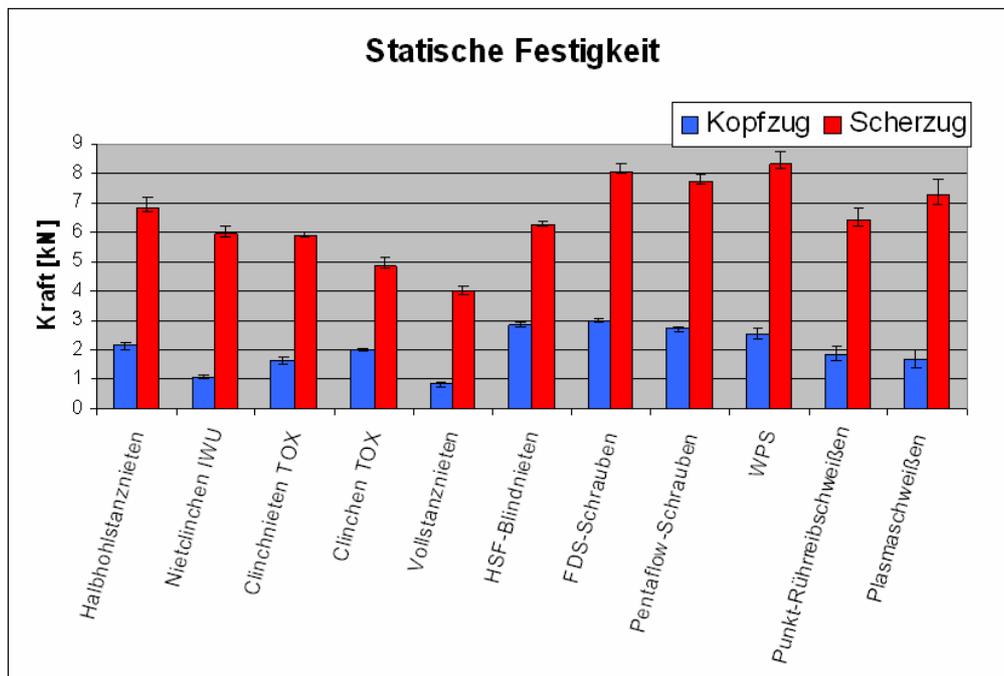


Abb. 4: Quasistatische Festigkeit ohne Klebstoff

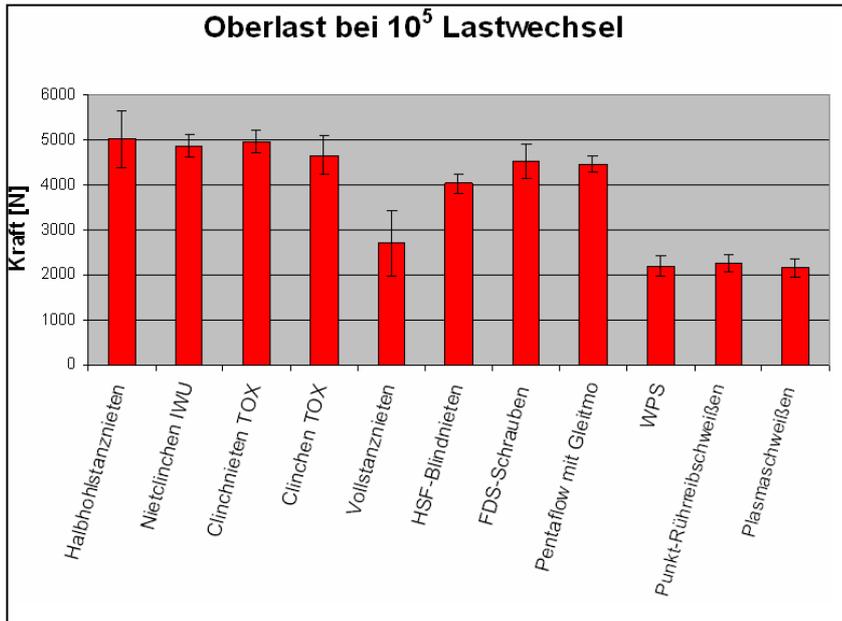


Abb. 5: Dynamische Festigkeit ohne Klebstoff

Auch im Crash-Test ohne Klebstoff erreichte das Halbhohlstanznieten die größten Werte. Die Verschraubungen erreichten hierbei ebenfalls hohe Werte (Abb. 6).

