

DIN EN 17460

ICS 45.060.01; 83.180

**Bahnanwendungen –
Kleben von Schienenfahrzeugen und deren Komponenten;
Deutsche Fassung EN 17460:2022**

Railway applications –
Adhesive bonding of rail vehicles and their components;
German version EN 17460:2022

Applications ferroviaires –
Collage par collage de véhicules et de pièces ferroviaires;
Version allemande EN 17460:2022

Gesamtumfang 104 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 17460:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 087-00-12-01 UA „Klebtechnik“ des Arbeitsausschusses NA 087-00-12 AA „Werkstoffe, Füge- und Verbindungstechnik“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

IEC 60093*	siehe	DIN IEC 60093 (VDE 0303-30)*
ISO 84-4**	siehe	DIN ISO 48-4
ISO 128-20***	siehe	DIN EN ISO 128-20***
ISO 128-22***	siehe	DIN ISO 128-22***
ISO 128-24***	siehe	DIN ISO 128-24***
ISO 129-1	siehe	DIN EN ISO 129-1
ISO 10077	siehe	DIN EN ISO 10077 (alle Teile)
ISO 11357	siehe	DIN EN ISO 11357 (alle Teile)
ISO 14593	siehe	DIN EN ISO 14593
ISO 15785	siehe	DIN EN ISO 15785
ISO 16927	siehe	DIN EN ISO 16927
ISO 21194	siehe	DIN ISO 21194
ISO 22007	siehe	DIN EN ISO 22007 (alle Teile)

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Folgender Hinweis wird für 3.27 gegeben: Die Verweisung wurde in der Englischen Fassung nicht korrekt angegeben, korrekt ist (3.4).

Folgende nationale Fußnoten wurden im Dokument ergänzt:

N1 Nationale Fußnote: Die Normnummer wurde in der Englischen Fassung nicht korrekt angegeben, korrekt ist ISO 48-4.

N2 Nationale Fußnote: Die Verweisung wurde in der Englischen Fassung nicht korrekt angegeben, korrekt ist D.3.6.

* Zurückgezogen. Nachfolgedokumente: IEC 60093-3-1 und IEC 60093-3-2 bzw. DIN EN 62631-3-1 (VDE 0307-3-1) und DIN EN 62631-3-2 (VDE 0307-3-2).

** Zahlendreher in der Referenzfassung: Die korrekte Normnummer lautet ISO 48-4.

*** Zurückgezogen. Nachfolgedokumente: ISO 128-2 bzw. DIN EN ISO 128-2.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 128-20^{***}, *Technische Zeichnungen — Allgemeine Grundlagen der Darstellung — Teil 20: Linien, Grundregeln*

DIN EN ISO 129-1, *Technische Produktdokumentation (TPD) — Angabe von Maßen und Toleranzen — Teil 1: Grundlagen*

DIN EN ISO 10077 (alle Teile), *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen — Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten*

DIN EN ISO 11357 (alle Teile), *Kunststoffe — Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC)*

DIN EN ISO 14593, *Wasserbeschaffenheit — Bestimmung der vollständigen biologischen Abbaubarkeit organischer Substanzen im wässrigen Medium — Verfahren mittels Bestimmung des anorganischen Kohlenstoffs in geschlossenen Flaschen (CO₂-Headspace-Test)*

DIN EN ISO 15785, *Technische Zeichnungen — Symbolische Darstellung und Angabe von Klebe-, Falz- und Druckfügeverbindungen*

DIN EN ISO 16927, *Beschichtungsstoffe — Prüfung der Überarbeitbarkeit und Überlackierbarkeit einer Beschichtung*

DIN EN ISO 22007 (alle Teile), *Kunststoffe — Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und der Temperaturleitfähigkeit*

DIN IEC 60093 (VDE 0303-30)*, *Prüfverfahren für Elektroisolierstoffe — Spezifischer Durchgangswiderstand und spezifischer Oberflächenwiderstand von festen, elektrisch isolierenden Werkstoffen*

DIN ISO 48-4, *Elastomere oder thermoplastische Elastomere — Bestimmung der Härte — Teil 4: Eindringhärte durch Durometer-Verfahren (Shore-Härte)*

DIN ISO 128-22^{***}, *Technische Zeichnungen — Allgemeine Grundlagen der Darstellung — Teil 22: Grund- und Anwendungsregeln für Hinweis- und Bezugslinien*

DIN ISO 128-24^{***}, *Technische Zeichnungen — Allgemeine Grundlagen der Darstellung — Teil 24: Linien in Zeichnungen der mechanischen Technik*

DIN ISO 21194, *Elastische Klebstoffe — Prüfung von Klebverbindungen — Raupenschälprüfung*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Bahnanwendungen — Kleben von Schienenfahrzeugen und deren Komponenten

Railway applications —
Adhesive bonding of rail vehicles and their components

Applications ferroviaires —
Collage par collage de véhicules et de pièces ferroviaires

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 22. Mai 2022 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Kompetenzen des klebtechnischen Personals	13
4.1 Allgemeines	13
4.2 Kompetenzen des Aufsichtspersonals	14
4.3 Kompetenzen des ausführenden Klebpersonals (en: adhesive bonding operators)	16
5 Konstruktion und Verifizierung von Klebverbindungen an Schienenfahrzeugen	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Konstruktionsprozess	16
5.2.1 Ablaufdiagramm	16
5.2.2 Anforderungsliste	17
5.2.3 Vorläufige Konstruktion und allgemeine Gestaltungsparameter	18
5.3 Gestaltung	18
5.3.1 Allgemeines	18
5.3.2 Risikoanalyse und Sicherheitsklassifizierung	19
5.3.3 Liste der Klebverbindungen	19
5.3.4 Klebstoffqualifizierung	20
5.4 Validierung der Konstruktion	24
5.4.1 Allgemeines	24
5.4.2 Ermittlung der Einflüsse/Lasten	24
5.4.3 Berechnung	25
5.4.4 Bewährte Konstruktion	27
5.4.5 Bauteilprüfung	27
5.4.6 Kombination aus Berechnung/Bauteilprüfung/bewährte Konstruktion	28
5.5 Konformitätsnachweis	28
6 Fertigung	30
6.1 Allgemeines	30
6.2 Allgemeine Prozessvorgaben	30
6.2.1 Transport und Lagerung von Klebstoffen, Hilfsstoffen und Fügeteilen	30
6.2.2 Fertigungsumgebung	30
6.2.3 Arbeitsplatzvorbereitung und Akklimatisierung von Werkstoffen	31
6.2.4 Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz, Umweltschutz	31
6.2.5 Kontrolle auf Passgenauigkeit hinsichtlich Form, Position und Abmessungen	31
6.2.6 Kontrollen vor Fertigungsbeginn	31
6.2.7 Oberflächenbehandlung der Fügeteile	31
6.2.8 Dosieren, Mischen und Auftragen	33
6.2.9 Verbinden der Fügeteile	33
6.2.10 Fixieren	34
6.2.11 Verfestigung (des Klebstoffs in der Klebfuge)	34
6.2.12 Verpackung und Transport geklebter Bauteile	34
6.3 Arbeitsanweisungen	35
6.4 Fertigungsbegleitende Arbeitsproben als Nachweismöglichkeit der Anwendungsqualität	36
6.5 Nacharbeiten	37
6.6 Qualitätssicherung	38
6.6.1 Allgemeines	38

6.6.2	Qualitätsplanung	38
6.6.3	Qualitätsprüfung.....	39
6.6.4	Korrekturmaßnahmen.....	40
6.6.5	Mängel in Klebverbindungen.....	40
7	Instandhaltung und Instandsetzung	40
7.1	Allgemeines	40
7.2	Dokumentation	41
7.3	Ausführungsregeln	41
7.4	Instandsetzungs- und Instandhaltungsanweisungen	41
8	Unterauftragsvergabe.....	41
Anhang A (informativ) Klebtechnisches Personal		42
A.1	Personal	42
A.1.1	Kompetenzen des ausführenden Klebpersonals (en: adhesive bonding operators)	42
A.1.2	(Verantwortliche) Klebaufsichtsperson (vKAP/KAP) (rABC/ABC, en: [responsible] adhesive bonding coordinator).....	42
A.2	Organisatorische Einbindung der Klebaufsicht – weitere Details in Ergänzung zu 4.2	45
A.3	Überwachungs- und Prüfpersonal	45
Anhang B (informativ) Erläuterung der umfassenden, spezifischen und grundlegenden Kompetenzen, Wissensanwendung, praktischen Anwendung und Erfahrungen		46
B.1	Kompetenz – Thema.....	46
B.2	Allgemeine Definitionen der Kompetenzen, Wissensanwendung, praktischen Anwendung und Erfahrungen nach Tabelle 1 dieses Dokuments.....	47
B.2.1	Umfassend.....	47
B.2.2	Spezifisch.....	47
B.2.3	Grundlegend.....	47
B.3	Ausführliche Definitionen der Kompetenzen, Wissensanwendung, praktischen Anwendung und Erfahrungen in Bezug auf die in Tabelle B.1 dieses Anhangs festgelegten Fachinhalte.....	48
B.3.1	Umfassend: ausführliche Definitionen.....	48
B.3.2	Spezifisch: ausführliche Definitionen	55
B.3.3	Grundlegend: ausführliche Definitionen	61
Anhang C (informativ) Anforderungsliste.....		65
Anhang D (normativ) Bestimmung der Beanspruchbarkeit (Beanspruchungsgrenzwert)		67
D.1	Allgemeines	67
D.2	Charakteristische Werte und die maximal zulässige Spannungsgrenze	67
D.3	Prüfung von (flexiblen) Klebstoffen mit niedrigem Elastizitätsmodul	69
D.3.1	Allgemeines	69
D.3.2	Bestimmung des Elastizitätsmoduls, der Poisson-Zahl und der Spannungs-Dehnungs-Eigenschaft anhand von Klebstoffsubstanzproben.....	70
D.3.3	Prüfung der quasi-statischen Verbundfestigkeit für Klebverbindungen mit niedrigmoduligen Klebstoffen.....	70
D.3.4	Druckprüfung von Klebverbindungen mit niedrigmoduligen Klebstoffen	71
D.3.5	Prüfung der Bruchdehnung nach Relaxation von Klebverbindungen mit niedrigmoduligen Klebstoffen.....	72
D.3.6	Prüfung des Kriechverhaltens von Klebverbindungen mit niedrigmoduligen Klebstoffen.....	72
D.3.7	Prüfung der Ermüdungsfestigkeit von Klebverbindungen mit niedrigmoduligen Klebstoffen.....	73
D.3.8	Messung des pH-Werts ausgehärteter Klebstoffe bei Exposition gegenüber Feuchte	73
D.4	Prüfung hochmoduliger (sehr steifer) Klebstoffe	73
D.4.1	Bestimmung des Elastizitätsmoduls, der Poisson-Zahl und des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens mit Klebstoffsubstanzproben	73
D.4.2	Prüfung der Zugscherfestigkeit (Verbundfestigkeit).....	74

