

## **Kleben fängt vor dem Kleben an**

### **Bedeutung und Akzeptanz der Klebtechnik**

**Prof. Dr. Christian Dietrich, Dr. Hartwig Lohse**

Klebtechnische Anwendungen sind mit ihren vielfältigen Ausprägungen aus der Konstruktion nicht wegzudenken. So reicht die Applikation von der Mikroelektronik mit Klebstoffmengen im Bereich von wenigen Milligramm über medizinische Anwendungen, die uns beispielsweise in der Zahnmedizin alltäglich begegnen können, bis zu Anwendungen in der Energietechnik, wo bei der Verklebung der Rotorblätter für Windkraftanlagen mehrere Hundert Kilogramm Klebstoff pro Teil benötigt werden. Auch der moderne Automobilbau wäre ohne Kleben nicht möglich. Insbesondere der auf einer Kombination von verschiedenen Werkstoffen beruhende Leichtbau und somit das Erfüllen der strengen Abgasnormen bei gleichzeitiger Beibehaltung des Sicherheits- und Komfortstandards könnte ohne Klebstoffe nicht realisiert werden.

Bei aller Vielfalt und offensichtlichem Anwendungsnutzen begegnet den Autoren dennoch häufig der Satz „Können wir Kleben oder muss es halten“, was einer großen Skepsis und vielleicht auch negativen Erfahrungen mit dieser Technologie entspringt. Dies spiegelt auch die vom Naturwissenschaftlichen und Medizinischen Institut (NMI) der Universität Tübingen erstellte Studie „Sicheres Kleben“ [1] wieder. Eine Umfrage unter Klebstoffherstellern, -anwendern und Anbietern klebtechnischer Ausrüstung hat ergeben, dass die Vorteile der Klebtechnik allgemein bekannt und akzeptiert sind aber auch, dass das Kleben häufig nicht durchgehend geplant und der Klebprozess nicht überall sicher beherrscht wird.

Dieses Empfinden vieler Anwender oder potentieller Anwender der Klebtechnik, zusammen mit den, wenn auch nur in geringer Zahl auftretenden Schadensfällen an geklebten Verbindungen, z.B. dem kürzlich in dieser Zeitschrift beschriebenen Schadensfall an einem geklebten E-Motor [2] deckt sich mit der sicherlich subjektiven Einschätzung der Fachleute, dass mindestens 90 % der Schadensfälle auf Anwendungsfehler und nicht auf fehlerhafte Klebstoffe zurückzuführen sind. Hierin bestand die wesentliche Motivation für die Erstellung der im März 2016 erschienene DIN 2304-1 *Klebtechnik – Qualitätsanforderungen an Klebprozesse – Teil 1: Prozesskette Kleben* [3], die den aktuellen Stand der Technik für die fachgerechte Umsetzung klebtechnischer Prozesse festgelegt.