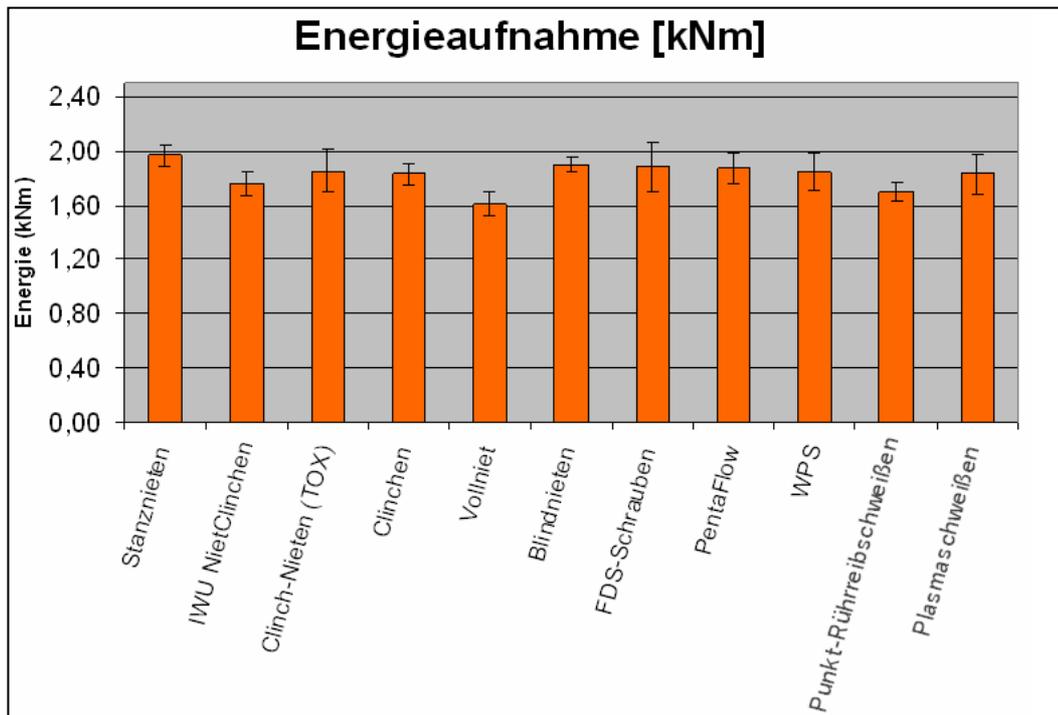


Abb. 6: Energieaufnahme der Crashproben ohne Klebstoff

Mit Klebstoff im quasistatischen Versuch zeigten sich das Nietclinchen und Clinchen als Hybridlösung mit sehr guten Werten noch vor dem Referenzverfahren (Abb. 7).

Dies kann an der Bildung der Luftkanäle beim Halbhohlstanznieten liegen. Beim Widerstandpunktschweißen verbrennt der Klebstoff in der Wärmeeinflusszone und weist dadurch geringere Ergebnisse auf.

