

# Hochgeschwindigkeitsblindnieten ohne Vorlöcher

Prof. Dr.-Ing. Gerson Meschut, Dipl.-Wirt.-Ing. Philipp Nagel

Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik (LWF), Paderborn

[philipp.nagel@lwf.upb.de](mailto:philipp.nagel@lwf.upb.de)

## 1. Kurzdarstellung

Zur Erzielung möglichst crashsicherer und biegesteifer Karosseriekonstruktionen wird im Automobilrohbau zunehmend eine schalen- und profilintensive Bauweise verwendet, welche häufig eine nur einseitige Zugänglichkeit zur Fügestelle aufweist. Eine Technologie, die das Fügen artverschiedener Werkstoffe bei einer nur einseitigen Zugänglichkeit zur Fügestelle ermöglicht, ist das Blindnieten. Das Blindnieten weist jedoch einige technologische Nachteile auf. Beispielsweise müssen Vorlöcher in die Fügeteile eingebracht werden. Weitere Nachteile sind die notwendige exakte Positionierung der Vorlöcher und Bauteile zueinander sowie die Findung der Vorlöcher durch robotergeführte Fügesysteme.

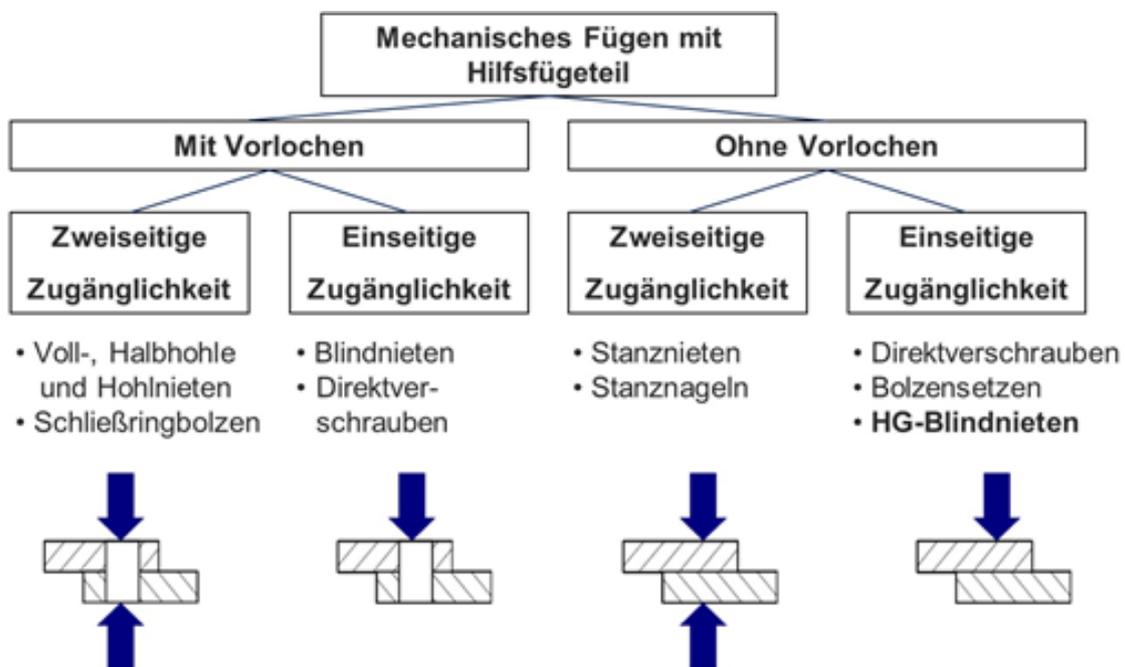
Ziel des auf der Ausarbeitung basierenden Forschungsprojektes war es, das Fügeverfahren Hochgeschwindigkeitsblindnieten ohne Vorlöcher zu entwickeln und seine Tauglichkeit für den Einsatz in Automobilanwendungen zu erproben. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden verschiedene Typen von vorlochfreien Blindnieten im Rahmen einer Einflussgrößenanalyse entwickelt und optimiert. Das Element mit dem größten Anwendungspotenzial wurde ausgewählt und das mechanische Eigenschaftsprofil im Vergleich zu den ebenfalls einseitig arbeitenden Fügeverfahren Blindnieten und Bolzensetzen ermittelt. Die industrielle Fertigung von Hochgeschwindigkeitsblindnieten konnte durch die Herstellung eines Prototypen durch einen Hersteller von Kaltformteilen demonstriert werden. In der Summe konnte mit den Untersuchungen gezeigt werden, dass eine industrielle Umsetzung des Fügeverfahrens Hochgeschwindigkeitsblindnieten ohne Vorlöcher möglich ist. Der Nutzen des Verfahrens ist in der Einsparung der Vorlochoperation, der Prozesszeitreduzierung gegenüber Standardblindniete, der einfachen Fügeteilpositionierung und der einfachen Überwachung der Verbindungsqualität begründet.

## 2. Einleitung

Bei der Umsetzung von innovativen Leichtbaukonzepten stoßen die konventionellen thermischen Fügeverfahren immer mehr an ihre Grenzen. In diesem Zusammenhang lassen sich das Verbinden von Mischbauweisen aus artverschiedenen Werkstoffen

und die zum Teil nur einseitige Zugänglichkeit der Fügstellen durch Schalen- und Space-Frame-Bauweisen nennen. Hier sind zunehmend neue Ansätze zum Fügen erforderlich. Die Weiterentwicklung der Fügetechnik spielt hierbei eine wesentliche Rolle, um die Umsetzung des Leichtbaugedankens zu gewährleisten. Mit den mechanischen Fügetechniken wie beispielsweise dem Clinchen und dem Stanznieten ist das Fügen artverschiedener Werkstoffe zwar möglich, jedoch benötigen diese Technologien eine zweiseitige Zugänglichkeit zur Fügestelle.

Ein Fügeverfahren, das das Fügen bei einer nur einseitig zugänglichen Fügestelle ermöglicht ist das Blindnieten. Der größte Nachteil dieses Fügeverfahrens ist, dass es sich aufgrund der Vorlochoperation um mehrstufige Prozesse handelt, was zu einer höheren Taktzeit und damit verbundenen höheren Kosten für die Verbindungserstellung führt. Weitere Nachteile einer Vorlochoperation sind die Positionierung der Bauteile zueinander und ggf. eine sich durch die Vorlochoperation ergebende Spanbildung.

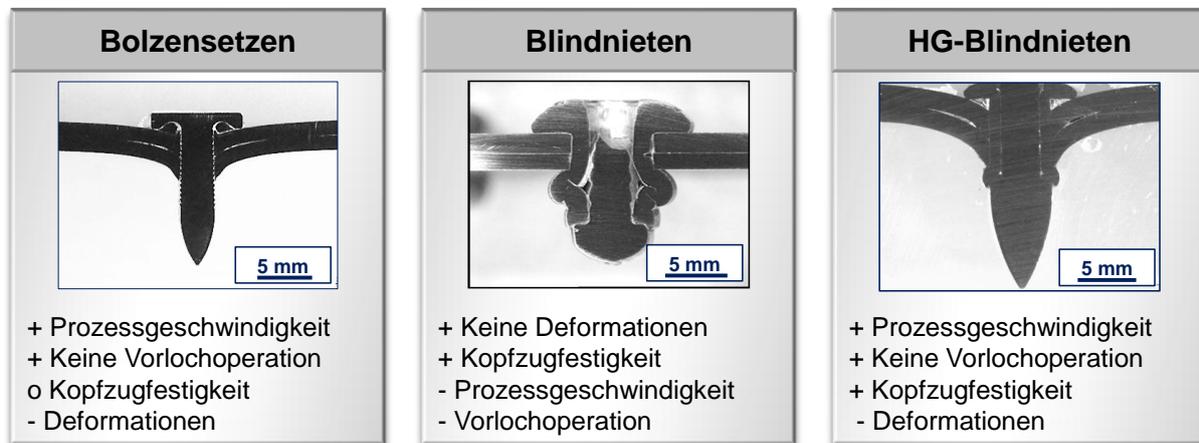


**Abbildung 2-1: Einteilung der mechanischen Fügeverfahren nach Ihrer Zugänglichkeit zur Fügestelle**

Ein alternatives vorlochfreies Verfahren zum Blindnieten stellt das Verbinden von artverschiedenen Werkstoffen mittels des Fügeverfahrens Bolzensetzen dar, welches in den letzten Jahren kontinuierlich weiterentwickelt wurde. Beim Bolzensetzen wird ein nagelähnliches Hilfsfügeelement mit einer hohen Geschwindigkeit in die zu verbindenden Bauteile eingetrieben. Durch einen Kraft- und Formschluss in dem basisblechseitig angeordneten Bauteil wird die Verbindung erzeugt. Es handelt sich um ein schnelles und daher kostengünstiges Verfahren mit dem Ziel, den neuen Anforderungen im automobilen Rohbau zu genügen. Die Nachteile des Verfahrens