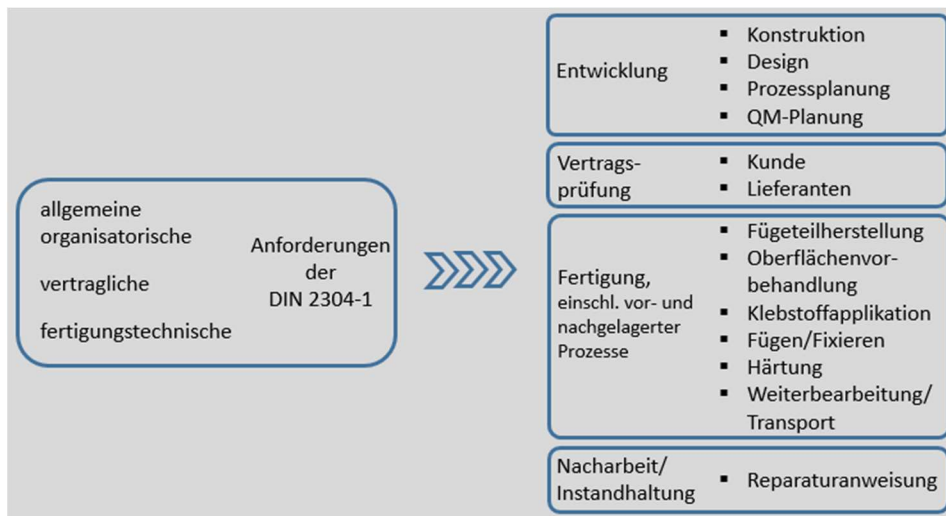
Eine kürzlich in [4] veröffentlichte Umfrage der ISGATECH GmbH unter 120 Fachleuten der Klebtechnik hat bestätigt, dass Kleben im Wesentlichen funktioniert aber die Anwender noch vielfach auf der Suche nach der richtigen Lösung sind und der Wunsch nach zuverlässigen Methoden zur zerstörungsfreien Prüfung groß ist. Dieser Mangel an Möglichkeiten Klebverbindungen vollständig zerstörungsfrei prüfen zu können führt dazu, dass das Fügeverfahren gem. ISO 9001:1994 einen „speziellen Prozess“ darstellt und daraus resultierend besondere Anforderungen an die technische und organisatorische Qualitätssicherung gestellt sind. Genau hier setzt die DIN 2304-1 an, wenn Fehler zerstörungsfrei im Rahmen einer Qualitätsprüfung nicht zu 100 % nachgewiesen werden können, müssen sie vermieden werden! Die ISO 9001 sieht hierfür den „Umweg“ über eine technische und organisatorische Qualitätssicherung vor.

Die bereits erwähnte Umfrage der ISGATECH GmbH [4] hat ergeben, dass knapp 30 % der Befragten Anwender bereits gute Erfahrungen mit dieser Norm gemacht haben aber die Mehrheit auf Probleme bei der Umsetzung gestoßen ist bzw. eine Umsetzung als schwierig erachtet.

Der vorliegende Artikel soll einen Beitrag zur Klärung liefern und insbesondere auf die Notwendigkeit der Beachtung klebtechnischer Aspekte entlang der gesamten Prozesskette, d.h. von der Planung,

einschließlich die der zu verwendenden Materialien bis hin zu einer eventuellen Nacharbeit hinweisen.

Abb. 1: Die DIN 2304-1 legt die grundlegenden Anforderungen an eine qualitätsgerechte Ausführung von Klebverbindungen entlang der gesamten Prozesskette Kleben fest. (Bildquelle KLEBTECHNIK Dr. Hartwig Lohse e.K.)



### Die DIN 2304-1 – eine Hilfe zur gesamtheitlichen Qualitätssicherung beim Kleben

Die schon mehrfach erwähnte DIN 2304-1 ist aus der DVS-Richtlinie 3310 und der schon seit 2006 durch das Eisenbahnbundesamt für alle Klebungen im Schienenfahrzeugbau als Stand der Technik festgelegten Normenreihe DIN 6701 hervorgegangen. Sie konkretisiert für alle Klebungen mit der Hauptfunktion einer Lastübertragung unabhängig

- von den Verformungs- und Festigkeitseigenschaften des Klebstoffs
- vom Verfestigungsmechanismus des verwendeten Klebstoffs
- von der Branche, in der, bzw. für die der geklebte Werkstoffverbund gefertigt wird

die entlang der gesamten Prozesskette, für eine qualitätsgerechte Ausführung die schon mit der DIN EN ISO 9001 sehr allgemein an alle sog. „spezielle Prozesse“ gestellten Anforderungen. Sie richtet sich also in erster Linie an die Anwender von Klebstoffen.

Sie gilt jedoch nicht für solche Klebungen, die bereits durch andere anerkannte und bewährte Regelwerke, Normen, Standards oder Zulassungen geregelt sind.

