

Kleben auf einschichtig endlackierten UV-stabilen Oberflächen im Rohbau mobiler Arbeitsmaschinen (MonoBond)

Ein Leitfaden zur Umsetzung

Rolf Nothhelfer-Richter¹⁾, Dalal Estephan²⁾, Stefan Böhm²⁾

1) Fraunhofer IPA, Abteilung Beschichtungssystem- und Lackiertechnik
Allmandring 37, 70569 Stuttgart

2) Universität Kassel, Fachgebiet Trennende und Fügende Fertigungsverfahren
Kurt-Wolters-Str. 3, 34125 Kassel



Arbeitsgemeinschaft industrieller
Forschungsvereinigungen
„Otto von Guericke“ e.V.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Inhaltsverzeichnis:

1	Einführung.....	3
2	Leitfaden.....	5
2.1	Vorüberlegungen	5
2.2	Prüfungen für die Eignung der Beschichtung.....	5
2.2.1	Kondenswassertest / Wasserlagerung.....	6
2.2.2	Salzsprühtest	6
2.2.3	VDA Korrosionswechseltest.....	7
2.3	Prüfungen zur Verbundfestigkeit.....	7
2.4	Hinweise zur konstruktiven Gestaltung von Klebungen	8
2.4.1	Mechanische Belastungs- und Beanspruchungsarten.....	8
2.4.2	Vergrößerung der Klebfläche.....	9
2.5	Überführung einer Schweißverbindung in eine Klebverbindung	10

Das IGF-Vorhaben 19463N „Kleben auf einschichtig endlackierten UV-stabilen Oberflächen im Rohbau mobiler Arbeitsmaschinen (MonoBond)“ der Forschungsvereinigungen „Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e.V.“ und „FOSTA – Forschungsvereinigung Stahlanwendung 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.

Der Schlussbericht kann über die Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e.V. bezogen werden (<https://www.fpl-ev.de>).

1 Einführung

Im Bereich der Arbeits-, Bau- und Landmaschinen liegt eine besondere Situation vor, da zum einen der Werterhalt teurer Bau- und Landmaschinen maßgeblich vom Korrosionsschutz abhängt. Der am häufigsten eingesetzte Prozess ist die Sprühlackierung, dabei gibt es typische Fehlstellen, wie unzureichende Benetzung/Bedeckung von Ecken, Kanten und Hohlräumen beim Sprühlackauftrag, die einen mangelhaften Korrosionsschutz zur Folge haben (Abbildung 1). Der zunächst naheliegende Ansatz, diesem Problem durch Vermeidung von problematischen geometrischen Objekt-Strukturen zu begegnen, ist aus technischer Sicht nicht praktikabel, da sie bspw. zur Versteifung der Konstruktion unabdingbar sind.



Abbildung 1: Fehlstellen in der Oberflächenbeschichtung, die zu einer raschen Korrosion führen (links); Versuche zu den Grenzen des eingesetzten Lackierverfahrens (Mitte, rechts)

Mit der Elektrotauchlackierung kann generell gegenüber anderen Beschichtungsverfahren bezüglich des Korrosionsschutzes eine deutliche Verbesserung erzielt werden. Dies ist zum größten Teil auf die gleichmäßige Schichtdicke, die gute Hohlraum- und Kantenbeschichtung in Verbindung mit einer effektiven Vorbehandlung, wie der Zinkphosphatierung, zurückzuführen. Aus der Vergangenheit ist als Erfahrungswert bekannt, dass die Korrosion meist von innen heraus beginnt, was die Wichtigkeit der Hohlraumbeschichtung unterstreicht. Folglich ist es erstrebenswert, die vorher genannten guten Eigenschaften der Elektrotauchlackierung für einen größeren Anwendungsbereich zu öffnen.

Die Anwendung von KTL bei Landmaschinen und mobilen Arbeitsgeräten ist noch wenig verbreitet. Ursache dafür sind die geringen Stückzahlen und die Größe der Landmaschinen (Abbildung 2), aus deren Abmessungen deutlich wird, dass eine entsprechende Anlage zur Elektrotauchlackierung allein schon durch die Größe des Tauchbeckens und dafür benötigte Lackmenge mit sehr hohen Investitions- und Betriebskosten verbunden ist. Daneben ist ein großes Tauchbecken zu sehen, in dem Ackergeräte getaucht werden können.