liegen darin, dass dünnwandige Bauteile in Basislage der Verbindung nur eingeschränkt ffügbar sind, da das Hilfsfügeelement Bolzen in der unteren Lage eine Mindestmaterialdicke zur sicheren Verbindungserstellung benötigt. Bei dünnen Werkstoffen in Basislage sind die mit diesem Verfahren erreichbaren Festigkeiten zu gering.

Eine Lösung, die die Nachteile der Blindniettechnik und der Technologie Bolzensetzen kompensiert, stellt das vorlochfreie Blindnieten dar. Eine spezielle Nietdornkopfgeometrie ermöglicht es dem Blindnietelement, in Verbindung mit dem Setzwerkzeug, selbstständig ein Vorloch einzubringen und durch Umformen der Blindniethülse in einem 2 Prozessschritt eine sichere formschlüssige Verbindung zu erzielen. Die Vorlochoption erfolgt je nach Verfahrensvariante durch Bohren, durch Fließlochformen oder durch impulsförmiges Stanzen bzw. Formen des Vorlochs.



**Abbildung 2-2: Schliffbilder und Verfahrensvor- und -nachteile beim Bolzensetzen, Blindnieten und HG-Blindniet**

In diesem Projekt wird die Verfahrensvariante des impulsförmigen Eintreibens der Hilfsfügeelemente untersucht. Es weist den Vorteil einer sehr hohen Prozessgeschwindigkeit und dadurch hohen Wirtschaftlichkeit auf. In diesem Projekt wurde untersucht, ob sich das Verfahrensprinzip des vorlochfreien Blindnietens durch impulsförmiges Eintreiben des Hilfsfügeelementes umsetzen und im automobilen Leichtbau einsetzen lässt. Die gewählte Verfahrensvariante wird im Folgenden als Hochgeschwindigkeitsblindnieten (HG-Blindnieten) bezeichnet.

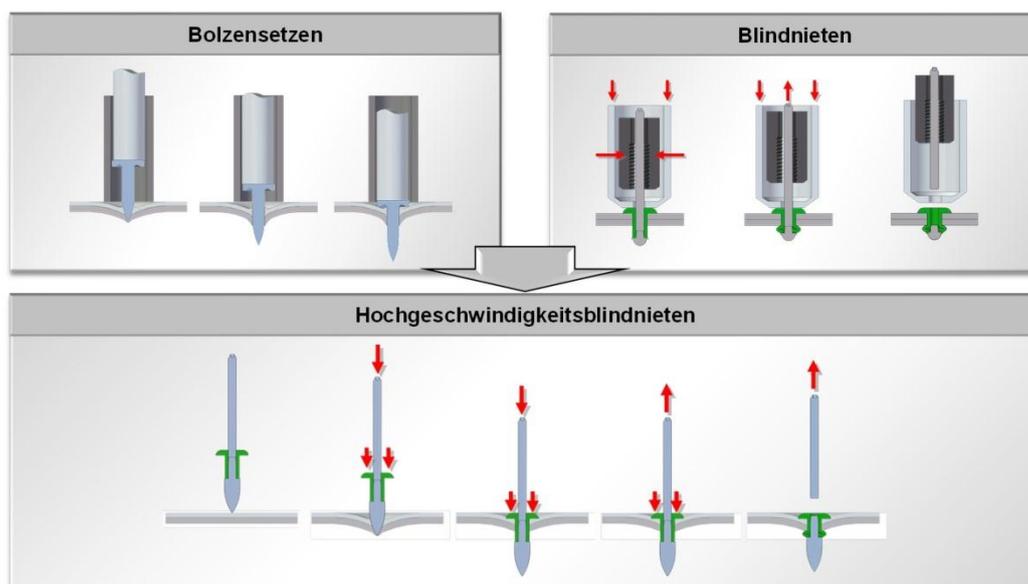
### 3. Verfahrensentwicklung Hochgeschwindigkeitsblindnieten

Das Verfahrensprinzip HG-Blindnieten kombiniert die Blindniettechnik mit der beim Bolzensetzen eingesetzten Impulsfügetechnik. Hierdurch lassen sich Nachteile des jeweiligen anderen Verfahren kompensieren.

Das Bolzensetzen ist ein mechanisches Fügeverfahren, bei dem ein nagelähnliches Hilfsfügeelement unter hoher Geschwindigkeit in nicht vorgelochte Fügeteile eingetrieben wird. Es benötigt lediglich eine einseitige Zugänglichkeit der Fügestelle. Je nach Fügeteilwerkstoffen und Hilfsfügeelement bildet sich eine kraft-, form- oder stoffschlüssige Verbindung aus. Der Prozess Bolzensetzen lässt sich in die Prozessstufen Eintreiben, Durchdringen, Verspannen einteilen. Die Eintreibgeschwindigkeit liegt zwischen 13 m/s und 42 m/s. Die hieraus resultierende Eintreibenergie liegt bei 10 – 103 Joule. [HF11, Dra06].

Beim Blindnieten handelt es sich um einen mehrstufigen Prozess, der in der Großserie häufig als nicht wirtschaftlich eingestuft wird. Die Fügepartner müssen zuerst vorgelocht werden, bevor das Nietelement eingeführt werden kann. Diese Vorlochoperation erfordert eine Tolerierung der Löcher am jeweiligen Fügeteil, um einen Versatz dieser zueinander zu vermeiden. Für eine dauerhafte und sichere Verbindung sollten Nietmaterial, Nietdurchmesser und Nietlänge auf den Fügeteilwerkstoff, dessen Geometrie und die Belastung angepasst werden. Beim konventionellen Blindnieten müssen die zu fügenden Bauteile durch Bohren oder Stanzen axial gelocht werden. Der Durchmesser der Bohrung wird entsprechend dem Nietdurchmesser gewählt. Anschließend wird der Niet in die Bohrungen eingesetzt und mit dem Nietwerkzeug am Nietdorn gezogen. Durch die gesteigerte Kraft beginnt je nach Niettyp der Dornkopf die Niethülse zu weiten oder zu falten, bis der Nietdorn nach dem Erreichen der Nietdornabrißkraft abreißt. [WW10]

Das HG-Blindnieten vereint die Verfahrensprinzipien des Bolzensetzens und des Blindnietens. Der Verfahrensablauf der drei verschiedenen Verfahren ist in Abbildung 3-1 dargestellt.



**Abbildung 3-1: Darstellung der Verfahrensprinzipien Bolzensetzen, Blindnieten und HG-Blindnieten**

Beim HG-Blindnieten wird das Nietelement mit einer hohen Geschwindigkeit von ca. 15 – 40 m/s in die zu fügenden Werkstoffe eingetrieben. Die Kraft wird hierbei hauptsächlich über den Nietdorn geführt. Das Aufbringen der Kraft durch die Niethülse würde zu einem Umformen der Niethülse vor dem Durchdringen der Werkstoffe führen. Die Niethülse wird über das Eintreibwerkzeug nachgeführt. Nach dem Erreichen der Kopfauflage der Blindniethülse stützt sich das Werkzeug auf der Blindniethülse ab und zieht den Blindnietdorn entgegen der Eintreibrichtung. Die Blindniethülse wird umgeformt und der Blindnietdorn reißt beim Erreichen der Nietdornabrisskraft ab. Die entstandene Verbindung wirkt über Kraft- und Formschluss.