D.4.3	Prüfung des Kriechverhaltens von Klebverbindungen mit hochmoduligen Klebstoffen	74
D.4.4	Prüfung der Ermüdungsfestigkeit von Klebverbindungen mit hochmoduligen Klebstoffen	74
D.4.5	Weitere Prüfungen: Messung des pH-Wertes ausgehärteter Klebstoffe bei Exposition gegenüber Feuchte	74
Anhang E (informativ) Kriterien für die Auswahl eines Klebsystems		75
Anhang F (informativ) Beschreibung zerstörungsfreier und zerstörender Prüfungen		79
F.1	Allgemeines	79
F.2	Zerstörungsfreie Prüfung	79
F.2.1	Einleitende Bemerkungen	79
F.2.2	Sichtprüfung	79
F.2.3	Ultraschallprüfung	79
F.2.4	Thermographie	80
F.2.5	Shearografie	80
F.2.6	Klopfschalltest (Tap Test)	80
F.2.7	Wassertropfentest	80
F.2.8	Prüfung mit Testtinten	80
F.2.9	Prüfung auf Haftung an Kanten oder Flanken	80
F.2.10	Saugnapfprüfung (en: suction cup test)	80
F.2.11	Prüfung mit einer Fühlerlehre	80
F.3	Zerstörende Prüfung	81
F.3.1	Einleitende Bemerkungen	81
F.3.2	Bruchbilder	81
F.3.3	Zugscherversuch (EN 1465)	81
F.3.4	Rollenschälversuch (ISO 4578 [55])	81
F.3.5	Raupenschälversuch (ISO 21194 [54])	81
Anhang G (informative) Beschreibung beschleunigter Alterungsprüfungen		82
G.1	Allgemeines	82
G.2	Alterungsfaktoren und ihre Wirkungen	82
G.3	Auswahl beschleunigter Alterungsprüfungen	83
G.4	Beispiele beschleunigter Alterungsprüfungen	83
G.4.1	Allgemeins	83
G.4.2	Konstante klimatische Bedingungen	83
G.4.3	Klimawechseltest	84
G.4.4	Salzsprühnebeltest	84
G.4.5	Kataplasmatest	84
G.4.6	Einwirkung von Licht bzw. UV-Strahlung	84
G.4.7	Einwirkung von Kontaminationen und Medien	84
G.4.8	Geeignete kombinierte Prüfung	85
G.4.9	Bewitterung	85
Anhang H (informativ) Beispiele nicht-dekorativer und dekorativer Mängel von Klebverbindungen		86
H.1	Allgemeines	86
H.2	Beispiele nicht-dekorativer Mängel	86
H.3	Kriterien und verschiedene dekorative Bereiche	87
Anhang I (informative) Symbole für Klebverbindungen		89
I.1	Baugruppeninformationen in Zeichnungen	89
Anhang J (informativ) Klärung weiterer Begriffe aus dem Bereich der Klebtechnik		90
J.1	Allgemein	90
J.2	Begriffe	90
Literaturhinweise		98

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 17460:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2023, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2027 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar

Entsprechend der CEN CENELEC Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Historisch gesehen werden bei der Herstellung von Schienenfahrzeugen und ihren Komponenten hauptsächlich Materialien wie Stähle und Aluminiumlegierungen verwendet. Zu ihren Konstruktions- und Montageverfahren gehören Verfahren wie Schrauben, Nieten und Schweißen.

Schienenfahrzeuge im Sinne dieses Dokuments sind in EN 15380-1 definiert [47].

Technologische Entwicklungen haben dazu geführt, dass auch andere Werkstoffe, z. B. Verbundwerkstoffe, zur Verfügung stehen, und einige dieser traditionellen Konstruktions- und Montageverfahren wie Schrauben, Nieten oder Schweißen sind für solche Werkstoffe nicht zwingend geeignet oder angemessen.

Aus diesem Grund kann ein Klebprozess für die Herstellung bestimmter Schienenfahrzeuge und ihrer Komponenten nicht nur im Fall von Verbundwerkstoffen, sondern auch für Stähle und Aluminiumlegierungen sowie Glas und andere Werkstoffe wichtig sein.

Die Bestätigung der Qualität und Integrität der hergestellten Klebverbindungen lässt sich nicht direkt durch traditionelle Inspektions- und Prüfverfahren wie die zerstörungsfreie Prüfung bestimmen.

Daher ist es unerlässlich, dass die Qualität und die Kontrolle der Klebverbindungen von Baugruppen und Bauteilen durch ein geeignetes Prozesskontrollverfahren auf dem bestmöglichen Niveau gehalten werden.

Auch wenn bereits Normen bestehen und zur Anwendung kommen, die das Thema Qualitätskontrolle behandeln, dient diese Norm dazu, das korrekte Rahmenwerk, mit zusätzlichen Details, für den speziellen Prozess Kleben an Schienenfahrzeugen und deren Komponenten zu schaffen.

ANMERKUNG Die EN ISO 9001 [41] ist ein solches Beispiel.

Vor diesem Hintergrund bezieht sich das vorliegende Dokument auf Definitionen sowie organisatorische, managementbezogene, vertragliche und technische Grundsätze, die bei der Herstellung von Klebverbindungen in Analogie zur Schweißtechnik zu beachten sind. Somit stehen auch hier vergleichbare Schwerpunkte im Mittelpunkt:

- Schwerpunkt 1: Klassifizierung jeder Klebverbindung entsprechend den Sicherheitsanforderungen (siehe 5.3.2).
- Schwerpunkt 2: Benennung von Aufsichtspersonal (Klebaufsichtsperson – KAP) und Ausführungspersonal (ausführendes Klebpersonal), die objektiv nachweisen können, dass sie über die notwendigen und erforderlichen Fähigkeiten, Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Klebtechnik verfügen (siehe Abschnitt 4).
- Schwerpunkt 3: Nachweis, dass die tatsächliche Beanspruchung (Spannung, Dehnung und Dehnungsenergie) einer Klebverbindung bei der Anwendung eines geklebten Produkts in jedem Fall geringer ist als die maximale Beanspruchbarkeit (siehe 5.4 und Anhang D).

Ein weiterer Schwerpunkt dieses Dokuments sind die Fertigungsgrundsätze für Klebverbindungen (siehe Abschnitt 6).

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument definiert Begriffe und legt Anforderungen für Kleb- und Dichtarbeiten an Schienenfahrzeugen und deren Komponenten fest, unabhängig von dem Werkstoff des Fügeteils und dem Verfestigungsmechanismus, der Festigkeit sowie den Verformungseigenschaften der Klebstoffe.

Dieses Dokument ist anzuwenden für das Kleben und Dichten von Fügeteilen in der:

- Entwicklung (vor der Produktion [en: pre-production]);
- Herstellung (während der Produktion [en: in-production]);
- Instandhaltung einschließlich Reparatur/Instandsetzung (nach der Produktion [en: post-production]);
- Qualitätssicherung bei der Herstellung, Inspektion, Instandhaltung und Instandsetzung von Schienenfahrzeugen und deren Komponenten.

Dieses Dokument ist nicht anzuwenden für:

- Schraubensicherung unter Einsatz von Klebstoffen, wenn eine Verschraubung ohne weitere Sicherung bei gleicher Ausführung der Verbindung ausreichend ist;
- Hybridverbindungen, wenn die erwartete Funktion ausschließlich durch eine andere Fügetechnik wie etwa Schweißen, Schrauben oder Nieten erzielt wird;
- die Herstellung von Vulkanisaten;
- die Herstellung von Sperrholz;
- die Herstellung von Faserverbund-Kunststoff-Formteilen (FVK);
- die Herstellung von Verbundsicherheitsglas;
- den reinen Verguss von Elektronikteilen;
- die Applikation einseitig klebender dekorativer Folien.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 923, *Klebstoffe — Benennungen und Definitionen*

EN 1465, *Klebstoffe — Bestimmung der Zugscherfestigkeit von Überlappungsklebungen*

EN 14869-2, *Strukturklebstoffe — Bestimmung des Scherverhaltens struktureller Klebungen — Teil 2: Scherprüfung für dicke Fügeteile (ISO 11003-2)*

EN ISO 10365, *Klebstoffe — Bezeichnung der wichtigsten Bruchbilder*

ISO 12107, *Metallic materials — Fatigue testing — Statistical planning and analysis of data*

ISO 16269-6:2014, *Statistical interpretation of data — Part 6: Determination of statistical tolerance intervals*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 923 und die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Eine zusätzliche Klärung der Begriffe in Verbindung mit der Klebtechnologie ist in Anhang J enthalten.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

Adhäsion

Wechselwirkungen zwischen den Klebstoffpolymeren und der Oberfläche des Fügeteils/Substrats

ANMERKUNG 1 zum Begriff: Adhäsion findet in nm-Dimensionen statt.

3.2

Kohäsion

innere Festigkeit eines Materials, z. B. eines Klebstoffs

Anmerkung 1 zum Begriff: Kohäsionskräfte halten z. B. die Moleküle eines Klebstoffs zusammen und beruhen auf anziehenden physikalischen Kräften zwischen den Polymerketten, der Verflechtung der Polymerketten und chemischen Bindungen innerhalb und zwischen den Klebstoffpolymerketten.

3.3

Klebstoff

nichtmetallischer Werkstoff, der zwei Fügeteile/Substrate durch Adhäsion und Kohäsion miteinander verbindet

3.4

Fügeteil

Substrat

Objekt oder halbfertiges Erzeugnis (z. B. Metallblech, Draht, extrudiertes Metall, Formkunststoff, Gewebe, Glas, beschichtetes Substrat usw.), auf das der Klebstoff aufgetragen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Klebprozess wird der Begriff „Fügeteil“ oftmals als Synonym für „Substrat“ verwendet.

3.5

Haftvermittler

Flüssigkeit, die zur Oberflächenbehandlung verwendet wird, um die Haftung des Klebstoffs an dem Fügeteil zu verbessern

Anmerkung 1 zum Begriff: Haftvermittler werden oftmals als Primer, Beschleuniger oder Aktivator (siehe auch J.2.2) bezeichnet.

