

Schweißen

AiF-Mitgliedsvereinigung (MV)

04.07.2-2

Aktenzeichen der MV

AiF-Vorhaben-Nr:

AiF-Antrags-Nr.: /

Blatt-Nr./BA-Nr.: /

(wird von der AiF eingesetzt)

Forschungsantrag - Langfassung

1. Forschungsthema

Verbesserung der Prozesssicherheit des Punktschweißklebens von Aluminiumwerkstoffen und Ermittlung von Verbindungskennwerten für Konstruktion und Simulation

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Ressourcenschonung, Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen sind dominante Anforderungen bei der Entwicklung zukünftiger Verkehrssysteme.

Dabei werden die Schadstoffemissionen bei Fahrzeugen massgeblich durch das Fahrzeuggewicht beeinflusst.

Trotz dieses bekannten Zusammenhanges ist das Gewicht der Fahrzeuge (PKW), trotz der nicht unerheblichen Anstrengungen der Automobilindustrie im Allgemeinen immer weiter gestiegen. Einige wenige Ausnahmen beziehen sich auf Fahrzeuge mit Aluminiumkarosserie.

2.1 Anlass für den Forschungsantrag

Die Kombination von Punktschweißen und Kleben wird seit Jahren erfolgreich zum Verbinden von Stahlwerkstoffen in der Karosserierohbaufertigung eingesetzt. Mittels Punktschweißen können in sehr kurzen Taktzeiten belastbare Verbindungen hergestellt werden, so dass die für den Aushärtungsprozess der Klebstoffe notwendige Fixierung der Füge­teile gewährleistet wird. Die Aushärtung der Klebstoffe erfolgt beim KTL-Durchlauf bei etwa 180°C. Für den Reparaturfall und die Einzelfertigung werden 2K-Klebstoffe eingesetzt, die auch bei Raumtemperatur aushärten.

Die erzielbaren Verbindungseigenschaften ermöglichen eine gute Ausnutzung der Festigkeit der Grundwerkstoffe sowohl bei zyklischer Dauerbeanspruchung als auch bei impulsförmiger Beanspruchung.

Die vorteilhafte Nutzung der kombinierten Verfahrenstechnik in der Karosseriefertigung ist bisher auf das Verbinden von Stahlwerkstoffen beschränkt. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass der Werkstoff Aluminium nicht vergleichbar gut punktschweißgeeignet ist wie Stahl.

Neuere Systemtechniken und Prozessüberwachungen sowie –regelungen (im Sinne einer Konditionierung) eröffnen inzwischen allerdings verbesserte Möglichkeiten zum Punktschweißen von Aluminiumwerkstoffen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass das Punktschweißen für das Verbinden von Aluminiumwerkstoffen an Bedeutung gewinnen wird. Damit stellt sich zwangsläufig die Frage, ob diese neuen Systemtechniken, auch in Kombination mit dem Kleben, vorteilhaft zum Fügen von Aluminiumwerkstoffen genutzt werden können. Die Beantwortung dieser Frage begründet Forschungsbedarf.

Um das Potential der Hybridtechnik und der erzielbaren Verbindungseigenschaften nutzen zu können, ist es - besonders für den Einsatz in kleinen und mittelständischen Unternehmen - notwendig, dem Konstrukteur Kennwerte für die Konstruktion und die Simulation bereit zu stellen. Dies kommt insbesondere in Kleinserien sowie im Prototypenbau zum Tragen. Daher soll die Kennwertermittlung vergleichbar zu denen durchgeführt werden, wie sie z.B. für Verbindungen aus Stahlwerkstoffen teilweise bereits vorliegen. Dies stellt sicher, dass bei der Entwicklung neuer Produkte die mittels Punktschweißkleben erzielbaren Verbindungseigenschaften in der Konstruktion und Berechnung mit denen verglichen werden können, die mit anderen Verfahren erreicht werden.

2.2 Beschreibung der Ausgangssituation

Im Automobilbereich werden heute Aluminiumblechbauteile meist durch mechanisches Fügen, in der Regel Stanznieten, in Kombination mit Kleben gefügt. Dies erfordert relativ hohe Fügekräfte und damit stark und groß gebaute Fügeeinrichtungen. Dies wiederum führt zu eingeschränkter Zugänglichkeit der Fügeeinrichtung zur Verbindung. Erwähnt und nachgewiesen wird in der Literatur häufig eine bessere statische und insbesondere Crashfestigkeit der Hybridverbindung. Diese Eigenschaften könnten voraussichtlich auch von einer Punktschweißverbindung erwartet werden, die jedoch erheblich geringere Fügekräfte (etwa 10%) erfordert und die durch die leichtere Bauweise der Zangen auch mehr Freiheiten bei der Gestaltung der Verbindungen gestattet.

Anhand einer Literaturrecherche wurde ersichtlich, dass die entsprechenden, allgemeingültigen Konstruktionshinweise, die sich bisher mit der Thematik des Punktschweißklebens von Aluminiumwerkstoffen beschäftigt haben, aus den frühen 70-er und 80-er Jahren stammen.

So wurde beispielsweise in der wohl letzten größeren Arbeit zu diesem Thema [12] die Vorteile der Punktschweißklebung gegenüber der normalen Punktschweißung an zwei verschiedenen Aluminiumwerkstoffen, AlMg5 und AlMg0.4Si1.2, dargestellt. Die dort eingesetzten Klebstoffe entsprechen allerdings nicht mehr dem heutigen Stand der Technik.

In einer weiteren Recherche ab 1987 (BAM) wurden ca. 30 Stellen gefunden die sich mit dem Punktschweißkleben von Aluminium beschäftigen. Allerdings handelt es sich hier überwiegend um oberflächliche Betrachtungen des Themas, insbesondere aber fehlen für Konstruktion und Simulation verwertbare Untersuchungsergebnisse.

Um dem Konstrukteur eine direkte Vergleichbarkeit der ermittelten Kennwerte zu vorangegangenen Untersuchungen zu gewährleisten, sollten diese unter den bewährten Lastwinkeln an Standardprobengeometrien wie der KS-II- oder Scherzugprobe ermittelt werden. Der vorliegende Antrag sollte ursprünglich vom LWF-Paderborn gestellt werden. Auf Grund der ungeklärten zukünftigen Situation am LWF wurde er jedoch an den FA4 zurückgegeben und der SLV-Duisburg zugeteilt.

Forschungsvorhaben zum Punktschweißen von Aluminium an der SLV-Duisburg liegen bereits längere Zeit zurück, da dieses Thema in den letzten Jahren als nicht als förderungswürdig angesehen wurde. Dass das Interesse der Industrie für dieses Thema da ist, zeigen allerdings häufige Anfragen der Industrie. So wurden an der SLV-Duisburg im Rahmen der Industrieberatung einige Untersuchungen zum Schweißen und auch Punktschweißkleben von Aluminium durchgeführt. Mit ihren umfangreichen Möglichkeiten und Kontakten im Bereich des Widerstandsschweißens ist die SLV-Duisburg prädestiniert für die Durchführung dieses Vorhabens. So haben sich beispielsweise die Firmen BOSCH und DÜRING bereit erklärt, die für die Durchführung speziell erforderliche Anlagentechnik bereit zu stellen.

2.3 Stand der Technik

Zur Beschreibung des Standes der Technik wurde eine Literaturrecherche bei der BAM in Auftrag gegeben, wobei die Datenbanken DOMA, WEMA, Weldasearch, INSPEC, METADEX, COMPENDEX und PASCAL berücksichtigt wurden.

