



Atlas Copco



Pocket Guide
Einführung in die
Klebetchnik

Kleben – die Montagetechnik der Zukunft

Oft gibt es falsche Vorstellungen vom Kleben, deshalb wird diese Technik als weniger wirksam als Schrauben oder Nieten eingestuft. Tatsächlich handelt es sich beim Kleben aber um eine der effizientesten und produktivsten Fügetechniken.

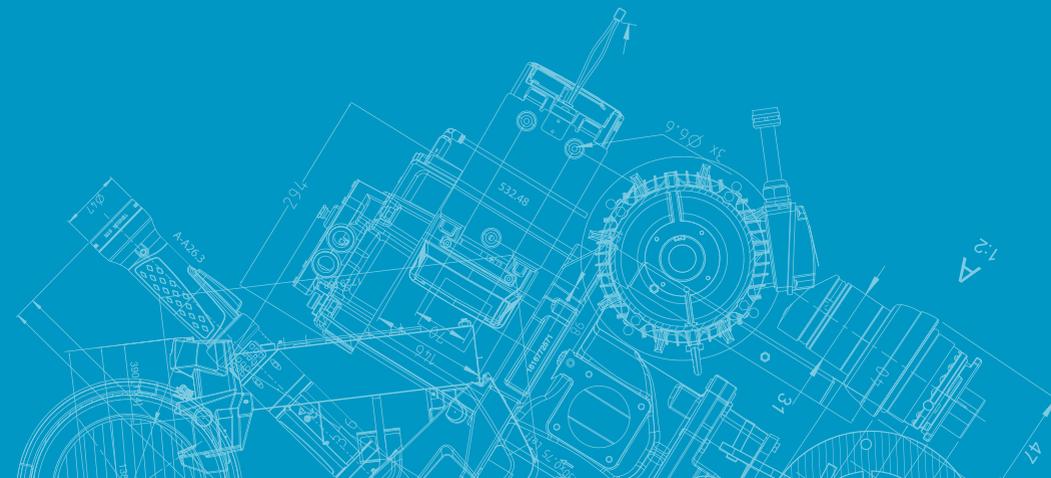
Die Nachfrage der Produkte, bei denen mehrere Materialien kombiniert werden, die Gewichtsreduktion ermöglichen und kosteneffizienter herzustellen sind, hat den Markt für Klebeverbindungen geöffnet.

Das Verbinden mit Hilfe modernster Klebstoffe ist eine wirksame Methode, die Nieten, Schweißen und Schrauben ersetzen kann. Die Montagetechnik der Zukunft für viele Industriebereiche und Anwendungen ist bereits weit in der Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, Elektronik, bei erneuerbaren Energien und Haushaltsgeräten verbreitet.

In der Automobil- und Luftfahrtindustrie werden Klebeverbindungen beispielsweise für leichte Metalle und Verbundwerkstoffe eingesetzt. Diese werden zunehmend genutzt, um das Gewicht von Fahrzeugen und Flugzeugen zu verringern. Dadurch können der Kraftstoffverbrauch und die Emissionen reduziert werden.

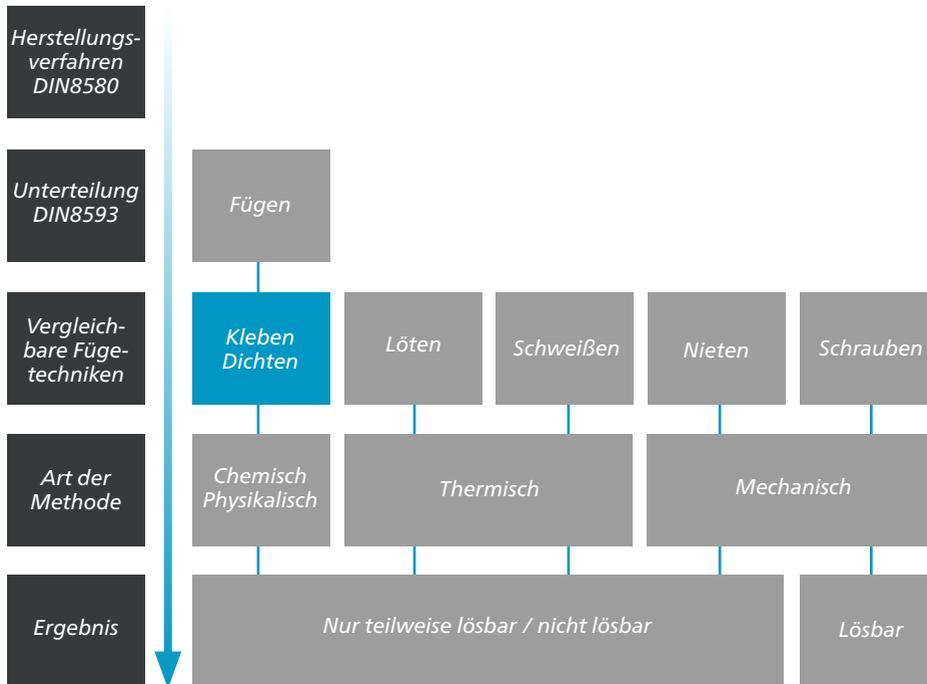
Inhaltsverzeichnis

1. Überblick über Fügetechniken.....	4
2. Die Geschichte des Klebens.....	5
3. Beispiele aus der Natur.....	7
4. Definitionen: Kleben, Adhäsion, Kohäsion, Viskosität, Rheologie, Benetzung.....	8
5. Die Klebeverbindung und ihre Spannungsverteilung.....	16
6. Vorteile / Nachteile von Klebeverbindungen.....	18
7. Vorteile von Klebeverbindungen.....	20
8. Kleben, Dichten, Isolieren.....	22
9. Einflussfaktoren auf die Bindungsfunktion.....	24
10. Bedeutung der Oberflächenbehandlung.....	32
11. Oberflächenenergie.....	36
12. Eigenschaften von Klebstoffen.....	38
Glossar.....	43



1. Überblick über Fügetechniken

Klassifizierung von Fügetechniken



2. Die Geschichte des Klebens

Material- und technologische Entwicklung – das Rad

Seit der Erfindung des Rades in Mesopotamien ungefähr 3500 v. Chr. ist der Mensch ständig bestrebt, das Fahrempfinden zu verbessern.

Heutige Fahrzeugreifen bestehen aus einer Vielzahl von Materialien, einschließlich Textil- und Stahlgewebe, synthetischer Faser und Gummi. Diese einzelnen Bestandteile werden durch Klebstoffe miteinander verbunden.

Die komfortable, ruhige Fahrt, die wir heute in unseren Autos vorfinden, wären ohne Klebetechnik nicht möglich.



Holz
Scheibenrad
3000 v. Chr.



Holzwagen
Tutanchamun
1400 v. Chr.



Holz und Eisen
Römisches Speichenrad
200 n. Chr.

Ein moderner Autoreifen

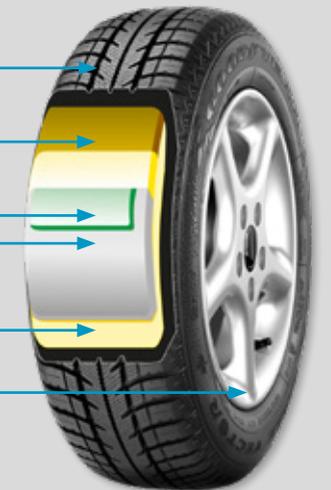
Lauffläche:
Gummi

Abdeckung:
Kunstfaser

Radialschicht:
Stahlgewebe

Karkasse:
Textilgewebe

Radfelge:
Aluminium

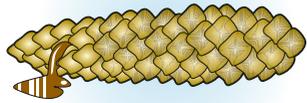


Klebstoffe haben eine lange Tradition

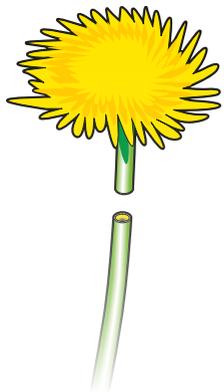
Mischungen aus Asphalt und Kiefernharz, eine frühe Form des heutigen Heißklebers, wurden bereits zu Zeiten des Turmbau zu Babels verwendet.

Die Verbindung von Materialien wie Holz, Stein, Keramik usw. mit Hilfe von Klebstoffen, Leimen oder Kitt ist bereits seit prähistorischer Zeit bekannt.

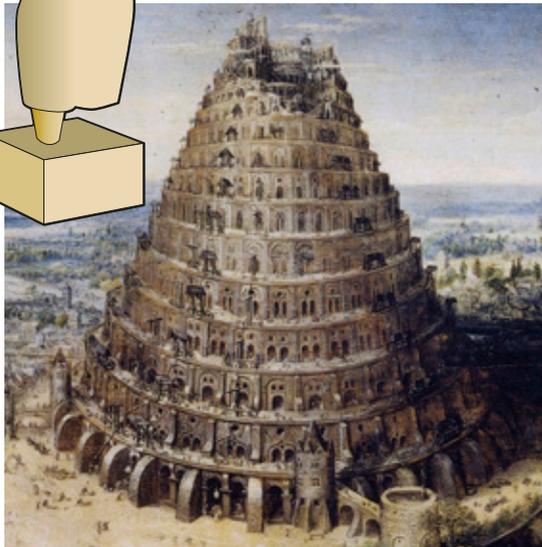
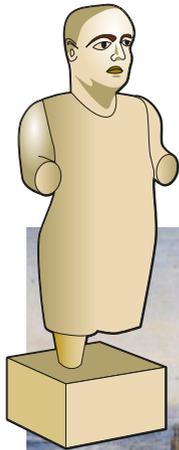
Fragmente einer Alabasterstatuette, gefertigt zwischen 3000 und 3300 v. Chr., wurden in Uruk (Erech) gefunden. Die Augäpfel bestehen aus dem Mittelstück einer Muschel, auf das mit Hilfe von Klebstoff Pupillen aus Lapislazuli aufgebracht wurden. Der verwendete Kleber war Asphalt oder Leim aus tierischen Produkten (Fischhaut / Knochenleim).