3.6

Kleben

Verfahren zum Verbinden der Fügeteile durch einen Kleb- oder Dichtstoff

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Fügeteile/Substrate können sowohl aus demselben als auch aus verschiedenen Materialien bestehen und unterschiedliche Oberflächeneigenschaften aufweisen.

3.7

Klebläche

Fläche, die verwendet wird, um zwei Fügeile/Substrate mit einem Klebstoff zu verbinden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Klebläche ist üblicherweise das Produkt aus der Überlappungslänge und der Überlappungsbreite der Fügeile/Substrate.

3.8

Klebaufsichtsperson

KAP

ABC, en: adhesive bonding coordinator

qualifizierte Person mit nachgewiesener Fachkenntnis in der Klebtechnik, die für die Beaufsichtigung der Klebprozesse und aller damit verbundenen Aktivitäten verantwortlich ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verantwortlichkeiten der Klebaufsichtspersonen (KAP) sind in Tabelle 1 dargestellt.

3.9

verantwortliche Klebaufsichtsperson/Stellvertreter

vKAP/S

rABC/d, en: responsible adhesive bonding coordinator/deputy

qualifizierte Person mit klebtechnischem Kompetenzniveau nach Tabelle 1 zur Beaufsichtigung des Gesamtumfangs oder eines Teils des Gesamtumfangs als oberste Instanz in der Klebtechnik einschließlich der Bekanntgabe von Stellvertretern je nach Umfang und Klasse

3.10

ausführendes Klebpersonal

Personal mit nachgewiesenen Fachkenntnissen, das den Klebprozess zur Herstellung, Instandhaltung oder Instandsetzung von Bauteilen anwendet oder durchführt

3.11

klebtechnisches Personal

Personal, das an der Gestaltung, Planung, Herstellung und Instandhaltung/Instandsetzung in Verbindung mit dem Klebprozess beteiligt ist

3.12

Klebsverfahren

alle mit dem Kleben zusammenhängenden Prozesse wie Konditionierung der Substrate und des Klebstoffs, Oberflächenbehandlung, Verarbeitung des Klebstoffs, Auftragen des Klebstoffs, Fügen der Fügeile/Substrate und Verfestigung (Aushärten/Abbinden)

3.13

Klebsverbindung

Verbindung von zwei oder mehr Substraten (Fügeile) aus dem gleichen Werkstoff oder verschiedenen Werkstoffen mithilfe eines Klebstoffs

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Klebsverbindung kann als starre Verbindung, flexible Verbindung oder als Fugenabdichtung definiert werden. Alle drei Arten von Verbindungen beruhen auf den gleichen Funktionsprinzipien.

3.14

strukturelle Klebsverbindung

Klebsverbindung, die einen wesentlichen Beitrag zur Sicherstellung der Lastübertragung zwischen den Fügeile leistet

3.15

Komponente

ein Teil des Klebsystems

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Klebtechnologie werden die Teile eines Klebsystems (Harz und Härter) als Komponenten (Komponente A und Komponente B) bezeichnet.

3.16

Alterung

Veränderungen von Klebverbindungen und ihrer Eigenschaften im Lauf der Zeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Alterung kann durch die Lagerung von Laborprüfkörper unter speziellen klimatischen Bedingungen simuliert werden, um die Auswirkungen, denen Klebverbindungen über ihre gesamte reale Lebenszeit ausgesetzt sind, innerhalb eines kürzeren Zeitraums nachzuempfinden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Klebstoffe können durch Feuchtigkeit, Chemikalien, Sauerstoff, Wärme, Licht, mechanische Beanspruchung usw. altern.

3.17

Auftragen

Aufbringen eines Klebstoffs auf ein Fügeteil während des Klebvorgangs

3.18

Aushärtung

chemische Verfestigung eines Klebstoffs

chemische Reaktionen, die zu einer Verfestigung des Klebstoffs führen (thermoplastische, elastomere oder duromere Polymere)

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies bezieht sich auf chemisch härtende Klebstoffe.

3.19

Aushärtezeit

erforderlicher Zeitraum zur Verfestigung eines chemisch härtenden Klebstoffs

3.20

technisches Datenblatt

vom Klebstoffhersteller erstelltes technisches Informationsblatt zu einem Klebstoff

Anmerkung 1 zum Begriff: Es enthält Informationen über den Klebstoff und darüber, wie der Klebstoff zu verarbeiten und aufzutragen ist (auch bezeichnet als: TDS, en: technical data sheet).

3.21

Sicherheitsdatenblatt

vom Klebstoffhersteller erstelltes Informationsblatt mit produktbezogenen wichtigen Sicherheitshinweisen

Anmerkung 1 zum Begriff: Auch Materialsicherheitsdatenblatt (MSDS, en: material safety data sheet) genannt.

3.22

zerstörende Prüfung

Analysen, Tests oder Untersuchungen, die an einem Prüfkörper oder einem System durchgeführt werden, um qualitative/quantitative spezifische Eigenschaften zu erhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Prüfkörper kann anschließend nicht mehr verwendet werden.

3.23

zerstörungsfreie Prüfung

ZfP

NDT, en: non-destructive testing

Analysen, Prüfungen und Messungen auf der Grundlage von Verfahren, die den Werkstoff nicht übermäßig verändern und die Proben in dem Prüfsystem nicht beschädigen oder zerstören und dazu dienen, die Strukturmängel selbst zu untersuchen und zu identifizieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Jeder Prüfkörper kann anschließend ohne Beeinträchtigung der Funktion des Produkts verwendet werden.

3.24

Handhabungszeit

Zeitpunkt, der erreicht ist, wenn die Verfestigung des Klebstoffs in der Klebverbindung so weit fortgeschritten ist, dass – ohne die Qualität der jeweiligen Klebverbindung in irgendeiner Weise zu beeinträchtigen – der nächste Arbeitsschritt einschließlich der daraus resultierenden Belastung eingeleitet werden kann, das Schienenfahrzeug oder Schienenfahrzeugteil ausgeliefert werden kann oder seine Inbetriebnahme erfolgen kann

3.25

Hotspot

FEM

kleine Region oder kleiner Bereich mit einem hohen Wert einer Messgröße (z. B. Spannung, Dehnung, Energie)

3.26

Einfluss

nichtmechanische Parameter, die auf ein Material einwirken und seine Eigenschaften verändern

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Art der nichtmechanischen Parameter beeinflusst das Materialverhalten (Beanspruchung) und die zu wählende Beanspruchbarkeit. Weitere Einflüsse können sich auf die Klebstoffauswahl auswirken.

3.27

Fügen

Verbinden oder Koppeln von *Substraten/Fügeteilen* (3.1) zu einem Ganzen

Anmerkung 1 zum Begriff: Kleben ist nur eines der Fügeverfahren. Andere sind Schweißen, Schrauben und Nieten.

3.28

Last

mechanische Parameter, die auf ein Material einwirken und zu Spannungen und Dehnungen (Verformungen) im Material führen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Art der mechanischen Parameter beeinflusst das Materialverhalten (Beanspruchung) und die zu wählende Beanspruchbarkeit (siehe 3.29).

3.29

Beanspruchbarkeit

Grenze der Klebverbindung für die Aufnahme von Spannung, Dehnung und Dehnungsenergie

3.30

Lastfall

Kombinationen von Lasten und Einflüssen, die gleichzeitig auf eine Klebverbindung einwirken

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Regel gibt es mehrere Lastfälle, die unterschiedliche Zustände im Fahrzeugbetrieb sowie im Herstellungs-/Instandsetzungsprozess beschreiben. Herstellungs-/Instandsetzungslastfälle sind immer in Kombination mit dem Verfestigungszustand des Klebstoffs zu bewerten und bilden die Grundlage für die Bestimmung der Handhabungsfestigkeit oder der Inbetriebnahmezeiten.

3.31

nichtmechanische Last

verschiedene Arten äußerer Einflüsse, die auf eine Klebverbindung einwirken können, z. B. Hitze, Feuchte und chemische Einflüsse (Wasser, Lösungsmittel usw.)

3.32

mechanische Eigenschaften

Eigenschaften in Verbindung mit dem Verhalten eines Klebstoffs oder einer Klebverbindung unter der Einwirkung externer physikalischer Kräfte (Zugkräfte, Schubkräfte, Abriebkräfte, Druckkräfte, Torsionskräfte, Zugscherkräfte usw.)

3.33

Verarbeitungszeitraum

Topfzeit

en pot life

Zeitspanne, in der ein reaktiver 2K-Klebstoff nach dem Zusammengeben und Mischen seiner Komponenten bis zum Erreichen der maximal zulässigen Viskosität für eine noch ausreichende Benetzung aufgetragen werden muss (die maximale Verarbeitungszeit)

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Zeit ist abhängig von der Geschwindigkeit und dem Tempo der für die Polymerbildung verantwortlichen chemischen Reaktionen (Aushärtengeschwindigkeit) sowie von den äußeren Randbedingungen (z. B. Temperatur, Menge der angesetzten Mischung). Um qualitativ hochwertige Klebverbindungen zu schaffen, wird die Topfzeit streng eingehalten. Chemisch härtende Klebstoffe, die ihre Topfzeit überschritten haben, können nicht mehr auf die Fügefläche aufgebracht werden und werden entsorgt.

Anmerkung 2 zum Begriff: In einigen technischen Datenblättern wird anstelle des Begriffs „Topfzeit“ der Begriff „Gebrauchsdauer“ verwendet.

3.34

Qualifizierung eines Klebstoffs

Verfahren zum Nachweis, dass der Klebstoff die an ihn gestellten Anforderungen erfüllt

3.35

Sicherheitsklasse

Leistungsanforderungen der Klebverbindung, die auf der Grundlage der potenziellen Schadenswirkung des Ausfalls der Verbindung festgelegt werden

3.36

spezieller Prozess

Verfahren, bei dem die Konformität des Ergebnisses nicht leicht, d. h. in der Regel nicht zerstörungsfrei mit hundertprozentiger Sicherheit, oder wirtschaftlich validiert werden kann

3.37

Spannungsrisssbildung

Rissbildung in Kunststoffen als Folge der gleichzeitigen Einwirkung von Chemikalien (z. B. Lösungsmittel) und mechanischer Last

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Eigenspannung eines Materials reicht oft aus, um Spannungsrisse entstehen zu lassen.

3.38

Oberflächenbehandlung

Bearbeitung der Oberflächen der zu verbindenden Teile zur Optimierung der Benetzbarkeit und Haftung und zur Erzielung reproduzierbarer Klebverbindungen mit einer den Anforderungen entsprechenden Stabilität

3.39

Prüfkörper

speziell angefertigte Probe, die einer zerstörenden oder zerstörungsfreien Prüfung unterzogen wird

3.40

thermoplastisches Polymer

Klasse von Kunststoffen, die innerhalb eines bestimmten Temperaturbereichs beliebig verformt werden können, ohne eine chemische Veränderung zu erfahren

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Verformungseigenschaften sind auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Polymere untereinander nicht chemisch vernetzt sind.