### Risikobasierter Ansatz

Der DIN 2304-1 liegt der schon in der ISO 9001 geforderte risikobasierte Ansatz zugrunde: Am Anfang der Planung eines klebtechnischen Prozesses steht die Einstufung der Klebverbindung in eine der vier Sicherheitsklassen S1 – S4. Die Einstufung im Sinne der Norm erfolgt, in der Regel durch den Bauteilverantwortlichen allein unter Berücksichtigung der Auswirkungen eines Versagens der Kraftübertragungsfunktion. Anderweitige aus anderen Regelwerken resultierende Anforderungen wie z.B. eine eventuelle Lebensmitteltauglichkeit, bestimmte Brandschutzeigenschaften oder Kompatibilität mit Arbeits- und Umweltvorschriften werden für die Klassifizierung innerhalb dieser Norm nicht berücksichtigt.

Die Kriterien für die Einstufung in eine der vier Sicherheitsklassen, so wie sie in der DIN 2304-1 festgelegt sind, sind in der Tabelle 1 wiedergeben. Die Einstufung in eine Sicherheitsklasse muss unter sorgfältiger Abwägung der

- Schwere der Störung
- Wahrscheinlichkeit des Auftretens
- Möglichkeit eines (rechtzeitigen) Erkennens des Fehlers

mit einem gewissen Maß an Fingerspitzengefühl und gesundem Menschenverstand erfolgen.

Am Ergebnis der Sicherheitsbewertung orientiert sich sinnvollerweise auch der resultierende Aufwand für den Klebprozess, je höher das Risiko umso umfassender die Anforderungen aus der DIN 2304-1. Kommt die Sicherheitsklasse S1 bis S3 zur Anwendung so definiert die Norm die für die jeweiligen Abschnitte der Prozesskette (vgl. Abb. 2) zu erfüllenden Mindestanforderungen. Ergibt die nachvollziehbar begründete und dokumentierte Einstufung die Sicherheitsklasse S4, sind keine weiteren, aus der DIN 2304-1 resultierenden Anforderungen zu erfüllen.

Tabelle 1: Sicherheitsklassen der DIN 2304-1 [3]

Klasse	Definition der Sicherheitsanforderung
S1	<p><b>Hohe Sicherheitsanforderung</b> Das Versagen der Klebverbindung führt</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mittel- oder unmittelbar zu einer unabwendbaren Gefahr für Leib und Leben</li> <li>• zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen höchst wahrscheinlich zu einer unabwendbaren Gefahr für Leib und Leben führen</li> </ul>
S2	<p><b>Mittlere Sicherheitsanforderung</b> Das Versagen der Klebverbindung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kann zu einer Gefahr für Leib und Leben führen</li> <li>• führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen wahrscheinlich mit Schäden gegenüber Personen oder großen Umweltschäden verbunden sind</li> <li>• führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen höchst wahrscheinlich mit weitreichenden Vermögensschäden verbunden sind</li> </ul>
S3	<p><b>Geringe Sicherheitsanforderung</b> Das Versagen der Klebverbindung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen wahrscheinlich nicht mit Schäden gegenüber Personen oder großen Schäden an der Umwelt verbunden sind</li> <li>• führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen maximal mit Komfort- oder Leistungseinbußen verbunden sind</li> <li>• führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen wahrscheinlich nicht mit größeren Vermögensschäden verbunden sind.</li> </ul>
S4	<p><b>Keine Sicherheitsanforderung</b> Das Versagen der Klebverbindung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen unter vorhersehbaren Bedingungen nicht mit Schäden gegenüber Personen oder Umwelt verbunden sind</li> <li>• führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen ausschließlich mit Komfort- oder Leistungseinbußen verbunden sind</li> <li>• führt zu einem Ausfall der Funktionalität, deren Auswirkungen nicht mit größeren Vermögensschäden verbunden sind</li> </ul>

## Klebtechnisches Personal

Ohne Frage kommt der Qualifikation des klebtechnischen Personals, anlog des ebenfalls „speziellen Prozesses“ Schweißen eine hohe Bedeutung zu. Dieser Umstand spiegelt sich auch in den aus der DIN 2304-1 resultierenden Anforderungen wider. Die Norm unterscheidet zwischen ausführenden und Aufsichtspersonal (in der Norm als KAP, Klebaufsichtspersonal bezeichnet), und setzt voraus, dass beides in angemessenem Umfang und je nach Sicherheitsklasse, mit ausreichender Qualifikation vorhanden ist. Das KAP ist die zentrale Ansprechstelle für alle qualitätsbeeinflussenden Faktoren

entlang der gesamten Prozesskette, d.h. von der Planung, über die Beschaffung, die Fertigung bis hin zu einer eventuellen Nacharbeit oder Instandhaltung.