Tropfen aus Kiefernharz.



Der Milchsafte des Löwenzahns.

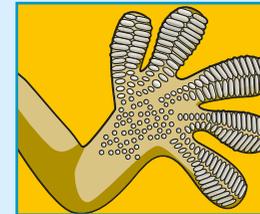


3. Beispiele aus der Natur

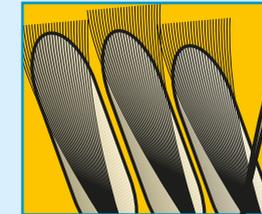
Das Klebesystem des Geckos

Geckos besitzen die bemerkenswerte Fähigkeit, in jeder Orientierung auf nahezu allen glatten oder rauen, nassen oder trockenen, sauberen oder verschmutzten Oberflächen zu laufen.

Das Geheimnis der Haft Eigenschaften des Geckos: Millionen von Mikrometer großen Borsten auf jeder Zehe des Geckos bilden einen selbstreinigenden Trockenkleber.

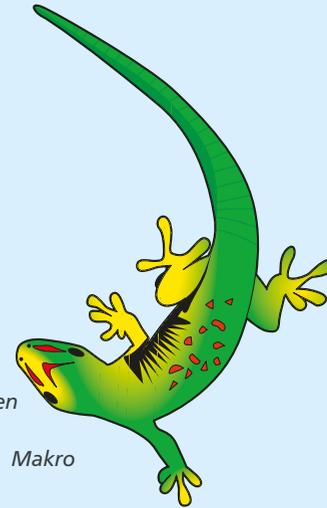


Meso



Mikro

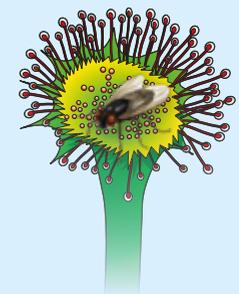
Nano-
strukturen



Makro

Sonnentau – fleischfressende Pflanzen

Diese Pflanzen halten ihre Beute lange genug mit Tröpfchen aus Klebstoff "fest", um diese zu verdauen.





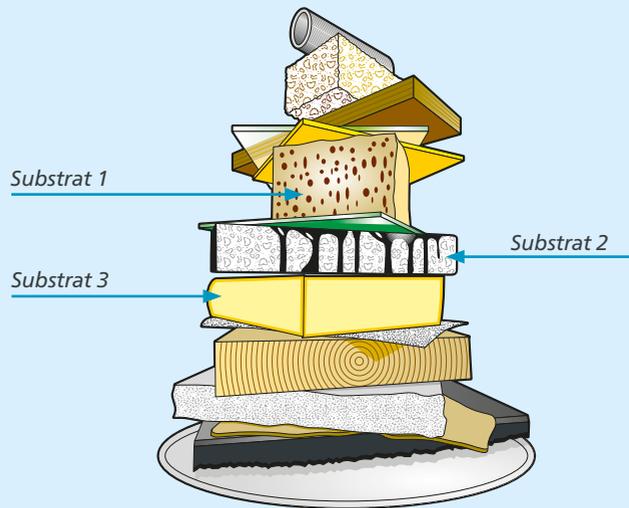
4. Definitionen

Um das Klebverfahren wirklich zu verstehen, ist es hilfreich, auch die Begriffe Adhäsion, Viskosität, Rheologie und Benutzung zu kennen.

Was ist eine Verklebung?

Eine Verklebung ist die Verbindung von zwei oder mehr Substraten mit Hilfe eines Klebstoffes

Kleben findet öfter Anwendung als man denkt. Verklebungen werden von vielen unbewusst als Mittel zweiter Wahl betrachtet, da durch Nieten, Schrauben oder Schweißen scheinbar ein besseres Ergebnis erzielt werden kann.



Was ist ein Klebstoff?

DIN EN 923

Ein Klebstoff ist ein nichtmetallischer Werkstoff, der Fügeile durch Adhäsion und Kohäsion verbinden kann.

ASTM D907-06

Ein Klebstoff ist eine Substanz, die Materialien durch die Verbindung von Oberflächen zusammenfügt.

Warum klebt ein Klebstoff?

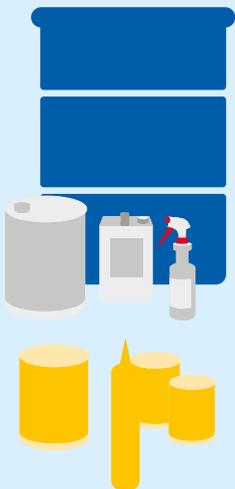
Wenn lose Moleküle nahe genug aneinander platziert werden, wirken erhebliche Anziehungskräfte zwischen ihnen. Diese Anziehungskraft nennt man Kohäsion, wenn es sich um Moleküle gleicher Art handelt. Bei Molekülen verschiedener Art wird diese Kraft als Adhäsion bezeichnet.

Beispiele:

- Wassermoleküle rücken bei Abkühlung so nah zusammen, dass sich ein festes, hartes Material bildet – Eis. Wenn man eine Glasscheibe in Berührung mit einer Wasseroberfläche bringt, kann man diese nur mit erheblichem Kraftaufwand wieder anheben. Dies ist auf die Adhäsionskraft zwischen Glas und Wasser zurückzuführen.
- Fein polierte Oberflächen von Bleibausteinen zeigen beim Aneinanderdrücken eine Anziehungskraft, die versucht sie zusammenzuhalten. In diesem Fall spricht man von Kohäsion.
- Beim Einsatz von Klebstoff wird sowohl die Kohäsion als auch die Adhäsion genutzt. Der Klebstoff muss mittels Adhäsion an den Flächen haften, die man miteinander verbinden möchte. Natürlich muss der Klebstoff durch Kohäsion auch selbst zusammenhalten.

Warum erzielt eine dünne Schicht Kleber bessere Ergebnisse als eine dicke Schicht?

- Seltsamerweise besitzt der Kleber in den meisten Fällen eine größere Adhäsions- als Kohäsionskraft. Wenn man also zu viel Klebstoff verwendet, erhöht dies die Wahrscheinlichkeit, dass sich kleine Partikel des Klebstoffs voneinander lösen. Die Klebeverbindung versagt an der inneren Festigkeit.
- Aber es gibt Ausnahmen – für elastische Verbindungen benötigen wir eine 3 bis 5 mm dicke Schicht.

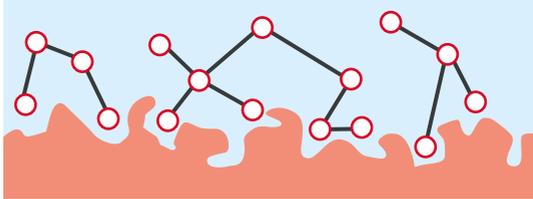




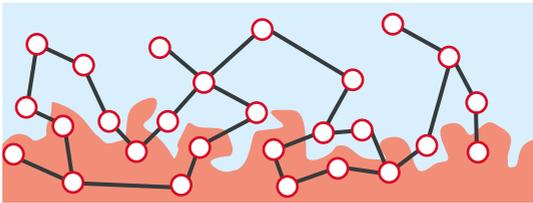
Was ist Adhäsion?

Adhäsion kann in zwei Kategorien unterteilt werden:

1. Haftende Materialien füllen die Hohlräume oder Poren der Oberflächen und halten diese durch mechanische Verzahnung zusammen.



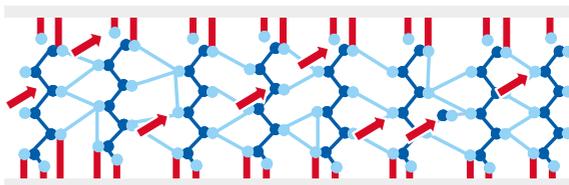
2. Adhäsion bezeichnet Effekte wie chemische Verbindungen und Wechselwirkungen, z.B. elektrische Kräfte und Van-der-Waals-Kräfte.



Was ist Kohäsion?

Kohäsion ist die Tendenz ähnlicher oder identischer Teilchen/Oberflächen aneinanderzuhaften. In Bezug auf Klebstoffe sind die Kohäsionskräfte verantwortlich für die Viskosität und die Fließeigenschaften (Rheologie) des unausgehärteten Klebstoffes. Ebenfalls bestimmen sie die Stärke des Klebers nach dem Aushärten.

Die Endfestigkeit (maximale Kohäsion) wird nach dem Aushärten erreicht.



Viskosität

Viskosität ist das Maß für die Zähflüssigkeit eines Stoffes. Die Viskosität lässt sich mit der Scherkraft erklären. Sie kann als die Wirkung der Scherkraft zwischen den verschiedenen Schichten der Flüssigkeit aufeinander oder auf anderen Oberflächen verstanden werden, wenn sich diese gegeneinander verschieben.

Aus der Perspektive einer Klebeverbindung ist die Viskosität aufgrund ihres Einflusses auf die Qualität beim Auftrag bedeutend.



Beispiel: Wasser hat eine niedrigere Viskosität als Honig, daher fließt es leichter.

Viskosität – ihr Einfluss

Pastöse Klebstoffe



Auftrag
Flüssige Klebstoffe

Verbinden

Zusammen-
drücken



Pastöse Klebstoffe = hohe Viskosität

Flüssige Klebstoffe = niedrige Viskosität

Rheologie

Die Rheologie oder Fließkunde ist die Wissenschaft, die sich mit dem Verformungs- und Fließverhalten von Materie auseinandersetzt. Diese Lehre beschäftigt sich besonders mit Stoffen im flüssigen Zustand, aber auch mit „weichen Feststoffen“ oder Feststoffen unter Bedingungen, in denen diese auf Krafteinwirkung mit plastischem Fließen reagieren, anstatt sich elastisch zu verformen.