3.41

Duromer

Klasse von Kunststoffen mit chemisch engmaschig untereinander vernetzten Polymerketten, die nicht beliebig verformt werden kann, ohne eine chemische Veränderung zu erfahren

3.42

Anwenderbetrieb

Klebstoffanwender

Unternehmen, das Klebstoffe und Klebtechnik für ihre Herstellung, Instandhaltung und Instandsetzung einsetzt

3.43

Benetzbarkeit

Fähigkeit einer Flüssigkeit (z. B. eines Klebstoffs), sich auf einer festen Oberfläche auszubreiten, so dass sich der Klebstoff über eine möglichst große Fläche auf der Klebefläche verteilt und der Oberfläche so nahe kommt, dass die Wechselwirkung stattfinden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Obwohl die Adhäsion auch von anderen Faktoren abhängt, ist die Benetzung der Oberfläche eine absolut notwendige, aber nicht die einzige Bedingung, um eine Haftung zwischen Fügepart und Klebstoff zu erreichen.

4 Kompetenzen des klebtechnischen Personals

4.1 Allgemeines

Der Anwenderbetrieb (Klebstoffanwender) muss über klebtechnisches Personal verfügen, das über die entsprechenden Kompetenzen als ausführendes Klebpersonal (en: adhesive bonding operator) und Klebaufsicht (vKAP/S, en: rABC/d) verfügt. Das Personal, das Klebarbeiten ausführt, muss über die erforderlichen Kompetenzen, Kenntnisse und Erfahrungen für die Planung, Konstruktion, Überwachung, Prüfung und Ausführung von Klebtechnik verfügen. Für weitere Einzelheiten siehe auch Anhang A.

Die vom Unterauftragnehmer ausgeführten Arbeiten müssen ebenfalls nach den Anforderungen dieses Dokuments ausgeführt werden.

Bei der Vergabe von Unteraufträgen darf ein externer vKAP/S des Auftraggebers nicht für den Unterauftragnehmer arbeiten.

Es gibt drei Kompetenzniveaus 1, 2 und 3, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1 — Kompetenz-, Wissens- und Erfahrungsstufen für das klebtechnische Personal

Stufe	Umfang der Kompetenzen, Kenntnisse und Erfahrungen
1	Umfassende technologische Kompetenzen, Kenntnisse und Erfahrungen in der Klebtechnik werden durch den aktuellen Stand der Technik und fortgeschrittene Fertigkeiten erfüllt (mindestens einjährige einschlägige Erfahrung in der Klebtechnik) Beispiele im informativen Anhang B
2	Spezifische technologische Kompetenzen, Kenntnisse und Erfahrungen in der Klebtechnik werden durch den Stand der Technik und fortgeschrittene Kenntnisse erfüllt (mindestens einjährige einschlägige Erfahrung in der Klebtechnik) Beispiele im informativen Anhang B
3	Grundlegende technologische Kompetenzen, Kenntnisse und Erfahrungen in der Klebtechnik werden durch den aktuellen Stand der Technik erfüllt. Die Ausbildung und Qualifizierung auf diesem Niveau kann von der vKAP/S zugelassen werden. In diesem Fall muss die vKAP/S den Qualifikationsbereich definieren. Beispiele im informativen Anhang B

4.2 Kompetenzen des Aufsichtspersonals

Klebaufsichtspersonen (vKAP/S, en: Adhesive Bonding Coordinator (rABC/d)) tragen die Verantwortung für alle klebtechnischen Aktivitäten und müssen über ausreichende Befugnisse verfügen, um alle erforderlichen Maßnahmen ergreifen zu können.

Zu diesem Zweck müssen sie mit den erforderlichen Leitungsbefugnissen und Entscheidungskompetenzen ausgestattet werden, die es ihnen ermöglichen, unabhängig von betrieblichen und zeitlichen Zwängen zu handeln. Als vKAP/S dürfen nur entsprechend qualifizierte Personen eingesetzt werden. Die Aufgaben und Verantwortlichkeiten solcher Personen müssen auch für Unterauftragnehmer klar definiert werden.

Die Mindestanforderungen an die technologischen Kompetenzen, Kenntnisse und Erfahrungen in der Klebtechnik für die verantwortlichen Klebaufsichtsperson und seine Stellvertreter sind in Tabelle 2 für die Stufen 1 bis 3, je nach Sicherheitsklasse, dargestellt.

Tabelle 2 — Mindestanforderungen an die technologischen Kompetenzen, Kenntnisse und Erfahrungen in der Klebtechnik für die verantwortlichen Klebaufsichtspersonen und ihre Stellvertreter

Umfang der Arbeiten	Anmerkungen	Klasse A1 ^a	Klasse A2 ^a		Klasse A3 ^a	Klasse Z ^a
Freigabe der Produkt- und Prozessgestaltung in der Entwicklungsphase (Entwicklungs- und Planungsphase, en: pre-production)		Stufe 1	Stufe 1 für Produktgestaltung mit Berechnung/Validierung	Stufe 2 für Produkte ohne Berechnung/Validierung	Stufe 2	vom Anwenderbetrieb festzulegen
Beaufsichtigung der Produktion/Herstellung (während der Produktion) und Instandhaltung (nach der Produktion,) ohne Prozessänderungen außerhalb der definierten Prozessdefinition	Bei Neu- oder Umgestaltung und/oder neuen Prozessen oder Prozessänderungen ist zur ersten Zeile dieser Tabelle zurückzugehen	Stufe 2	Stufe 2		Stufe 3	vom Anwenderbetrieb festzulegen
Einbeziehung des vKAP in den Einkauf, den Verkauf, die Montage und Unterauftragsvergabe geklebter Bauteile	Die Lieferkette muss ein geschlossener, nachvollziehbarer Kreislauf sein, um sicherzustellen, dass jeder Vertragspartner über die erforderlichen Kompetenzen verfügt	Stufe 2	Stufe 2		in den technischen Spezifikationen festzulegen	vom Anwenderbetrieb (Klebstoffanwender) festzulegen

^a Siehe Tabelle 3 in 5.3.2.

Für die Herstellung (en: in-production) und die Klebtätigkeiten nach der Ausführung der Klebverbindung (en: post-production) sind mindestens zwei Personen mit entsprechendem Kompetenzniveau erforderlich, z. B. eine ausführende Klebperson und eine Klebaufsichtsperson (KAP).

Erforderlichenfalls müssen ein oder mehrere vKAP/S in geeigneter und nachvollziehbarer Weise für unterschiedliche Aufgabenbereiche benannt werden. Aufgaben und Verantwortlichkeiten müssen klar definiert werden.

vKAP/S, die nicht fest bei dem auftraggebenden Unternehmen/Hersteller beschäftigt sind, werden als externe vKAP/S behandelt. Sie können als vKAP/S des auftraggebenden Unternehmens/Herstellers anerkannt werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- das auftraggebende Unternehmen/Hersteller muss sicherstellen und nachweisen, dass die externe vKAP/S im erforderlichen Umfang zur Erfüllung ihrer Aufgaben zur Verfügung steht;
- die Arbeit des externen vKAP muss definiert und dokumentiert werden. Datum, Ort, Dauer und Art der Tätigkeiten müssen dokumentiert werden.

Die Klebaufsicht ist das Kernthema im Geltungsbereich dieses Dokuments. Aus diesem Grund muss der Auftraggeber/Anwenderbetrieb bei der Vergabe von Unteraufträgen zur Klebaufsicht besondere Sorgfalt walten lassen, insbesondere wenn:

- die vKAP/S von einer Reihe von Unternehmen unter Vertrag genommen wird, oder
- das auftraggebende Unternehmen/Anwenderbetrieb eine Reihe von Unteraufträgen an die vKAP/S vergibt.

Das Niveau der technologischen Kompetenzen, Kenntnisse und Erfahrungen in der Klebtechnik wird im informativen Anhang A erläutert.

4.3 Kompetenzen des ausführenden Klebpersonals (en: adhesive bonding operators)

Die Mindestanforderungen an die Kompetenzen des ausführenden Klebpersonals werden im informativen Anhang A erläutert.

Alle ausführenden Klebpersonen müssen, wenn es sich um Klebverbindungen der Klasse A1 und Klasse A2 handelt, über die erforderliche Kompetenz verfügen, siehe Tabelle 1, Stufe 3.

5 Konstruktion und Verifizierung von Klebverbindungen an Schienenfahrzeugen

5.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt beschreibt die Vorgehensweise bei der Auslegung, Dimensionierung und Nachweisführung für das Kleben von metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen bei der Herstellung sowie Instandhaltung von Schienenfahrzeugen und Schienenfahrzeugteilen. Ziel ist die Auslegung, Dimensionierung und Nachweisführung unter Berücksichtigung aller Geometrie-, Werkstoff- und Umwelteinflüsse (z. B. Reinigungsmittel, UV-Strahlung, Temperatur, Feuchte, usw.).

Alle Beteiligten wie Anwenderbetriebe, Fahrzeuglieferanten und Klebstoffhersteller/Lieferanten müssen bewährte Verfahren des Klebens einschließlich neuer Entwicklungen berücksichtigen.

5.2 Konstruktionsprozess

5.2.1 Ablaufdiagramm

Das nachstehende Ablaufdiagramm (Bild 1) ist ein Beispiel und kein streng chronologischer Leitfaden.