Das DVS-Regelwerk enthält nur Angaben zum Widerstandspunktschweißen von Aluminium und dessen Legierungen, nicht jedoch zum Punktschweißkleben [1][3]. Angaben zur Berechnung, wie sie zumindest für Stahlbleche in [4] in einfacher Form verfügbar sind, sind zwar in einer entsprechenden Richtlinie [2] vorgesehen aber bislang nicht verfügbar.

Bereits in älteren Literaturstellen [5][6][8][9] wird beschrieben, dass das Widerstandspunktschweißen von Aluminium zwar problematisch, aber unter gewissen Bedingungen durchaus möglich ist. Insbesondere in [9] wird ein Schweißbarkeitsfaktor berechnet, der Aluminium als nicht gut schweißbar einordnet.

Übereinstimmend werden Elektroden mit guter Leitfähigkeit, etwa E-Cu und großer Balligkeit empfohlen um unter Anderem die Anlegierungsneigung zu reduzieren. Weiterhin wird gute Kühlung der Elektroden und regelmäßige Nacharbeit empfohlen.

In [3],[22] und [25] werden spezielle Schweißprogramme mit unterschiedlichen Kräften und Strömen während des Schweißprozesses ähnlich Bild 1 empfohlen. Hintergrund ist hier jedoch nicht die Punktschweißklebung, sondern das Erreichen möglichst fehlerfreier Linsen beim Punktschweißen von Aluminium.

Eigene Untersuchungen [25] zeigen, dass das Punktschweißkleben, insbesondere an Einzelproben, durch den Klebstoff stark behindert werden kann. Je viskoser der Klebstoff ist, um so schwieriger lässt sich ein direkter metallischer Kontakt an der Schweißstelle erreichen. Der bei Stahlblech bewährte Trick einen gezielten Nebenschluß auszunutzen, stößt angesichts der kurzen Schweißzeiten, wie sie für Aluminium verwendet werden müssen, auf Schwierigkeiten. Kraft- und Stromprogramme sowie Wahl anderer Geometrien brachten im Einzelfall verwendbare Lösungen der Aufgabenstellungen, können jedoch nicht verallgemeinert werden. Bereits in [12] wurde in einer umfangreichen Untersuchung auf das Problem der Kontaktierung und Klebstoffverdrängung eingegangen. Es wird auf eine verstärkte Spritzerneigung beim Schweißen durch Klebstoffe festgestellt, des weiteren wurde häufig festgestellt, dass die Linse nicht aus dem Zentrum heraus aufschmilzt sondern dass sich ringförmig um das Zentrum herum zunächst einige Aufschmelzungen bilden, die dann später zu einer geschlossenen Linse zusammenwachsen. Es werden zahlreiche Versuche beschrieben, die Kontaktierung mithilfe von Elektroden geringerer Balligkeit bzw. sehr speziellen ringförmigen Elektroden sicher zu stellen. Zusätzlich wurden zum Teil noch Schlitze in die Elektrodenarbeitsflächen gefeilt, um gasförmigen Zersetzungsprodukten aus dem Klebstoff einen Austrittsweg zu verschaffen.

Die Einführung des Punktschweißklebens im Flugzeugbau wird in [13] am Beispiel von Aluminiumlegierungen der 2000er und 7000er Gruppe beschrieben. Gegenüber der bisherigen reinen Klebtechnik mit konventioneller Spanntechnik für die Bauteile bis zum Aushärten des Klebstoffes wird ein deutlicher Kostenvorteil berechnet.. Demzufolge ist es auch nicht das oberste Ziel dieser kombinierten Verbindungsmethode die Festigkeit durch Punktschweißung + Klebeverbindung zu erreichen, stattdessen soll die Punktschweißung die Bauteile nur bis zum Aushärten der Klebstoffe in Position halten. Demzufolge kommt es auch nicht auf eine

maximale Festigkeit der Punktschweißung respektive großen Punktdurchmesser selbst an, sondern es reicht eine zuverlässige, für den Fertigungsablauf ausreichende, Festigkeit aus.

In den letzten Jahrzehnten hat sich jedoch weder das Punktschweißen noch das Punktschweißkleben von Aluminiumwerkstoffen in großem Massstab durchsetzen können. Gründe hierfür sind unter anderem die Begrenzung des Stromes bzw. zu großem Bauvolumen bei der bis vor einigen Jahren zur Verfügung stehenden Anlagentechnik, fehlende automatische Nacharbeitsmöglichkeiten um den Elektrodenverschleiß auszugleichen sowie die generelle schweißtechnische Problematik des Werkstoffes Aluminium, der zur raschen Bildung einer Oxidschicht neigt die den Widerstandsschweißprozess anhaltig beeinflussen kann.

Inzwischen gibt es jedoch mit der Invertertechnik relativ klein und leicht bauende Transformatoren, so dass heute Punktschweißzangen mit hoher Stromstärke und vergleichsweise geringem Gewicht realisiert sind. Gleichzeitig ist die Tragfähigkeit der Roboter stark gestiegen, zugleich sind deren Preise gefallen. Im Bereich der automatisierten Nacharbeit sind heute Elektrodenfräser Stand der Technik [26], spezielle Entwicklungen für die Anforderungen beim Aluminium-Punktschweißens sind in der Entwicklung bzw. abgeschlossen. Ein aktuelles Vorhaben beschäftigt sich mit dem Thema der Elektrodennacharbeit beim Aluminiumpunktschweißen [23], so dass die Ergebnisse so weit sinnvoll umsetzbar in dem hier beantragten Vorhaben berücksichtigt werden können.

Die schweißtechnische Beherrschung des Werkstoffes Aluminium ist durch die heutige Anlagentechnik ebenfalls einfacher. Servoelektrische Zangantriebe sowie fortschrittliche Steuerungen in Invertertechnik erlauben die einfache Programmierung und Anwendung von Kraft- und Stromprogrammen. Hierbei kann gegenüber der früheren für das Aluminiumpunktschweißen üblichen Anlagentechnik mit 2-Kammerpneumatikzylindern sogar mit mehr als zwei unterschiedlichen Kräften während des Schweißablaufs gearbeitet werden, sofern sich dies als notwendig und sinnvoll erweisen sollte [25]. Die Schweißsteuerungen sind ms-genau einstellbar, während früher ein Zeitraster von 20 ms (1 Per) üblich war. Auch die Mess- und Regeltechnik für den Schweißprozess ist damit erheblich schneller geworden, so dass heute Ideen, die vor Jahren bereits erdacht wurden, erfolgreich umgesetzt werden können. Bereits 1974 wurde eine Regelung zur gezielten Beeinflussung der Kontaktverhältnisse entwickelt [11]. Bedingt jedoch durch den damaligen Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Halbleitertechnik und der Stromquellen wurde das Schweißen von Aluminiumwerkstoffen unter Einsatz dieser Technologie, auch wegen der kurzen Stromzeiten, nicht weiter verfolgt. Außerdem war das Interesse der Industrie an Aluminium damals gering, so dass letztlich wohl nur Prototypen, aber keine industriell gefertigten Geräte verfügbar waren. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass beispielsweise bei Stahlwerkstoffen mit verzünderten Oberflächen die Höhe und Gleichmäßigkeit der Festigkeitswerte sehr erheblich verbessert werden konnte. Trotzdem geriet diese Technik bei den meisten Steuerungsherstellern in Vergessenheit. Ein Hersteller nutzt heute praktisch die gleiche Grundidee und setzt dieses Verfahren momentan für die Regelung des Schweißprozesses an Stahlwerkstoffen bei Reparaturanlagen für den Kfz-Bereich ein [28].

