01 / Einführung in die Klebstofftechnologie

Geschichte des Klebens

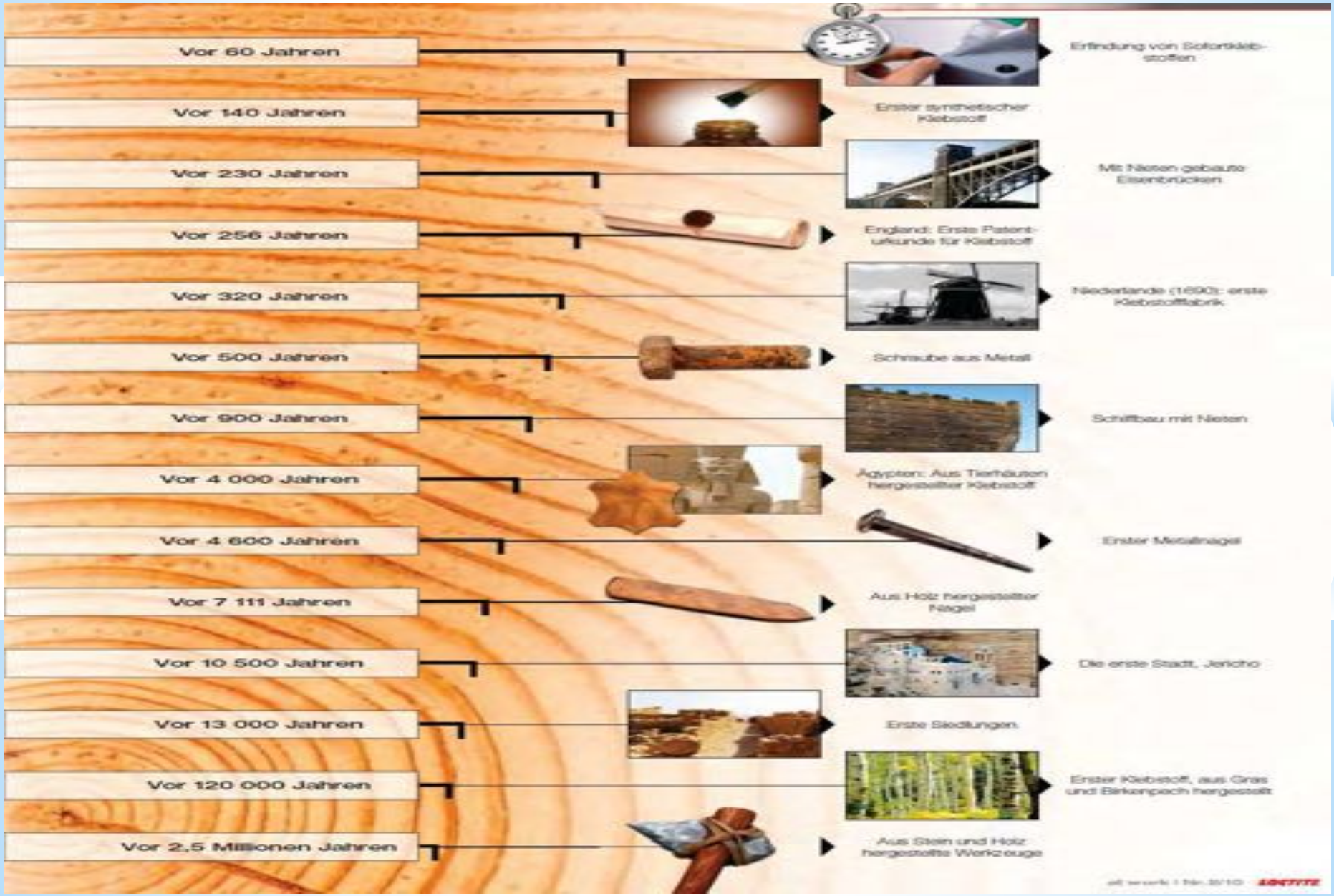
Schon vor mindestens ca. 45.000 Jahren, vielleicht aber auch wesentlich früher, verwandten Neandertaler den Klebstoff Birkenpech, um Stein und Holz ihrer Waffen und Werkzeuge miteinander zu verbinden. Das „Kleben“ ist somit sowohl eine der ältesten Techniken, als auch eines der modernsten Fügeverfahren.
Vor 6.500 Jahren verwendeten die Mesopotamier Asphalt zu Bauzwecken. 3000 v.Chr. kannten die Sumerer das Herstellen von Leim aus tierischen Häuten.1500 v.Chr. verwendeten die Ägypter tierische Leime für Furnierarbeiten