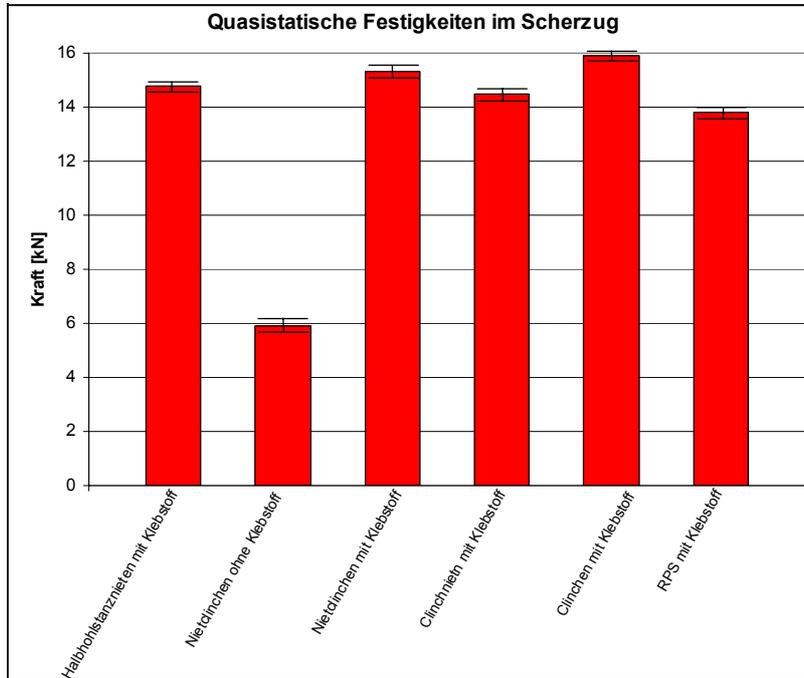


Abb. 7: Quasistatische Festigkeit im Scherzug mit Klebstoff

Bei den zyklischen Versuchen mit Klebstoff war das Halbhohlstanznieten das schlechteste Fügeverfahren. Die besten Ergebnisse erzielten hingegen das Nietclinchen und Clinchen. Zur besseren Veranschaulichung des Einflusses des Klebstoffes, wurde hier das Nietclinchen ohne Klebstoff in die Diagramme einbezogen (Abb. 8).

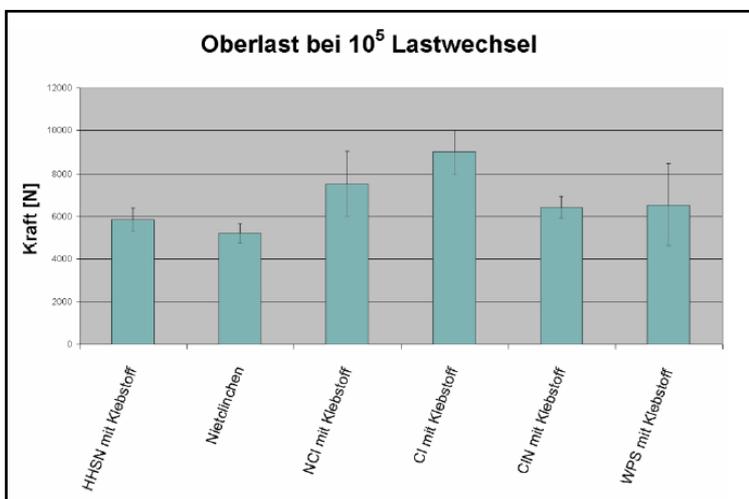


Abb. 8: Dynamische Festigkeit im Scherzug mit Klebstoff

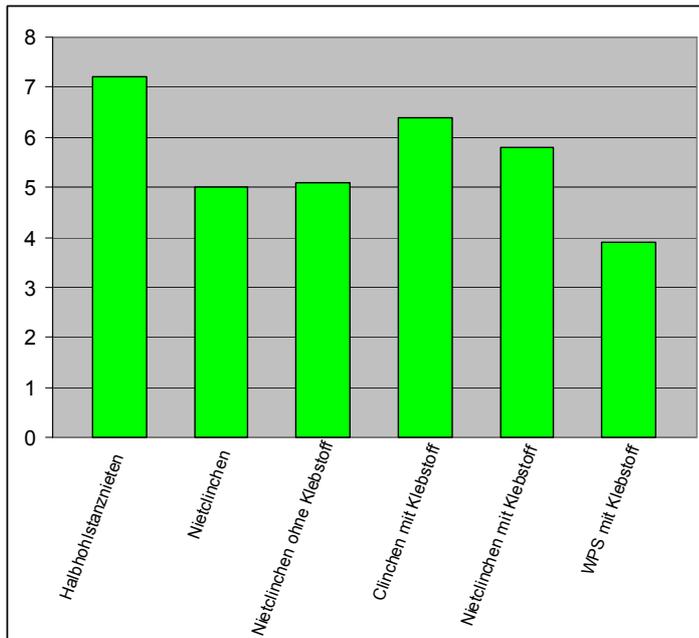


Abb. 9: k- Faktor mit Klebstoff

Im Crash hat sich gezeigt, dass durch die Verwendung des Klebstoffes eine höhere Energieaufnahme erreicht wird, wodurch sich aber größere Falten bilden. Hier zeigte sich das Widerstandspunktschweißen (WPS) als beste Verbindung und das Nietclinchchen als schlechteste (Abb. 10).