Abbildung 2: Größe der Landmaschinen (Quelle: Grimme) und Dimensionen eines Tauchlackierbeckens (Quelle: Lemken)

Diesem Problem soll durch eine Veränderung der Prozesskette begegnet werden, welche eine Reduzierung der Anlagengröße und folglich auch der Investitionskosten nach sich zieht. So ist vorgesehen, dass die Einzelteile der Gesamtkonstruktion erst elektrotauchlackiert und anschließend gefügt werden (Abbildung 3). Dadurch werden kleinere Teile lackiert und folglich die erforderliche, investitionsintensive Anlagengröße stark reduziert.



Abbildung 3: Anpassung der Prozesskette

Die Grundvoraussetzung ist, um den Korrosionsschutz sicherzustellen, der vollständige Erhalt der Oberflächenbeschichtung/-versiegelung. D.h., um eine Beschädigung der Lackierung beim anschließenden Zusammenbau der Teile zu verhindern, muss die Fügetechnik angepasst werden. Eine Lösung stellt das Kleben dar. Diese Umstellung der Prozesskette ist nicht trivial und erfordert primär, noch vor der konstruktiven Gestaltung der Bauteile, eine Untersuchung der eingesetzten Materialien und Materialkombinationen in Hinblick auf die erreichbaren Verbundeigenschaften.

Acrylat-KTL sind als einschichtige Endlackierungen für klebtechnische einwandfreie Verbindungen prinzipiell geeignet. Aufgrund von in Einzelfällen festgestellter Mängel empfehlen wir dem Anwender, vor dem Einsatz dieser Technologie für den konkreten Anwendungsfall Eignungs- und Freigabeproofungen durchzuführen.

2 Leitfaden

Das Fügen von beschichteten Bauteilen muss reiflich überlegt sein. Am besten ist es, die wichtigsten Anforderungen schon in der Planungsphase zu kennen und entsprechende Maßnahme vorzusehen. Einige Fragestellungen dazu sollen in diesem Leitfaden behandelt werden.

2.1 Vorüberlegungen

Die ersten Überlegungen zur Klebverbindung betreffen die zu übertragenden Kräfte und die notwendige Steifigkeit. Dabei müssen auch Lastfälle bei Montage bzw. Reparaturen berücksichtigt werden, z.B. Anhängen von Baugruppen an Kräne. Aus den Lastanforderungen ergeben sich die Auslegung der Geometrie der Klebverbindungen (mehr dazu in Kapitel 2.4) und die Auswahl des Klebstoffs (flexibel / steif). Außerdem müssen Fragen zur Erreichbarkeit von Hohlräumen konstruktiv gelöst werden, damit das KTL alle zu beschichtenden Flächen erreicht und nach dem Austauchen wieder abfließen kann.

Für die Beschichtung der Werkstücke stellt sich zuerst die Frage der Materialauswahl (z.B. Stahl, Aluminium), woraus die Auswahl der Reinigungs- und Vorbehandlungsmethoden folgt. Bei diesen Methoden sind auch prozesstechnische und umweltrelevante Fragestellungen zu beantworten, z.B. wieviel Stufen hat der Prozess, welche Temperaturen brauchen diese, welchen Aufwand muss man beim Betrieb und der Entsorgung von Abfällen treiben. Die Baugröße der Komponenten bestimmt dann die notwendige Größe der Bäder und der KTL-Beschichtungsanlage sowie die Trocknergröße und die Durchlaufzeit.

2.2 Prüfungen für die Eignung der Beschichtung

Dies Projekt hat gezeigt, dass Acrylat-KTL für den Einsatz bei Landmaschinen und in verwandten Gebieten prinzipiell geeignet sind. Es ist aber auch herausgekommen, dass nicht jede beliebige Kombination gute Ergebnisse zeigt. Deswegen empfehlen wir, für den jeweiligen Einsatz Freigabeproofungen vorzusehen. Die wichtigsten werden hier aufgeführt. Sie können auch als Belastung für Verklebungen (z.B. Zugscherproben, Raupenschältest) herangezogen werden.