Beim heutigen Stand der Mikroprozessortechnik und den heutigen schnellen Stromquellen (Inverter) können die Vorteile dieser Technik auch für den Werkstoff Aluminium voll ausgeschöpft werden. In den letzten Jahren wurde diese Technik dementsprechend auch im Rahmen eines nicht öffentlich gemachten Projektes wieder aufgegriffen [22] und dieses Verfahren als „Vorkonditionierung“ in einem Prototyp [26] eines Herstellers umgesetzt.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens ist es Methoden zu entwickeln, die Fertigungssicherheit beim Punktschweißkleben von Aluminiumverbindungen zu erhöhen. Außerdem sollen mit erprobter Vorgehensweise Kennwerte für die Konstruktion und Simulation ermittelt werden, um Vergleichswerte zu erhalten wie sie z.B. bereits für das Punktschweißkleben von Stahl vorliegen.

Weiterhin sollen Möglichkeiten und Grenzen erkundet werden, damit diese Angaben in die Ausbildung sowie ins Regelwerk einfließen können.

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist, auch unter Einbeziehung neuer Systemtechniken auf dem Gebiet des Punktschweißens, die verfahrenstechnischen Grundlagen zum prozesssicheren Verbinden von Aluminiumwerkstoffen mittels Punktschweißkleben zu erarbeiten und dabei für die Konstruktion und Berechnung Kennwerte bereitzustellen, die für den konstruktiven Einsatz einen Vergleich der Verbindungseigenschaften im Wettbewerb mit anderen Technologien ermöglicht.

Insbesondere ist es Ziel,

- die Grundlagen für ein prozesssicheres Punktschweißkleben von Aluminiumwerkstoffen mittels neuer Anlagen- und Regelungstechnik für den industriellen Einsatz zu erarbeiten,
- die Verfahrensgrenzen für das Punktschweißkleben von Aluminiumwerkstoffen sowie die Einflüsse der Klebstoffe und der Prozessführung auf die Qualität der Verbindung zu ermitteln,
- Prozessinformationen für eine Qualitätssicherung auszuwerten,
- Kennwerte für die Konstruktion und Berechnung der Punktschweißklebverbindungen unter quasistatischer, dynamisch schwingender und schlagartiger Belastung zu ermitteln,
- Hinweise zur prozesssicheren Fertigung von punktschweißgeklebten Strukturen aus Aluminiumwerkstoffen zu erarbeiten.

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Bislang liegen zu diesem Thema offenbar keine in sich abgeschlossene Untersuchungen vor. Häufig merkt man erst bei der Einführung in die Fertigung, dass konstruktiv Verbindungen vorgesehen wurden, die sich dann in der Praxis nicht sicher verschweißen lassen. Dies führt zu teuren und zeitaufwändigen Umkonstruktionen, z.B. von Drei- zurück auf Zweiblechverbindungen. Neben den Kosten für die Umkonstruktion und Vorbereitung fallen damit in der Regel auch doppelte Fügekosten an.

Das Forschungsvorhaben wird dazu beitragen eine Wissenslücke zu schließen und das Verständnis für die Vorgänge beim Widerstandspunktschweißen erweitern und vertiefen.

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungszieles

3.2.1 Methodischer Ansatz

Durch den Einsatz neuer Systemtechniken auf dem Gebiet des Punktschweißens zeichnet sich die Möglichkeit ab, Aluminiumwerkstoffe auch durch Punktschweißkleben prozesssicher verbinden zu können.

Im Rahmen eines Industrieprojektes am LWF Paderborn wurde die Möglichkeit der Punktschweißklebbarkeit von Aluminiumwerkstoffen mit neuer Widerstandsschweiß-Prozesstechnik untersucht. Hierbei wurde eine Vorkonditionierung durchgeführt, bei der durch einen Vorstrom der Widerstand auf einen definierten Wert reduziert wird. Danach wird von der Steuerung automatisch in den normalen Schweißbetrieb umgeschaltet. Für diese Untersuchung wurde von der Fa. BOSCH eine spezielle Stromquelle entwickelt.

Eine Weiterentwicklung dieser Stromquelle mit höherer Leistung wird für das hier beantragte Vorhaben eingesetzt. Als Schweißzange kommt eine servoelektrische Zange zum Einsatz, um im Vorhaben möglichst flexibel programmierbare Kraft-/Stromprogramme einsetzen zu können.

3.2.2 Arbeitsschritte

Zu Beginn der Untersuchung werden die relevanten, chargenbezogenen Eigenschaften der eingesetzten Aluminiumwerkstoffe und Klebstoffe ermittelt. Im weiteren Verlauf erfolgt die systematische Ermittlung der Verfahrensgrenzen für ein prozesssicheres Punktschweißkleben beim Einsatz rohbautauglicher Hochleistungsklebstoffe und Fügeteilwerkstoffe. Der zu untersuchende Blechdickenbereich soll zwischen 1,0 mm und 3,0 mm liegen, wobei drei im Automobilbau übliche Werkstoffe sowie die zu untersuchenden Klebstoffe festgelegt werden. Bei den Klebstoffen sollen 2 üblicherweise im Automobilrohbau verwendete warmaushärtende Varianten sowie eine 2K-Variante für den Reparaturbereich berücksichtigt werden. Die letztgenannte Variante ist auch besonders interessant für kmU in der Kleinserienfertigung, beispielsweise für den Luftfahrzeugbereich.

Zur Bewertung der erzielbaren Eigenschaften der Verbindungen sollen für optimierte Prozessbedingungen Festigkeitsuntersuchungen bei zyklischer und stoßartiger Beanspruchung mit unterschiedlicher Lasteinleitung auf den Fügebereich durchgeführt werden. Dabei werden Kennwerte erzielt, wie sie für die konstruktive Auslegung und Simulation der Verbindungseigenschaften in den Entwicklungsabteilungen der Fahrzeughersteller benötigt werden und wie sie für elementare Verbindungen aus Stahl (Punktschweißverbindungen, überlappte Laserschweißverbindungen, diverse mechanisch gefügte Verbindungen) bereits teilweise vorliegen .

Die Untersuchung gliedert sich im Wesentlichen in die folgenden beiden Schritte:

- Im ersten Schritt werden für die verschiedenen Aluminiumwerkstoffe sowie Klebstoffvarianten Schweißbedingungen ermittelt, die die Herstellung einwandfreier Schweißpunkte sicher stellen.
Die erste Hürde ist dabei, den Stromfluss an der Schweißstelle zu ermöglichen, der durch den Klebstoff zwischen den Blechen zunächst verhindert wird.
Zu variieren sind hierfür beispielsweise die Vorpresskraft und Vorpresszeit, die Elektrodengeometrie, das Aufsetzverhalten der Elektroden, Vorwärmstrom in Verbindung mit Nebenschlüssen, Vorkonditionierung etc.
Ausdrücklich sollen diese Versuche nicht nur mit der "neuen Systemtechnik", d.h. der Vorkonditionierung, durchgeführt werden, um dem Anwender aus den kmU möglichst nicht zumuten zu müssen in neue Anlagentechnik zu investieren.
Bei den Versuchen ist insbesondere Wert darauf zu legen, dass die Schweißungen spritzerfrei ablaufen. Im Falle von Spritzern würde es einerseits zu optischen Beeinträchtigungen und Verschmutzung der Fertigungsanlagen kommen, andererseits würde aber auch durch den fehlenden Klebstoff eine Minderung der Festigkeitseigenschaften zu erwarten sein.
- Im zweiten Schritt werden mit als optimal erachteten Parametern systematisch Schweißverbindungen hergestellt, an denen die für die Konstruktion und Simulation verwertbaren Verbindungskennwerte ermittelt werden.
Stichprobenartig werden hier auch Kennwerte "schlechter" Schweißungen, z.B. spritzerbehaftete Punkte, ermittelt um die negativen Auswirkungen dieser Schweißfehler augenfällig darstellen zu können.