## 4. Experimentelles Vorgehen

### Werkstoffe

Das Forschungsvorhaben zielte darauf ab, das Verfahren HG-Blindnieten für die Eignung im Karosserierohbau zu entwickeln und zu qualifizieren. Aus diesem Grund wurden für die verschiedenen Untersuchungen typische leichtbaurelevante Werkstoffe verwendet. Hierzu zählten neben einem Aluminiumwerkstoff der Legierung EN AW-6016 und dem hochfesten mikrolegierten Stahl HC340LA die höchstfesten Dual- bzw. Komplexphasen-Stähle HCT980X bzw. HCT980C. In Tabelle 4-1 sind die mechanischen Kennwerte der verwendeten Werkstoffe dargestellt.

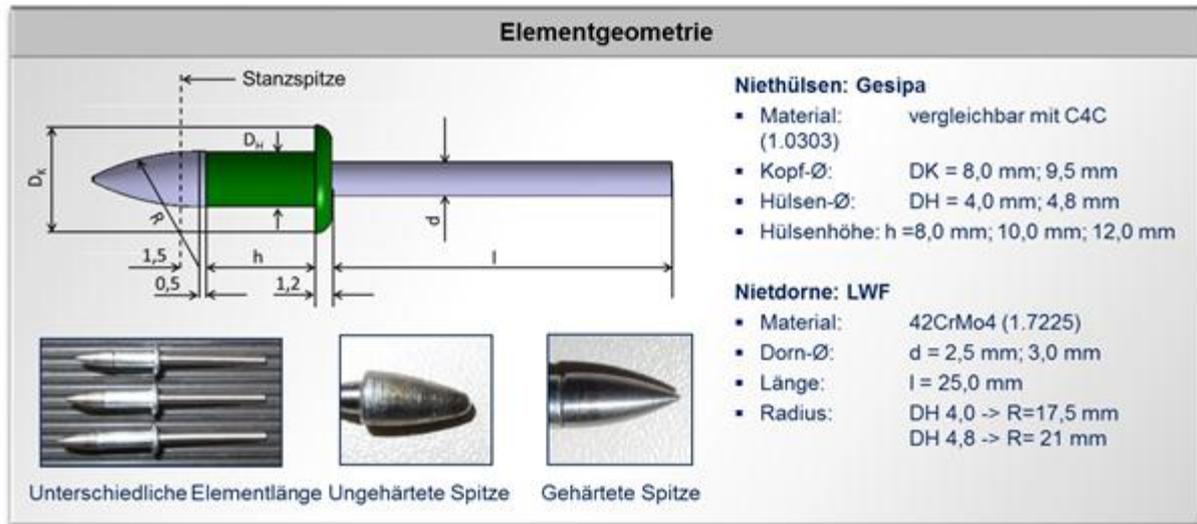
**Tabelle 4-1: Werkstoffkennwerte der Aluminium- /Stahlwerkstoffe im Zustand T6 und untersuchte Werkstoffkombinationen**

Werkstoff, Wärmebehandlung	Dicke(n) [mm]	RP <sub>0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>80</sub> [%]
EN AW-6016, T6	1,2; 2,0	220	280	10%
HC 340LA, T6	0,8; 1,5	Min. 340	410	21%
HCT 980X, T6	1,0	590 - 740	Min. 980	10%
HCT 980C, T6	1,2	780 - 950	Min. 980	7%

### Hilfsfügeelemente

Im Projekt wurden verschiedene vorlochfreie HG-Blindniete entwickelt. In Abbildung 4-1 sind die Maße der verschiedenen für Verbindungsbemusterung und Festigkeitsuntersuchungen eingesetzten HG-Blindniete dargestellt. Die untersuchten Elemente lassen sich durch die Vorlochoption bzw. die Spitzengeometrie, den Elementdurchmesser und die Hülsenlänge unterscheiden. Als Umformmechanismus wurde im Projekt der Umformmechanismus eines Standardblindnietes ausgewählt. Zur

Festlegung des Umformmechanismus der im Projekt verwendeten Blindniete wurden zusätzlich zu den dargestellten Elementen Verbindungen mit den Hülsenfalter G-Bulb  $\varnothing 4,8 \times 10$  und dem Hülsenweiter Megagrip  $\varnothing 4,8 \times 10$  durchgeführt.

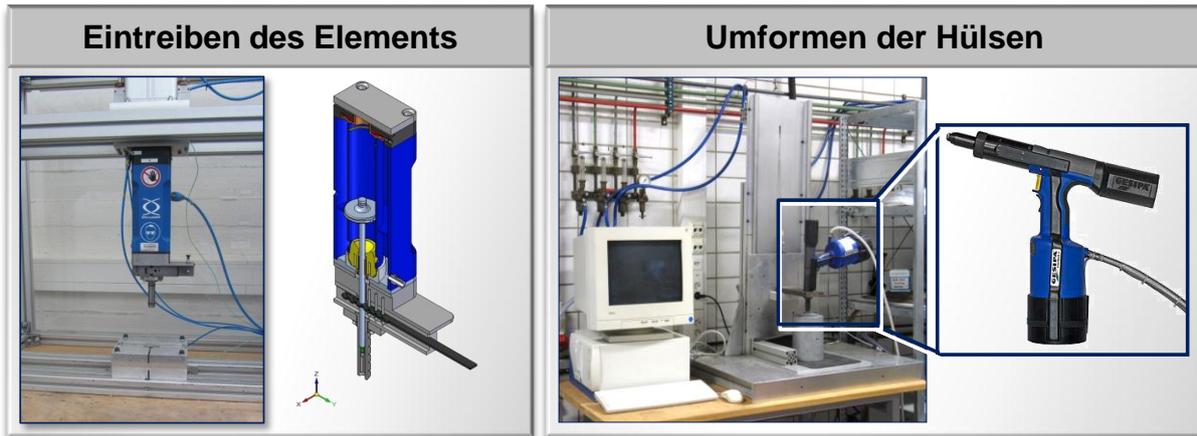


**Abbildung 4-1: Zusammenfassende Darstellung der entwickelten und untersuchten HG-Blindniete**

Für die vergleichenden Festigkeitsuntersuchungen wurden Gesipa Standardblindniete  $\varnothing 4,0 \times 10$  mm und ein der Setzbolzen Rivtac® FK 16-8-3 der Firma Böllhoff, Härte H5 mit Almac-Beschichtung eingesetzt.

### Setztechnik

Das Eintreiben der HG-Blindniete und Setzbolzen wurde mithilfe einer RIVTAC® Bolzensetzanlage (Modell Tapefeed) der Firma Böllhoff durchgeführt. Für das Setzen von HG-Blindnieten musste die bestehende Anlage umgerüstet werden. Die Hauptadaption bestand darin, in den Treiberkolben der Setzbolzenanlage ein Kernloch zu erodieren, sodass der Dorn des HG-Blindnietes im Eintreibprozess geführt wird und nicht kollabiert. Für die zwei verschiedenen Nietdurchmesser wurden zwei Treiberkolben adaptiert. Die Tiefe und der Durchmesser des senkerodierten Lochs im Treiberkolben wurde dem Durchmesser und der Länge des HG-Blindnietes angepasst. Der Durchmesser des erodierten Lochs für die Elemente mit Nenn- $\varnothing 4,0$  mm beträgt 2,6 mm. Für die Elemente mit Nenn- $\varnothing 4,8$  mm beträgt der Durchmesser des senkerodierten Lochs 3,1 mm. Die Tiefe beträgt in beiden Fällen 24,5 mm. Abbildung 4-2 zeigt einen Schnitt der eingesetzten Anlagentechnik zum Eintreiben der Nietelemente und die Versuchseinrichtung zum Umformen der Niethülsen.