2.2.1 Kondenswassertest / Wasserlagerung

Dieser Test zeigt durch Blasenbildung und/oder mangelnde Haftfestigkeit (Abbildung 4) im durchfeuchteten und im zurückgetrockneten Zustand Mängel in der Haftfestigkeit der Beschichtung auf dem Substrat auf. Wir empfehlen eine Testdauer von mindestens 720 h.

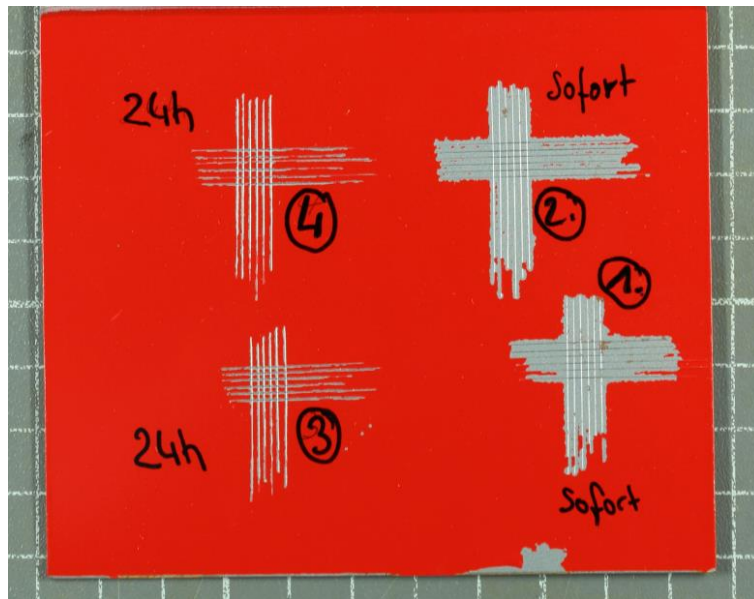


Abbildung 4: Haftfestigkeit von KTL nach 74 h Wasserlagerung sofort und nach Regeneration

2.2.2 Salzsprühtest

Der Salzsprühtest (SST) zeigt Defekte in der Beschichtung durch Blasen und Flächenrost an (eher selten bei KTL). Die Unterwanderung / Delamination am Ritz gibt Auskunft über die Beständigkeit der Beschichtung bei Verletzungen (Abbildung 5). Häufig stehen dazu Angaben im technischen Datenblatt der Lackhersteller. Da diese Daten stark von der verwendeten Substratvorbehandlung abhängen, werden trotzdem eigene Freigabeproofungen empfohlen. Eine Testdauer von 480 h erachten wir als ausreichend.

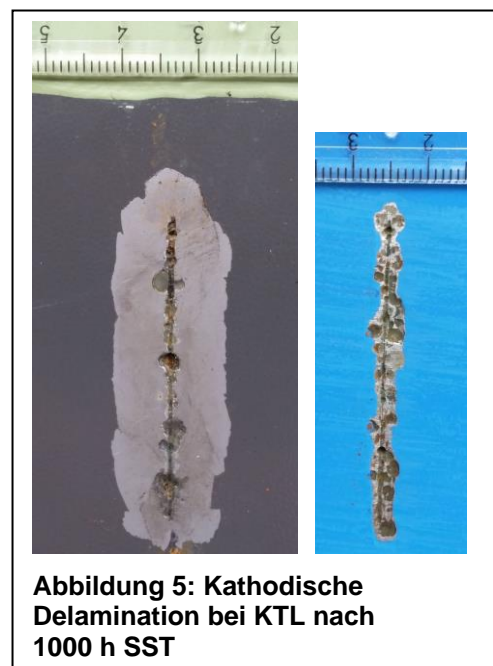


Abbildung 5: Kathodische Delamination bei KTL nach 1000 h SST

2.2.3 VDA Korrosionswechseltest

Der Korrosionswechseltest nach VDA 233-102 zeigt praxisnahe korrosive Erscheinungen (Abbildung 6). Deshalb empfehlen wir diesen Test ebenfalls für eigene Freigabeprüfungen.