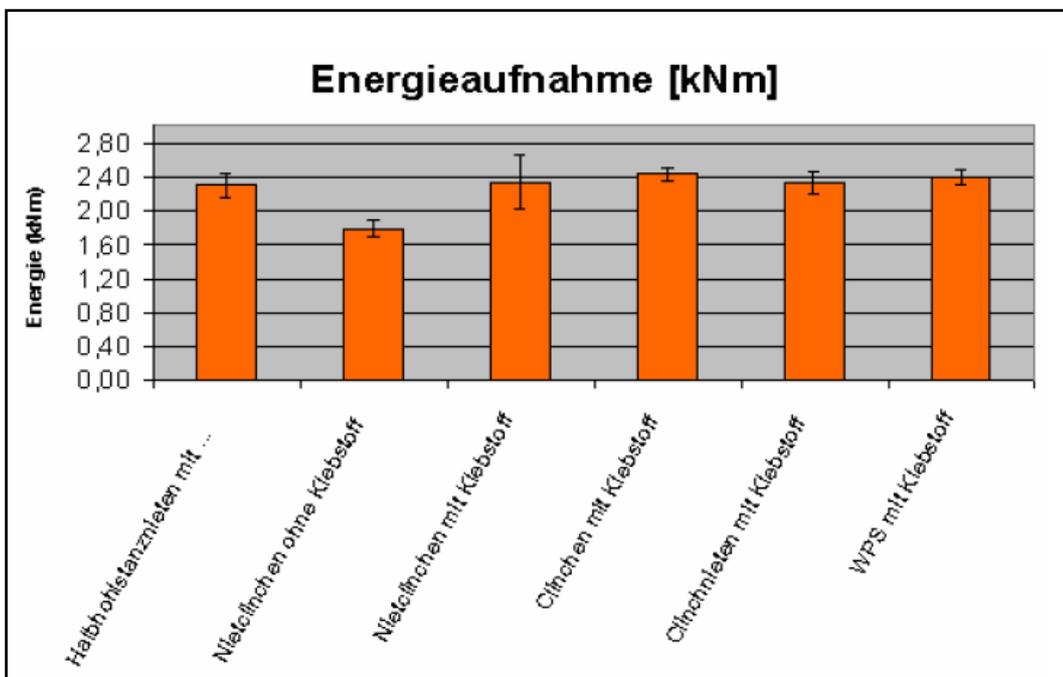


Abb. 10: Energieaufnahme der Crashproben mit Klebstoff

In nachstehender Tabelle (Abb. 11) ist ein Gesamtüberblick über alle Versuche dargestellt. Es gibt keinerlei Abhängigkeit zwischen den quasistatischen-, zyklischen- und Crasheigenschaften. Als bestes Beispiel dient das WPS. Es liefert sehr gute quasistatische Werte, jedoch sind die Ergebnisse aus den zyklischen Versuchen deutlich schlechter positioniert.

Prüf- methode	Ohne Klebstoff				Mit Klebstoff		
	Quasistatisch		Zyklisch	Crash Test	Quasistatisch	Zyklisch	Crash Test
Füge- verfahren	Kopfzug [kN]	Scherzug [kn]	Kraft bei 10*5 Last- wechsel [kN]	Energieaufn. [kNm]	Scherzug [kn]	Kraft bei 10*5 Last- wechsel	Energieaufn. [kNm]
HHSN	2,20	6,80	5,00	1,98	14,80	5,80	2,30
NC IWU	1,10	6,00	4,80	1,75	15,40	7,50	2,32
CN TOX	1,70	5,90	4,90	1,85	14,30	6,40	2,32
CI	2,00	4,80	4,60	1,85	15,90	9,00	2,45
VSN	0,80	4,00	2,70	1,65	nicht Geprüft		
HSF-BN	3,90	6,30	4,10	1,90			
FDS-SCH	3,00	8,00	4,50	1,88			
Pentaflow	2,80	7,70	4,40	1,87			
WPS	2,60	8,30	2,20	1,85	13,80	6,50	2,40
PRRS	1,80	6,40	2,30	1,70	nicht Geprüft		
PS	1,70	7,20	2,10	1,80			

Abb. 11: Gesamtübersicht über alle Versuchsreihen in Werten

Zu einer abschließenden Versuchsauswertung muss auch der finanzielle Aspekt betrachtet werden. Hierzu wird ein Kostenvergleich in den Punkten Investitionskosten, Laufzeit, Fügeelement, Wartung und Energieverbrauch aufgestellt.

Fügeverfahren Kostenart	Clinchen	WPS	Stanznieten
Invest (Roboter+Zange)	60 000 €	76 000€	90 000€
Invest pro Punkt	0,00793651 €	0,01005291 €	0,01190476 €
Fügeelementkosten	0 €	0 €	0,017 €
H ₂ O-Kosten pro Punkt	0 €	0,0000491 €	0 €
Energie- und Luftbedarf pro Punkt	0,000256 €	0,000441 €	0,000253 €
Kosten pro Punkt	0,0082 €	0,011 €	0,029 €

Abb. 12: Kostenaufstellung über die einzelnen Verfahren

In dem Kostenvergleich zeigt sich, dass das Clinchen das günstigste und das Stanznieten, durch die hohen Fügelementkosten, das teuerste Fügeverfahren darstellt. Weiter wurde eine Kostenaufschlüsselung über den gesamten Prozess erstellt, bei dem ausgewählte Verfahren verwendet wurden. In nachfolgendem Beispiel ohne Klebstoff (Abb. 13) ist eine solche Kostenaufschlüsselung dargestellt.