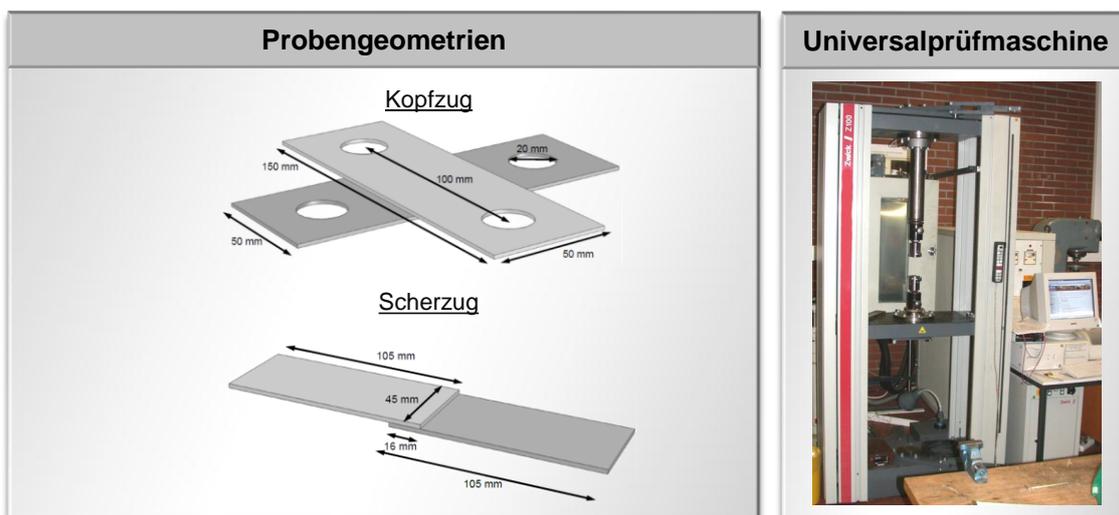


**Abbildung 4-2: Zur Verarbeitung von HG-Blindnieten verwendete Anlagentechnik**

Das Umformen der HG-Blindniete und das Fügen aller weiteren Blindnietelemente wurde mit Hilfe des Setzgerätes Taurus 2 der Firma Gesipa durchgeführt. Das Gerät ist mit einer Prozessüberwachung ausgestattet, die es ermöglicht den Kraft-Weg-Zeit-Verlauf während des Nietprozesses zu überwachen.

### Prüftechnik

Im Rahmen der Festigkeitsuntersuchungen wurde die in Abbildung 4-3 dargestellte Universalzugprüfmaschine Zwick Z100 in Verbindung mit jeweils 2 verschiedenen Probengeometrien für eine Kopfzug- und eine Scherzugbelastung eingesetzt. Die Geometrien der ebenen Probenkörper entsprechen den Probengeometrien nach DFS/EFB Merkblatt 3480-1 [DVS/EFB 3480-1].



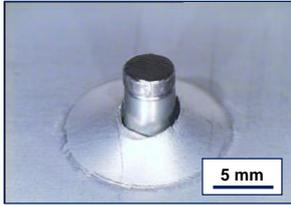
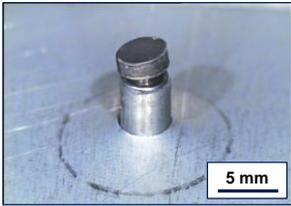
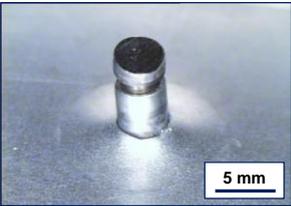
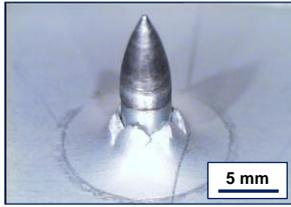
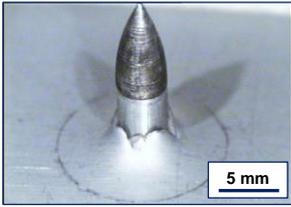
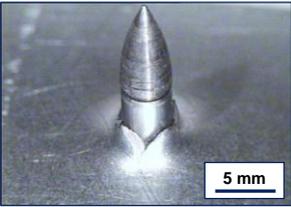
**Abbildung 4-3: Verwendete Probengeometrien und eingesetzte Universalzugprüfmaschine**

## 5. Ergebnisse und Diskussion

### Locheinbringung und Umformmechanismus

Der Einfluss der zwei verschiedenen Spitzengeometrien „ogivale Spitze“ und „flache Spitze“ auf die Durchzugsbildung im Basisblech werden anhand der HG-Blindniete mit  $\varnothing$  4,8 mm in Tabelle 5-1 dargestellt. Nach der Einbringung des Vorlochs wurde die Niethülse nicht umgeformt, da der Vorlochprozess separat beurteilt werden sollte.

**Tabelle 5-1: Einfluss der Spitzengeometrie auf die Gestalt des Vorlochs in verschiedenen Werkstoffkombinationen**

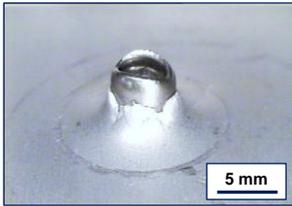
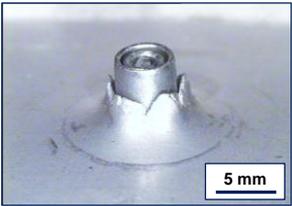
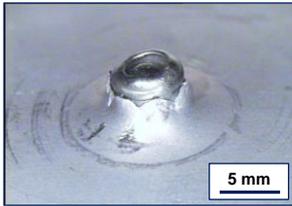
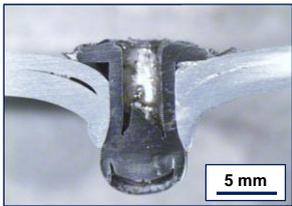
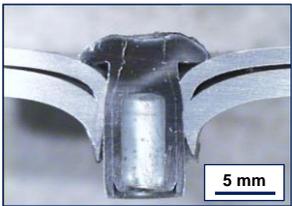
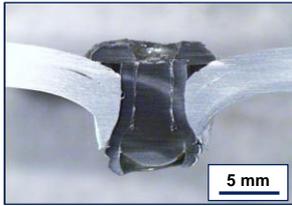
Werkstoffkombination / Locheinbringung	EN AW 6016 1,2 mm	HC340LA 0,8 mm	EN AW 6016 1,2 mm
	EN AW 6016 2,0 mm	HCT980X 1,0 mm	HCT980C 1,2 mm
HG-Blindniet Flache Spitze 4,8 mm			
HG-Blindniet Ogivale Spitze 4,8 mm			

Die Zeilen der Tabelle unterscheiden zwischen der flachen und der ogivalen Spitzengeometrie des HG-Blindniets. In den Spalten wird zwischen einer artreinen Aluminiumverbindung, einer Stahlverbindung und einer Mischbauverbindung unterschieden. Bei der Locheinbringung mittels der flachen Spitzengeometrie kann beobachtet werden, dass beim Stanzen der artreinen Aluminiumverbindung große Ausbrüche in der Verbindungszone entstehen und der Durchzug nicht am Element anliegt. Dies kann im Fall einer Kopfzugbelastung zu einer geringeren Tragfähigkeit der Verbindung führen. Bei der Stahlverbindung und bei der Mischbauverbindung mit Stahl in der Basislage hingegen liegt der Stahlwerkstoff am Element an. Die Elemente mit ogivaler Spitze erzeugen in allen drei Werkstoffkombinationen einen anliegenden zackigen bzw. kronenförmigen Durchzug. Der Vergleich der Länge der Durchzüge zeigt, dass durch das Stanzen des Vorlochs der Durchzug bei den Elementen mit flacher Spitze deutlich geringer ist. In der Stahlwerkstoffkombination und Mischbauverbindung kommt es bei diesem Element weiterhin durch die hohe Fügeenergie zu einer Verformung des Stanzplateaus des HG-Blindniets.