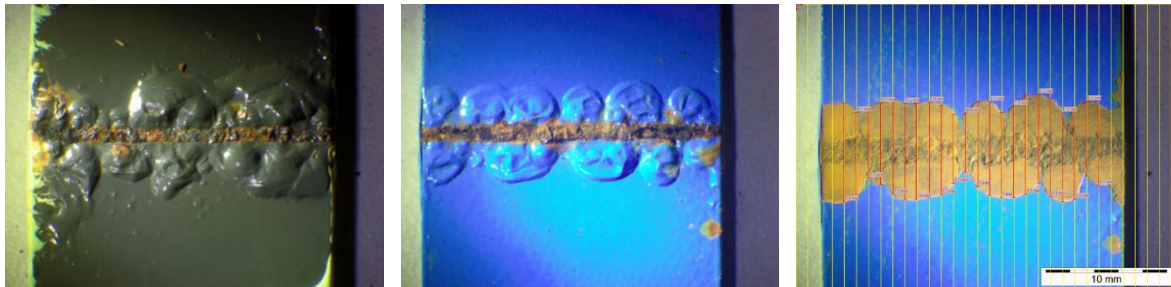


Abbildung 6: Unterwanderung am Ritz nach 6 Zyklen VDA 233-102

2.3 Prüfungen zur Verbundfestigkeit

Für die Prüfung der Verbundfestigkeit sind die Zugscherprüfung und für flexible Klebstoffe der Raupenschältest wichtige Tests, um die Kompatibilität des Klebstoffs mit der Beschichtung zu prüfen. Nachdem belastete Proben teilweise deutlich geringere Verbundhaftung als unbelastete Proben gezeigt haben, sehen wir die Belastung durch Wasser (Kondenswasser / Wasserlagerung) sowie die Unterwanderung im Salzsprühtest bzw. VDA-Korrosionswechseltest bei Verletzungen (Ritz) nahe der Fügestelle mit anschließender Verbundprüfung als notwendig für die Beurteilung der Verbundhaftung an. Dies Thema ist noch wenig erforscht, daher ist die Angabe von Zuschlagfaktoren bei der Auslegung noch nicht möglich.

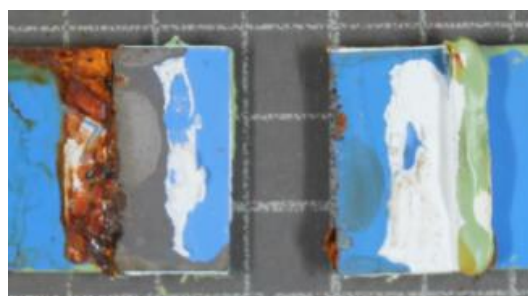


Abbildung 7: Bruchbild und korrosiv unterwanderte Bereiche nach 880 h SST und Ritz an der Fügefläche

2.4 Hinweise zur konstruktiven Gestaltung von Klebungen

Neben der Beanspruchung ist die geometrische Gestaltung eine grundsätzliche Voraussetzung zur Auslegung klebgerechter Konstruktionen. Eine falsche konstruktive Auslegung einer Klebung kann zum frühzeitigen Versagen dieser führen. Eine Klebung muss Kräfte übertragen und die dadurch auftretenden Spannungen auch über einen längeren Zeitraum ertragen. Die Kraftübertragung erfolgt hierbei über die Klebfläche, daher ist eine ausreichende Fläche für die konstruktive Auslegung entscheidend. Weiterhin gilt es, Spannungsspitzen innerhalb der Klebung bei mechanischer Beanspruchung zu vermeiden.

2.4.1 Mechanische Belastungs- und Beanspruchungsarten

Belastungen, z.B. äußere Kräfte, die an Bauteilen angreifen, führen lokal zu Beanspruchungen. Diese äußern sich in Spannungen und Verformungen, die im Material wirken und bei Überschreiten der Materialbeanspruchbarkeit zum Bruch führen. Daher muss bei der Auslegung einer Klebung die Beanspruchbarkeit eines Bauteils größer als die Beanspruchung sein. Für genaue Berechnungen müssen Materialkennwerte bekannt sein.

Bauteilbelastungen (Abbildung 8) auf Zug, Druck oder Torsion, welche eine Zug- oder Scherbeanspruchung der Klebung hervorrufen, sind zu bevorzugen. Die Klebung wird dabei über die gesamte Klebfläche beansprucht. Belastungen, die den Klebstoff auf Schälung oder Spaltung beanspruchen, sind zu vermeiden. Die punktuelle Belastung der Klebung führt in dem Fall, initiiert durch eine Rissentstehung und -ausbreitung, zum vorzeitigen Versagen der Klebung.