Pfeile und Speerspitzen in der Steinzeit:
Im Mesolithikum (Mittelsteinzeit) wurden als Pfeil Schaft-materialien Kiefer und Birke sowie Schösslinge des Hasel-, Schneeball- und Hartriegelstrauches verwendet.
Die Pfeilspitzen wurden mittels Birkenpechkleber und Sehnen am Schaft befestigt

Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile

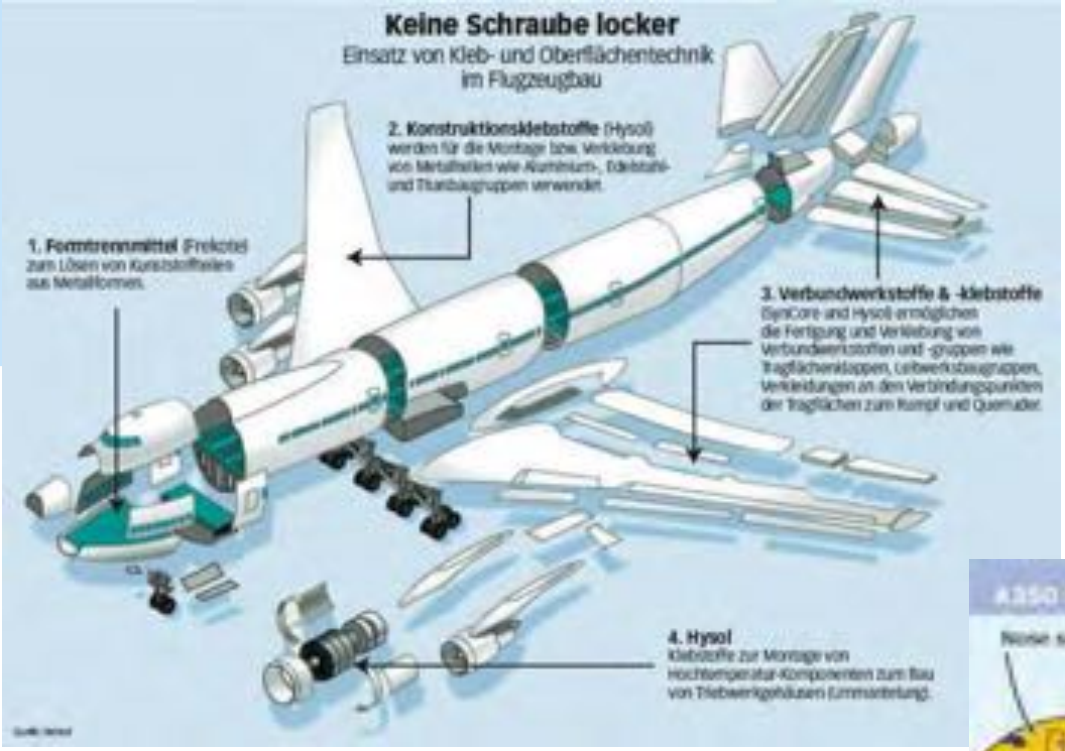
Jedes Zeitalter hat seine eigene Verbindungstechnik hervorgebracht. Dementsprechend wurden Gedanken und Taten beeinflusst von der Fähigkeit, Gegenstände miteinander zu verbinden, um etwas Neues zu schaffen. Die Geschichte der Klebstoffe begann vor mehr als 120 000 Jahren in der Nähe der deutschen Stadt Jülich und hat noch lange nicht ihr Ende gefunden.