Als Maßstab für die Qualifikationen gelten die Inhalte der einschlägigen Richtlinien des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik und verwandte Verfahren (DVS), bzw. der European Welding Foundation (EWF):

- **Klebpraktiker nach DVS 3305** mit einer Ausbildungsdauer von 1 Woche. Vermittelt die notwendigen Kenntnisse zur selbstständigen und fachgerechten Ausführung von Klebungen.
- **Klebfachkraft nach DVS 3301** mit einer Ausbildungsdauer von 3 Wochen für das Aufsichtspersonal. Vermittelt einen umfassenden Überblick über die Klebtechnik und befähigt die Teilnehmer klebtechnische Aufsichtsfunktionen wahrzunehmen, klebtechnische Arbeitsanweisungen zu erstellen, deren Umsetzung zu überwachen und die Qualitätskontrolle in der Fertigung sicherzustellen.
- **Klebfachingenieur nach DVS 3309** mit einer Ausbildungsdauer von 8 Wochen. Vermittelt auf akademischem Niveau einen umfassenden Überblick über die Klebtechnik und qualifiziert für die verantwortliche Betreuung aller klebtechnischen Belange von der Produktentwicklung über die Fertigung bis hin zur Reparatur.

Eine Möglichkeit die jeweilige Qualifikation nachzuweisen ist sicherlich die erfolgreiche Teilnahme an den von den durch DVS PersZert zertifizierten Ausbildungsstätten, TC Kleben in Übach-Palenberg sowie dem Fraunhofer Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung, IFAM in Bremen angebotenen Kursen. Innerhalb des für die DIN 2304-1 zuständigen Normenausschusses werden derzeit weitere Möglichkeiten des Nachweises ohne eine zwingende Teilnahme an den Kursen erarbeitet.

Tabelle 2: Anforderungen an das klebtechnische Personal gem. DIN 2304-1 [3]

	<b>Klebaufsichtspersonal (KAP)</b>	<b>Ausführendes Personal</b>
<b>S3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klebpraktiker/-in gem. DVS-EWF 3305 oder vergleichbare, den Anforderungen an die Aufgabe erforderliche, z.B. im Rahmen einer beruflichen Ausbildung (Schreiner, Bodenleger, Maler, etc.) erlangten Qualifikation</li> <li>• darf auch gleichzeitig Ausführende/-r der Klebung sein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klebpraktiker/-in gem. DVS-EWF 3305</li> <li>• in Ausnahmefällen kann das KAP Mitarbeiter ohne diese Qualifikation zulassen, wobei <ul style="list-style-type: none"> <li>– die Zulassung auf einzelne Tätigkeiten beschränkt ist</li> <li>– der Mitarbeiter durch das KAP eingewiesen werden muss</li> <li>– die Zulassung durch das KAP nachvollziehbar zu begründen und zu dokumentieren ist (z.B. berufliche Ausbildung)</li> </ul> </li> <li>• Weiterbildung alle zwei Jahre, die Inhalte sind durch das KAP festzulegen</li> </ul>
<b>S2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klebfachkraft gem. DVS-EWF 3301 oder vergleichbare Qualifikation</li> <li>• darf nicht gleichzeitig Ausführende der Klebung sein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klebpraktiker gem. DVS-EWF 3305</li> <li>• Weiterbildung alle zwei Jahre, die Inhalte sind durch das KAP festzulegen</li> </ul>
<b>S1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klebfachingenieur gem. DVS-EWF 3309 oder vergleichbare Qualifikation</li> <li>• Externe Weiterbildung alle zwei Jahre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klebpraktiker gem. DVS-EWF 3305</li> <li>• Weiterbildung alle zwei Jahre, die Inhalte sind durch das KAP festzulegen</li> </ul>

### Entwicklungsprozess - Konstruktion

Ebenfalls von besonderer Bedeutung ist der Abschnitt 5.4 der Norm. Hier geht es um den Entwicklungsprozess sowie die Konstruktion von Klebverbindungen. Auf Basis der unter Mitwirkung des KAP durch den verantwortlichen Konstrukteur durchgeführten sicherheitstechnischen Bewertung der Verbindung (vgl. Tab. 1) kann die genaue Festlegung des Anforderungsprofils für die

Klebverbindung erfolgen. Die Praxis zeigt, dass die Aussage „Der Klebstoff muss viel mehr können, als man zunächst annimmt“ häufig sehr zutreffend ist.