Im Anschluß an die stichpunktartige Auflistung des Lösungsweges werden weiter unten einzelne Versuchsabschnitte (→...) genauer erläutert, um Zielstellung, Weg und den dafür erforderlichen Aufwand zu verdeutlichen.

Der vorgesehene Lösungsweg stellt sich wie folgt dar:

- Es wird davon ausgegangen, dass die von der Forschungsstelle vorgeschlagenen drei Materialien und Klebstoffe als Grundlage für die Untersuchung genutzt werden
- Materialbeschaffung (→3.2.2.1)
 - Vorbereitung für Versuche zur Ermittlung optimaler Parameter
- Vorbereitung der zu verwendenden Anlagentechnik, Applikation der Messtechnik (→3.2.2.2)
- Vorbereitung von Vorrichtungen für die genaue Dosierung und Applikation der Klebstoffe
- Versuchsplanung (→3.2.2.3)
 - Planung mit Hilfe statistischer Methoden zur Reduzierung des Aufwandes und Optimierung der Aussage
- Versuche zur Verdrängung/Durchdringung der Klebstoffschicht durch:
 - Stromprogramme (→3.2.2.4)
 - Vorwärmstrom
 - Stromanstieg
 - „Vorkonditionierung“
 - Kraftprogramm (erhöhte Vorpresskraft) (→3.2.2.5)
 - Kombination Strom-/Kraftprogramme (→3.2.2.6)

- Elektrodenart und -geometrie (→3.2.2.7)
- Herstellung und Prüfung von Proben für die Ermittlung von Verbindungskennwerten für Konstruktion und Simulation
- Berichterstellung (→3.2.2.9)
 - Auswertung, grafische und tabellarische Darstellungen
 - Empfehlungen für die Praxis
 - Darstellung der Ergebnisse im Hinblick auf die Merkblätterstellung optimiert
 - Erster Entwurf Merkblatt

3.2.2.1 Materialien

Für die Durchführungen der Hauptversuche werden Bleche aus drei verschiedenen Aluminiumlegierungen eingesetzt.

Bei der Auswahl der Versuchswerkstoffe sind die in der Industrie üblichen bzw. zukünftig für die Anwendung geplanten Werkstoffe zu berücksichtigen. Eine Übersicht über die Werkstoffe ist in Tab. 1 gezeigt.

Legierungsbezeichnung	Hauptleg.-elemente	Legierungsgehalt	Auswirkung der Legierung	Anwendungen
AA 1xxx	Fe, Si	< 1%	Umformbarkeit(+)	Folien, tiefgezogene Behälter, Geschirr, Wärmetauscher
AA 2xxx	Cu (+Mg)	< 5%	Festigkeit(+) Korrosionsbeständigkeit(-)	Flugzeugbau, Wehrtechnik
AA 3xxx	Mn	< 1,5%	Festigkeit(+) Umformbarkeit(+)	Dosen, Geschirr, Wärmetauscher, Verkleidungen
AA 4xxx	Si	< 20%	Giessbarkeit(+) Schmelzpunkt(-)	Gußteile, Lotwerkstoffe
AA 5xxx	Mg	< 5%	Festigkeit(+) Schweißbarkeit(+)	Architektur, Schiffbau, Nutzfahrzeuge, Behälterbau, Maschinenbau
AA 6xxx	Mg + Si	< 2%	Festigkeit(+) Schweißbarkeit(+)	allgemeine Metallkonstruktionen, Transport (Bahn, Nutzfahrzeuge, PKW), Offshore
AA 7xxx	Zn + Mg (+Cu)	Zn < 8% Mg < 3% Cu < 3%	Festigkeit(+)	Transport (Schiene, Straße), Flugzeugbau, Wehrtechnik

Tab. 1: Übersicht über Aluminiumwerkstoffgruppen und deren Einsatzgebiete [25]

Für den Fahrzeugbereich allgemein sind die 2000er, 5000er und 6000er Legierungen verstärkt im Einsatz. Dementsprechend wird jeweils ein Vertreter jeder Gruppe für die Durchführung der Untersuchung vorgewählt:

- AA2024
- AA5182
- AA6014, entspricht Ac170 bzw. Ac300 nach [32]

Diese Werkstoffe sind nach Informationen aus der Industrie für die Fertigung besonders interessant. Die Auswahl wurde auf Basis der Werkstoffvorgaben eigener Industriearbeiten aus der jüngsten Vergangenheit und Diskussion mit einzelnen PbA-Vertretern getroffen.

Als Dickenbereich ist ca. 1,0 bis 3,0 mm vorgesehen.

Zusätzlich ist vorgesehen, das Verhalten an Gussteilen exemplarisch zu testen. Ein Automobilhersteller hat sich bereit erklärt, eine begrenzte Anzahl von Probeteilen aus der Serie beizustellen. Als Werkstoff ist hier AlSi10Mg vorgesehen, die Dicke beträgt ca. 3 mm. An den Gussteilen können allerdings die technologischen Werte nicht in der Art ermittelt werden, wie

dies an den Blechproben möglich ist (z.B. KSII-Proben sind hieraus nicht herstellbar). Es soll versucht werden aus den Gussteilen möglichst normgerechte Scherzugproben für die Vergleichsversuche herauszuarbeiten. Dementsprechend handelt es sich hier auch um einen untergeordneten Untersuchungsabschnitt.

An Klebstoffen werden 2 warmhärtende und eine kalthärtende 2K-Variante eingesetzt:

- Betamate 1480 (wamaushärtend, 1K – DOW Chemicals [29])
- SIKA Power 498 (wamaushärtend, 1K – SIKA [30])
- 3M DP490 (kaltaushärtend, 2K – 3M [31])

Sollten sich bei Projektstart andere/neue Werkstoffe bzw. Klebstoffe als interessanter erweisen, so kann diese Auswahl, Verfügbarkeit und Kostenneutralität vorausgesetzt, in Abstimmung mit dem PbA aktuellen Wünschen und Tendenzen angepasst. Einzelne Klebstoffhersteller haben den dahingehenden Wunsch bereits geäußert. Offenbar laufen hier z.T. noch Weiterentwicklungen der Klebstoffe zur Optimierung auf den Werkstoff Aluminium. Dies bekundet im Übrigen auch das wachsende Interesse an der Technologie Punktschweißkleben von Aluminium.

3.2.2.2 Vorbereitung der Anlagentechnik

Ein wichtiger vorbereitender Schritt ist der Aufbau der Versuchsanlage. Dazu zählt der mechanische Aufbau (Ständer) sowie die elektrische Kombination der Schweißzange mit der Stromquelle. Beide Teile werden von der Industrie für dieses Vorhaben zur Verfügung gestellt und müssen entsprechend aneinander angepasst werden. Die Stromquelle/Steuerung ist dabei ein Prototyp, der speziell für die hier gestellten Anforderungen aufgebaut wird. Um das Nachsetzverhalten der Schweißzange, die nach Vorgabe des FA4 über eine Kraft von min. 6 kN verfügen soll, zu gewährleisten, muss ggf. eine für den Einbau in die Zange geeignete Nachsetzeinheit erdacht, konstruiert, eingebaut und erprobt werden. Diese Vorbereitung ist besonders wichtig um ein möglichst spritzerfreies Schweißen zu gewährleisten. Weiterhin muss ggf. eine Möglichkeit zur Nacharbeit der Elektroden in der Schweißanlage vorbereitet werden.