Die Rheologie ist bei der Verklebung wichtig, da das Material nach dem Auftrag nicht vom Produkt fließen oder fallen soll.

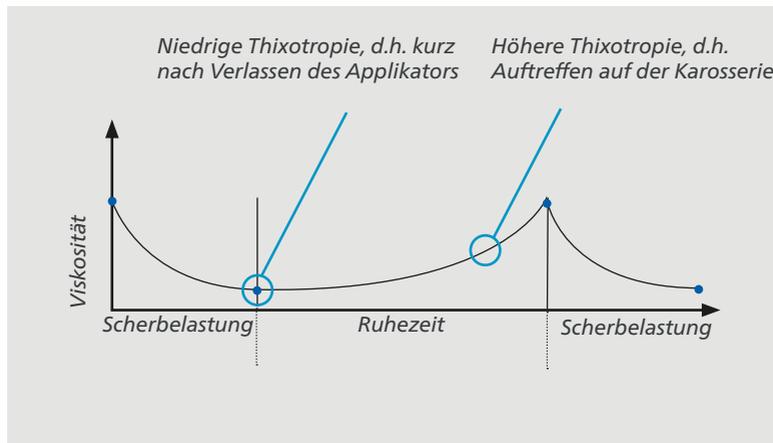
Newtonsche Flüssigkeiten

Diese Flüssigkeiten können durch einen einzigen Viskositätskoeffizienten für eine bestimmte Temperatur charakterisiert werden. Obwohl diese Viskosität sich mit der Temperatur ändert, bleibt sie unabhängig vom Volumenstrom oder der Dehnungsrate stets gleich. Beispiel: Wasser.

Thixotropie

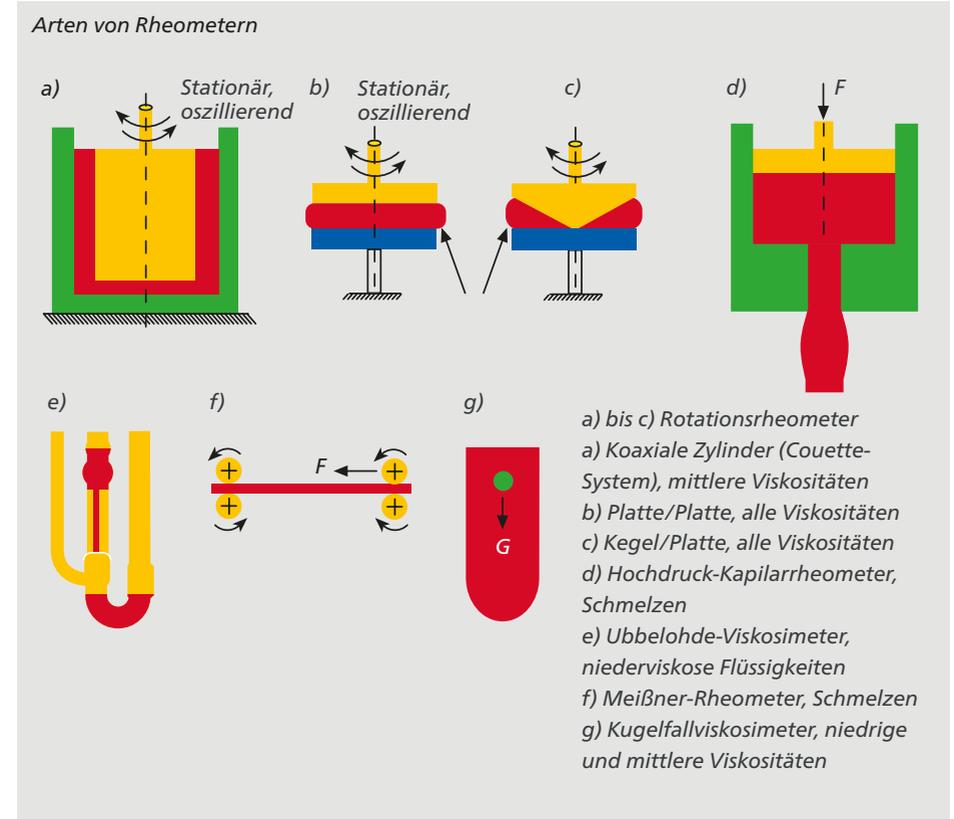
Thixotropie ist die Eigenschaft bestimmter Gele oder Flüssigkeiten, die unter normalen Bedingungen viskos (dickflüssig) sind, aber im Laufe der Zeit beim Schütteln, Rühren oder anderer Beanspruchung fließen (dünner, weniger viskos werden). Sie benötigen anschließend eine bestimmte Zeit, um wieder den ursprünglichen, zähflüssigen Zustand einzunehmen.

Sie besteht, wenn die Viskosität eines Stoffes unter Scherbelastung mit der Zeit abnimmt, aber nach Beendigung der Scherbelastung zeitabhängig wieder auf den ursprünglichen Wert ansteigt.



Thixotropie im Viskosität-Zeit-Diagramm

Rheometer – Messung der Viskosität



Unterschiede zwischen Viskosimeter und Rheometer

Viskosimeter sind im Vergleich zu Rheometern in der Regel relativ einfache Instrumente. Ihre Einfachheit in Konstruktion und Funktionsweise ist vorteilhaft bezüglich der Benutzerfreundlichkeit. Die meisten Viskosimeter enthalten eine Spindel, die sich in der Probe in eine Richtung dreht. Die Viskosität wird durch die Messung des Widerstandes gegen diese Rotationskraft bestimmt.

Rheometer verwenden oszillierende und schnelle Schrittländerungen in Belastungen und Dehnung. Somit können viskoelastische Eigenschaften (Informationen über die strukturellen Eigenschaften der Probe) sowie Fließeigenschaften bestimmt werden.

Einheiten für Viskosität

$$\tau = \eta D$$

1 Pas = 1 Ns/m² = 1 kg/ms

1 mPas = 0.001 Ns/m²

1 mPas = 0.01 Poise (P)

1 Poise = 0.1 Pas

Benetzung

Benetzung ist die Fähigkeit einer Flüssigkeit, mit einem festen Untergrund durch intermolekulare Wechselwirkungen in Kontakt zu bleiben. Der Grad der Benetzung (Benetzbarkeit) ist abhängig vom Kräftegleichgewicht zwischen Adhäsion und Kohäsion. Die Benetzung befasst sich mit den drei Zuständen von Materialien: gasförmig, flüssig und fest.

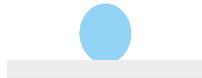
Benetzung mit verschiedenen Viskositäten:



Minimale Benetzung mit Materialien hoher Standfestigkeit



Ideale Benetzung mit sehr flüssigen Materialien



Keine Benetzung (Theorie)



Minimale Benetzung mit hoher Standfestigkeit



Leichte Benetzung mit pastösen Materialien

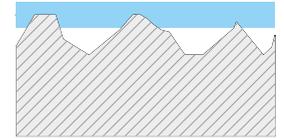


Gute Benetzung mit viskosen Materialien

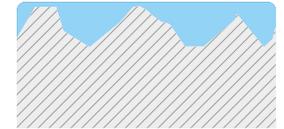


Ideale Benetzung mit sehr flüssigen Materialien

Benetzung des Substrats bei der Verwendung von pastösen Klebstoffen/Dichtstoffen



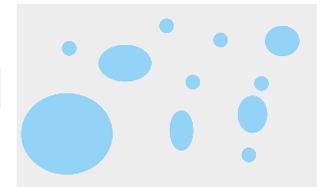
Benetzung des Substrats bei der Verwendung von dünnflüssigen Klebstoffen/Dichtstoffen



“Wassertropfen“- Test

Aus diesem Grund:
Reinigen, schleifen,
feinkornstrahlen, beizen,
Laugenwäsche, ...

Schlechte Benetzung



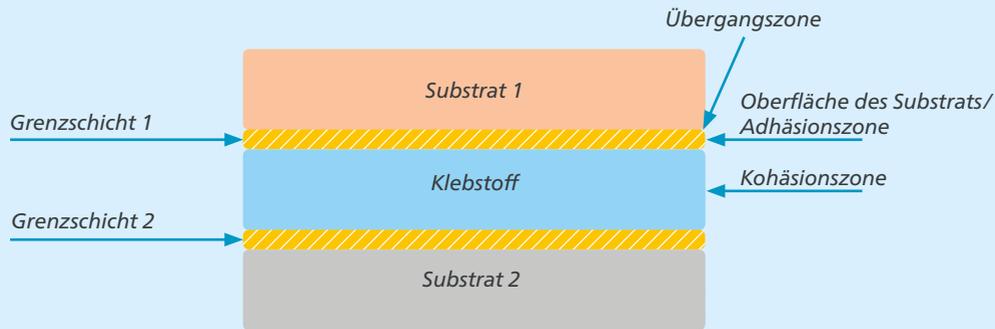
Optimale Benetzung:
Sorgt für optimale Bedingungen
bei allen Arten von Klebstoff,
so werden ihre Eigenschaften
optimal genutzt.

Gute Benetzung



5. Die Klebeverbindung und ihre Spannungsverteilung

Querschnitt einer Klebeverbindung

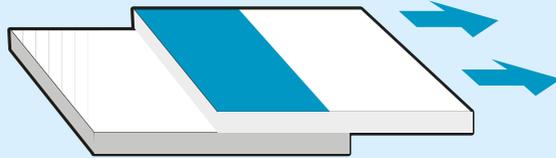


Die Grenzschicht ist eine dünne Schicht zwischen dem Substrat und dem Klebstoff. In dieser Schicht finden sich alle Molekularkräfte, die sogenannten Van-der-Waals-Kräfte.