Selbstverständlich müssen die mechanischen Belastungen, denen das Teil, sei es in auf das Kleben folgende Prozessschritten oder während des bestimmungsgemäßen Betriebs nach ihrer Art und Höhe berücksichtigt werden. Kommen Temperaturänderungen, sei es während der Fertigung oder im Betrieb in Betracht, so kann im ungünstigen Fall ein unterschiedliches Wärmeausdehnungsverhalten der Fügeteile, auch ohne eine zusätzliche mechanische Belastung zu einer erheblichen Beanspruchung der Klebung führen.

Da Klebungen einer Alterung unterworfen sein können, müssen zwingend die Einsatzbedingungen nach Art und Dauer festgelegt werden.

Grundlegende Voraussetzung für eine Klebung ist natürlich, dass der verwendete Klebstoff eine ausreichende und dauerhafte Adhäsion zu dem jeweiligen Werkstoff zeigt. Ob dies der Fall ist hängt nicht nur von dem ausgewählten Klebstoff und dem Fügeteilwerkstoff, sondern insbesondere auch von der Oberflächenbeschaffenheit der Fügeteile ab. Gerade diese werden durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier beispielhaft genannt:

- die Werkstoffzusammensetzung, viele Werkstoffe zeigen eine vom Bulkmaterial abweichende Oberflächenzusammensetzung, die wiederum von verschiedenen Parametern beeinflusst werden kann,
- die Oberflächenspannung,
- die Oberflächenrauigkeit,
- der Verschmutzung nach Art und Umfang,
- eventuell aus dem Formgebungsprozess anhaftende Trenn- oder Gleitmittel,
- die Anwesenheit von Korrosionsschutzmitteln.

Bei beschichteten Werkstoffen ist nicht nur die Adhäsion der Beschichtung zum Fügeteilwerkstoff (die Beschichtung muss ausreichend fest haften), sondern auch die Adhäsion des Klebstoffs zur Beschichtung zu beachten. Die Adhäsionseigenschaften können von der jeweiligen Farbe der Beschichtung abhängen, eine Änderung des farbgebenden Pigments kann durchaus eine aus klebtechnischer Sicht signifikante Änderung der Zusammensetzungen und somit der Haftungseigenschaften darstellen.

In diesem Zusammenhang sei auf den wichtigen Schritt einer Oberflächenbehandlung vor dem Kleben hingewiesen. Ziel der Vorbehandlung ist es die Fügeteiloberfläche auf den Klebstoff einzustellen und durch die erfolgte Konditionierung gleichzeitig zur Prozesssicherheit der Klebung beizutragen. Man unterscheidet zwischen reinigenden Verfahren und solchen, die die Oberflächen modifizieren. Aus ökonomischen Gründen gilt hier „so umfangreich wie nötig, nicht so umfangreich wie möglich“!

Da die, die Adhäsion ausmachenden Kräfte mit in der Regel weniger als 1 nm nur äußerst geringe Reichweiten aufweisen, ist es verständlich, dass Verunreinigungen vor dem Verkleben von der Oberfläche entfernt werden müssen. In vielen Fällen, z.B. bei vielen Kunststoffen ist darüber hinaus eine gewisse Modifikation, oft auch als Aktivierung bezeichnete Vorbehandlung erforderlich.