3.2.2.3 Versuchsplanung

Die Durchführung der Versuche ist, wie auch die Beschreibungen zeigen, sehr komplex. Zur Reduzierung des Aufwandes soll die Planung der durchzuführenden Versuche, und auch des Umfangs der Proben für die Ermittlung der Verbindungskennwerte, mit Methoden der statistischen Versuchsplanung festgelegt werden.

3.2.2.4 Stromprogramme

- konventionelles Stromprogramm

Ein typisches Schweißprogramm das für hochwertige Aluminiumschweißungen empfohlen wird ist in Bild 1 dargestellt. Die erhöhte Vorpresskraft sorgt für eine gute Kontaktierung der Bleche sowie eine Verbesserung der Kontaktsituation zwischen Elektrode und Blech. Für die Schweißung wird die Kraft wieder reduziert, um einen ausreichend hohen Übergangswiderstand zwischen den Blechen zu erhalten, ohne den die Schweißung kaum möglich wäre. Die Erhöhung der Kraft nach der Schweißung dient dazu, die Schweißung möglichst riss- und lunkerfrei zu gestalten.

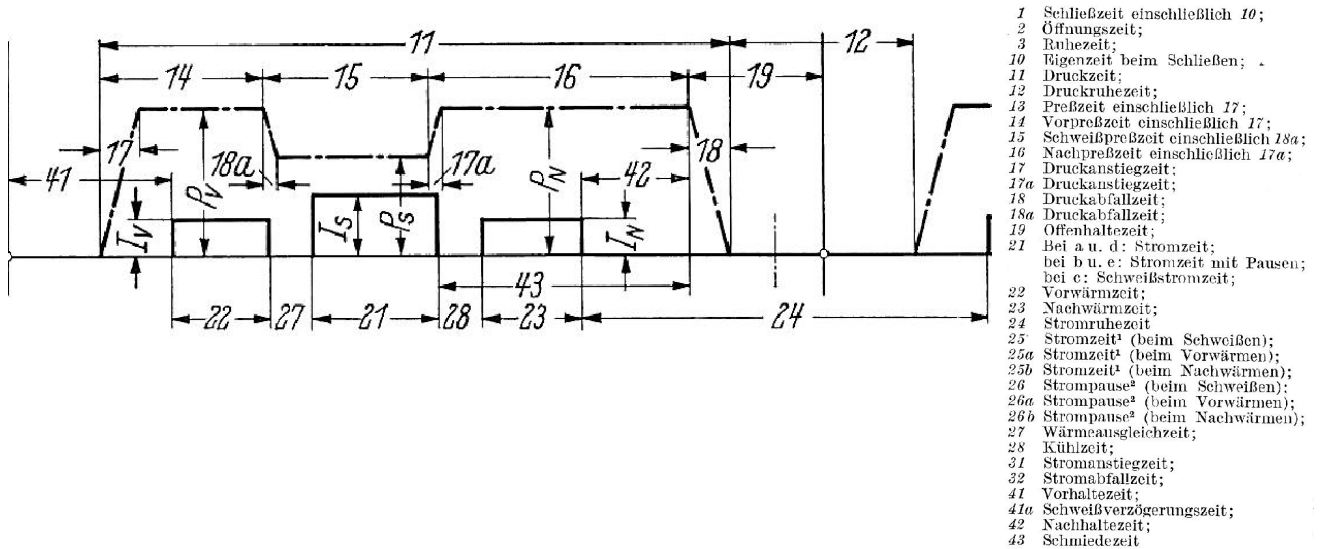


Bild 1: Kraft-/Stromprogramm aus [6] bzw. [7]

□ Stromprogramm mit Vorwärmstrom

Zur Durchdringung der Klebstoffschicht und Anpassung des Zustandes der Blechoberflächen ist auch denkbar, dem eigentlichen Schweißstrom einen Vorwärmstrom definierter Länge vorzuschalten, wie dies in Bild 2 dargestellt wird.

Sofern der Klebstoff hierdurch aufgeweicht wird, scheint zumindest dessen Verdrängung möglich. Ob mit einem Vorwärmstrom fester Höhe und Zeit eine ausreichend reproduzierbare Konditionierung möglich ist, soll hier geklärt werden. Bei zu geringem und damit zu langsamen Erwärmen könnte möglicherweise auch ein gegenteiliger Effekt, die Aushärtung des Klebstoffes, auftreten

Ein besonderer Vorteil dieser Methode wäre, dass sie auf bestehenden Anlagen, ohne teure Umrüstung, verwendet werden könnte.

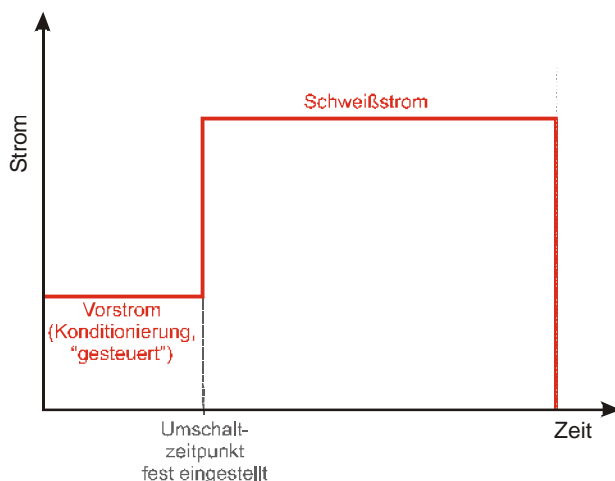
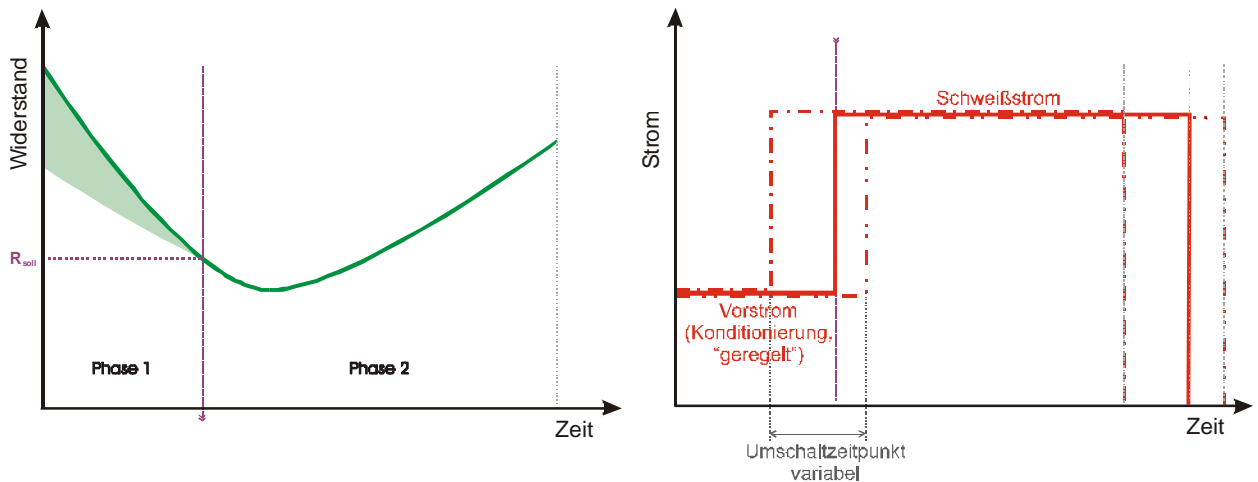


Bild 2: Vorwärmstrom zur einfachen Konditionierung

□ Vorkonditionierung

Eine Methode die, zumindest theoretisch, schon länger existiert ist die Vorkonditionierung der Materialien. Ursprünglich nur für die Angleichung der Oberflächen gedacht, wird sie hier auch für die gezielte Verdrängung des Klebstoffes eingesetzt.