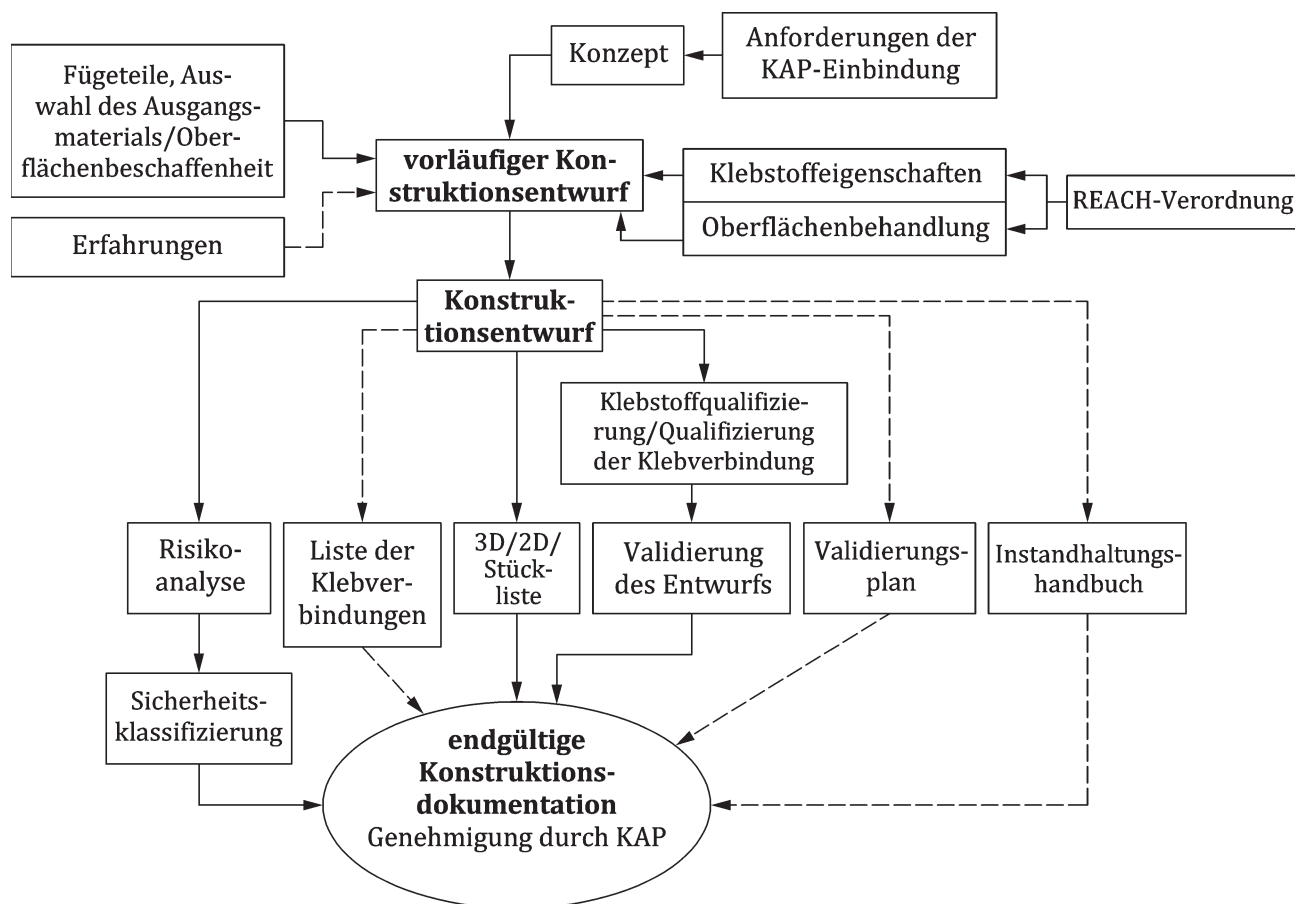


Bild 1 — Ablaufdiagramm eines Konstruktionsprozesses, gestrichelte Linie: optionale Dokumente, die in den technischen Spezifikationen zu definieren sind

5.2.2 Anforderungsliste

Jede Klebverbindung muss bestimmte Anforderungen erfüllen.

In der Entwurfsphase muss eine Anforderungsliste für die Klebverbindungen erstellt werden, die aus den Projektspezifikationen (gesetzliche, vertragliche und interne Anforderungen) abgeleitet und dokumentiert werden muss.

ANMERKUNG 1 Alle relevanten Abteilungen des Unternehmens sollten an der Beschreibung dieser Anforderungen beteiligt werden.

Die Einflüsse und Lasten, denen die Klebverbindung ausgesetzt sein wird, müssen in die Anforderungsliste aufgenommen werden.

Hierzu gehören statische Lasten (Kriechen und Relaxation), Vibrationen, dynamische Lasten, chemische und mikrobielle Einflüsse, thermische und photochemische Einflüsse sowie gegebenenfalls Kombinationen dieser.

ANMERKUNG 2 Beispiele für mechanische Lasten können den allgemeinen Eisenbahnnormen entnommen werden, siehe Tabelle C.1.

Die Anforderungsliste muss die Lebensdauer der Klebverbindung berücksichtigen und auf zuverlässigen Daten über Art, Intensität, Dauer und Häufigkeit der Einflüsse und Lasten zurückgreifen.

Es muss eine Anforderungsliste erstellt werden, z. B. unter Verwendung der in Tabelle C.1 dargestellten Hauptkriterien. Der Umfang der Anforderungsliste muss mit der Klassifizierung der Klebverbindung übereinstimmen.

5.2.3 Vorläufige Konstruktion und allgemeine Gestaltungsparameter

5.2.3.1 Konstruktionsprinzipien

Die Konstruktionslösung wird durch Lasten und Einflüsse aus der Anforderungsliste beeinflusst. Einige allgemeine Grundsätze sind in Anhang D beschrieben.

5.2.3.2 Auswahl des Werkstoffs des Fügeteils und der Oberflächenbeschaffenheit der zu verbindenden Teile

Die Auswahl der Fügeteile und ihrer Oberflächenbeschaffenheit muss auf der Grundlage der Anforderungsliste erfolgen. Der Grundwerkstoff und die Oberflächenbeschaffenheit (z. B. Siebdruck(e)) müssen bei der Oberflächenbehandlung oder den Oberflächeneigenschaften (Rauheit usw.) berücksichtigt werden. Die Auswirkungen von Korrosion oder die Langzeitbeständigkeit der zu verbindenden Teile müssen ermittelt oder auf Erfahrungswerte gestützt werden. Die chemische Zusammensetzung des Ausgangsmaterials kann den Klebstoff selbst oder die Haftung beeinflussen.

5.2.3.3 Erfahrungswerte

Erfahrungen aus vorherigen Lösungen sind bei der Gestaltung von Klebverbindungen zu berücksichtigen.

5.2.3.4 Klebstoffauswahl

Klebstoffe müssen anhand der Anforderungsliste ausgewählt werden (z. B. Klebstoff mit hohem oder niedrigem Modul, Verfestigungsprozess usw., siehe Anhang E). Alle verfügbaren Informationen (Datenblätter von Klebstofflieferanten, interne Daten, Erfahrungswerte, Laborempfehlungen) müssen bei der Auswahl verwendet werden.

Die Auswahl des Klebstoffs kann während des gesamten Gestaltungsprozesses verfeinert werden. Bei der Auswahl des Klebsystems muss sichergestellt werden, dass die Eigenschaften des Klebstoffs nicht isoliert, sondern als Teil der gesamten Klebverbindung betrachtet werden.

Die Adhäsion (Haftung) auf der Fügeteiloberfläche ist eine notwendige Bedingung für jede Klebverbindung und muss mit geeigneten Methoden und Mitteln validiert werden. Darüber hinaus müssen die in Abschnitt 5 und Abschnitt 6 beschriebenen Fertigungsbedingungen (einschlägige Konstruktions- und Herstellungsunterlagen) berücksichtigt werden.

Die Auswahl des Klebsystems kann auf der Grundlage von Anhang E getroffen werden.

5.3 Gestaltung

5.3.1 Allgemeines

Die Fähigkeit einer Klebverbindung, Lasten und Einflüssen zu widerstehen, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Hierzu zählen die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der einzelnen Elemente der Verbindung, ihre geometrische Anordnung und der Anwendungsreichweite sowie die Art der vorhandenen adhäsiven und kohäsiven Wechselwirkungen, des Weiteren die Faktoren Fertigungstechnik und Arbeitssicherheit. All diese Faktoren müssen in der Konstruktionsphase der Klebverbindung berücksichtigt werden, damit sich die Kohäsion und Adhäsion während des Aushärtungsprozesses in gewünschter Weise entwickeln kann.

5.3.2 Risikoanalyse und Sicherheitsklassifizierung

Die Klassifizierung jeder einzelnen Klebverbindung basiert allein und ausschließlich auf dem potenziellen Schaden, der durch ein Versagen der Verbindung entstehen kann. Insbesondere die Folgen eines Versagens einer Klebverbindung müssen auf der Grundlage von Sicherheitsaspekten (Risiko von Verletzungen und Todesfällen) und funktionalen Aspekten des Systems bewertet werden. Jeder Klebverbindung muss eine Sicherheitsklasse zugewiesen werden (siehe Tabelle 3).

Die Sicherheitsklasse bewertet die Folgen eines Versagens der einzelnen Klebverbindungen in Bezug auf die Auswirkungen auf Personen, Anlagen und die Umwelt.

Die Klassifizierung von Klebverbindungen oder der Dichtung muss vom verantwortlichen Konstrukteur in Zusammenarbeit mit dem vKAP/S nach den Definitionen in der folgenden Tabelle auf der Grundlage einer „funktionalen Risikoanalyse“ (Gefährdungsanalyse) unter Verwendung der Fehlerfolgeanalyse oder der RAMS-Analyse (**R**eliability [Zuverlässigkeit], **A**vailability [Verfügbarkeit], **M**aintainability [Instandhaltungsfreundlichkeit], **S**afety [Sicherheit]; siehe EN 50126 [45]) vorgenommen werden. Die Sicherheitsklassifizierung erfolgt unter der Annahme eines vollständigen und spontanen Versagens der Klebverbindung und den daraus folgenden Auswirkungen auf Personen, auf das Fahrzeug und auf die Umwelt. Die Sicherheitsklasse ergibt sich aus den Folgen des Versagens einer einzelnen Klebverbindung in Bezug auf die Auswirkungen auf Personen, Geräte und die Umwelt.

Tabelle 3 — Sicherheitsklassen von Klebverbindungen und Definition der Sicherheitsanforderungen

Klasse	Definition der Sicherheitsanforderungen
A1	Hohe Sicherheitsanforderung Ein Versagen der Klebverbindung führt zu Folgeereignissen mit Personenschäden oder zum Ausfall der Gesamtfunktion.
A2	Mittlere Sicherheitsanforderung Ein Versagen der Klebverbindung kann zu Folgeereignissen mit Personenschäden oder zu einer Beeinträchtigung der Gesamtfunktion führen.
A3	Geringe Sicherheitsanforderung Ein Versagen der Klebverbindung führt nicht zu einer direkten Beeinträchtigung der Gesamtfunktion. Folgeereignisse mit Personenschäden sind unwahrscheinlich.
Z	Keine Sicherheitsanforderung Ein Versagen der Klebverbindung führt nicht zu einer Beeinträchtigung der Gesamtfunktion und führt unter normalen Betriebsbedingungen nicht zu Personenschäden (z. B. nur zu Komforteinbußen).