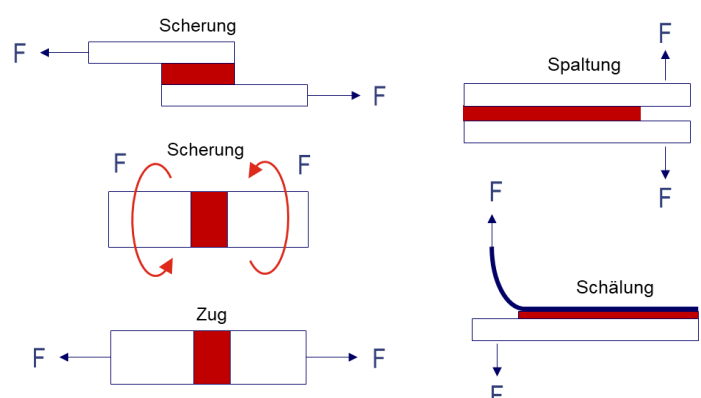


Abbildung 8 : Belastung und Beanspruchung geklebter Bauteile

2.4.2 Vergrößerung der Klebfläche

2.4.2.1 Flachmaterial

Bei einer stirnseitigen Stumpfstoßverklebung von Flachmaterial ist die verfügbare Klebfläche oftmals gering. Eine Vergrößerung, siehe Abbildung 9, der Klebfläche kann durch eine fingerförmige Einschnidung erfolgen, ist aber

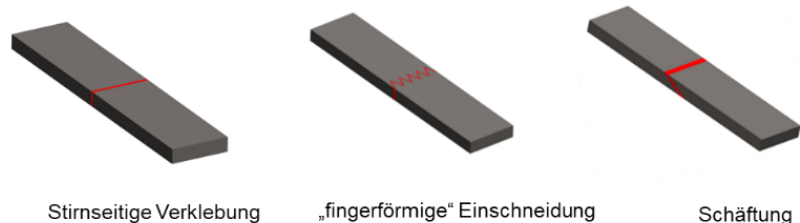


Abbildung 9: Vergrößerung der Fügeflächen bei Stumpfstoßverklebungen

relativ aufwendig in der Herstellung. Besser geeignet ist eine Schäftung. Die Fügeteile werden so angefast, dass die Klebfläche in der Kraftlinie liegt.

2.4.2.2 Rundmaterial

Die Problematik der geringen Klebfläche durch eine stirnseitige Verklebung besteht auch bei Rundmaterialien. Durch eine Muffe oder einen Zapfen kann eine Vergrößerung der Klebfläche, wie in Abbildung 10, erfolgen. Allerdings sollte bei Anwendung eines Zapfens eine zusätzliche Bohrung zur Entlüftung in die Sackbohrung eingebracht werden.

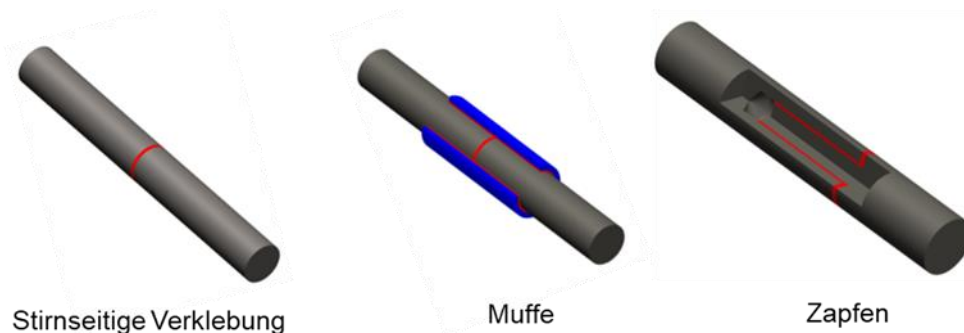


Abbildung 10: Vergrößerung der Fügefläche bei Rundmaterial

2.4.2.3 Welle-Nabe-Verbindung

Auch beim Kleben von Scheiben oder Ringen auf Wellen besteht das Problem der geringen Klebfläche. Eine Vergrößerung der zu verklebenden Fläche kann durch eine Nabe oder durch zusätzliche Armierungen, wie in Abbildung 11, realisiert werden.