Zu ermitteln sind, je nach zu verschweißenden Materialien und Klebstoffen, optimale Einstellungen für die Höhe des Vorwärmstromes und das zu erreichende Widerstands-niveau für die Umschaltung in Phase 2, die eigentliche Schweißung.



Phase 1:
Vorkonditionierung
Zu Beginn der Schweißung nicht reproduzierbarer Gesamtwiderstand

Phase 2:
Schweißung
Nach Erreichen eines vorzugebenden Gesamtwiderstandes
Umschalten in den normalen Schweißablauf

Bild 3: Prinzip der Vorkonditionierung

3.2.2.5 Kraftprogramme

Sinn dieses Kraftprogrammes ist, den Klebstoff rein mechanisch aus dem Kontaktbereich zu verdrängen. Hierfür wird mit einer erhöhten Vorpresskraft gearbeitet, für die Schweißung wird die Kraft wieder auf einen normalen Wert reduziert.

Dies setzt den Einsatz einer kräftigen Schweißzange mit servomotorischer Krafterzeugung voraus. Alternativ könnte auch ein System mit 2-stufigem Pneumatikzylinder oder Servoventil eingesetzt werden (u.A. Taktzeitfrage).

3.2.2.6 kombiniertes Kraft-/Stromprogramm

Kraft-/Stromprogramme kombinieren die Effekte aus den beiden vorherigen Versuchsabschnitten. Durch den zusätzlich zu verändernden Parameter Schweißstrom kann genauer in den Schweißablauf eingegriffen werden. Auch können zur weiteren Optimierung des Prozesses Vor-, Nachpress- und Schweißkraft unterschiedlich hoch gewählt werden.

Allerdings gestaltet sich die Einstellung bzw. Abstimmung der Parameter aufeinander auch aufwändiger und setzt zwingend den Einsatz einer servomotorischen Zange voraus.

3.2.2.7 Elektroden

Zumindest theoretisch ist die Verwendung von Elektroden mit erhöhter Flächenpressung, also durch Anwendung einer kleineren Kontaktfläche, geeignet den Klebstoff zwischen den Blechen zu verdrängen. Dieser Effekt sollte insbesondere bei weichen Werkstoffen, wie eben Aluminium, auftreten. Demgegenüber steht allerdings die stärkere thermische Belastung der Elektrode und dementsprechend zunehmender Verschleiß, hier insbesondere durch Anlegieren von Aluminium an der Kontaktfläche. Inwieweit dies durch regelmäßige Nacharbeit zu

beherrschen ist wird in einem laufenden Forschungsvorhaben geklärt und bei den Versuchen, soweit hier sinnvoll und anwendbar, berücksichtigt. Weiterhin werden einige Tastversuche, auch mit Elektroden aus alternativen Werkstoffen, durchgeführt.

3.2.2.8 Ermittlung der Verbindungskennwerte

Die Verbindungskennwerte für Konstruktion und Simulation werden an optimierten Verbindungen entsprechend in jüngster Vergangenheit gelaufenen Vorhaben ermittelt.

Die Prüfung der Proben (KSII) wird als Unterauftrag am LWF-Paderborn durchgeführt, um die hier vorhandenen Einrichtungen und das Know-How bei der Vorbereitung der Proben und der Durchführung der Prüfungen nutzen zu können. Da für die Vorversuche sowie statistische Absicherung eine relativ große Anzahl von Proben erforderlich sind, ist eine entsprechend umfangreiche Position zu den „Arbeiten Dritter“ im Kostenplan enthalten.

Die Prüfungen erfolgen an standardisierten Proben unter Variation des Lastwinkels entsprechend Bild 4 und Bild 5.

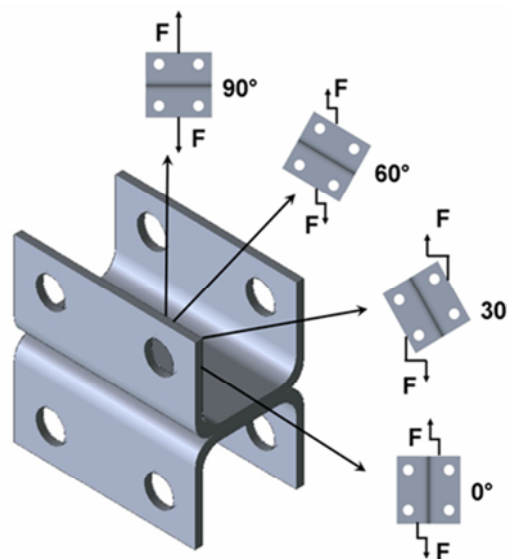


Bild 4: KS-II-Probe und Prüfkonzept

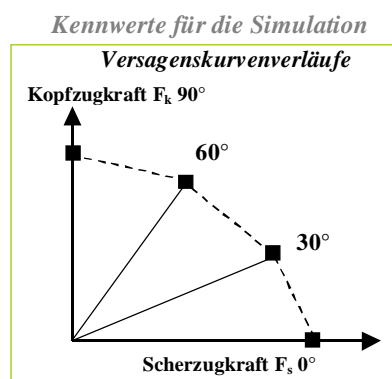


Bild 5: Prinzip der Kennwertermittlung

3.2.2.9 Auswertung und Berichterstellung

Die Versuche werden mit den entsprechenden tabellarischen und grafischen Darstellungen dokumentiert. Die Darstellungen orientieren sich dabei an denen, die in vergleichbaren Arbeiten Verwendung gefunden haben.

Bei der Erstellung der Tabellen und Grafiken wird weiterhin berücksichtigt, dass die Ergebnisse auch in ein Merkblatt einfließen werden.

3.2.3 Personaleinsatz

Der Arbeitsumfang dieses Vorhabens ist aufgrund der Vielzahl zu variierender Parameter und spezieller Probenformen als umfangreich einzustufen. Deshalb sollen die Versuche auch durch Anwendung von Methoden der statistischen Versuchsplanung (DOE) in Grenzen gehalten werden.

Für die Durchführung, speziell auch sachgemäße Applikation des Klebstoffes, ist gut qualifiziertes Personal erforderlich, weshalb anstelle eines Schweißers/Schlossers die Schweißungen und vorbereitenden Arbeiten von einem Ingenieur bzw. Techniker durchgeführt werden müssen um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten.

Die Aufgabe des wissenschaftlichen Mitarbeiters ist die Planung und Modifikation der Anlagentechnik, Planung und Durchführung bzw. Überwachung der Versuche sowie die Auswertung und Erstellung des Abschlussberichts.

Der Techniker unterstützt und ist speziell für den Versuchsaufbau, exakte Vorbereitung der Proben sowie für die Durchführung und Prüfung der Schweißungen verantwortlich.

Der Metallograf ist für die Präparation und Herstellung sowie Auswertung der Schlißproben zuständig.

Die studentische Hilfskraft erstellt für die Durchführung der Arbeiten erforderliche Formulare, fertigt Tabellen und Diagramme an und unterstützt bei Schweiß- und Prüfarbeiten sowie der Auswertung.