Jede der vielfältigen Methoden hat ihre spezifischen Vor- und Nachteile, die Auswahl des geeigneten Verfahrens erfolgt u.a. aufgrund

- des Fügeteilwerkstoffs,
- des Klebstoffs,
- der Art und Menge einer eventuell zu entfernenden Verunreinigung,

- der eventuell gegebenen Notwendigkeit einer Oberflächenmodifikation,
- der Füge- und Klebnahtgeometrie,
- der Stückzahl der vorzubehandelnden Teile,
- der Arbeitssicherheits- und Umweltschutzanforderungen,
- der Investitions- und Betriebskosten.

Auch der konstruktiven Gestaltung der Klebung kommt eine hohe Bedeutung zu und muss unter Berücksichtigung der durch das Fügeverfahren gegebenen Randbedingungen erfolgen. Es ist darauf zu achten, dass die bei Belastung auftretenden Kräfte als Scher, Schub-, Zug-, Druck- oder Torsionskräfte wirken und Schälbelastungen weitestgehend vermeiden werden. Darüber hinaus ist eine möglichst große Klebfläche vorzusehen. Abbildung 3 zeigt einige prinzipielle Ansätze für eine klebgerechte Gestaltung. Bei den beiden im linken Bereich gezeigten Konstruktionen ist einmal die für die Klebung zur Verfügung stehende Fläche relativ gering und es besteht die Gefahr von nicht unerheblichen Schälbelastungen. Der rechte Bereich zeigt entsprechende Vorschläge für eine klebgerechte Konstruktion. In [5] findet man weitere Beispiele klebgerechter Konstruktion.

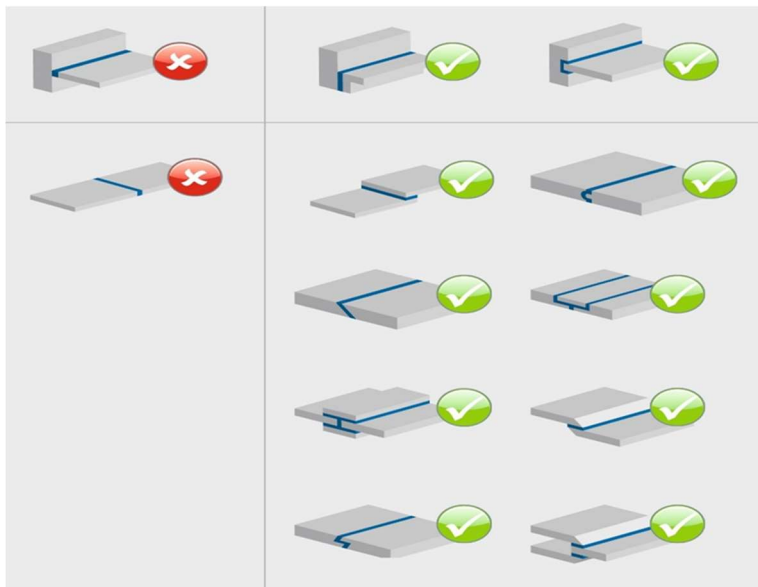


Abbildung 2: Beispiele für die klebgerechte Gestaltung nach [6]

Natürlich muss bereits bei der Konstruktion auch die Zugänglichkeit für eine ggf. erforderliche Oberflächenbehandlung sowie die Applikation des Klebstoffes berücksichtigt werden. Auch der Fügevorgang selbst muss berücksichtigt werden, so muss z.B. das Fügen ohne ein Abscheren des Klebstoffs möglich sein.

### Entwicklungsprozess - Prozessplanung

Der Klebprozess hat genauso wie, die bisher genannten Punkten eine hohe Bedeutung für die Qualität des resultierenden geklebten Produkts. Entsprechend stellt die DIN 2304-1 Anforderungen nicht nur an den direkten Vorgang des Klebens (Oberflächenvorbehandlung, Klebstoffauftrag, Fügen, Härtung) sondern bezieht auch die Infrastruktur (Beschaffung, Transport, Lagerung, Personal Fertigungsbereich) und die gesamten vor- und nachgelagerten Fertigungsschritte mit ein. Ziel ist es durch das Qualitätsmanagementsystem mit einer Festlegung der Vorgehensweise in Arbeitsanweisungen und von qualitätssichernden Maßnahmen den Prozess so abzusichern, dass am Ende i.O.-Teile gefertigt werden.