Spannungsverteilung

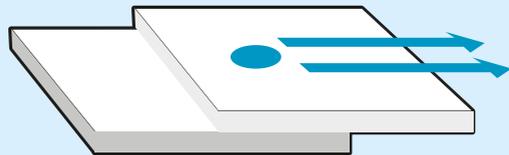
Klebeverbindung:

- gleichmäßige Spannungsverteilung
- Kraftverteilung über die gesamte Oberfläche

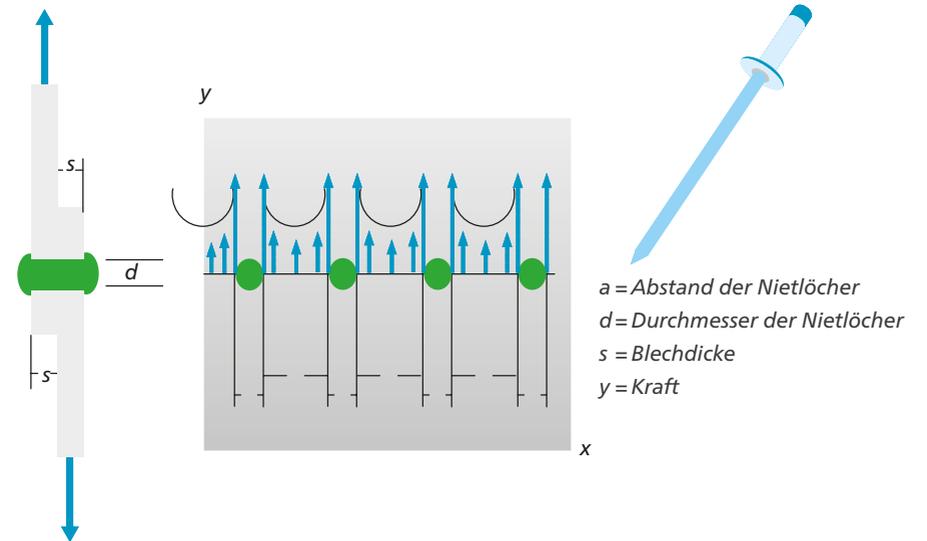


Nieten und Schrauben:

- ungleichmäßige Spannungsverteilung
- punktförmige Kraftübertragung



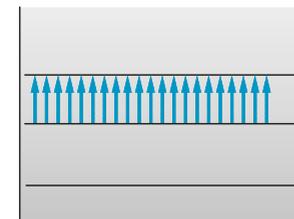
Die Kräfteverteilung bei Nietverbindungen



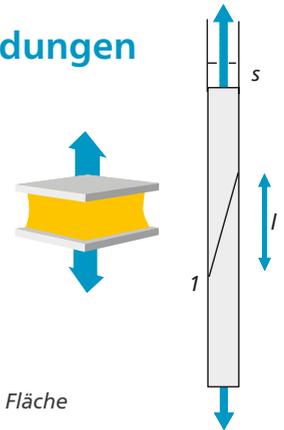
Bei Zugbelastung entstehen Spannungsspitzen auf beiden Seiten der Nietlöcher. Das Ausmaß dieser Spannungen ist unabhängig vom Durchmesser des Nietloches.

Die Kräfteverteilung bei Klebeverbindungen

Bei Zugbelastung werden Spannungen gleichmäßig verteilt. Darüber hinaus treten bei Verklebungen weder Verwölbungen noch Schuppenbildung auf.



- 1 = Klebeverbindung
- l = Höhe der abgeschrägten Fläche
- s = Blechdicke



6. Vorteile / Nachteile von Klebeverbindungen



Einige Vorteile von Klebeverbindungen

Verschiedene Arten von Material können miteinander verbunden werden

- Metalle gleicher oder unterschiedlicher Art und Kunststoffe.
- Gleichzeitig verhindert der Klebstoff Kontaktkorrosion.
- Gleicht Spannungen zwischen den Komponenten aus.
- Dichtet zugleich ab.

Keine thermischen Veränderungen der Materialstruktur

- Anders als beim Schweißen oder Löten.

Anschließend keine aufwendige Bearbeitung der Sichtflächen erforderlich

- Polieren der Sichtflächen wie beim Schweißen usw. ist nicht notwendig.

Klebeverbindungen ermöglichen extrem leichte Bauweise

- Verwendung dünnerer Bleche als beim Nieten.

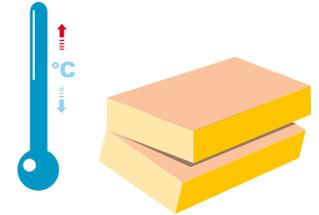
Nachteile von Klebeverbindungen

Die Endfestigkeit wird nicht sofort erreicht

- Im Vergleich zum Schrauben, Nieten, Löten und Schweißen.
- Die Reaktionszeit muss abgewartet werden.

In den meisten Fällen kann die Klebeverbindung nicht gelöst werden, ohne die Fügeteile zu beschädigen* – anders als beim Schrauben oder Nieten

- Klebeverbindungen können nur in einem begrenzten Temperaturbereich eingesetzt werden.
- Klebeverbindungen sind empfindlich gegen Schäl- und Spaltkräfte (ungleichmäßige Belastung).



* Es gibt Ausnahmen wie im Fall von Heißschmelzklebstoffen oder Acrylatkleber auf Wasserbasis, wo das Fügeteil erwärmt und gelöst werden kann.

7. Vorteile von Klebeverbindungen

Die vier großen Hauptvorteile



Fügetechniken im Vergleich

Fügetechnik	Design mit verschiedenen Materialien	Karosserieversteifung	Crashstabilität	Betriebsfestigkeit	Korrosionsbeständigkeit	Akustik	Produktionsgeschwindigkeit	Anfangsfestigkeit
Klebeverbindung (strukturell)	√√√	√√√	√√√	√√√	√√	√√√	√√√	X
Punktschweißen	X	o	o	o	X	X	X	√√√
Clinchen (Pressverbindung)	X	o	X	√	o	X	X	√√√
Nieten	o	o	X	√	X	X	X	√√√
Verschrauben	o	o	o	o	X	X	X	√√√
Laserschweißen	X	√√	√√	√√	o	o	o	√√√
Laserheften	X	√	o	o	X	X	√√	√√√

√√√ ausgezeichnet √√ sehr gut √ gut o mittelmäßig X schlecht

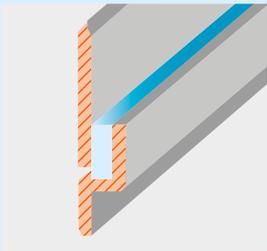
Fügetechniken im Vergleich

Anwendungskriterien	Kostenfaktoren	Boizen/Schrauben	Nieten	Schweißen	Punktschweißen	Clinchen	Clip-Verschluss	Klebeverbindung (strukturell)	Klebeverbindung (elastisch)
Zusammenfügen unterschiedlicher Materialien	Optimale Wahl / sparsamster Einsatz von Material	√√	o	-	√	√√	√√	√√	√√
Berechenbarkeit der Verbindung, Zuverlässigkeit der Verbindungsfestigkeit bei gemäßigttem Kriechen unter statischer Belastung	Entwicklungskosten, die Notwendigkeit einen spezifischen Arbeitsprozess und konstruktive Anforderungen bzgl. der Verbindungstechnike zu berücksichtigen	√√	√√	√√	√√	√	o	√/o	√√
Wärmeverzug	Zusätzliche Arbeitsgänge	√√	√	-	-	√	√√	√√	√√
Arbeitsphysiologie (Lärm, chemische Emissionen)	Verlust von Arbeitsstunden als Folge von Krankheit	√	o	o	o	o	√√	√/	√/o
Abdichtung von Verbindungen	Mehraufwand und -kosten für Abdichtung der Verbindung	-	-	√	o	o	o	√√√	√√
Korrosionsanfälligkeit	Vorbeugende Maßnahmen gegen Risskorrosion und galvanische Korrosion	o	-	√	o	√	o	√	√
Wartezeit zwischen Verbindungsanordnung und Erreichen ausreichender Festigkeit	Integration in den Produktionskreislauf	√√	√√	√√	√√	√√	√√	√/o	√/o
Temperaturbeständigkeit der Verbindung	Berücksichtigung extremer Umgebungsbedingungen	√√	√√	√√	√√	√√	√/o	√	√/o
Einfache Demontage	Reparaturfreundlichkeit/Auswirkung auf Recyclingkosten	√√	√	o	o	√	√	o	√

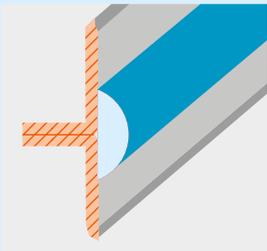
√√ sehr gut geeignet √ geeignet o bedingt geeignet - nicht geeignet

8. Kleben, Dichten, Isolieren

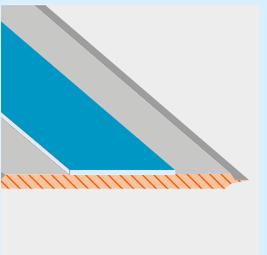
Kleben, Dichten und Isolieren



1. **Kleben** ist nach DIN 16920 ein Verfahren, um zwei Materialien mit gleichen oder unterschiedlichen Eigenschaften mit Hilfe eines Klebstoffes zu verbinden. Ein Klebstoff ist also eine nichtmetallische Substanz, die mittels Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innerer Bindung (Kohäsion) eine Verbindung erzeugen kann.



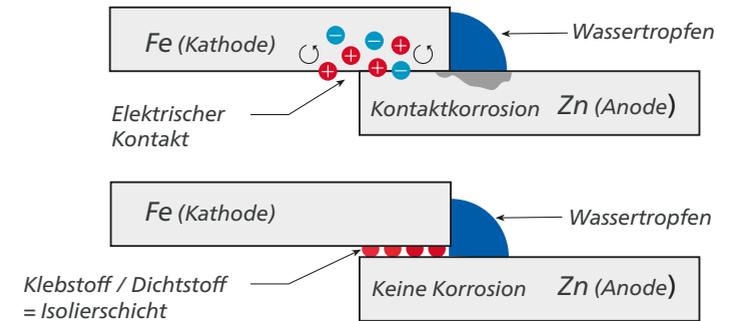
2. **Dichten** ist nach DIN 52460 ein Verfahren zum Verschließen von Randbereichen. Eine technische Dichtung sollte zuverlässig Trennbereiche, die Ergebnis der Herstellung oder der Montage von Komponenten sind, gegen das Eindringen oder Entweichen von Medien, d. h. Gasen oder Flüssigkeiten, schützen und Leckagen vermeiden.