	Stanznieten	Vollnieten	Nietclinchen	Clinchen	WPS
Festigkeit im Scherzug	3,4 kN	2 kN	2,95 kN	2,45 kN	4,15 kN
Anzahl der Punkte	10	17	12	14	8
Kosten pro Punkt	0,029 €	0,031 €	0,029 €	0,0082 €	0,011 €
Gesamt Kosten	0,29 €	0,527 €	0,348 €	0,115 €	0,088 €
Gesamt Taktzeit	35 s	59,5 s	42 s	42 s	20 s
Ranking	3	5	4	2	1

Abb. 13: Kostenaufstellung über den ganzen Prozess

7 Weiterentwicklung beim Nietclinchen

Die BMW Group arbeitet auf dem Gebiet des Nietclinchens eng mit externen Partnern zusammen. Zu ihnen zählt auch das Dresdner Fraunhofer Institutteil IWU. Durch diese Partnerschaft wurden drei neue Nietgeometrien entwickelt. Aufgabe war es nun, diese drei neuen Geometrien im Labor zu prüfen. Die ersten Ergebnisse, mit Amboss gefügt, waren wenig zufrieden stellend.

Nachdem auf Matrizen zum Fügen zurückgegriffen wurde, stellten sich bessere Ergebnisse ein. Alle am Anfang geprüften Proben wurden mit einer Standard Materialpaarung gefügt, um Vergleiche zu früheren Versuchen zu ermöglichen. Eine Reduzierung der Fügekraft war ein weiterer Untersuchungsparameter.

Um Prozessstabilität unter verschiedenen Randbedingungen zu simulieren, wurde die Verbindung mit Verwendung von Klebstoff geprüft. Bei der Verwendung dieses Hybridverfahrens zeigte sich, dass zum Beispiel der Hinterschnitt schlechter ausgeprägt wird. Erst nach einer Anpassung der Haltezeit im Fügeprozess, wurden hier akzeptable Ergebnisse erzielt.

Nach diesen erfolgreichen Tests wurden weitere Materialpaarungen untersucht. Es ergab sich für die neuen Nietgeometrien ein großes Arbeitsfeld im Mischbau (Abb. 14). Die Proben wurden auf Dauerfestigkeit sowie Kopf- und Scherzugfestigkeit geprüft.

Oberblech [mm]		Unterblech [mm]			
		AlMg3,5Mn		AlMg4,5Mn0,4	Aural2
		1,5	1,2	1,2	2,5
H220 BD	1,4	5,3 x 4,0 - H4			
	0,8				
H260 BD	1,0		5,3 x 4,0 - H4	5,3 x 4,0 - H4	
	1,8	5,3 x 4,5 - H4			
H340LAD	1,2	5,3 x 4,0 - H4	5,3 x 4,0 - H4	5,3 x 4,0 - H4	
	1,4	5,3 x 4,0 - H4	5,3 x 4,0 - H4	5,3 x 4,0 - H4	
H420 LAD	1,4	5,3 x 4,0 - H4			
	1,6		5,3 x 4,0 - H4		
H400 TD	1,2				
	1,6				

Abb. 14: Fügematrix der erlaubten Blechpaarungen

8 Prozessschwankungen beim Nietclinchen

In diesem Kapitel wird auf die Prozessschwankungen, die Untersuchungsmethoden, statistischen Grundlagen, Zielgrößen, Faktoren sowie die verwendeten Versuchspläne eingegangen. Sie werden in ihren Unterschieden, Wirkungsweisen und Umsetzungen erklärt.

Durch die Auswertung der Ergebnisse und Versuchspläne haben sich drei maßgebliche Prozessschwankungen herauskristallisiert: Hinterschnitt, Halsdicke und Restboden (Abb. 15). Dabei hängt der Hinterschnitt maßgeblich von drei Faktoren ab: dem Spalt zwischen den Blechen, der Dicke des Oberbleches und der Überdrückung. Alle drei Einflussgrößen werden im Signifikanzen-Test mit hohen Werten belegt. Bei der Halsdicke haben sich zwei Signifikanzen gezeigt: die der Materialstärken des matrizen seitigen und des stempelseitigen Bleches. Bei den stempelseitigen Blechen liefern dickere Materialstärken bessere Ergebnisse. Auch kann sich eine Reduzierung des matrizen seitigen Bleches positiv auf die Halsdicke auswirken.