5.3.3 Liste der Klebverbindungen

Die Liste der Klebverbindungen bietet einen Überblick über alle Klebverbindungen eines Projekts oder Teilsystems. Wenn eine Liste der Klebverbindungen erforderlich ist, müssen mindestens die folgenden Informationen in einem solchen Dokument angegeben werden:

- Systembezeichnung (Projektname);
- Nummer oder Name der Klebverbindung;
- Nummer der Baugruppe/Unterbaugruppe (Zeichnungsnummer, Stückliste);
- Sicherheitsklasse.

5.3.4 Klebstoffqualifizierung

5.3.4.1 Allgemeines

Die Qualifizierung eines Klebstoffs muss sich nach den Erfordernissen der Konstruktion der Klebverbindung richten.

Im Folgenden wird zwischen niedrigmoduligen (oft elastomeren) und hochmoduligen (meist duromeren oder thermoplastischen) Klebstoffen unterschieden. Niedrigmodulige Klebstoffe zeigen bei quasistatischer Belastung (z. B. ISO 37, EN ISO 527-1, EN ISO 527-2 oder EN ISO 527-3) ein überwiegend nichtlineares elastisches Verhalten und können hohe Bruchdehnungen aufweisen. Die Einsatztemperatur für solche Klebstoffe liegt oberhalb der Glasübergangstemperatur.

Hochmodulige Klebstoffe weisen ein vornehmlich elasto-plastisches Verhalten auf, wenn sie einer quasistatischen Beanspruchung ausgesetzt sind. In diesem Fall liegt die Einsatztemperatur meistens unter der Glasübergangstemperatur, kann diese jedoch auch überschreiten.

In beiden Fällen besteht die Hauptfunktion des Klebstoffs in der Verbindung der Fügeteile. Wenn der Klebstoff außerdem dafür ausgelegt ist, Relativbewegungen zwischen den Fügeteilen aufzunehmen werden üblicherweise niedrigmodulige Klebstoffe verwendet. Geht es um die Übertragung relativ hoher Lasten, werden in der Regel hochmodulige Klebstoffe verwendet.

ANMERKUNG Hochmodulige Klebstoffe zeichnen sich in der Regel durch eine höhere Festigkeit und eine geringere Verformbarkeit aus (z. B. $E \gg 100 \text{ MPa}$, $\epsilon \ll 100 \%$), während niedrigmodulige Klebstoffe in der Regel durch eine geringere Festigkeit, aber eine höhere Verformbarkeit gekennzeichnet sind (z. B. $E \ll 100 \text{ MPa}$, $\epsilon \gg 100 \%$).

5.3.4.2 Physikalische Eigenschaften von Klebstoffen

5.3.4.2.1 Allgemeines

Die physikalischen Eigenschaften müssen für jeden spezifischen Klebstoff und jede Oberfläche sowie für die relevanten Lasten und Einflüsse (z. B. Feuchte, Temperatur, chemische Einflüsse, mechanische Belastung) oder deren Kombinationen bestimmt werden.

5.3.4.2.2 Klebstoff-Kennwerte

Probekörper zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit von Klebverbindungen müssen nach den Verfahren, den Fügeteilwerkstoffen und den im Betrieb zu verwendenden Oberflächen vorbereitet werden. Tritt ein kohäsives Versagen der Verbindung auf, so ist das Versagen auf den Klebstoff als solchen zurückzuführen. In solchen Fällen dürfen Daten und Kennwerte aus Prüfungen mit anderen Substraten verwendet werden, sofern die Prüfbedingungen, die Anforderungen und das Dehnungs-/Verformungsverhalten gleichwertig sind und das Versagen bei diesen Prüfungen ebenfalls kohäsiv war.

5.3.4.2.3 Festigkeit der Klebverbindung/Verbundfestigkeit

Wenn nicht anders angegeben, muss der kohäsive Versagensanteil für gealterte oder nicht gealterte Prüfkörper n mindestens der Definition in Tabelle 4 entsprechen.

Für die Prüfung der Adhäsion werden die nachstehenden Bruchbilder nach EN ISO 10365 akzeptiert:

- Kohäsionbruch (CF, en: cohesive failure);
- Kohäsionbruch im Bereich der Fügeteiloberfläche (SCF, en: superficial cohesive failure);
- Fügeteilbruch (SF, en: substrate failure).

Im Falle eines Füge­teil­bruchs muss der schwächste Partner bewertet werden, um die Auslegung des Produkts sicherzustellen.

Tabelle 4 — Versagenskriterien bei Klebverbindungen

Klebstoffklassifizierung	Versagsmuster
Niedrigmodulige Klebstoffe mit einer Schichtdicke $\geq 1,5$ mm	≥ 95 % CF + SCF + SF
Hochmodulige Klebstoffe	≥ 70 % CF + SCF + SF

Bei kohäsiven Versagensanteilen, die unter dem in Tabelle 4 angegebenen Kriterium liegen, sind zusätzliche Prüfungen (z. B. hinsichtlich Alterungsverhalten, Versagensbild, Streuung der Ergebnisse) durchzuführen.

Instandgesetzte Klebverbindungen können andere Verbundeigenschaften aufweisen als die ursprünglichen Klebverbindungen. Dies ist bei der Auslegung oder Analyse der Klebverbindungen zu berücksichtigen.

Die Wahl der beschleunigten Alterungsprüfungen (siehe Anhang G) hängt vom Anforderungsprofil ab.

Die Ergebnisse von niedrigmoduligen und hochmoduligen Klebstoffen (siehe unten) gelten nur für die Charakterisierung der Klebstoffe. Die Interpretation der Ergebnisse der in der Produktion hergestellten Arbeitsproben muss nach Tabelle 4 unter der Verantwortung des vKAP festgelegt werden.

Niedrigmodulige Elastomerklebstoffe können in Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen dem Raupenschälversuch nach ISO 21194 (ggf. nach Einwirkung von Chemikalien) unterzogen werden. Es muss jedoch beachtet werden, dass dieser Test nur ein Ergebnis über das Adhäsionsvermögen liefert. Die Ergebnisse eignen sich für die Auswahl von Klebstoffen und Oberflächen oder für eine schnelle Überprüfung der Adhäsion oder für Vergleiche. Sie liefert keine Festigkeitswerte, die für die Auslegung der Klebverbindung verwendet werden können. Derartige Verbundwerte müssen durch andere Prüfungen ermittelt werden (siehe Abschnitt F.3).

Bei hochmoduligen Klebstoffen muss der Nachweis einer ausreichenden Haftung bei mechanischen Prüfungen (z. B. Überlappungsscherversuch, Zugversuch, Abreißversuch usw., siehe Anhang F) berücksichtigt werden. Das Versagensbild muss nach EN ISO 10365 analysiert und definiert werden.

5.3.4.3 Beanspruchbarkeit

Die Beanspruchbarkeit wird durch Versuche an Klebverbindungen ermittelt. Bei der Analyse müssen charakteristische Werte wie in Anhang D für Klebverbindungen der Klasse A1 mit einem Vertrauensintervall von $1 - \alpha = 95$ % nach ISO 16269-6 ermittelt werden. Die Wahrscheinlichkeit muss mindestens 95 % betragen. Für Klebverbindungen der Klasse A2 müssen charakteristische Werte mit einem Vertrauensintervall von $1 - \alpha = 95$ % ermittelt werden, und die Wahrscheinlichkeit muss mindestens 90 % betragen.

Die Beanspruchbarkeit wird als charakteristischer Wert für die mögliche Belastungsgrenze (siehe Anhang D) unter den jeweiligen Betriebsbedingungen bestimmt.

Die Beanspruchbarkeit kann durch geeignete Vergleichsspannungshypothesen ermittelt werden. Der Einheitlichkeit halber müssen bei der Analyse von örtlicher Werkstoffanstrengung für die Beanspruchung und die Beanspruchbarkeit die gleichen Verfahren gewählt werden.

Die Beanspruchbarkeit kann auch aus verfügbaren äquivalenten Ergebnissen oder Erfahrungen aus der Praxis abgeleitet werden.

5.3.4.4 Quasi-statische Festigkeit der Klebverbindung

Klebstoffe müssen nach Anhang D geprüft werden. Spezielle Baugruppen wie geklebte Sandwichelemente, geklebte Waben-Sandwichelemente und geschäumte Materialien müssen nach den einschlägigen technischen Regeln geprüft werden. In allen Fällen müssen der charakteristische Wert (siehe Anhang D) angegeben und das Bruchbild beschrieben werden (siehe EN ISO 10365). Wenn die Betriebsbedingungen und die Sicherheitsklasse es erfordern, muss die Klebverbindung in Abhängigkeit von der Temperatur oder nach Einwirkung von Chemikalien bestimmt werden.

5.3.4.5 Kriechverhalten, Kriechgrenzen, Relaxation und Bruchdehnung unter statischer Langzeitbelastung

Bei der Ermittlung des Kriechverhaltens der Klebverbindung müssen zwei unterschiedliche Betriebszustände angenommen werden:

- a) Kriechen: Die Klebverbindung wird dauerhaft statisch belastet (z. B. Eigengewicht des Bauteils), d. h. die Dehnung nimmt kontinuierlich zu, solange die Kriechgrenze der Klebverbindung niedrig ist. Die zulässige Kriechdehnung zu einem bestimmten Zeitpunkt (vom Konstrukteur festzulegen) muss bei der Auslegung der Klebverbindung berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass die aus der statischen Belastung resultierende Spannung kleiner ist als die Spannung, die zur zulässigen Kriechdehnung führt. Die zulässige Kriechdehnung muss kleiner sein als die Kriech- oder Relaxationsbruchdehnung (siehe nachfolgenden Punkt b)). Informationen über Messungen des Kriechverhaltens sind in Anhang D enthalten.
- b) Relaxation: Die Klebverbindung muss so ausgelegt werden, dass sie die Relativverschiebung der Bauteile über einen längeren Zeitraum aufnehmen kann [z. B. Einbauten nach der Herstellung der Klebverbindung, Verformungen durch Maßabweichungen, Verformungen durch Vorspannungen bei der Montage, Verformungen durch Temperaturschwankungen bei großen Bauteilen wie Dachplatten aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK)]. Ein Bruch der Klebverbindung im Relaxationsversuch ist unwahrscheinlich. Die zulässige Dehnung muss experimentell bestimmt werden. Informationen über die Prüfung der Bruchdehnung nach der Relaxation sind in Anhang D enthalten.