3.3 Zeitplan über Arbeitsschritte und Personaleinsatz

Arbeitsprogramm	1. Projektjahr (Quartale)				2. Projektjahr (Quartale)																																																																																																															
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.																																																																																																												
Versuchsplanung, Festlegung der Versuchsreihen / DOE																																																																																																																				
Vorbereitung der Anlagentechnik und Messtechnik																																																																																																																				
Beschaffung und Vorbereitung des Versuchsmaterials (Werkstoffe, Klebstoffe)																																																																																																																				
Vorbereitung der speziellen Probengeometrien für die Prüfung (KSII etc.)																																																																																																																				
Versuche zur Optimierung mittels Parameteranpassungen, Konditionierung/Vorstrom, Strom-/Kraftprogramm																																																																																																																				
Begleitende Prüfung und Auswertung (quasistatisch)																																																																																																																				
Herstellung und Prüfung der Probekörper zur Ermittlung der Kennwerte (statisch/dynamisch)																																																																																																																				
abschliessende Auswertung und Berichterstellung																																																																																																																				
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>wissenschaftlicher Mitarbeiter</td> <td>17 MM</td> <td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td> </tr> <tr> <td>Techniker</td> <td>17 MM</td> <td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>0,5</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td> </tr> <tr> <td>Metallograf/Laborant</td> <td>2 MM</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,2</td><td>0,2</td><td>0,2</td><td>0,2</td><td>0,2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,2</td><td>0,2</td><td>0,2</td><td>0,2</td> </tr> <tr> <td>studentische Hilfskraft</td> <td>24 MM</td> <td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td><td>1,0</td> </tr> </tbody> </table>									wissenschaftlicher Mitarbeiter	17 MM	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	Techniker	17 MM	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	Metallograf/Laborant	2 MM								0,2	0,2	0,2	0,2	0,2										0,2	0,2	0,2	0,2	studentische Hilfskraft	24 MM	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
wissenschaftlicher Mitarbeiter	17 MM	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0																																																																																										
Techniker	17 MM	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0																																																																																										
Metallograf/Laborant	2 MM								0,2	0,2	0,2	0,2	0,2										0,2	0,2	0,2	0,2																																																																																										
studentische Hilfskraft	24 MM	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0																																																																																										

Anmerkung: Die Prüfung der Probekörper erfolgt aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei einem Dienstleister der mit dieser Thematik vertraut ist (LWF Paderborn)
 Die Kosten des 2-jährigen Vorhabens belaufen sich auf 224.900 EUR.

3.4 Zusammensetzung des PbA

• AEG SVS	Herr Hazic	kmU
• BOSCH Rexroth	Herr Arndt	
• Daimler AG Sindelfingen	Herr Ruther	
• Düring Schweißtechnik	Herr Düring	kmU
• Harms+Wende GmbH & Co. KG	Herr Bothfeld	kmU
• Heggemann Aerospace AG	Herr Dr.-Ing. T. Meyer	kmU
• Koch Schweißtechnik	Herr Koch	kmU
• 3M Deutschland GmbH	Herr Hasenberg	
• SIKA	Herr Dr. Schulenburg	

Informationen zu den PbA-Mitgliedern:

Die meisten Herstellerfirmen von Schweißausrüstung beliefern sowohl die Großindustrie als auch zahlreiche kmU. Deshalb sind alle beteiligten PBA-Mitglieder bereits aus ihrer täglichen Praxis mit der Problemstellung vertraut und haben ein hohes Interesse an Lösungswegen.

Die Firma AEG SVS ist Hersteller von Elektroden und Elektrodennacharbeitungsgeräten und wird die erforderlichen Elektrodenwerkstoffe sowie ggf. Nacharbeitungsgeräte (z.B. Fräser und Fräseinsätze) beistellen.

Die Firma BOSCH ist Hersteller von Schweißsteuerungen und wird für dieses Vorhaben den Prototyp einer speziellen leistungsstarken Stromquelle aufbauen und beistellen, mit der einerseits hohe Ströme bis zu ca. 60 kA erzeugt werden können und andererseits die geplante Vorkonditionierung möglich ist.

Die Firma DÜRING ist Hersteller von Schweißanlagen und Schweißzangen. Sie wird für dieses Vorhaben eine Schweißzange beistellen und ggf. optimieren, mit der z.B. die geplanten Kraftprogramme während der Schweißung möglich sind.

Die Firma HARMS+WENDE ist Hersteller von Schweißsteuerungen und als solcher interessiert an neuen Verfahrenstechniken für das Widerstandspunktschweißkleben von Aluminium. Eine Schweißsteuerung dieser Firma wird zusammen mit einer servoelektrischen Zange der Fa. Düring in der SLV-Duisburg zum Antragszeitpunkt bereits installiert und kann für Schweißversuche im unteren Blechdickenbereich eingesetzt werden (ca. max. 8kN/40kA).

Die Firma KOCH Schweißtechnik führt im Auftrag z.B. von Anlagenbauern Grundeinstellungen und Optimierungsarbeiten an Schweißanlagen durch. Dementsprechend ist sie häufig mit den Problemen bei der Schweißung verschiedenster Blechkombinationen konfrontiert und hat ein hohes Interesse an Wegen zur Lösung.

Die Firma DAIMLER AG hat als Fahrzeughersteller ein starkes Interesse an dem Vorhaben und hat sich bereit erklärt einige Realbauteile für Versuche zur Verfügung zu stellen.

Die Fa. HEGGEMANN ist kmU und als Dienstleister und Hersteller im Bereich der Luftfahrtindustrie tätig. Dementsprechend besteht großes Interesse daran Informationen zu neuen Technologien aus erster Hand zu erhalten.

Die Firmen SIKA und 3M sind Hersteller von Klebstoffen mit einem weiten Anwendungsspektrum. Insbesondere werden Klebstoffe dieser Hersteller heute bereits in zahlreichen Stahlkarosserien beim Punktschweißkleben eingesetzt. Dementsprechend sind diese Firmen daran interessiert, die Anwendung ihrer Produkte auch auf das Punktschweißkleben von Aluminium erweitern.

4. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

4.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Der Nutzen für kleine und mittlere Unternehmen ist u.A. in den Bereichen der Zulieferindustrie für die Verkehrstechnik zu sehen. Der Einsatz von Punktschweißklebverfahren ermöglicht innovative Lösungen bei gleichzeitiger Berücksichtigung ständig steigender Sicherheitsanforderungen. Besonders bei Zulieferern, welche komplexe Baugruppen wie z. B. Frontends in modularer Bauweise fertigen, wird der Einsatz des Punktschweißklebens zur Steigerung der Einsatzmöglichkeiten von Aluminiumwerkstoffen unter Berücksichtigung der hohen Qualitätsanforderungen führen.

Kleinere innovative Firmen, die beispielsweise individuelle Sportwagen, Sportgeräte oder Flugzeuge aus Aluminiumblechteilen herstellen gewinnen Dank der Ergebnisse des Vorhabens sowohl Berechnungsgrundlagen als auch Hinweise für die einzusetzende Verfahrenstechnik sowie deren Einstellung.

Diese Argumente machen klar, dass das hier beantragte Vorhaben allein in der Fahrzeugbranche eine weitreichende Unterstützung zur Stärkung der heimischen Industrie liefern kann.

4.2 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der kmU

Zahlreiche kmU arbeiten heute als Zulieferer für die Automobilindustrie und haben weder die Kapazität und Möglichkeit für eigene FuE-Arbeiten noch Zeit für aufwändige Optimierungsarbeiten oder Ermittlung der Konstruktionsgrundlagen.

Der erfolgreiche Einsatz von Punktschweißklebverbindungen in der Struktur setzt jedoch die Kenntnis möglichst praxisrelevanter Kennwerte in der Konstruktion, Berechnung sowie Fertigungsplanung voraus. Vor allem durch den zunehmenden Wunsch nach weiterer Ausschöpfung von Leichtbaupotentialen steigt die Bedeutung einer genaueren Kenntnis der Beanspruchungen und Beanspruchbarkeiten von kritischen Stellen in Konstruktionen. Beim Punktschweißkleben quasistatisch, zyklisch oder stoßartig belasteter Komponenten kann der Forderung nach besserer Ausnutzung der zu verbindenden Werkstoffe mittels qualifizierter Auswahl der Klebstoffe und der Optimierung der Schweißparameter besser entsprochen werden, was gerade den kleinen und mittelständischen Unternehmen zu Gute kommt und den Wirtschaftsstandort Deutschland stärkt.