In die mit dem HG-Blindniet  $\varnothing$  4,8 mm mit ogivaler Spitze eingebrachten Vorlöcher werden im Folgenden Blindniete eingebracht, welche sich durch den

Umformmechanismus der Niethülse unterscheiden. In die Vorlöcher werden Standardblindniete, Hülsenfalter und Hülsenweiter eingebracht. Durch die Setzversuche in den Werkstoffen EN AW-6016 1,2 mm – EN AW-6016 2,0 mm und HC340LA 0,8 mm – HCT980X 1,0 mm wird zwischen einer weichen/dicken bzw. einer dünnen/harten Werkstoffkombinationen unterschieden. Tabelle 5-2 zeigt zunächst die Ergebnisse der weichen/dicken Aluminiumverbindung.

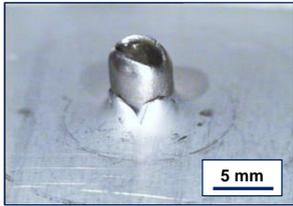
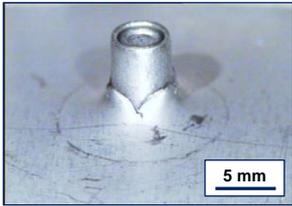
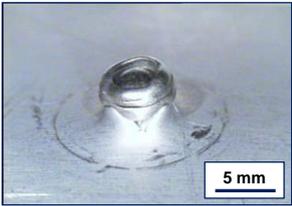
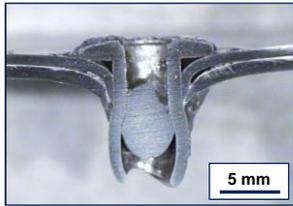
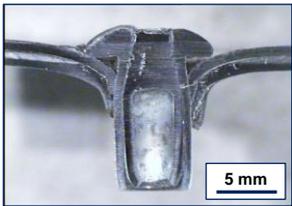
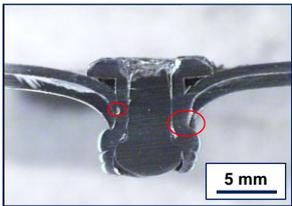
**Tabelle 5-2: Standardblindniet, Hülsenweiter und Hülsenfalter in mittels ogivaler Spitze geformten Vorlöchern in der Werkstoffkombination EN AW-6016 1,2 mm - EN AW-6016 2,0 mm**

Umformmechanismus der Hülse / Aufnahme Motiv	Standardblindniet 4,8 mm	Hülsenweiter 4,8 mm	Hülsenfalter 4,8 mm
Bild des Durchzugs			
Schliffbild			

Den Bildern ist zu entnehmen, dass sowohl ein Standardblindniet in der artreinen Aluminiumkombination wie auch der Hülsenfalter einen guten Schließkopf bildet. Der Standardblindniet sowie der Hülsenfalter legen sich eng an den Durchzug an, und weiten diesen geringfügig durch den Kopf des Blindnietdorns auf und bilden durch das Umformen der Blindniethülse einen Hinterschnitt im Basisblech aus. Der Hülsenweiter hingegen wird stark in die Verbindung hineingezogen. Durch diese Weitung kommt es zu einer Spaltbildung zwischen Durchzug und Hülsenkopf. Durch den sich aufweitenden Durchzug kann der Hülsenweiter keinen Hinterschnitt ausbilden. Bei den Varianten Standardblindniet und Hülsenfalter kommt es zu einer deutlich geringeren Spaltbildung zwischen den Fügeteilen.

Tabelle 5-3 zeigt die Ergebnisse der Schließkopfausbildung in der dünnen/harten Stahlverbindung HC340LA 0,8 mm – HCT980X 1,0 mm.

**Tabelle 5-3: Standardblindniet, Hülsenweiter und Hülsenfalter in mittels ogivaler Spitze geformten Vorlöchern in der Werkstoffkombination HC340LA 0,8 mm – HCT980X 1,0 mm**

Umformmechanismus der Hülse / Aufnahme Motiv	Standardblindniet 4,8 mm	Hülsenweiter 4,8 mm	Hülsenfalter 4,8 mm
Bild des Durchzugs			
Schliffbild			

In den dargestellten Schliffbildern sind deutliche Unterschiede im Vergleich zur artreinen Aluminiumverbindung erkennen. Die Durchzüge im basisblechseitig angeordneten Werkstoff HCT980X sind deutlich gröber und weisen tiefere Risse auf als die Durchzüge des basisblechseitig angeordneten Aluminiumblechs. Der Grund hierfür liegt in der geringeren Duktilität des Werkstoffs HCT980X im Vergleich zum Werkstoff EN AW-6016. Durch die geringere Gesamtblechdicke und den kürzeren Durchzug wird der Standardblindniet tiefer in die Verbindung hinein gezogen. Hierbei legt sich der Durchzug, ähnlich der artreinen Aluminiumverbindung, eng an den Schließkopf an ohne diesen einzuschneiden. Der Hülsenfalter hingegen hat in dieser festeren Werkstoffkombination kaum eine verdrängende Wirkung des Durchzugs nach außen. Die entstehenden Falten werden durch den Durchzug eingeschnitten. Durch diese Einschnitte ist eine verminderte Tragfähigkeit durch das Abscheren der Niethülse unter Kopf- und Scherzug zu erwarten. Der Hülsenweiter kann in dieser Verbindung den Durchzug im Basisblech nicht derart stark verdrängen, wie dies im Fall der Aluminiumverbindung erfolgt ist. Hierdurch und durch das geringere Umformvermögen des Basisblechwerkstoffes ist mit einer höheren Festigkeit im Vergleich zu der Aluminiumverbindung zu rechnen. Dennoch kann auch bei dieser Verbindung kein Hinterschnitt ermittelt werden.

Aufgrund des Hinterschnitts ohne ein Einschneiden der Niethülse durch den Durchzug sowie der geringen Spaltbildung zwischen den Fügeteilen wurde die Standardblindniethülse für den Zusammenbau von HG-Blindnieten ausgewählt.

## Fügarkeit und Energiebedarf

Im Projekt wurden die in Tabelle 5-4 festgelegten Werkstoffkombinationen mit den im Projekt untersuchten HG-Blindnieten und dem Fügeverfahren Bolzensetzen bemustert. In der Tabelle ist neben den Werkstoffkombinationen die für das Durchdringen der Werkstoffe benötigte Fügeenergie aufgeführt und angegeben, ob mit dem Fügeelement eine Verbindung erstellt werden konnte.

**Tabelle 5-4: Zur Verbindungsdurchdringung benötigter Fügedruck bzw. benötigte Fügeenergie für das Verbindungselement Bolzen und verschiedene HG-Blindniet**