Der Fall b) ist in der Regel nur relevant, wenn niedrigmodulige, elastomere Klebstoffe verwendet werden. Die Bruchdehnung nach der Relaxation ist deutlich geringer als bei der Bestimmung der Zugscherfestigkeit (siehe Anhang F) oder der Kriech- und statischen Belastung [Fall a)] in einem quasi-statischen Versuch.

Die Bruchdehnung nach der Relaxation oder dem Kriechen ist eine Funktion der Temperatur, der Einwirkung chemischer Stoffe und der Oberfläche der Fügeteile.

5.3.4.6 Schwingungsbeanspruchung und Ermüdung

Die zulässige Schwingungsbeanspruchung der Klebverbindung ist abhängig von den Fügeteilwerkstoffen, eventueller Oberflächenbeschichtungen, des Klebstoffs und der Betriebsbedingungen, wobei der Einfluss der Mittelspannung (Kriechneigung) berücksichtigt werden muss. Informationen über die Messung der Dauerfestigkeit sind in Anhang D enthalten.

5.3.4.7 Crash-/Impactverhalten

Die mechanischen Eigenschaften von Klebstoffen und Fügeteilen sind abhängig von der Temperatur und der Beanspruchungsgeschwindigkeit. Um das Verhalten von Klebverbindungen bei hohen Lasten zu charakterisieren, müssen die Eigenschaften der Fügeteile und der Klebverbindungen bei den entsprechenden Dehnungsgeschwindigkeiten bestimmt werden.

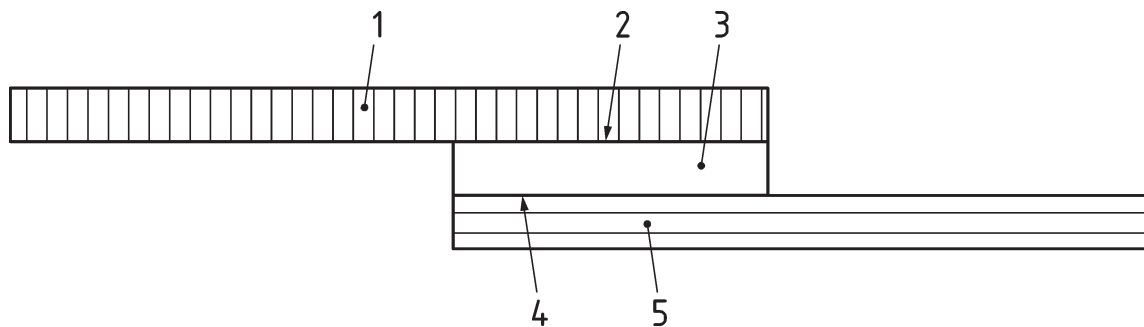
Die Eigenschaften der Klebverbindungen müssen in den Bereichen überprüft werden, in denen die Klebezone das Verhalten der Konstruktion bei einem Aufprall oder einer Kollision deutlich beeinflusst.

5.3.4.8 Konstruktions- und Fertigungsdokumentation

Für jede Baugruppe muss eine Konstruktionsdokumentation erstellt werden (3D-Modelle, 2D-Zeichnungen, Stücklisten usw.). Diese Unterlagen müssen alle Informationen enthalten, die für die Erstellung der Fertigungsunterlagen und die Durchführung des Fertigungsprozesses erforderlich sind. Daher muss der Mindestinhalt dieser Unterlagen für Klebverbindungen sein:

- Fügeteilwerkstoff;
- Fügeteiloberfläche;
- Klebstoff;
- Oberflächenbehandlung;
- Abmessungen und Positionen, ggf. einschließlich Toleranzen;
- Sicherheitsklasse; und
- Bezugnahme auf dieses Dokument.

Bild 2 zeigt ein Beispiel dafür, wie diese Informationen in Zeichnungen umgesetzt werden können. Es ist wichtig, dass die Konstruktionsunterlagen eine genaue Zuordnung der Oberflächenbehandlung zu den Fügeflächen beinhalten.



Legende

- 1 Fügeteil 1 einschließlich Oberflächenbestimmung
- 2 Oberflächenbehandlung 1
- 3 Klebstoff
- 4 Oberflächenbehandlung 2
- 5 Fügeteil 2 einschließlich Oberflächenbestimmung

ANMERKUNG Symbole für Klebverbindungen vereinfachen die Zeichnungen.

Bild 2 — Beispiel einer 2D-Zeichnung für Klebverbindungen

5.4 Validierung der Konstruktion

5.4.1 Allgemeines

Der Umfang der Validierung hängt von der der Klebverbindung zugeordneten Klasse ab (siehe Tabelle 2). Die Validierung des Konstruktionsentwurfs kann mit einer der nachstehenden Methoden durchgeführt werden:

- 1) Berechnung der Klebverbindung (z. B. Spannungen und Dehnungen) für jede Klebverbindung und Vergleich mit der Beanspruchbarkeit (siehe 5.4.3);
- 2) Prüfungen von Bauteilen oder Teile davon unter realistischen Bedingungen, um die Festigkeit von Teilen der Baugruppe zu bestimmen (siehe 5.4.5);
- 3) bewährte Gestaltung durch dokumentierte Erfahrung (siehe 5.4.4).

Die Methoden 1, 2, und 3 können kombiniert werden.

5.4.2 Ermittlung der Einflüsse/Lasten

5.4.2.1 Allgemeines

Die Lastfälle werden durch die Anforderungen bestimmt. Die Klebverbindungen werden auf Basis dieser Lastfälle berechnet.

5.4.2.2 Beispiele mechanischer Lasten

Einige Beispiele mechanischer Lasten sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5 — Beispiele mechanischer Lasten

	Statisch		Dynamisch/zyklisch
	Kurzfristig	Langfristig	
Beispiel	Quasi-statisch (gerichtete Lasten), Stoß/Impact, Crash	Kriechen, Relaxation (permanente Verschiebung)	Ermüdung, Vibration, aerodynamische Lasten

5.4.2.3 Beispiel nichtmechanischer Lasten

Einige Beispiele nichtmechanischer Einflüsse sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6 — Nichtmechanische Einflüsse auf Klebverbindungen

	Chemische und mikrobiologische Einflüsse	Thermische und andere physikalische Einflüsse
Beispiel	Feuchte (Korrosion), Reinigungsmittel, Enteisungsmittel	Thermisch, photochemisch (UV), elektromagnetisch, elektrisch

Für alle in Tabelle 5 und Tabelle 6 genannten Einflüsse müssen die folgenden Parameter berücksichtigt werden:

- Art (Richtung);
- Intensität;
- Dauer;
- Frequenz.

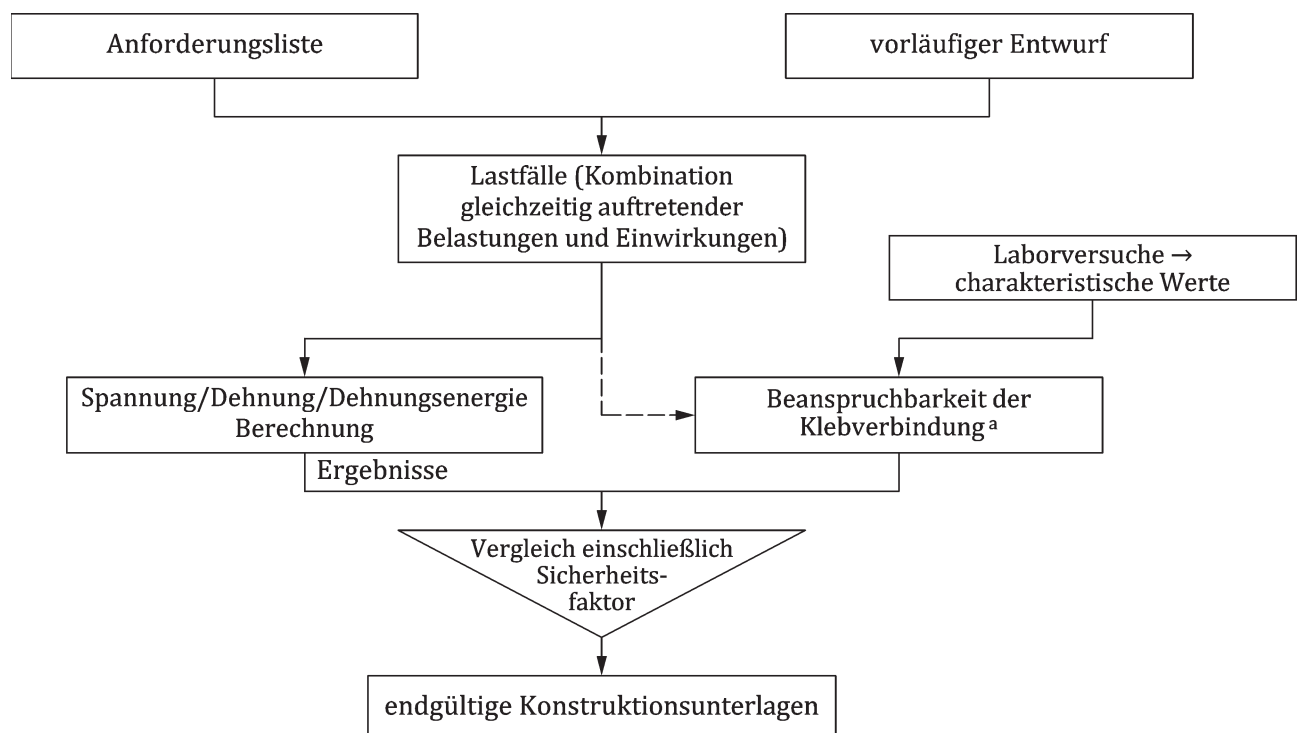
Ein Lastfall ist eine Kombination von vorhergehenden Einflüssen und Parametern, die gleichzeitig auf die Klebverbindung einwirken werden. Im Allgemeinen sind für einen Entwurf mehrere Lastfälle typisch.

Die relevanten Lastfälle müssen in den Validierungsplan der Klebverbindung integriert werden.

5.4.3 Berechnung

5.4.3.1 Allgemeines

Das Ergebnis der Verifizierung (siehe nachfolgendes Bild 3) ist ein Vergleich zwischen den berechneten Beanspruchungen, die in der Klebverbindung auftreten, und der Beanspruchbarkeit der Klebverbindung.



ANMERKUNG Die Sicherheitsfaktoren hängen von den Kenntnissen und Erfahrungen des Anwenderbetriebs ab. Die Sicherheitsfaktoren werden von den Anwenderbetrieben auf der Grundlage ihres Wissens oder ihrer Erfahrung festgelegt.