## **Entwicklungsprozess - Nachweisführung**

Neben der sicherheitsbasierten Einstufung der Klebung und der spezifischen an das klebtechnische Personal gestellten Anforderungen ist die Nachweisführung ein wesentlicher Bestandteil der DIN 2304-1: Die Klebverbindung ist so zu bemessen, dass ihre Beanspruchung stets kleiner ist als die Beanspruchbarkeit. Hierzu werden vier Möglichkeiten angeboten:

1. Nachweis, dass die Beanspruchbarkeit größer ist als die Beanspruchung:

Hierzu werden zunächst anhand des Anforderungsprofils die Beanspruchungen ermittelt. Dies kann aufgrund von Versuchen, Berechnungen, Standards, Realdaten oder einer Kombination daraus erfolgen. Die Beanspruchbarkeit wird in Versuchen an Probekörpern, in Bauteilversuchen oder am Realteil unter Berücksichtigung der einwirkenden mechanischen, thermischen, medialen und sonstigen Beanspruchungen, deren zeitlich Verlauf und ggf. auftretender Wirkkombinationen ermittelt. Diese Versuche sind mit einer angemessenen Statistik durchzuführen und es ist sicherzustellen, dass Laborergebnisse den unter realen Fertigungsbedingungen erreichbaren Ergebnissen entsprechen.

2. Bauteilprüfung:

Die Bauteilprüfung, d.h. Prüfungen am Gesamt- oder einem Teilsystem erfolgt unter Realbedingungen oder unter Bedingungen, die der Realität nachempfunden sind. Die Prüfbedingungen müssen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Klebverbindung nachweislich eine vergleichbare Wirkung wie auf das Gesamtsystem haben. Bei Prüfungen an Teilsystemen ist eine eventuelle gegenseitige Beeinflussung zwischen Teil- und Gesamtsystem zu berücksichtigen und sicherzustellen, dass diese das Ergebnis nicht signifikant beeinflussen. Für die Versuchsauswertung ist ein Versagenskriterium inkl. eines Sicherheitsfaktors ist zu festzulegen.

3. Dokumentierte Erfahrungen:

Grundsätzlich ist auch der Nachweis auf Grund von Erfahrungswerten möglich. Hat sich also eine Klebung nachweislich bewährt und ist eine Übertragung auf die vorliegende Situation in jeglicher Hinsicht gerechtfertigt, so kann die Lösung übernommen werden.

4. Kombinationen der Punkte 1-3:

Vielfach wird der Nachweis durch eine Kombination der oben beschriebenen Wege erfolgen. Hierbei ist zu beachten, dass alle Anforderungen in geeigneter Weise bewertet werden und die einzelnen Bestandteile des Nachweises zueinander kompatibel sind.

## **Entwicklungsprozess – Prozessvalidierung**

Am Ende steht die Prozessvalidierung, d.h. der Nachweis, dass der konzipierte Prozess in seiner Gesamtheit geeignet ist, das Produkt in der erforderlichen Qualität und Stückzahl gleichbleibend gut herzustellen. Bei Klebungen der Sicherheitsklassen S1 und S2 sind u.a. die einzelnen Schritte der Fertigung vorab zu überprüfen und auch die Schnittstellen zwischen den einzelnen Teilprozessen (Lagerung, Transport, Einfluss von Stillstandszeiten, etc.) zu berücksichtigen. Für S1-Klebungen ist ein Nachweis hinsichtlich der Einhaltung der konstruktiv vorgegebenen Kennwerte, wie Festigkeit oder Verformungsverhalten, z.B. anhand von regelmäßig durchgeführten Prüfungen an Bauteilen oder an Arbeitsproben erforderlich.

Darüber hinaus erfordern Klebungen der Sicherheitsklassen S1 oder S2 eine regelmäßige Wiederholung der Prozessvalidierung.