3. **Isolieren** ist ein Verfahren zum Einbau von Material, das den Durchgang, die Übertragung oder das Austreten von Wärme, Strom oder Schall verhindert oder reduziert. Diese Anwendung ist sehr üblich, wenn Geräuschdämmung erforderlich ist.

Isolierende Wirkung gegen Kontaktkorrosion

Beispiel für Isolierung



Strukturelle Klebeverbindung

- Hohe Kraftübertragung
10 - 30 N/mm² TSS
- Niedrige Bruchdehnung
0 - 70%
- Schmäler Spalt (ca. 1 mm)

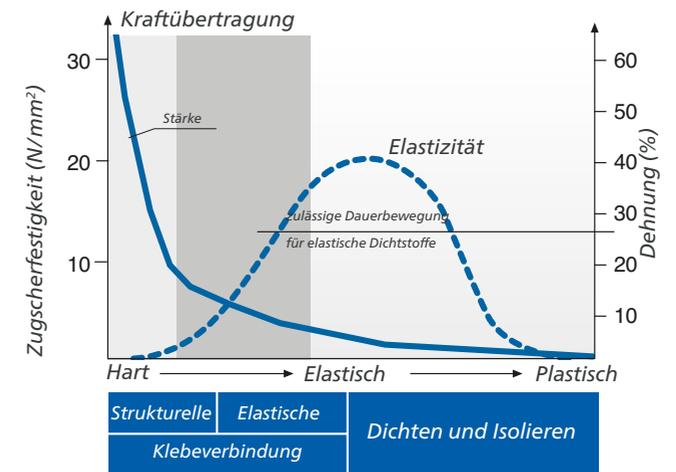
Elastische Klebeverbindung

- Mittlere Kraftübertragung
1 - 10 N/mm² TSS
- Mittlere Bruchdehnung
70 - 300%
- Mittlerer Spalt

Dichten und Isolieren

- Niedrige Kraftübertragung
300 - 700%
- Hohe Bruchdehnung
300 - 700%
- Großer Spalt

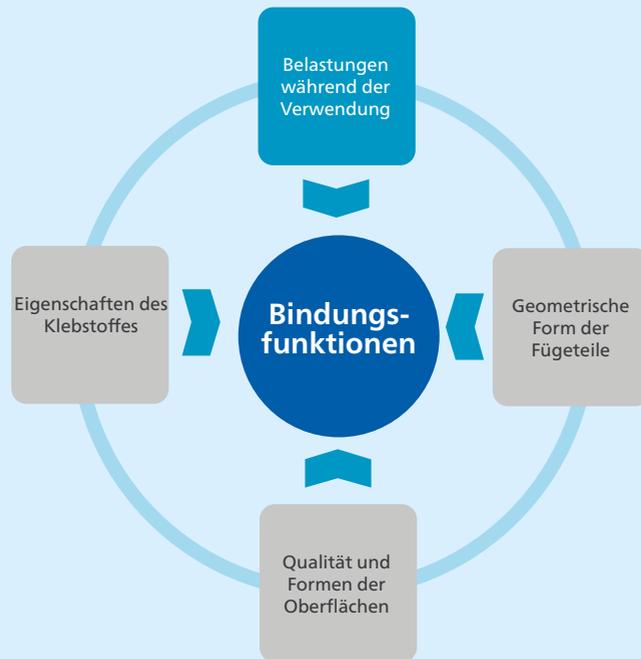
Strukturelle Verbindungen, elastische Verbindungen, Dichtungen und Isolierungen



Grundregel:
Höhere Festigkeiten können durch dünnere Klebstoffschichten erreicht werden!

Ausnahme:
Elastische Klebeverbindung.

9. Einflussfaktoren auf die Bindungsfunktion

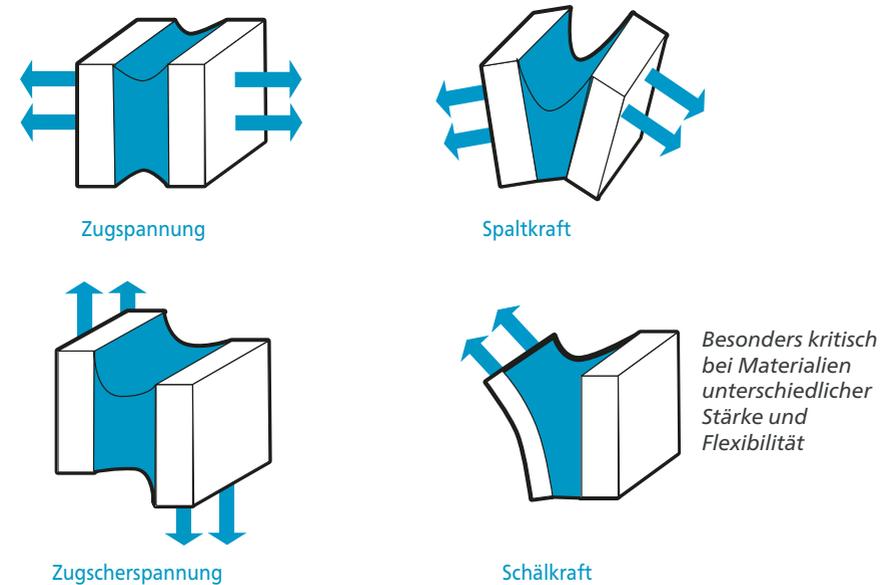


Wie verhält sich ein Klebstoff?

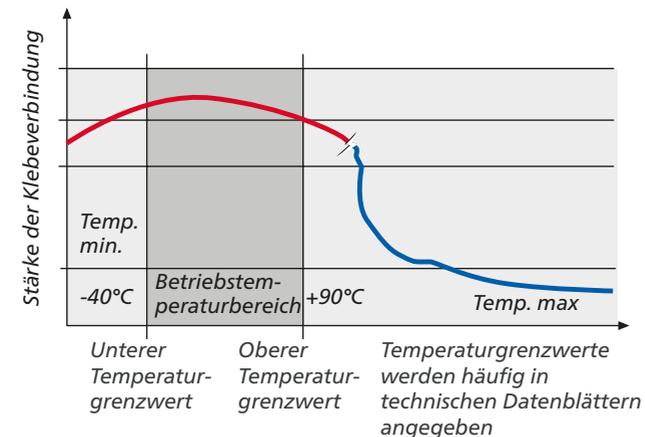
- Er benetzt die Oberfläche und Adhäsionskräfte werden wirksam
- Er verbindet sich mit der Oberfläche
- Er erstarrt (erhärtet ...)
- Er überträgt Kräfte = strukturelle Klebeverbindungen
- Er absorbiert Kräfte = elastische Klebeverbindungen

Belastungen auf Klebstoffen während der Verwendung

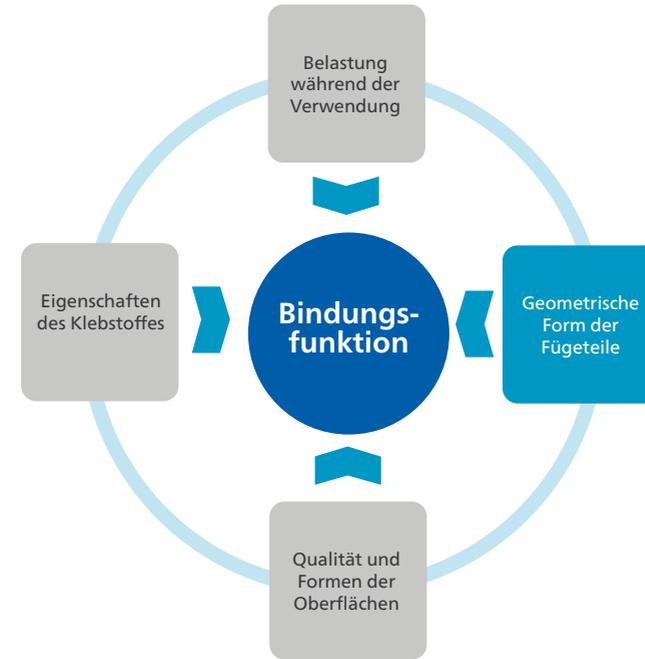
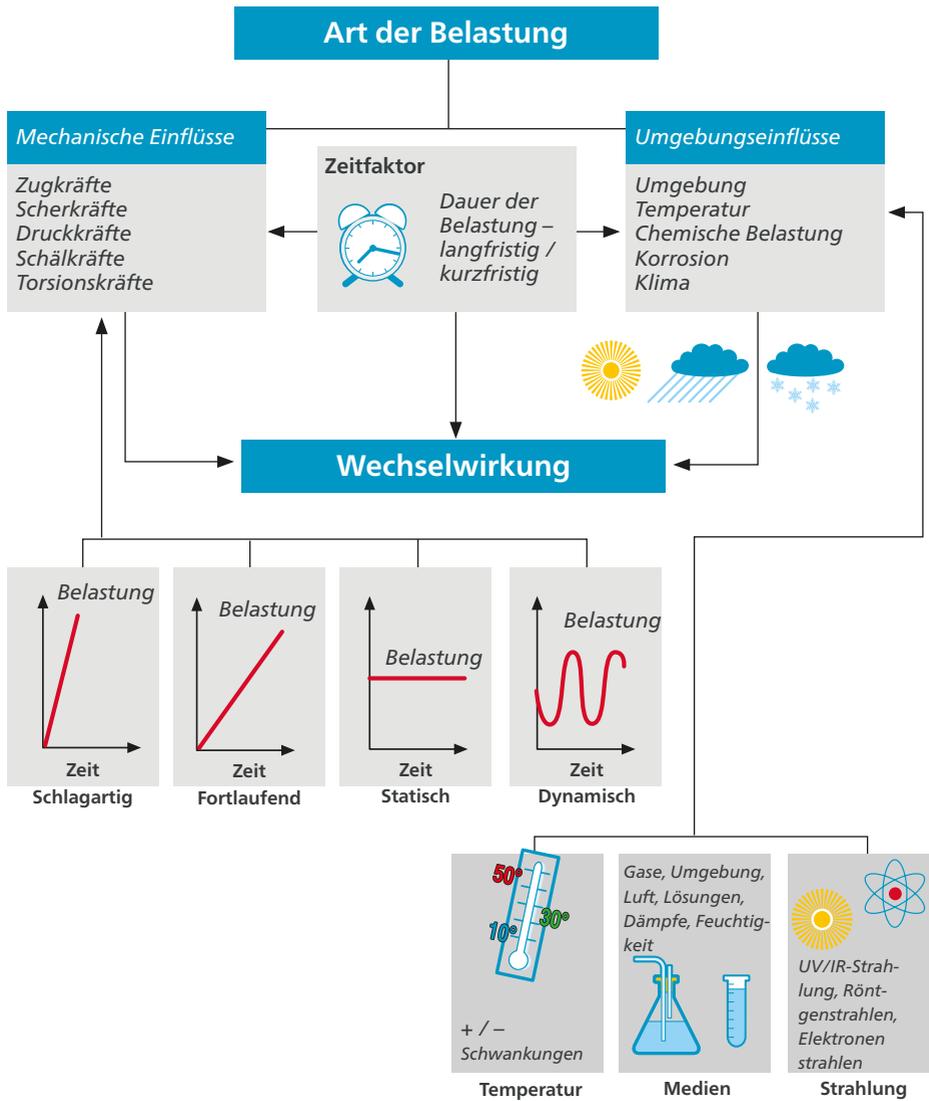
Mechanische Belastung