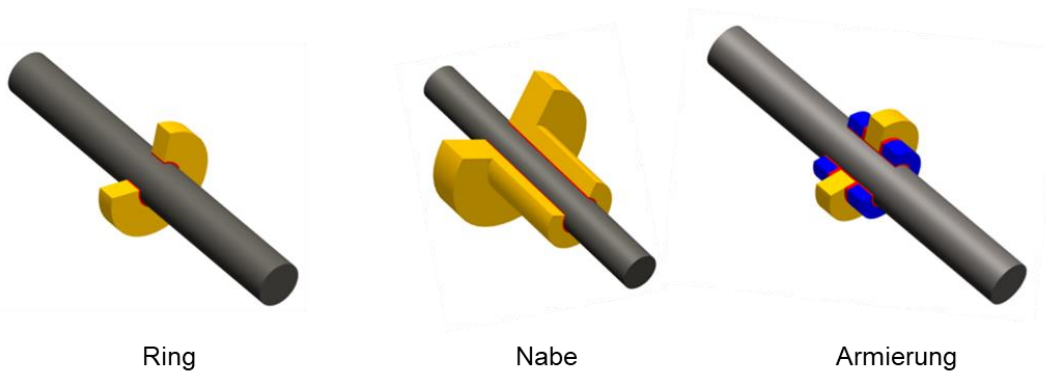


Abbildung 11: Vergrößerung der Fügeflächen bei Welle-Nabe-Verbindungen

2.5 Überführung einer Schweißverbindung in eine Klebverbindung

Die folgende Abbildung 12 stellt ein praxisrelevantes Beispiel dar, wie der Übertrag einer Schweißkonstruktion in eine klebgerechte Konstruktion gelingen kann. Dabei sind verschiedene Varianten für eine Klebung denkbar, die sich allerdings auch im benötigten Materialeinsatz unterscheiden und somit auch einen Einfluss auf Materialkosten und das Bauteilgewicht haben. Der Vorteil einer Tauchlackierung der Einzelteile vor dem Fügen wird hierbei besonders durch die Hohlraumgeometrie deutlich. Konventionelle Sprühlackierungen bieten keinen ausreichenden Korrosionsschutz des Hohlraums bei einem vorangestellten Fügeprozess.

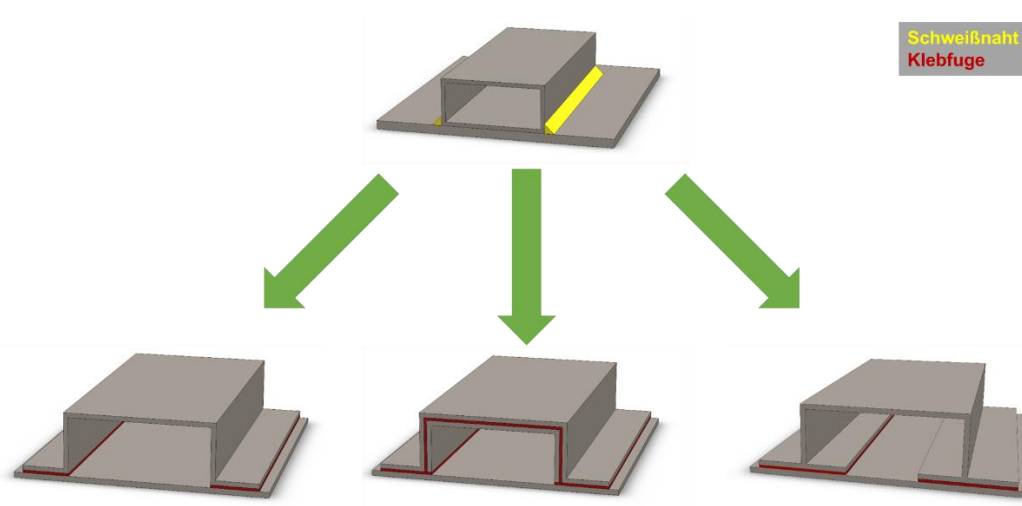


Abbildung 12: Möglichkeiten der Überführung einer Schweißverbindung in eine Klebverbindung an einer Bauteilgeometrie aus dem Landmaschinenbereich