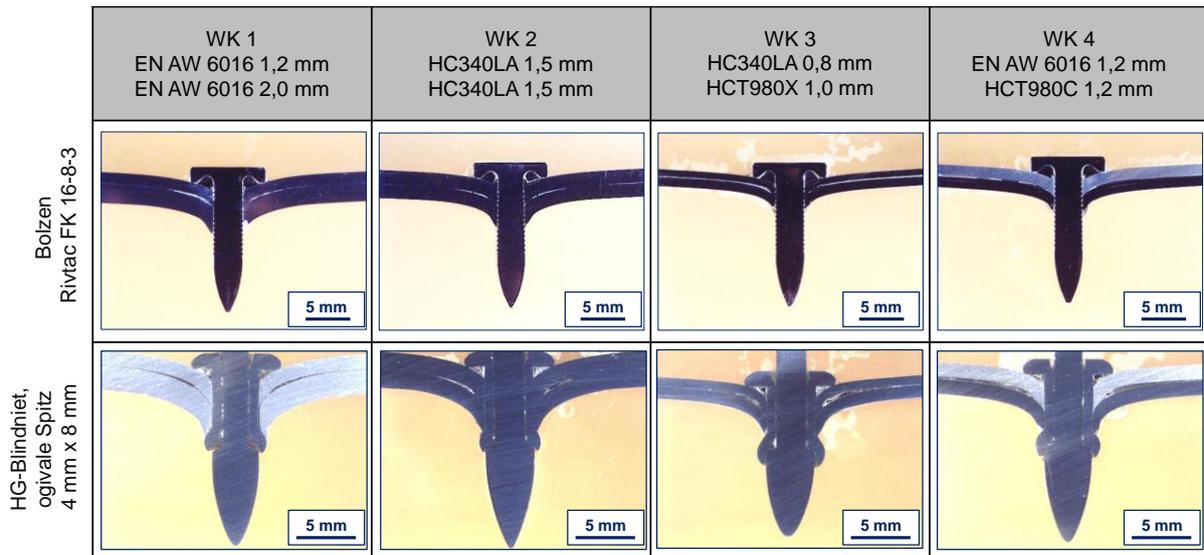
Werkstoff- kombination / Hilfsfügeelement	WK 1	WK 2	WK 3	WK 4
	EN AW 6016 1,2 mm EN AW 6016 2,0 mm	HC340LA 1,5 mm HC340LA 1,5 mm	HC340LA 0,8 mm HCT980X 1,0 mm	EN AW 6016 1,2 mm HCT980C 1,2 mm
Bolzensetzen	3,0 bar = 25 J	4,6 bar = 72 J	3,6 bar = 35 J	3,4 bar = 31 J
HG-Blindniet, ogivale Spitze ø 4,0 mm	3,3 bar = 29 J	6,8 bar = 87 J	4,6 bar = 52 J	4,6 bar = 52 J
HG-Blindniet, ogivale Spitze ø 4,8 mm	5,1 bar = 60 J	> 8 bar => 103 J	4,7 bar = 53 J	6,2 bar = 78 J
HG-Blindniet, flache Spitze ø 4,0 mm	3,3 bar = 29 J	> 8 bar => 103 J	4,3 bar = 47 J	5,0 bar = 59 J
HG-Blindniet, flache Spitze ø 4,8 mm	5,1 bar = 60 J	> 8 bar => 103 J	6,9 bar = 88 J	6,8 bar = 87 J

Der Tabelle kann entnommen werden, dass 17 von 20 verschiedenen Verbindungen erstellt werden konnten. Bei den HG-Blindnieten wird mit steigendem Elementdurchmesser eine höhere Fügeenergie benötigt, um die verschiedenen Werkstoffe zu durchdringen. Bei gleichem Elementdurchmesser benötigen die HG-Blindniete mit einer flachen Spitzegeometrie tendenziell eine leicht erhöhte Fügeenergie. Die artreine Stahlverbindung WK2 konnte nur mit dem HG-Blindniet mit Ø 4,0 mm und ogivaler Spitze durchdrungen werden. Der HG-Blindniet Ø 4,0 mm mit flacher Spitzegeometrie kollabiert in dieser Werkstoffkombination. Weiterhin reicht die durch die Setzanlage zur Verfügung gestellte Fügeenergie von maximal 103 Joule nicht aus, um HG-Blindniete mit Ø 4,8 mm in diese Werkstoffkombination einzutreiben.

Aufgrund der besten Fügarkeit sowie des geringsten Energiebedarfs werden im Folgenden die Ergebnisse der Elemente mit Ø 4,0 mm und ogivaler Spitze dargestellt.

Tabelle 5-5 zeigt die Verbindungen vier verschiedener Werkstoffkombinationen, welche mit den Verfahren Bolzensetzen und HG-Blindnieten mit dem HG-Blindniet 4,0 mm x 8 mm mit ogivaler Spitze gefügt wurden.

**Tabelle 5-5: Verbindungsbemusterung der Werkstoffkombinationen 1-4 mit HG-Blindniet und Bolzenelementen**



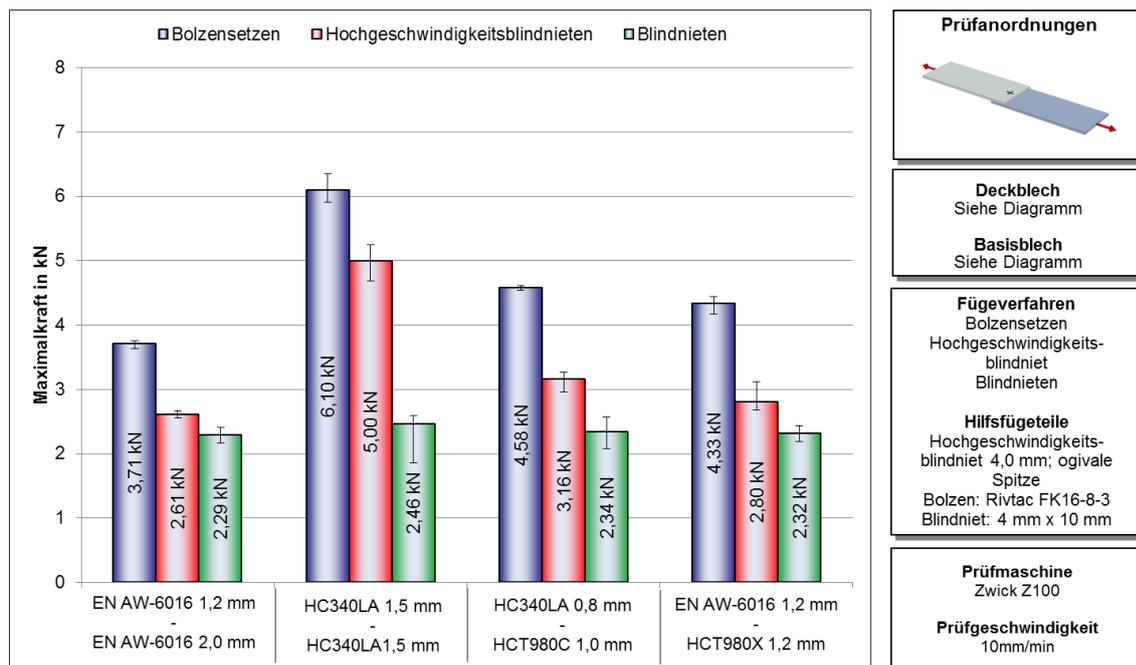
Der Vergleich der Verbindungen zeigt, dass es durch das Umformen der Blindniethülse in den Verbindungen mit HG-Blindniet in allen Werkstoffkombinationen zu einer formschlüssigen Verbindung kommt. Der erzielte Hinterschnitt in allen Werkstoffkombinationen ist  $> 0,5$  mm. In den Werkstoffkombinationen 1 und 2 mit einer Materialdicke  $\geq 3,0$  mm konnte eine sichere Verriegelung des Blindnietdorns in der Blindniethülse erst ab einer Hüslenlänge von 10 mm gewährleistet werden. In den Festigkeitsuntersuchungen wurden daher Elemente mit einer Hüslenlänge von 10 mm verwendet.

Bei den Bolzenverbindungen handelt es sich um kraftschlüssige Verbindungen in denen die Verbindung durch ein Klemmen des Bolzens im Basisblech wirkt. Durch den im Vergleich zum HG-Blindnietelement kleineren Elementdurchmesser (3,2 mm zu 4,0 mm) weisen die Bolzenverbindungen einen geringeren Spalt zwischen den Bauteilen auf. Weiterhin sind die durch den Fügeprozess eingebrachten Deformationen in der Fügezone geringer. Der Effekt der Fügestellendeformation tritt in den dickeren und duktileren Werkstoffkombinationen 1 und 2 besonders deutlich auf.

