

Dieses Merkblatt wurde in Zusammenarbeit zwischen der Europäischen Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. und dem DVS- Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. erstellt.

**Inhalt:**

- 1 Zweck und Geltungsbereich
- 2 Grundlagen
  - 2.1 Begriffe und Definitionen
    - 2.1.1 Mischbauweise
    - 2.1.2 Werkstoffe und Composite-Halbzeuge
  - 2.2 Werkstoffe
    - 2.2.1 Fügepartnerwerkstoffe
    - 2.2.2 Allgemeines zu Faser-Kunststoff-Verbunden
    - 2.2.3 Qualitätssicherung Kunststoffe
    - 2.2.4 Werkstoffe und Beschichtungen mechanischer Fügeelemente
    - 2.2.5 Klebstoffe
  - 2.3 Fügeverfahren
    - 2.3.1 Hybridfügen mit Kleben
- 3 Konstruktion
  - 3.1 Grundlagen und fügegerechte Konstruktionsmerkmale
    - 3.1.1 Kräfteinleitung
    - 3.1.2 Beispiele zur belastungsgerechten Konstruktion von Niet- bzw. Schraubverbindungen
  - 3.2 Maßnahmen zur Beherrschung der Wärmeausdehnungseffekte
    - 3.2.1 Fügepunktabstand, Dehnfugen
  - 3.3 Konstruktive Hinweise zu Einflüssen auf das Korrosionsverhalten
    - 3.3.1 Allgemeines
    - 3.3.2 Maßnahmen zur Verminderung von Korrosion
  - 3.4 Verbindungseigenschaften
  - 3.5 Anwendungsbeispiele für Mischbauweisen
- 4 Fertigung
  - 4.1 Sicherheitshinweise
  - 4.2 Vorbehandlung
  - 4.3 Nachfolgende Bearbeitungsschritte
  - 4.4 Fehler beim Fügen von Mischbauweisen
  - 4.5 Qualitätssicherung
- 5 Bewertung der Eignung unterschiedlicher Fügeverfahren zur Erstellung von Mischbaustrukturen mit Kunststoffen
  - 5.1 Nieten
    - 5.1.1 Stanznieten mit Halbhohl Niet
    - 5.1.2 Stanznieten mit Vollniet
    - 5.1.3 Blindnieten, Vollnieten, Hohl nieten
    - 5.1.4 Clinchnieten
  - 5.2 Direktverschrauben
  - 5.3 Clinchen
  - 5.4 Fügen mit Schließringbolzen
  - 5.5 Bolzensetzen
  - 5.6 Hybridfügen mit Kleben
  - 5.7 Entscheidungsmatrix Fügeverfahren
- 6 Nacharbeit / Reparatur
- 7 Schrifttum
  - 7.1 Regelwerk
    - 7.1.1 Normen
    - 7.1.2 DVS/EFB Merkblätter
    - 7.1.3 VDI-Richtlinien
  - 7.2 Literatur

**1 Zweck und Geltungsbereich**

Dieses Merkblatt soll den in Konstruktion und Fertigung tätigen Ingenieuren und Technikern Hinweise auf Besonderheiten von Mischbaustrukturen (z. B. unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten und elektrochemische Potentiale der Fügepartnerwerkstoffe) in der industriellen Praxis geben.

Der Geltungsbereich fokussiert auf mechanische Fügen und Hybridfügen von artverschiedenen metallischen und nichtmetallischen Blechen, Profilen und Gestalten, wobei die Mindesthalbzeugdicke 0,2 mm beträgt und meist ein Fügepartnerwerkstoff metallisch ist.

Betrachtet werden Fügeverfahren, die eine Vorlochoperation erfordern, wie das Verbinden von Fügepartnern mittels Blindniet und Schließringbolzen, sowie die vorlochfreien Fügeverfahren Stanznieten, Clinchen, Clinchnieten, Direktverschrauben, Bolzensetzen und Kleben. Die Verbindungen können punktförmig, linienförmig oder flächig ausgeführt werden.

Beinhaltet werden in diesem Merkblatt die Vorteile der Mischbauweise (Gewichtersparnis, Dämmung, Dämpfung, usw.) und die daraus folgende konstruktive Auslegung von Bauteilen.

**2 Grundlagen**

**2.1 Begriffe und Definitionen**

**2.1.1 Mischbauweise**

Mischbauweise im Sinne dieses Merkblatts, beschreibt das mechanische Fügen artverschiedener Fügepartnerwerkstoffe. Die Hauptmotivation der Mischbauweise besteht darin, belastungsgerechte und energieeffiziente Bauteile insbesondere unter wirtschaftlichen Aspekten zu generieren. Dabei werden materialspezifische Eigenschaften sinnvoll miteinander kombiniert, so dass hinsichtlich der Gesamtkonstruktion Synergieeffekte erzielt werden (z. B. Crashabsorber aus Aluminiumwerkstoffen, Fahrgastzelle aus höchstfesten Stählen bzw. CFK). Der Begriff „Mischbauweise“ ist dabei nicht mit dem Begriff „Hybridfügen“ zu verwechseln, welcher die Kombination von unterschiedlichen Fügeverfahren (z. B. mechanisches Fügen in Kombination mit Kleben) beinhaltet. [15]

**2.1.2 Werkstoffe und Composite-Halbzeuge**

Im Sinne des Fügens artverschiedener Werkstoffe können durchaus unterschiedliche Typen (z. B. Legierungen, Halbzeuge) und Beschichtungen eines Werkstoffs als artverschieden betrachtet werden. Für dieses Merkblatt wird die in Tabelle 1 dargestellte Unterteilung der Werkstoffe vorgenommen. Als Unterscheidungsmerkmal werden jeweils charakteristische, für die Fügeignung relevante Eigenschaften gewählt.