Die vielen signifikanten Wechselwirkungen, welche lediglich im fraktionellen faktoriellen Versuchsplan voll berücksichtigt werden (zwischen Ober- und Unterblech), spiegeln sich auch in den Signifikanzen des Restbodens wieder (Abb. 16). Zusammenfassend ist zu sagen, dass die gesamte statistische Auswertung auf Schätzungen basiert. Die Aussage kann nur auf Basis des durchgeführten Versuchsumfangs bewertet werden.

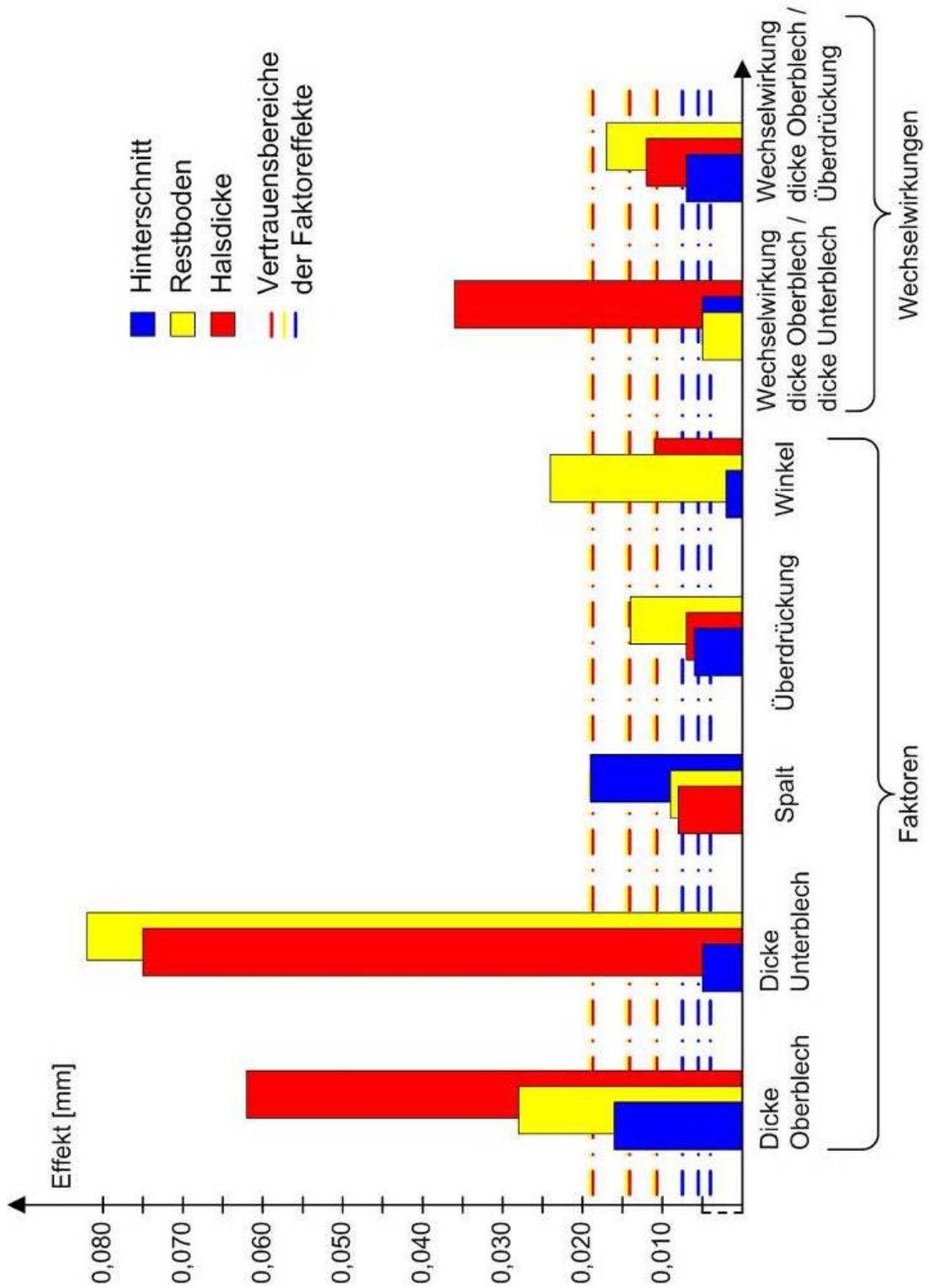


Abb. 15: Effekte des Versuchsplan nach Taguchi

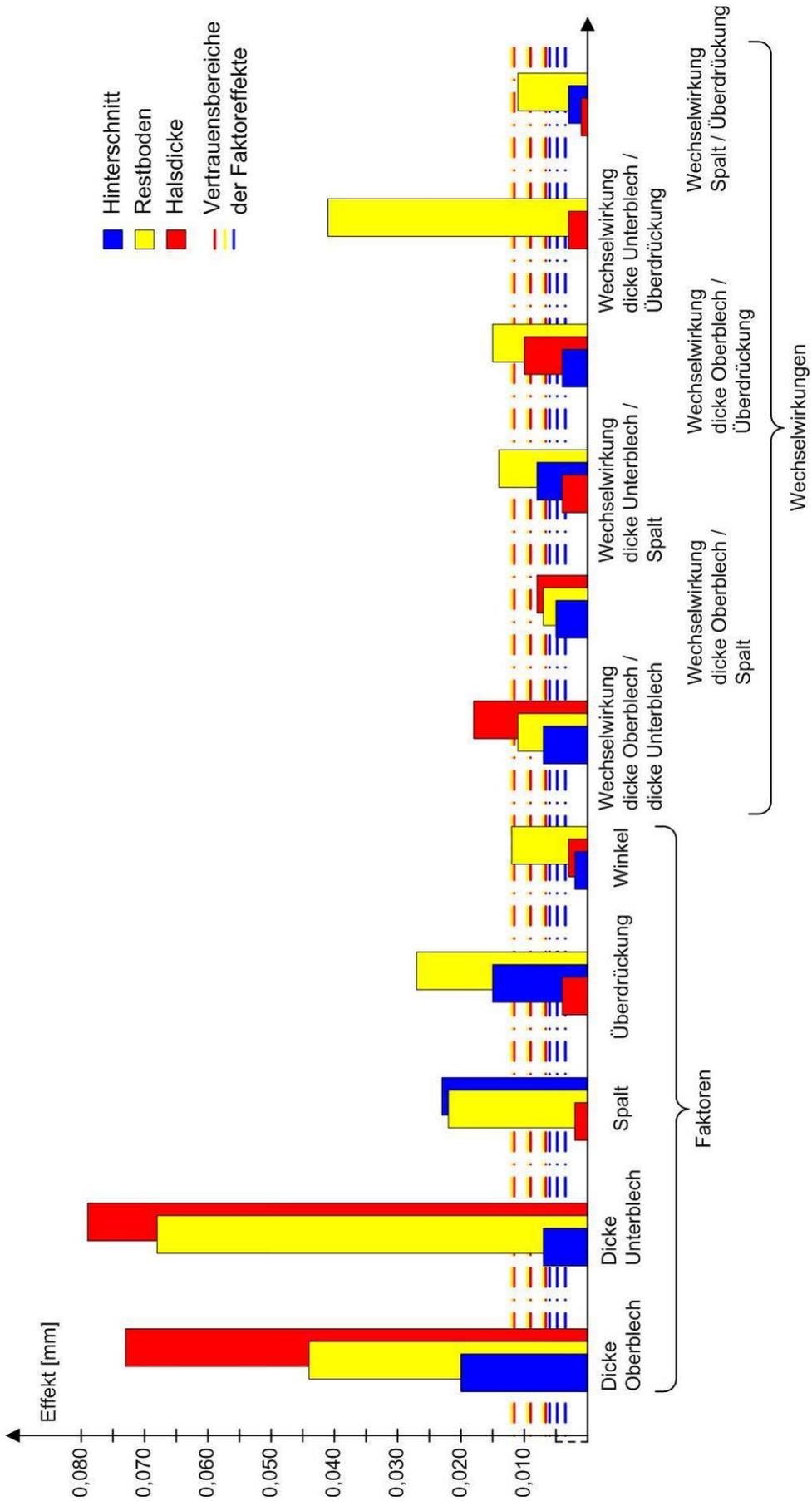


Abb. 16: Effekte des faktoriellen fraktionellen Versuchsplan

9 Zusammenfassung

Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit wurden Festigkeitsuntersuchungen an Aluminium-Aluminium-Verbindungen durchgeführt. Das Referenzverfahren Stanznieten wurde mit zehn anderen Fügeverfahren verglichen. Bei den quasistatischen Scherzuguntersuchungen von Zwei-Punkt-Proben zeigte sich, dass das Nietclinchen etwas weniger Festigkeit als das Stanznieten mit Halbhohlniet erreicht. Die untersuchten Schraubverfahren und die warmen Fügeverfahren erzielten hohe Festigkeitswerte.