### Festigkeiten

Im Folgenden werden die Verbindungskennwerte der drei verschiedenen im Projekt genutzten Verbindungstechnologien vergleichend dargestellt. In Abbildung 5-1 sind zunächst die maximalen Scherzugkräfte vier verschiedener Werkstoffkombinationen aufgeführt. Aus dem Diagramm geht hervor, dass das Bolzensetzen hauptsächlich aufgrund des geringen Schaftdurchmessers des Hilfsfügeelementes die höchste Scherzugfestigkeit erreicht. Die Setzbolzenverbindung versagt bei der Stahlverbindung HC340LA 1,5 mm - HC340LA 1,5 mm durch ein Abscheren des

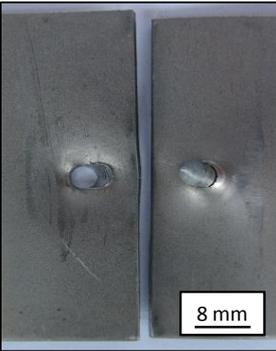
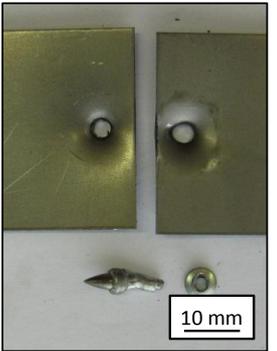
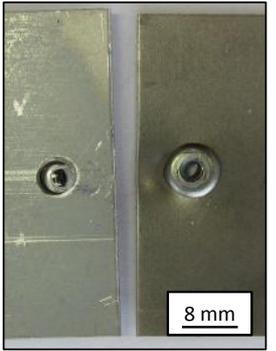
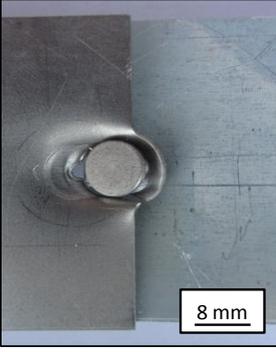
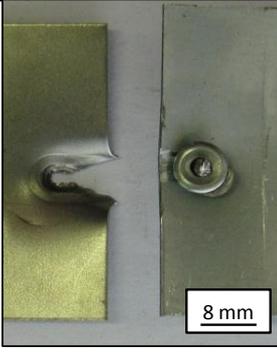
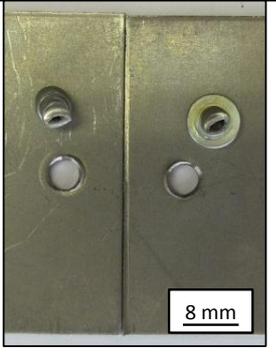
Hilfsfügeelementes. In den drei weiteren Werkstoffkombinationen versagt die Bolzenverbindung durch Ausreißen des weicheren Fügeteils. Auch der HG-Blindniet versagt in der Verbindung HC340LA 1,5 mm - HC340LA 1,5 mm abweichend zu den drei weiteren Verbindungen. In dieser Verbindung stellt sich der HG-Blindniet zunächst quer und versagt anschließend durch ein Einreißen der Niethülse zwischen Elementkopf und Schließkopf aufgrund des eingebrachten Kopfzuganteils. In den weiteren Werkstoffkombinationen versagt, wie im Falle des Setzbolzens, einer der Fügeteilwerkstoffe aufgrund des in der Scherebene verbleibenden Blindnietdorns.



**Abbildung 5-1: Vergleich der maximalen Scherzugkräfte von Bolzensetz-, HG-Blindniet- und Blindnietverbindungen unterschiedlicher Werkstoffkombinationen**

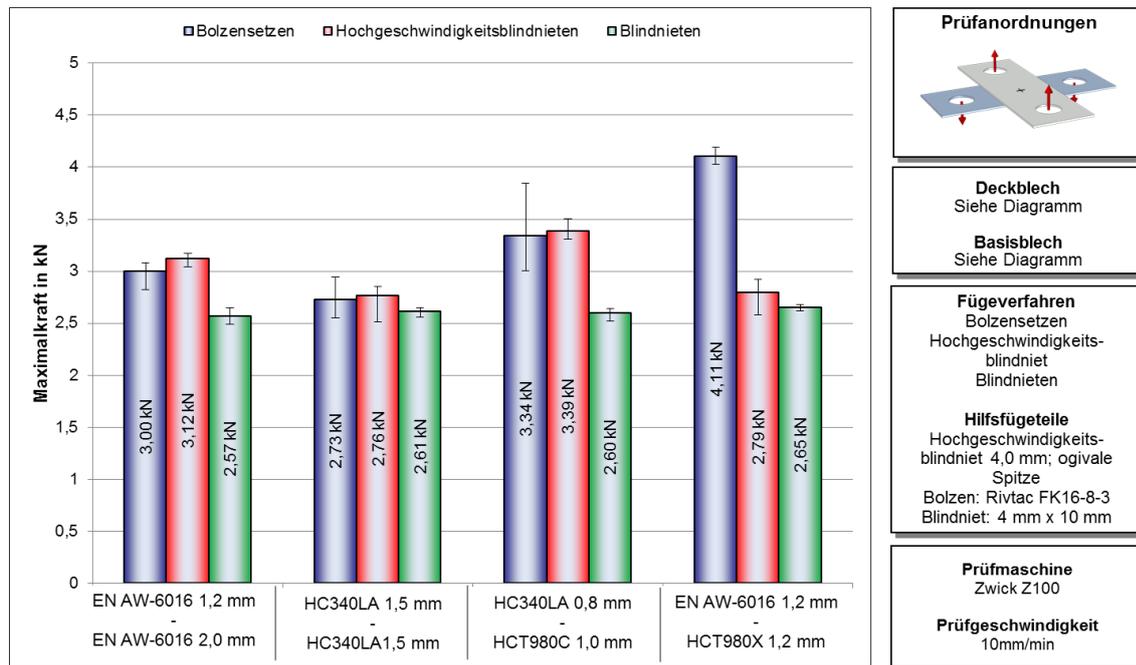
Die im Vergleich zum Setzbolzen geringere Tragfähigkeit des HG-Blindnietens ist auf den größeren Elementdurchmesser des Hilfsfügeelementes zurückzuführen. Die mittels eines Standardblindnietens gefügten Verbindungen versagen aufgrund des nicht tragenden Elementdorns durch das Abscheren der Niethülse über dem Schließkopf der Verbindung. Die Versagensbilder der Scherzugversuche sind in Tabelle 5-6 zusammenfassend aufgeführt.

**Tabelle 5-6: Versagensbilder von Bolzensetz-, HG-Blindniet- und Blindnietenverbindungen im Scherzugversuch**

Bolzensetzen	Hochgeschwindigkeitsblindnieten	Blindnieten
HC340LA 1,5 mm – HC340LA 1,5 mm		
Herausziehen des Hilfsfügeelementes	Setzkopfabbriss	Abscheren des Hilfsfügeelementes
		
EN AW-6016 1,2 mm – EN AW 6016 2,0 mm HC340LA 0,8mm – HCT980C 1,0 mm EN AW-6016 1,2 mm – HCT980X 1,2 mm		
Deckblechversagen		Abscheren des Hilfsfügeelementes
		

Die Scherzugfestigkeit wird sehr stark durch die Dicke der Fügeteile beeinflusst. Aufgrund des größeren Elementdurchmessers erreicht das Bolzensetzen in den untersuchten Verbindungen die höchsten Scherzugkräfte. Der Vorteil des HG-Blindnietens liegt bei den Verbindungen bei denen ein Setzbolzen aufgrund der Materialdicke des Basisblechwerkstoffes keine ausreichende Verankerung bzw. Festigkeit erzielt. In diesen Verbindungen erreicht der HG-Blindniet durch den Formschluss des Schließkopfs des HG-Blindnietes gleichbleibende Festigkeit. In den betrachteten Werkstoffkombinationen konnte der Setzbolzen dennoch eine gute Festigkeit erreichen.

Abbildung 5-2 zeigt die maximal erreichten Kopfzugkräfte der drei Hilfsfügelemente bei vier verschiedenen Werkstoffverbindungen im Vergleich zueinander.