Composite-Halbzeuge z. B. Metall-Kunststoff-Verbundplatten, kunststoffspritzte bzw. eingegossene Komponenten, Sandwichstrukturen oder beschichtete Halbzeuge werden in diesem Merkblatt nicht speziell berücksichtigt.

**2.2 Werkstoffe**

**2.2.1 Fügepartnerwerkstoffe**

Konsequenter Leichtbau erfordert, gemäß dem Leichtbau-Prinzip

Die Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Mechanisches Fügen“ des Gemeinschaftsausschuss von DVS und EFB

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers



„Der richtige Werkstoff an der richtigen Stelle!“, den Einsatz verschiedener Werkstoffe innerhalb eines Gesamtsystems. Je nach spezifischer Anforderung kommen dafür folgende Leichtbauwerkstoffe in Betracht: Stahl, Aluminium-, Magnesium- und Titanlegierungen sowie Kunststoffe und Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV).

In diesem Merkblatt stehen vor allem dünnwandige und flächenförmige Halbzeuge der genannten Werkstoffe als Fügepartner im Mittelpunkt der Beschreibungen, da diese ein besonders hohes Leichtbaupotential bieten.

**Tabelle 1. Werkstoffe und Halbzeuge**

Aluminium	Blech	Guss z. B. Druckguss	Strangpressprofile
Stahl	Blech	Stahlguss	Schmiedeteile
Magnesium	Blech	Guss z. B. Druckguss	Strangpressprofil
Kunststoff	Unverstärkte Thermoplaste und diskontinuierlich faserverstärkte Thermoplaste und Duroplaste	Thermoplaste endlosfaserverstärkt	Duroplaste endlosfaserverstärkt

**2.2.1.1 Werkstoffspezifische Hinweise**

Fügepartnerwerkstoffe unterliegen je nach Werkstoffart unterschiedlichen Eigenschaftsänderungen durch äußere Einflüsse, die vielfach zeitabhängig sind. Diese können sich sowohl auf die Herstellbarkeit einer Verbindung auswirken als auch im späteren Betrieb das Tragverhalten und das Versagensverhalten der Verbindungen signifikant beeinflussen.

Im Folgenden wird auf ausgewählte Punkte eingegangen, die im Sinne dieses Merkblattes von Relevanz sind. Dabei werden die metallischen Werkstoffe und die Kunststoffe getrennt voneinander betrachtet.

**Alterung**

Der Begriff der Alterung und Beständigkeit wird nach DIN 50035 [3] definiert: "Gesamtheit aller im Laufe der Zeit in einem Material irreversibel ablaufenden chemischen und physikalischen Vorgänge."

Insbesondere bei kombinierter Fügechnik (z. B. Stanznietkleben) muss die Alterung berücksichtigt werden.

Insbesondere die aushärtbaren Aluminiumlegierungen unterliegen einer zeitabhängigen Alterung, die sich auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten auswirkt. Somit muss bei der Verarbeitung, abhängig von der Lagerungszeit der Werkstoffe, ein Einfluss durch die niedrigere Duktilität berücksichtigt werden [22].

Bei Stahlwerkstoffen ist Alterung beim mechanischen Fügen von untergeordneter Bedeutung. Jedoch ist bei höchstfesten Stählen ( $R_m > 1000 \text{ MPa}$ ) die Gefahr der Wasserstoffversprödung zu beachten.

Für Kunststoffe sind verschiedene Alterungsmechanismen bekannt, die im Werkstoff Veränderungen der Viskosität, Dehnbarkeit, Schlag- und Zugfestigkeit sowie Spannungsrissbildung bewirken [19, 20, 21, 25]. Diese sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

**Tabelle 2. Alterung von Kunststoffen**

Ursache	Alterungsmechanismus	Schutz
Mechanische Belastung	- Zeitabhängiges Abgleiten von Molekülketten aufeinander (Kriechen, Beschleunigung durch Temperatur und Feuchtigkeit) - Keine chemische Reaktion	Krafteinleitung und Faserorientierung beachten
Thermische Belastung	- Verflüchtigung niedermolekularer Bestandteile - Kettenbrüche, Nachvernetzungreaktionen oder beschleunigter chemischer Abbau durch Oxidation - chemische Veränderungen	Stabilisatoren oder Trennschichten zum Schutz gegen die Einwirkung von Wärme, Sonnenlicht (UV-Strahlung) und Luftsauerstoff
Energiereiche Strahlung	- Energiereiche Strahlung einschließlich Sonnenlicht führt zur Zerschneidung der intramolekularen Bindungen und damit zur Versprödung des Materials	
Einwirkung von Sauerstoff	- Bei thermooxidativem Abbau entstehen unter Anwesenheit von Sauerstoff Primärradikale durch Einwirkung von Wärme und evtl. gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung - Reaktionsbeschleunigung durch Temperaturerhöhung - Metallische Verunreinigungen oder Zusatzstoffe können den thermooxidativen Abbau katalytisch beschleunigen	
Hydrolyse	- Umkehr der Polykondensation führt zu Abbau der Polymerketten. Daraus resultiert eine Reduktion der Festigkeit, Bruchdehnung und Zähigkeit - Verursacht durch Heiß-Feucht-Bedingungen	Stabilisatoren

**Kaltverfestigung**

Grundlegend ist bei allen metallischen Werkstoffen die Kaltverfestigung zu berücksichtigen, die durch plastische Verformung hervorgerufen wird.

Diese kann in vorgeschalteten Prozessen oder durch einen mechanischen Fügeprozess eingebracht werden. Sie kann sich nachteilig auf die Ermüdungsfestigkeit einer Struktur auswirken [23].