Die Ergebnisse des Vorhabens können also dazu führen, dass bereits der Konstrukteur durch Kenntnis der Möglichkeiten und Verfahrensgrenzen Zusatzkosten vermeidet.

Dies führt zu Kosteneinsparungen, die die heimische Industrie stärken wird.

Unter Anwendung der Ergebnisse des Vorhabens können die kmU direkt durch Minimierung des Ausschusses und Optimierung der Produktqualität Wettbewerbsvorteile erzielen.

5. Beabsichtigter Transfer der angestrebten Forschungsergebnisse

Im Verlauf der Projektlaufzeit werden die Ergebnisse regelmäßig dem PBA, dem FA4 sowie interessierten Arbeitsgruppen der AG V3 vorgestellt und dort diskutiert.

Auf Basis der Ergebnisse wird ein Merkblattentwurf erstellt, der innerhalb der DVS-Arbeitsgruppen der AGV3 zu einem DVS-Merkblatt ausgearbeitet wird.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden im Rahmen von Beiträgen in den Publikationen des DVS (Schweißen und Schneiden, Praktiker) veröffentlicht sowie auf Fachtagungen und Gremien des DVS, z.B. dem „Treffpunkt Widerstandsschweißen“ sowie dem „FA 4/AG V3-Gemeinschaftskolloquium“, präsentiert.

In der SLV-Duisburg werden Vorträge bzw. Unterrichtseinheiten in verschiedenen Lehrgängen zum Widerstandsschweißen, wie z.B. „Fachmann für das Widerstandsschweißen“, „Widerstandsschweißen von Aluminium“, „Erfahrungsaustausch Widerstandsschweißen“ etc. zur Verbreitung der Ergebnisse eingeplant.

Weiterhin fließen die gewonnenen Kenntnisse direkt in die Beratungstätigkeit der SLV-Duisburg ein, so dass ein direkter Transfer in die kmU gegeben ist.

6. Durchführende Forschungsstelle

Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt

SLV Duisburg NL der GSI mbH

Bismarckstraße 85

47057 Duisburg

Tel. 0203/3781-0

Forschungsstellenleiter: Dr.-Ing. Steffen Keitel

Projektleiter: Dr.-Ing. Reinhard Winkler

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Stefan Schreiber

Duisburg, 28.02.2009

Ort, Datum

Unterschrift des Leiters und Stempelabdruck
der Forschungsstelle

7. Literaturverzeichnis

- [1] DVS 2932, Teil 1
Widerstandspunkt- und –rollennahtschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen von 0,35 bis 3,5 mm Einzeldicke – Schweißbeignung
Juli 1985
- [2] DVS 2932, Teil 2 (in Vorbereitung)
Widerstandspunkt- und –rollennahtschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen von 0,35 bis 3,5 mm Einzeldicke – Konstruktion und Berechnung
-In Vorbereitung !-
- [3] DVS 2932, Teil 3
Widerstandspunkt- und –rollennahtschweißen von Aluminium und Aluminiumlegierungen von 0,35 bis 3,5 mm Einzeldicke – Vorbereitung und Durchführung des Schweißens
April 1986
- [4] DVS 2902, Teil 3
Widerstandspunktschweißen von Stählen bis 3 mm Einzeldicke – Konstruktion und Berechnung
Februar 1991
- [5] Mallory & Co
Resistance Welding Data Book
4th edition , 1951
- [6] Brunst / Fahrenbach
Widerstandsschweißen
Springer-Verlag 1962
- [7] DIN 44753:1966 (zurückgezogen, bislang kein adäquater endgültiger Ersatz)
Elektrische Punkt-, Buckel und Nahtschweißmaschinen sowie Punkt- und Nahtschweißgeräte
- [8] Welding Handbook - Section 2
American Welding Society 1964
- [9] Pfeifer, Lorenz
Fachkunde des Widerstandsschweißens
Girardet 1969
- [10] Hüttner, Heinz
Kalorimetrische Messungen beim Widerstandspunktschweißen
ZIS-Mitteilungen, Heft 10/69
- [11] Singh, S.
Beitrag zur Verbesserung und Sicherung des Tragverhaltens von Widerstandspunktschweißverbindungen an Aluminium- und Stahlwerkstoffen durch technologische Maßnahmen und durch Entwicklung einer Regeleinrichtung; Dissertation
1977, RWTH Aachen

- [12] Stepanski, H.
Punktschweißkleben von Karosserieblechen aus Stahl und Aluminium
Dissertation 1980, RWTH Aachen
- [13] Rupp, R., Lee S.G.
Production weldbonding on the A-10 aircraft
Advanced Aluminium and Titanium Structures – Conference Washington DC, Nov. 1981
- [14] Leuschen, B.
Beitrag zum Tragverhalten von Aluminium- und Aluminium/Stahl-
Widerstandspunktschweißverbindungen bei verschiedenartiger Beanspruchung;
Dissertation 1984, RWTH Aachen
- [15] Gruber, Franz
Widerstandsschweißtechnik
Die Bibliothek der Technik, Band 147; 1997; ISBN 3-478-93171-1
- [16] Resistance Welding Manual
RWMA, 4th Edition, 2003
- [17] Hahn, O., Özdem, K. Oeter, M.
Experimentelle Bestimmung und rechnerische Vorhersage des Tragverhaltens
punktgeschweißter Bauteile aus Stahlblechverbindungen unter Crashbelastung mit Hilfe
von Ingenieurkonzepten, AVIF Abschlussbericht FAT A172, Laboratorium für Werkstoff-
und Fügetechnik 2004
- [18] Hahn, O., Özdem, K., Herold, H.; Kletsko, I.
Kennwerte von lasergeschweißten Stahlbauteilen unter Crashbelastung, AiF-
Zwischenbericht, LWF Paderborn und IFST Magdeburg, 2004
- [19] Stieglbauer, Walter
Deltaspot – auf den Punkt gebracht...
aus: Seminar „Erfahrungsaustausch Widerstandsschweißen“, SLV-Duisburg 2006
- [20] AiF 14668N, EFB Abschlussbericht LWF Paderborn, 2008
Optimierung des Hybridfügeverfahrens Blindnietkleben zum Verbinden von
Feinblechwerkstoffen
- [21] FOSTA P704, IGF 14476N Abschlussbericht LWF Paderborn/SLV-München, 2008
Untersuchungen zum Punktschweißkleben von höherfesten Stahlfeinblechen mit neuen
warm- und kalthärtenden Klebstoffsystemen
- [22] Richtwerttabelle der Fa. Schlatter
- [23] Entwicklung eines geeigneten Elektrodenbearbeitungsverfahrens für das
Widerstandspunktschweißen von Aluminium
AiF-Vorhaben, SLV-München
- [24] Untersuchungen im Rahmen des „4+1“-Projektes, nicht öffentlich verfügbar!
- [25] aus internen Untersuchungen sowie Widerstandsschweißlehrgängen der SLV-Duisburg
- [26] Informationen der Fa. AEG
- [27] Informationen der Fa. BOSCH

- [28] Informationen der Fa. ELMATECH (www.elmatech.de)
- [29] DOW-Chemicals (www.dow.com)
- [30] SIKA (www.sika.de)
- [31] 3M (www.mmm.com)
- [32] Informationen der Fa. Alusuisse