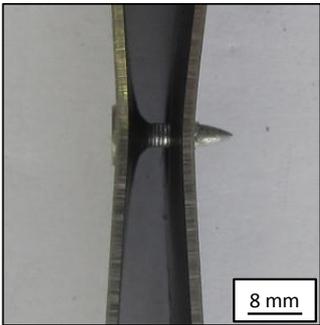
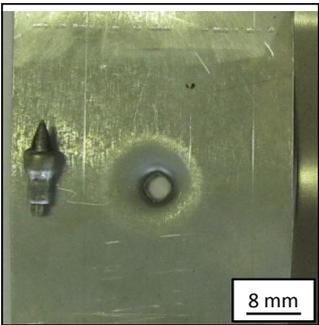
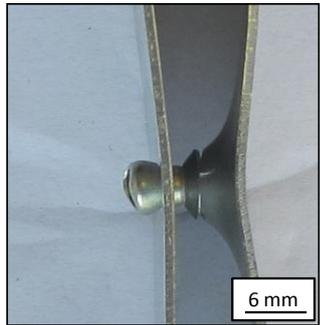
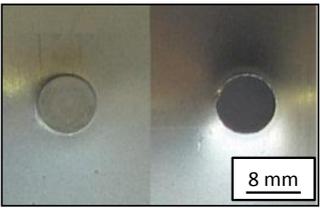
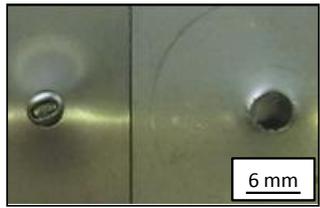


**Abbildung 5-2: Vergleich der maximalen Kopfzugkräfte von Bolzensetz-, HG-Blindniet- und Blindnietverbindungen unterschiedlicher Werkstoffkombinationen**

Wie aus den Ergebnissen der Kopfzugversuche hervorgeht, können das Bolzensetzen und das HG-Blindnieten eine ähnliche Festigkeit in den verschiedenen Fügeteilwerkstoffen erreichen. Das HG-Blindnieten erreicht bei drei der vier Verbindungen höhere Kräfte. Die Festigkeit des Blindnietes liegt auf einem niedrigeren Niveau. Dies ist auf die Größe der Vorlöcher und die Duktilität der Werkstoffe zurückzuführen. Die Setzbolzenverbindung versagt in den ersten drei Werkstoffkombinationen durch Herausziehen des Hilfsfügeelementes aus dem Basisblechwerkstoff. In der Werkstoffkombination EN AW-6016 1,2 mm - HCT980X 1,2 mm versagt die Setzbolzenverbindung durch Abschälen des Deckblechs um den Elementkopf. Die Verbindungen mit HG-Blindnieten versagen durch das Abreißen der Niethülse am Übergang zwischen Hülsenschaft und Hülsenkopf. Die Festigkeitsunterschiede trotz ähnlichem Versagensverhalten sind auf das Verformungsverhalten der verschiedenen Werkstoffe sowie die unterschiedlichen Schnittkanten der Durchzüge zurückzuführen. Die Standardblindniete besitzen die gleiche Niethülse wie die für die Ermittlung der statischen Festigkeit genutzten HG-Blindniete. Die höheren Festigkeiten der HG-Blindniete gegenüber den Standardblindnieten ist mit zwei Effekten zu erklären. Zum einen liegt der Durchzug im Fall der HG-Blindniete im Vergleich zum Standardblindniet ohne Spiel am Hilfsfügeelement an. Zum anderen verformt sich die Niethülse des HG-Blindnietes durch den in der Scherebene verbleibenden Restnietdorn weniger.

Beim Standardblindniet verformt sich die Hülse stärker, da diese nicht durch einen Restnietdorn in der Scherebene gestützt wird. Die Versagensfälle unter Kopfzugbelastung sind in Tabelle 5-7 zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 5-7: Versagensbilder von Bolzensetz-, HG-Blindniet- und Blindnietenverbindungen im Kopfzugversuch**

Kopfzugversagen		
Bolzensetzen	Hochgeschwindigkeitsblindnieten	Blindnieten
Herausziehen des Hilfsfügeelementes	Setzkopfabbriss	Deckblechversagen
		
EN AW-6016 1,2 – EN AW-6016 2,0 mm; HC340LA 1,5 mm – HC340LA 1,5 mm; HC340LA 0,8 mm – HCT980X 1,0 mm	EN AW-6016 1,2 mm – EN AW-6016 1,2 mm; HC340LA 1,5 mm – HC340LA 1,5 mm; HC340LA 0,8 mm – HCT980X 1,0 mm; EN AW-6016 1,2 mm – HCT980C 1,2 mm	HC340LA 0,8 mm – HCT980X 1,0 mm; EN AW-6016 1,2 mm – HCT980C 1,2 mm
<b>Deckblechversagen</b>		<b>Basisblechversagen</b>
		
EN AW-6016 1,2 mm – HCT980C 1,2 mm		EN AW-6016 1,2 mm – EN AW-6016 2,0 mm; HC340LA 1,5 mm – HC340LA 1,5 mm

### Industrielle Umsetzung der Projektergebnisse

Durch einen im Projekt vertretenden Hersteller von Kaltformteilen konnte ein HG-Blindniet entwickelt werden, welcher mit einem Prototypen eines Handsetzgerät zum Setzen von HG-Blindnieten eingetrieben wurde. Abbildung 5-3 zeigt neben einer



## 6. Zusammenfassung

Versuche zur Vorlocheinbringung mit ogivalen und flachen HG-Blindnieten wurden genutzt, um die Vor- und Nachteile einer stanzenden Spitzengeometrie bzw. butzenfreien und lochformenden Spitzengeometrie darzustellen. Setzversuche zur Bestimmung eines für HG-Blindniete geeigneten Hülsenumformmechanismus führten zur Auswahl einer geeigneten Blindniethülse für den Zusammenbau der im Projekt genutzten HG-Blindniete. Fügbarkeitsuntersuchungen an vier verschiedenen Werkstoffkombinationen und fünf verschiedenen Fügeelementen zeigen den Energiebedarf zum Setzen von HG-Blindnieten mit unterschiedlicher Spitzengeometrie und unterschiedlichen Durchmessern im Vergleich zum Fügeverfahren Bolzensetzen. Die durchgeführten Festigkeitsuntersuchungen zeigen die Vorteilhaftigkeit des Hochgeschwindigkeitsblindnietens zum Standardblindnieten. Durch die Entwicklung eines HG-Blindnietens und eines prototypischen Setzgeräts konnte die industrielle Umsetzbarkeit des Verfahrens demonstriert werden.

## 7. Danksagung

Das IGF-Vorhaben „Hochgeschwindigkeits-Blindnieten ohne Vorlochen“ (IGF-Nr.: 16.615 / EFB Nr.: 01-111) der Europäischen Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Dafür sei an dieser Stelle gedankt. Für die zur Durchführung dieses Forschungsprojektes zur Verfügung gestellten Versuchswerkstoffe, Hilfsfügeelemente und Dienstleistungen sowie für die Unterstützung und die konstruktiven Diskussionen möchten wir uns außerdem bei den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses bedanken.



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## 8. Literatur

- [Dra06] Draht, T.: Entwicklung des Bolzensetzens für Blech-Profil-Verbindungen im Fahrzeugbau. Dissertation, Universität Paderborn, Shaker Verlag, Aachen, 2006
- [DVS/EFB 3430] N.N.: Merkblatt DVS®/EFB 3430: Blindnieten. Merkblatt des DVS/EFB-Gemeinschaftsausschusses, DVS-Verlag, Düsseldorf, 2006
- [DVS/EFB 3480-1] N.N.: Merkblatt DVS®/EFB 3480-1: Prüfung von Verbindungseigenschaften – Prüfung der Eigenschaften mechanisch und kombiniert mittels Kleben gefertigter Verbindungen. Merkblatt des DVS/EFB-Gemeinschaftsausschusses, DVS-Verlag, Düsseldorf, 2006
- [HF11] Hahn, O., Flüggen F.; Einsetzbarkeit des Bolzensetzens bei höher- und höchstfesten Stahlwerkstoffen, Abschlussbericht, Stiftung Stahlanwendungsforschung, Paderborn, 2011
- [MeN14] Hahn, O.; Meschut, G.; Nagel, P.: Hochgeschwindigkeitsblindnieten ohne Vorlochen. Öffentlicher Abschlussbericht zum gleichnamigen Forschungsvorhaben (EFB-Nr.: 01/111; IGF-Nr.: 16.615 N), Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V., Hannover, 2014
- [WW10] Westkämper, E; Warnecke, H.; Einführung in die Fertigungstechnik, Springer Verlag, Berlin 2010