Mechanische Belastung der Verbindung

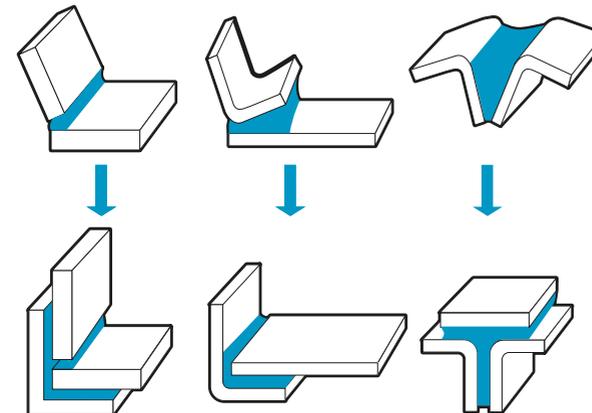


Belastungen auf Klebstoffen während dem Einsatz

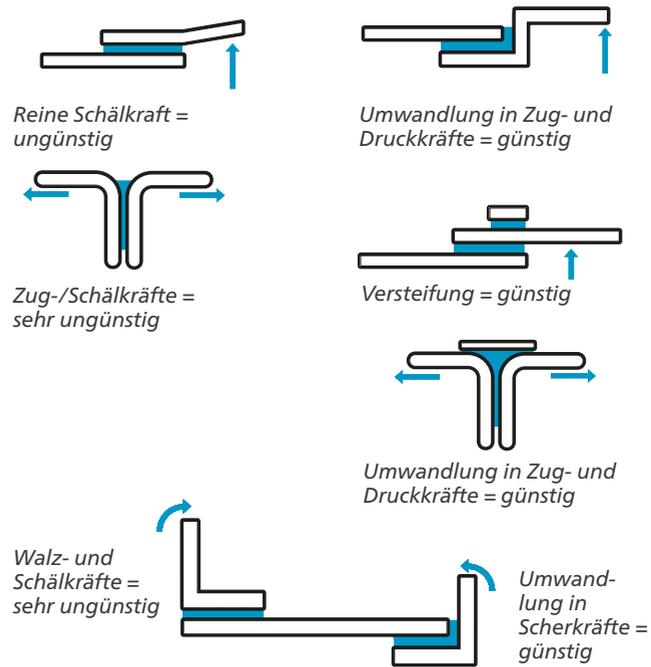


Geometrische Form der Fügeteile

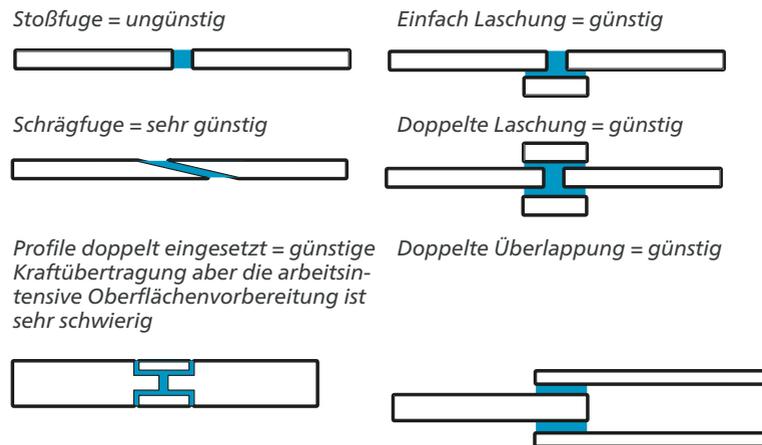
Ungünstiges Design und Korrekturvorschläge



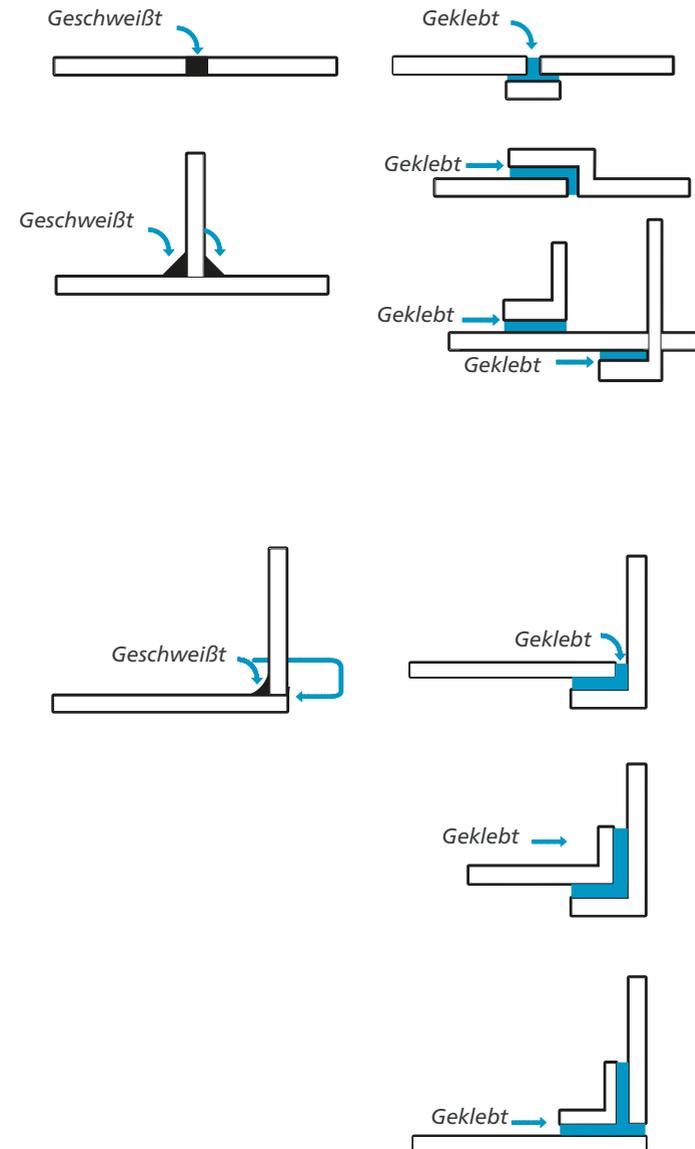
Design von Klebeverbindungen gegen Schälkräfte



Design von Klebeverbindungen mit Scherkräften



1. Neues Design: Geschweißt → Bonding



Wie kann man die Eigenschaften der Klebefläche bestimmen?

Die Klebeflächen sollten so groß wie möglich sein, um eine zuverlässige Kraftübertragung sicherzustellen.



- Eine starke Verbindung kann auch mittels Punktklebertechniken mit hochfesten Klebstoffen erreicht werden. Grundsätzlich sollten Klebeverbindungen aber über Flächen erfolgen.
- Der Klebefilm überträgt die wirkenden Kräfte wie bei Verbindungen mittels Schrauben oder Nieten.
- Im Gegensatz zum Schrauben oder Nieten entsteht bei Klebeverbindungen eine geschlossene Verbindung. Damit wird eine gleichmäßige Verteilung der Spannung über die gesamte Fläche erreicht.

Beispiel



Berechnung (Beispiel):

$$10 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} = 1\,000 \text{ mm}^2$$

Verklebt mit elastischem MS-Polymer (3,0 MPa)

$$1\,000 \text{ mm}^2 \times 3 \text{ N/mm}^2 = 3\,000 \text{ N} = 300 \text{ kg}$$

Der Grenzwert für den Spannungsbruch beträgt bei dieser Klebefläche 300 kg

Verklebt mit Zweikomponenten-Klebstoff auf Epoxidharz-Basis (30 MPa)

$$1\,000 \text{ mm}^2 \times 30 \text{ N/mm}^2 = 30\,000 \text{ N} = 3\,000 \text{ kg}$$

Der Grenzwert für den Spannungsbruch beträgt bei dieser Klebefläche 3000 kg

Kohäsions- und Adhäsionsbruch

Ein Klebstoff kann seine Aufgabe nur erfüllen, wenn die adhäsiven und kohäsiven Kräfte mindestens so groß sind wie die Eigenfestigkeit der Fügeile

Zu geringe Adhäsion Die Verbindung bricht an der Grenzfläche.