Bei den Kopfzugversuchen zeigte sich, dass das Nietclinchen deutlich geringere Festigkeitswerte als das Referenzverfahren erreicht.

Die untersuchten Nietclinchverbindungen mit Klebstoff erzielten höhere Festigkeitswerte, die mit denen des Stanznietens mit Halbhohlniet zu vergleichen sind. Der Vorteil der Nietclinchverbindungen mit Klebstoff ist, dass sich keine Luftkanäle bilden.

In den zyklischen Untersuchungen schnitt das Nietclinchen besser als das Referenzverfahren ab. Im Crash-Test zeigte sich, dass die auftretenden inneren Spannungen einer Nietclinchverbindung einen schlechten Einfluss auf die Energieabsorption haben. Diese inneren Spannungen können durch die Verwendung eines Ambosses mit Außenring, anstatt eines herkömmlichen Ambosses minimiert werden. Bei Crash-Profilen mit Klebstoff erreichten die Nietclinchverbindungen eine etwas höhere Energieabsorption als beim Stanznieten mit Halbhohlniet (keine Störung der Klebstoffverbindung). Allerdings knüpfen mehr Fügepunkte als bei der Referenz aus.

Das Nietclinchen bietet die Möglichkeit, Stahl/Aluminium-Mischbauverbindungen erfolgreich zu fügen. Dies zeigt sich insbesondere bei Hybridverbindungen mit Strukturklebstoff. Luftkanäle in der Klebstoffschicht, wie sie beim Halbhohlstanznieten zu finden sind, treten nicht auf. Das Fügeverfahren ist bei Paarungen mit TRIP-Stählen (H400TD) oder Aluminiumguss (Material ist zu spröde) an seiner Grenze.

Im Rahmen des Kostenvergleichs hat sich gezeigt, dass zahlreiche Parameter Einfluss auf den Preis einer Punktverbindung haben. Der Preis besitzt eine starke Abhängigkeit vom jeweiligen Einsatzfall (Teilzeit, Schichtbetrieb). Es wurden alle kostenbeeinflussenden Faktoren auf eine Punktverbindung für einen Beispielprozess zusammengestellt.

Die nächste Aufgabe der Arbeit war, die Schwankungen im Prozess (unter Laborbedingungen) zu untersuchen. Das Untersuchungsprogramm und die Auswertung der Ergebnisse wurden mit einem Versuchsplan von Taguchi durchgeführt (48 Schliffbilder). Der Vergleich mit einem fraktionellen faktoriellen Versuchsplan (96 Schliffbilder), zeigte vergleichbare Ergebnisse wie bei einem Versuchsplan nach Taguchi.

Diese Auswertung zeigte, dass die Schwankung der Materialstärke im Unter- und Oberblech den größten Einfluss auf die Verbindung haben. Dieser Einfluss spiegelt sich als erstes in der Halsdicke und als zweites im Restboden wider. Die Halsdicke hat einen Einfluss auf die Festigkeit und der Restboden auf die Korrosionsbeständigkeit der Verbindung.

Der Einfluss der Niete selbst (Nietlänge und –härte), ist im Labor nur mit sehr großem Aufwand zu überprüfen. Deshalb wurde für diese Größen eine FEM-Simulation durchgeführt. Dabei ergab sich, dass eine Reduzierung der Nietlänge zu einem geringeren Hinterschnitt führt. Die Nietlänge sowie die Niethärte haben nur einen geringen Einfluss auf die Halsdicke. Bei abnehmender Nietlänge und Niethärte wurde ein größerer Restboden erreicht.

Die Untersuchungen der Arbeit haben gezeigt, dass zum Fügen einer i.O.-Nietclinchverbindung ein Kompromiss zwischen Halsdicke, Hinterschnitt und Restboden gefunden werden muss. Um einen stabilen Prozess zu erreichen, müssen die Schwankungen der Materialstärke von abgepressten Teilen in einer definierten Toleranz liegen. Um einen stabilen Prozess gewährleisten zu können, muss diese Toleranz durch Untersuchungen in der Produktion gesichert werden.