## **Resümee**

Die modernen, am Markt verfügbaren Industrie-Klebstoffe sind hochwertige Qualitätsprodukte, deren Herstellungsverfahren im normgerechten Sinne beherrschte Prozesse sind. Ein – von der Planung bis zum fertigen geklebten Produkt – fachgerechter Einsatz müsste zu einer Null-Fehler-Fertigung führen. Ausfälle, die häufig auf Anwendungsfehler zurückzuführen sind, unterstreichen die Bedeutung der Qualitätssicherung bei Klebprozessen. Mit der DIN 2304-1 wurde von Experten aus Industrie und Wissenschaft ein ganzheitlicher Standard geschaffen, der die Anforderungen an eine qualitätsgerechte Ausführung von lastübertragenden Klebverbindungen festlegt.

Die Norm zeigt, dass dies Prozessschritte, die zeitlich weit vor dem eigentlichen Klebprozess liegen, genauso betrifft wie solche, die zeitlich nachgelagert sind. Kleben fängt also in der Tat vor dem Kleben an und hört danach auch noch nicht auf!

Die DIN 6701, die dieser neuen Norm inhaltlich sehr ähnlich ist, regelt seit gut 10 Jahren Klebungen an Schienenfahrzeugen. Erfahrungen mit ihr zeigen, dass sich die Anforderungen mit einem leistbaren finanziellen Aufwand realisieren lassen, und bereits mittelfristig sowohl technologisch als auch ökonomisch auszahlen: Einerseits wurde bei stetig zunehmenden Klebumfängen die Zahl der Klebfehler reduziert, andererseits konnten sie früher, d.h. vor Auslieferung an die Kunden, entdeckt und korrigiert werden. [8] Dies ist sicherlich auch auf die verbesserte Qualifikation des klebtechnischen Personals und die damit verbundene höhere Sensibilität zurückzuführen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es sich bei der DIN 2304-1 um eine unverbindliche, den aktuellen Stand der Technik beschreibende Norm handelt. Anders als im Fall der DIN 6701, deren Einhaltung durch das Eisenbahnbundesamt zwingend für alle Klebungen an Schienenfahrzeugen, die auf dem deutschen Schienennetz betrieben werden sollen, festgeschrieben ist, bedarf es im Fall der DIN 2304-1 keiner Zertifizierung des jeweiligen Anwenderbetriebs. Selbstverständlich kann die Einhaltung der Grundsätze der DIN 2304-1 vertraglich festgeschrieben werden. Ebenso steht zu erwarten, dass bei Schadensfällen, sowohl im straf- als auch im zivilrechtlichen Bereich bei der Urteilsfindung berücksichtigt wird, ob und in wie weit die Anforderungen der DIN 2304-1 durch den Anwenderbetrieb eingehalten worden sind.

Eine Zertifizierung von Klebstoffen für eine bestimmte Anwendung macht wenig Sinn, da der Klebstoff, nur ein, wenn auch ein wichtiges Glied der Prozesskette Kleben darstellt.

## **Quellennachweis:**

[1] Studie Sicheres Kleben, Naturwissenschaftlichen und Medizinischen Institut (NMI) der Universität Tübingen, 2015

[2] Werner Erlenmeier, Walter Thiel, Verklebung ungenügend, Konstruktionspraxis 1.2017

[3] DIN 2304-1, Klebtechnik – Qualitätsanforderungen an Klebprozesse – Teil 1: Prozesskette Kleben, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin, 2016

[4] Dicht, 1.2017, Leserumfrage zu offenen Themen in der Klebtechnik



[5] Konstruktionsatlas.de

[http://www.konstruktionsatlas.de/verbindungstechnik/kleben/kleben\\_konstruktion.shtml](http://www.konstruktionsatlas.de/verbindungstechnik/kleben/kleben_konstruktion.shtml)

[6] Industrieverband Klebstoffe e.V. Kleben aber Richtig – Klebung planen

[http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php?section=3\\_3](http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php?section=3_3)

[7] Delo, BOND It, Nachschlagewerk zur Klebtechnik, DELO Industrie Klebstoffe, 5. Auflage 2015

[8] Andreas Groß, Hartwig Lohse, adhäsion – kleben + dichten 6/2015 S. 12