Zu geringe Kohäsion Die Eigenfestigkeit des Klebstoffes ist nicht ausreichend – beim Lösen bleiben Bereiche mit Klebstoff zurück.

Adhäsionsbruch	Adhäsions-/Kohäsionsbruch	Kohäsionsbruch
<ul style="list-style-type: none"> – In der Praxis häufig – Unzureichende Adhäsionseigenschaften des Klebstoffes 	<ul style="list-style-type: none"> – In der Praxis häufig – Verursacht durch gleichwertige Eigenschaften des Klebstoffes an der Klebefläche – Unzureichende Vorbereitung (Reinigung) der Substrate 	<ul style="list-style-type: none"> – In der Praxis weniger häufig – Zu geringe Eigenfestigkeit des Klebstoffes (oder noch nicht vollständig ausgehärtet)

Wichtige Kriterien für den Auftrag von Klebstoffen

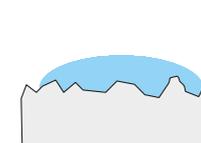
- Der Klebstoff sollte für die Benetzung der Oberfläche dünnflüssig (niedrige Viskosität) sein.
- Der Auftrag auf die Oberfläche sollte mit relativ hoher Energie erfolgen.
- Spezifische Unterschiede für verschiedene Anwendungen müssen berücksichtigt werden.

Hochviskoser Klebstoff



Substrat

Niedrigviskoser Klebstoff



Substrat

Ein echter Allzweckklebstoff, d.h. ein Klebstoff für alle Materialien und die verschiedensten Bedingungen, existiert nicht!

10. Bedeutung der Oberflächenbehandlung



Qualität und Arten der Oberflächen

Anforderungen an das Substrat

- **Tragfähigkeit**
 - Die Substrate müssen tragfähig, d.h. fest sein
- **Sauberkeit**
 - Die Substrate müssen sauber sein
 - Frei von Fett, Öl, Staub, Feuchtigkeit, Verschmutzungen etc.
 - Reiniger und Klebstoff müssen kompatibel sein
- **Haftfähigkeit**
 - Moderne Klebstoffe besitzen weitreichende Hafteigenschaften und haften in den meisten Fällen an Substraten ohne die Verwendung von Primerbeschichtungen (Grundiermitteln)
 - Falls erforderlich sollten Primer verwendet werden – vor allem bei strukturellen Klebeverbindungen

Oberflächen- vorbereitung

**Reinigung,
Entfettung,
Passivierung**

Oberflächen- vorbehandlung

**Mechanische,
chemische und
physikalische
Verfahren**

Oberflächen- nachbehandlung

**Aklimatisierung,
Primerauftrag,
Haftvermittler,
Aktivatoren**

Verfahren zur Oberflächen- vorbereitung und -vorbehandlung

Oberflächenbehandlung		
Reinigen / Entfetten	Mechanische Verfahren	Chemische / physikalische Verfahren
Entfernung von Rostschichten, Oxiden, Verwitterung und Farbstreuen	Verschiedene Verfahren mit harten Pinseln und Polierbürsten (nach erfolgter Entfettung)	Beizen von Aluminium, gehärtetem Stahl und Edelstahl sowie Hartmetall
Verstärkung der Substrate bei saugenden oder bröckelnden Oberflächen	Einsatz von Schleifbändern und Schleifscheiben. Schleifpapier usw. (K120-180) nach erfolgter Entfettung	Ätzende Behandlung von schwerzuklebenden Kunststoffen, z.B. PTFE, POM oder PP
Entfernung von unerwünschten Schichten mittels entfettender Reinigungsmittel	Sandstrahlen (trocken oder nass) mit scharfkantigen, feinen Körnern	Niederdruckplasma-Behandlung von schwerzuklebenden Kunststoffen, z.B. PE, PA, PP oder anderen Substraten mit einer problematischen Deckschicht

Was ist ein Primer?

Primer-Beschichtungen sind Flüssigkeiten, die vor der Anwendung des Klebstoffes aufgetragen werden, um:

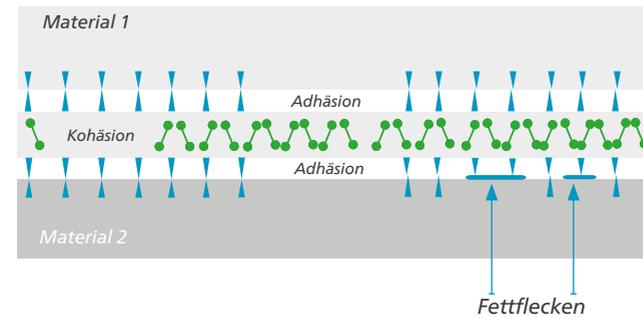
- die Klebequalität zu erhöhen und somit eine bessere Haftung des Klebers zu erzielen.
- als Sperre auf offenporigen Substraten zu wirken.

Warum sollte eine Primer-Beschichtung aufgebracht werden?

Die dauerhafte Verklebung von fast allen Stoffen auf einem porösen Substrat kann eine große Herausforderung sein. Das Problem ist die Absorption des Klebstoffes durch das poröse Substrat, wodurch sich die Lebensdauer verkürzt.

Die Lösung für Probleme wie diese, ist die Verwendung einer Primer-Beschichtung.

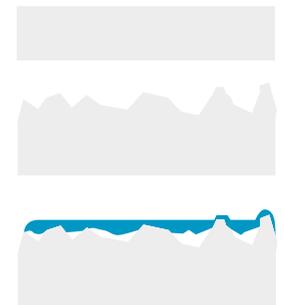
Warum muss das Substrat sauber sein?



- Schmutz auf den Substraten verhindert den Aufbau von Adhäsionsbrücken durch den Kleber.
- Der Kleber haftet gut auf dem Schmutz, aber nicht auf der Materialoberfläche.

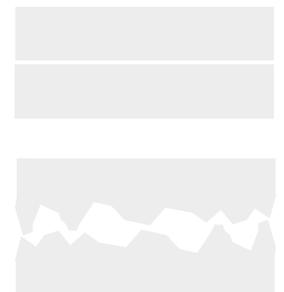
Verschiedene Oberflächeneigenschaften

- **Geometrische Oberfläche**
(2-dimensionale Abmessungen)
- **Reale Oberfläche**
(3-dimensionale Abmessungen)
- **Nutzfläche**
(benetzte Oberfläche)



Glatte und raue Oberflächen

- **Extrem glatte – polierte – Oberfläche**
Glas/Feuchtigkeit/Glas
- **Normale Fläche**
Keine Annäherung der Moleküle



11. Oberflächenenergie

Definition:

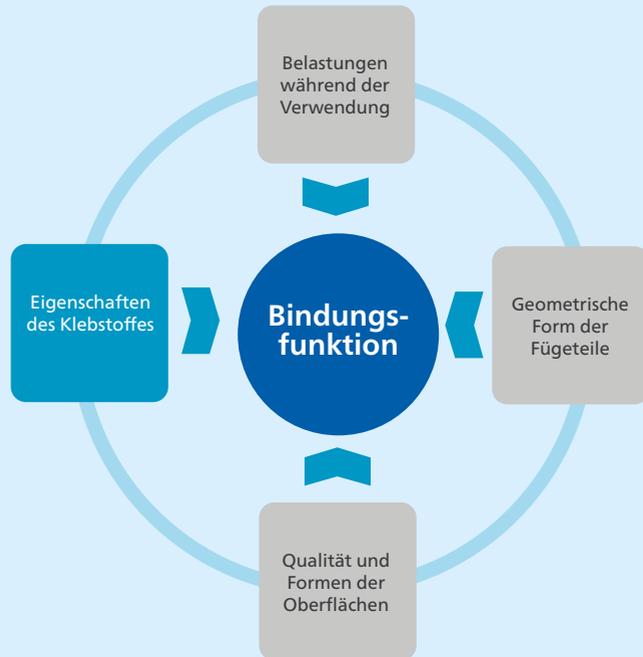
- Die Summe aller intermolekularen Kräfte auf der Oberfläche eines Materials bezeichnet man als Oberflächenenergie. Der Grad der Anziehungs- oder Abstoßungskraft, die eine Materialoberfläche auf ein anderes Material ausübt.
- Bei Flüssigkeiten gilt dieselbe Definition für die Oberflächenspannung. Flüssigkeiten mit niedriger Oberflächenspannung neigen dazu sich zusammenzuziehen und Tröpfchen zu bilden.
- Die Oberflächenspannung kann als der Widerstand einer Flüssigkeit gegen Formänderung oder Bruch bezeichnet werden. Dieser Widerstand ist direkt durch die intermolekularen Kräfte auf der Oberfläche der Flüssigkeit definiert.

Einflüsse der Oberflächenenergie auf die Adhäsionskraft

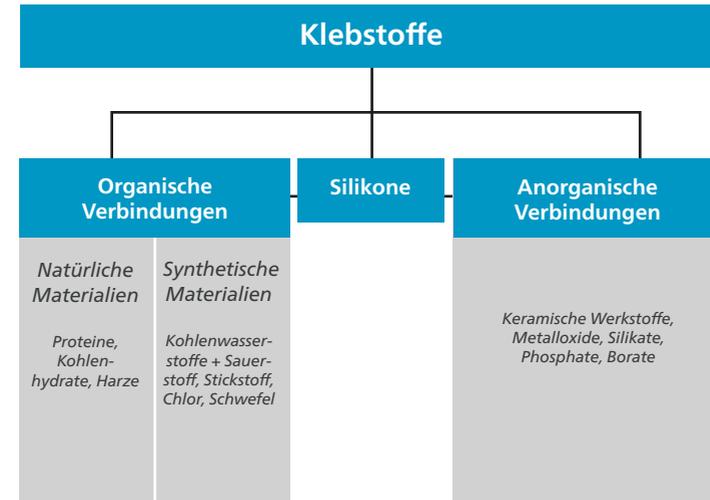
- **Substrate mit niedriger Oberflächenenergie**
Gummi, Polyolefine (PE, PP, ...), Silikon, silikonhaltige Farben und Lacke, Teflon.
- **Substrate mit hoher Oberflächenenergie**
ABS, Acrylglas, Aluminium, Bronze, Eisen, Glas, Hart-PVC, Kupfer, Messing, Stahl, Zink.