^a Charakteristische Werte für die zutreffenden Lasten/Einflüsse

Bild 3 — Berechnungsvorgang

5.4.3.2 Ermittlung der Spannungen/Dehnungen

5.4.3.2.1 Allgemeines

Die lastübertragende Gestaltung muss mit Hilfe eines analytischen Ansatzes oder einer Finite-Elemente-Analyse (FEM-Analyse) durchgeführt werden. Die verwendeten Berechnungsmethoden und die erzielten Ergebnisse sind anhand von Vergleichsberechnungen für geeignete Versuche an einfachen Prüfproben, Modellen oder verfügbaren Ergebnissen von Bauteilprüfungen in transparenter Weise zu validieren. Als geeignet gelten Prüfproben oder Modelle, die eine Spannungsverteilung und eine ähnliche Geometrie wie die betrachtete Klebverbindung aufweisen. Dabei darf auch auf vorhandene Kenntnisse und Erfahrungen zurückgegriffen werden.

Die Lasten müssen aus dem Anforderungsprofil abgeleitet werden (siehe Abschnitt 5). Klebverbindungen müssen in Abhängigkeit von dem Materialverhalten des Klebstoffs und dem jeweiligen Lastfall unter Berücksichtigung von Spannung (Festigkeit) oder Dehnung (Verformung) analysiert werden.

Entscheidend für die Beanspruchbarkeit der Klebverbindung sind die Spannungskonzentrationen in der Klebverbindung sowie die Eigenschaften der Fügeteile und ihrer Oberflächen. Für die Berechnung sind in der Regel nur einige wenige Lastfälle aus einer Vielzahl von theoretischen Fällen oder eine Kombination davon von Bedeutung.

5.4.3.2.2 Finite-Elemente-Analyse (FEM-Analyse)

Die Finite-Elemente-Methode (FEM) erlaubt die Bestimmung der lokalen Spannungen in Klebverbindungen. Bei der Berechnung können entweder Federelemente oder andere äquivalente Elemente verwendet werden, oder die Spannungen in der Fuge können durch die Annahme von Volumenelementen und den entsprechenden Materialmodellen mit hoher Genauigkeit berechnet werden.

Werden Federelemente verwendet – was bei der Analyse von nichtlinear-elastischen Dickschichtklebungen häufig der Fall ist – so hängt die aus der seitlichen Dehnungseinschränkung resultierende Federkonstante von der Dicke der Klebschicht und der Breite der Klebverbindung sowie von der Belastungsrichtung ab, in der die Klebverbindung auf Zug oder Druck beansprucht wird. Werden andere äquivalente Elemente verwendet, so müssen die Auswirkungen einer Vereinfachung berücksichtigt werden.

Für eine genauere Analyse der lokalen Spannungen ist ein angemessen verfeinertes Netz erforderlich. Die Genauigkeit der Materialmodelle und der verwendeten Finite-Elemente-Netze ist durch geeignete Kontroll- oder Vergleichsberechnungen (z. B. Einzelelementanalysen, Berechnung des Verhaltens von Proben oder einfachen Modellen) oder durch geeignete Versuchs- oder Konvergenzanalysen auf transparente Weise zu validieren.

5.4.3.2.3 Analytische Berechnungsmethoden

Im Allgemeinen sind die analytischen Berechnungsmethoden ähnlich wie die Finite-Elemente-Analyse. Die Verfahrensschritte: Modellierung/vereinfachte Skizze, Beschreibung des Materialverhaltens der verschiedenen Fügeteile der Klebverbindung und der Vergleich zwischen berechneter Beanspruchung und zulässiger Beanspruchbarkeit müssen in beiden Fällen durchgeführt werden.

Die Klebverbindung muss mit mechanischen/strukturellen Standardelementen wie Fachwerken, Trägern, Platten, Schalen usw. beschrieben werden.

Der Normalspannungsansatz ist ein einfaches analytisches Konzept. Das Fügeteil muss als starrer Körper und der Klebstoff als linear-elastischer Körper modelliert werden. Die Kräfte sind gleichmäßig verteilt. Der Quotient aus Kraft und Klebfläche gibt die Normalspannung an. Die Normalspannung muss mit der zulässigen Spannung verglichen werden. Der Normalspannungsansatz wird häufig für die Vordimensionierung verwendet.

Um die Bemessung genauer zu berechnen, gibt es folgende Möglichkeiten, woraus häufig ein unausgeglichenes Dehnungs- und Spannungsverhalten resultiert:

- Beschreibung des Werkstoffverhaltens der Fügeteile, d. h. der Verformungen des gesamten Produkts;
- Einsetzen von Kräften und Momenten in unausgeglichener Weise und multiaxialen Spannungsniveau;
- Berücksichtigung von Einflüssen (Temperatur, Feuchte, Zugkraft) auf das Werkstoffverhalten.

5.4.3.3 Beanspruchbarkeit des Klebstoffs

Es müssen charakteristische Werte aus der Qualifizierung des Klebstoffs verwendet werden. Wurde die Qualifizierung des Klebstoffs nicht unter den gleichen Bedingungen (z. B. Fügeteile, Temperatur, Feuchte usw.) wie gefordert durchgeführt, muss eine Kombination von Kennwerten (aus der Qualifizierung des Klebstoffs) berücksichtigt werden.

5.4.3.4 Validierung der Beanspruchbarkeit der Klebverbindung

Um den Einfluss der Fertigung auf die zulässigen Werte zu ermitteln, müssen Prüfkörper für Klebverbindungen der Klassen A1 und A2 hergestellt und einmalig für einen ausgewählten Anwendungsfall unter fertigungsrelevanten Bedingungen geprüft werden. Art, Umfang und Bewertungskriterien werden von der vKAP festgelegt.

5.4.3.5 Vergleich einschließlich Sicherheitsfaktor

Die berechneten Spannungen und Dehnungen müssen mit den zulässigen Werten verglichen werden.

In die Berechnung muss ein Sicherheitsfaktor nach den Kenntnissen oder Erfahrungen des Anwenderbetriebs einbezogen und dokumentiert werden.

- Fall 1: Die berechneten Spannungen und Dehnungen überschreiten die zulässigen Werte, der Entwurf muss verbessert oder überdacht werden.
- Fall 2: Die berechneten Spannungen und Dehnungen liegen unter den zulässigen Werten; die Auslegung der Klebverbindung ist verifiziert.

5.4.4 Bewährte Konstruktion

Erfolgt der Nachweis auf der Grundlage von Erfahrungswerten, muss der Nachweis erbracht werden, dass sich das System als geeignet erwiesen hat. Dazu muss nachgewiesen werden, dass das Verhalten der Klebverbindung unter Betriebsbedingungen hinsichtlich der betrachteten Klebverbindung in Bezug auf Lebensdauer, Belastungsbedingungen und Klebeigenschaften übertragbar ist. Das Verfahren muss in transparenter Weise dokumentiert werden.

5.4.5 Bauteilprüfung

Unter Bauteilprüfung versteht man die Prüfung des Systems als Ganzes oder eines Teils davon unter tatsächlichen oder den Einsatzbedingungen nachgebildeten Bedingungen. Es muss nachgewiesen werden, dass die Prüfbedingungen in ihrer Auswirkung auf die Klebverbindung hinreichend ähnlich sind. Bei der Prüfung von Teilsystemen muss die Wechselwirkung zwischen diesen und dem Gesamtsystem berücksichtigt und überprüft werden, um sicherzustellen, dass die Wechselwirkung die Ergebnisse nicht übermäßig beeinträchtigt. Für die Bewertung muss ein Ausfallkriterium festgelegt werden. Die Prüfergebnisse müssen in geeigneter Weise statistisch ausgewertet werden. Je nach Kenntnis der Klebverbindung, der Realitätsnähe der Prüfbedingungen und der angewandten statistischen Auswertung muss ein Sicherheitsfaktor in das Versagenskriterium bzw. die Prüfbedingungen integriert werden. Der gesamte Prozess muss dokumentiert werden. Alle getroffenen Entscheidungen und deren Begründungen müssen dokumentiert werden.

5.4.6 Kombination aus Berechnung/Bauteilprüfung/bewährte Konstruktion

Wird der Nachweis durch eine Kombination der oben genannten Methoden beeinflusst, muss sichergestellt werden, dass alle Anforderungen angemessen berücksichtigt werden. Es muss auch darauf geachtet werden, dass alle Teile des Prüfverfahrens miteinander kompatibel sind (z. B. beim Vergleich von Prüfergebnissen mit Pass-/Fail-Kriterien). Das Verfahren muss auf transparente Weise dokumentiert werden.

5.5 Konformitätsnachweis

Nach erfolgreichem Nachweis der Konformität der Konstruktion muss die vKAP die Freigabe nach Tabelle 7 dieses Dokuments erteilen. Darüber hinaus muss das Ergebnis der Konformität der Konstruktion in den technischen Unterlagen vermerkt werden.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die durchzuführenden/umzusetzenden Maßnahmen für Klebverbindungen der Klassen A1 bis A3. Bei Klebverbindungen der Klasse Z muss lediglich die Klassifizierung dokumentiert werden.

Der Detaillierungsgrad der durchzuführenden Maßnahmen richtet sich nach den für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten und nach den vom vKAP/S begründeten Anforderungen.

Tabelle 7 — Maßnahmen und Dokumentation des Konformitätsnachweises für die Sicherheitsklassen A1, A2, A3 und Z

		Sicherheitsklasse			
		A1	A2	A3	Z
Gestaltung der Klebverbindung					
1	Klebverbindung klassifizieren, Anforderungsliste aufstellen	A	A	A	A
2	Klebsystem auswählen	A	A	A	A
3	Baugruppen, Bauteile und Klebverbindungen konstruieren	A	A	A	A
Dokumentation					
4	Klassifizierung von Klebverbindungen, mit Begründungen	D	D	D	D
5	Anforderungsliste	D	D	—	—
6	Prüfberichte einschließlich Materialeigenschaften, Parameter für die Klebverbindung, Erfahrungsberichte	D	—	—	—
7	Technische Datenblätter	D	D	D	—
Berechnung zur Dimensionierung/Konstruktion (z. B. FEM-Analyse, analytischer Ansatz)					
8	Die Auslegung basiert auf dem Stand der Technik und/oder den Ergebnissen der Bauteilprüfungen und/oder der dokumentierten Erfahrung, dass bisher keine Schäden aufgetreten sind.	D	—	—	—
	Überschlägige Berechnung, Vergleich mit Erfahrungswerten	D	D	—	—
9	Feststellung, dass die Beanspruchung geringer ist als die Beanspruchbarkeit (zur Dimensionierung von Lastfällen, ggf. unter Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren)	D	D	—	—