Hohe Oberflächenenergie = gute Haftung		Niedrige Oberflächenenergie = schlechte Haftung	
ABS	Acrylonitril-Butadiene-Styrol	EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
BS	Butadiene-Styrol	EVA	Ethylenevinylacetate
CA	Celluloseacetate	FPM	Fluorelastomere
KFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff	HDPE	Polyethylen mit hoher Dichte
EP	Epoxidharz	LDPE	Polyethylen mit niedriger Dichte
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff	NBR	Nitrilkautschuk
PA	Polyamide	NK/NR	Gummi
PC	Polycarbonate	PE	Polyethylen
PI	Polyimide	PETP	Polyethyleneterephthalat
PMMA	Polymethylmethacrylat	PO	Polyolefine
PPO	Polyphenylenether	POM	Polyoxymethylen
PSU	Polysulfone	PP	Polypropylen
PUR	Polyurethane	PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid	PTFE	Polytetrafluoroethylen
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuk	SI	Silikon

12. Eigenschaften von Klebstoffen



Klassifizierung von Klebstoffen nach chemischen Eigenschaften

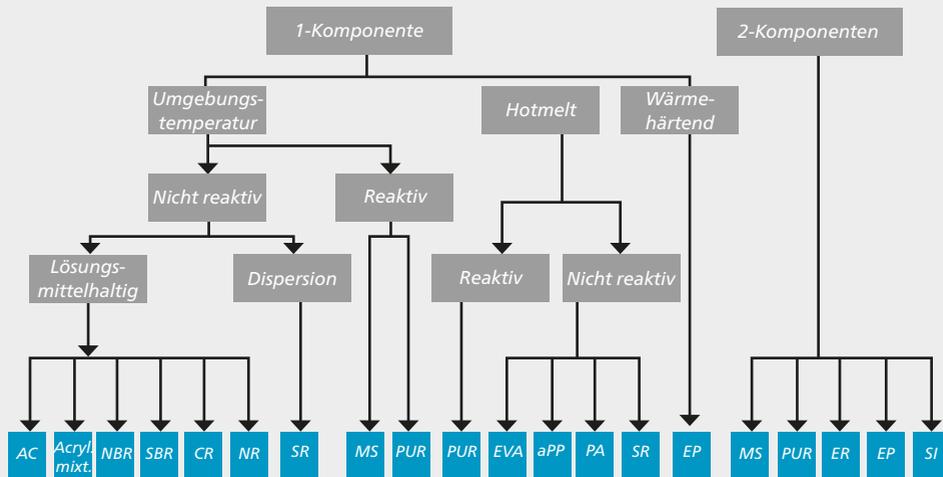


Klassifikation der organischen Klebstoffe und Silikone nach der Art der Haftung

Physikalisch härtende Klebstoffe	Chemisch härtende Klebstoffe
Heißkleber/Hotmelt	Polymerisationsklebstoffe: Sekundenkleber Methylmethacrylat (MMA) Ungesättigte Polyester Anaerob härtende Klebstoffe Strahlungshärtende Klebstoffe
Nasse, lösungsmittelhaltige Klebstoffe	Polykondensationsklebstoffe: Phenoplast Silikone Polyimide Bismaleinimid-Harze MS-Polymere
Kontaktklebstoffe	Polyadditionsklebstoffe: Epoxidharze Polyurethane
Dispersionsklebstoffe	
Wasserbasierte Klebstoffe	
Haftklebstoffe	
Plastisole	

Eigenschaften von Klebstoffen

Typisches Portfolio industrieller Klebstoffe



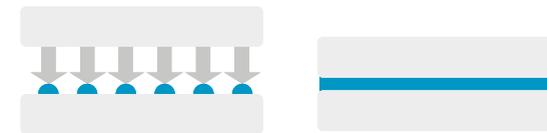
Die Zugabe von verschiedenen Inhaltsstoffen beeinflusst die Eigenschaften des Klebstoffes auf unterschiedliche Weise.

Kalk fördert die **Absorption von Öl**. Außerdem garantieren **Glasperlen** im späteren Haftprozess (bördeln) einen definierten Mindestabstand, damit im Faltbereich eine gewisse Mindestdicke des Klebstoffes sichergestellt werden kann.

Farbpigmente sorgen beim Einsatz eines Sichtsystems für die **"Sichtbarkeit"** des Klebstoffes auf dem Blech.

Auftrag von Klebstoffen – punkt- vs. flächenförmiger Auftrag

- Ein punktförmiger Auftrag des Klebstoffes wird vor allem für pastöse Klebstoffe empfohlen.

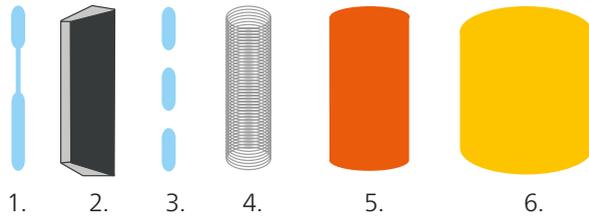


Inhaltsstoffe

- Ruß
- Baumwollfasern
- Glasperlen
- Quarzsand
- Kalk
- Harnstoff
- Farbpigmente
- Stabilisator
- ...

- **Hinweis:**
 - Auftrag so gleichmäßig wie möglich
 - Tropfendurchmesser und -abstand an die Klebeverbindung anpassen
 - Fügeiteile, die mit Klebstoff verklebt werden, der unter Einwirkung von Feuchtigkeit vernetzt, müssen verbunden werden bevor sich auf dem Klebstoff eine Haut bildet
 - Druck muss möglichst gleichmäßig ausgeübt werden
 - Die Fügeiteile dürfen nicht direkt aneinander anliegen, ggf. Abstandshalter verwenden

Eigenschaften von Klebstoffen



Auftragsverfahren

1. *Geregelter Raupenauftrag*
2. *Profilauftrag*
3. *Steppnaht-Auftrag*
4. *Swirl-Applikation (elektrisch oder pneumatisch)*
5. *Flatstream-Applikation*
6. *Sprühnaht*

Glossar

Aushärtung	Aushärtung des Klebstoffes durch chemisch/physikalische Prozesse	PSA Haftkleber	Klebstoff mit niedriger Kohäsion. Muss mit geringem Druck angepresst werden
Abbindezeit	Dauer bis die Klebeverbindung ihre Endfestigkeit erreicht	Aushärtezeit	Dauer bis die Klebeverbindung ihre Endfestigkeit erreicht
Verdunstungszeit	Erforderlicher Zeitraum bis zur Verdunstung des Lösungsmittels oder Wassers	Harz	Ein Inhaltsstoff, der die Adhäsion durch eine chemische Reaktion beeinflusst
Adhäsion	Bindung zwischen den Fügeteilen und Klebeschicht	Klebeverbindung	Abstand zwischen den beiden Klebeflächen, der mit Klebstoff gefüllt ist
Gelieren	Vorstufe des Aushärtens. Das Material ist eingedickt und ffügbar	Kohäsion	Molekulare Bindung in der Klebeschicht
Dispersion	Feste Polymerpartikel, die stabil in Wasser dispergiert sind	Reaktionsklebstoff	Klebstoffe, die mittels chemischer Reaktion aushärten/vernetzen
Endfestigkeit	Max. Tragfähigkeit nach kompletter Aushärtung	Schmelzklebstoffe	Feste und lösemittelfreie Kleber werden durch Wärmezufuhr verflüssigt und verfestigen sich beim Abkühlen
Fügeteil	Teil, das mit einem anderen Teil verklebt ist / werden soll		

Weitere Pocket Guides dieser Serie

Falzkleben

Das Falzen beschreibt ein mechanisches Fügeverfahren, das zur Verbindung von zwei Blechen, wie bei Metalltüren, Hauben oder Heckklappen angewandt wird. Diese Teile benötigen ein hohes Maß an Qualität und fordern eine optimale Klebeapplikation. Das Falzkleben ist einer der anspruchsvollsten Prozessschritte im Rohbau.

Der Pocket Guide zum Thema Falzkleben gibt einen umfangreichen Einblick in die Thematik des Falzklebens, die Herausforderungen und die verschiedenen Layouts die beim Falzprozess Anwendung finden.

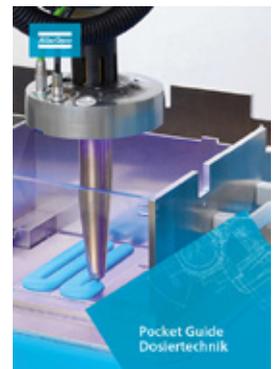


Bestellnummer 9833 2150 04

Dosiertechnik

Viele Unternehmen unterschiedlicher Branchen stellen ihre Montagevorgänge auf Klebeverfahren um. Dosiertechniken für das Pumpen und Doieren von Klebstoffen schließen manuelle Applikatoren, automatisierte Applikationseinheiten mit Robotern und Spezialsystemen ein. Die Klebetechnik wird gemäß dem Montageprozess und der spezifizierten Applikationstechnik ausgewählt.

Das Taschenbuch "Dosiertechnik" von Atlas Copco beschreibt und vergleicht die verschiedenen Techniken und zeigt ihre Anwendungsbereiche auf.



Bestellnummer 9833 2169 04



Atlas Copco
Industrial Assembly Solutions
SCA Dispensing
joining.atlascopco.com