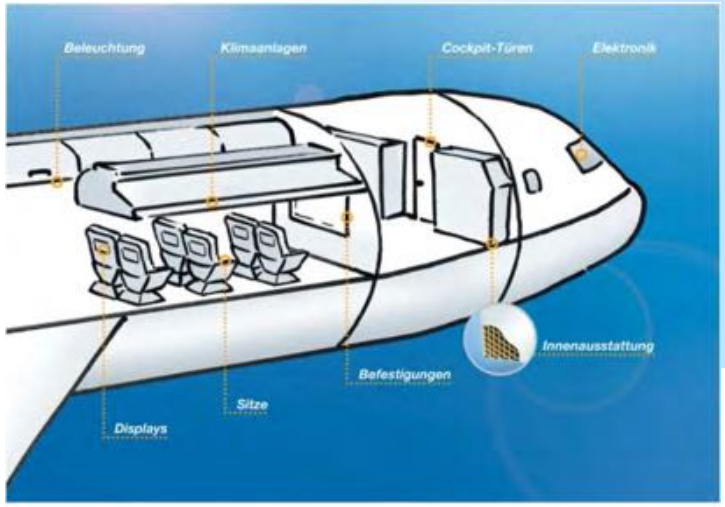
Geschichte des Klebens



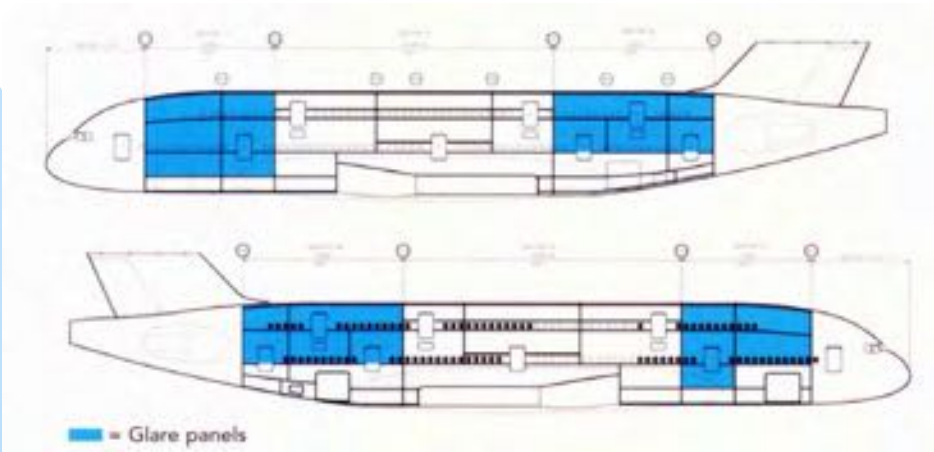
HUBER+SUHNER

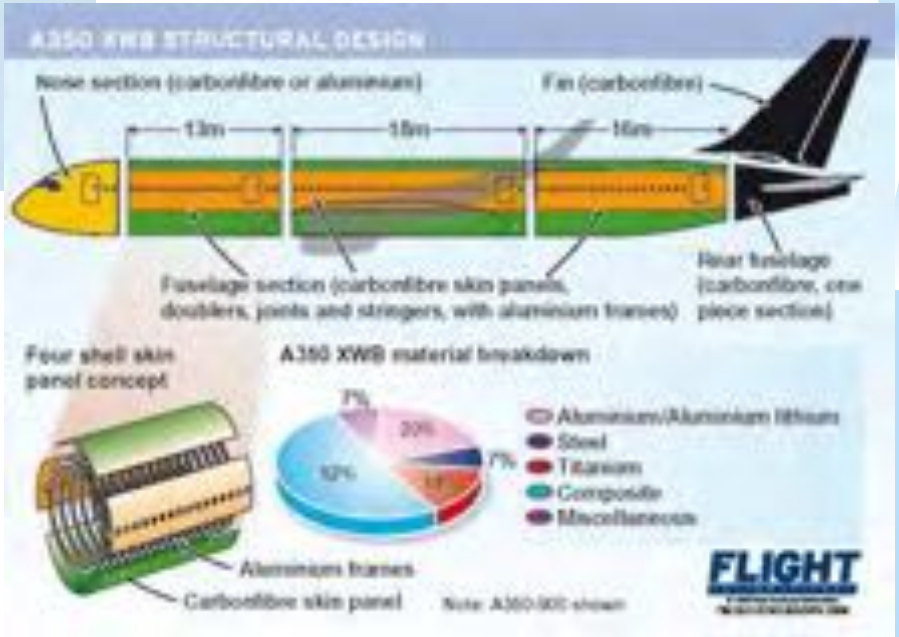
Kleben im Flugzeugbau





Klebstoffe für Optik und Design im Flugzeuginnenraum





Kleben im Flugzeugbau

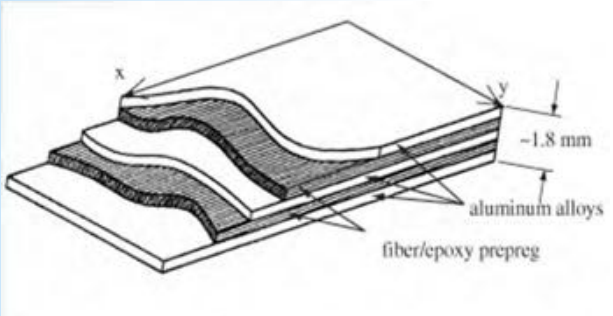
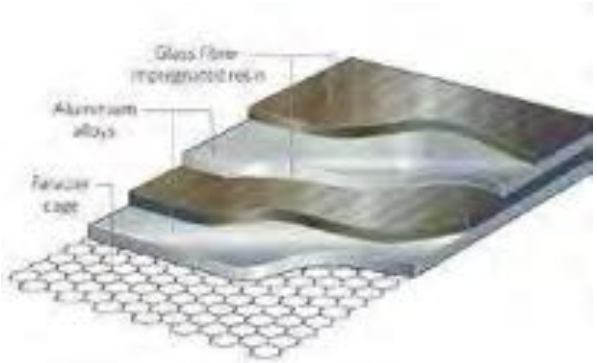
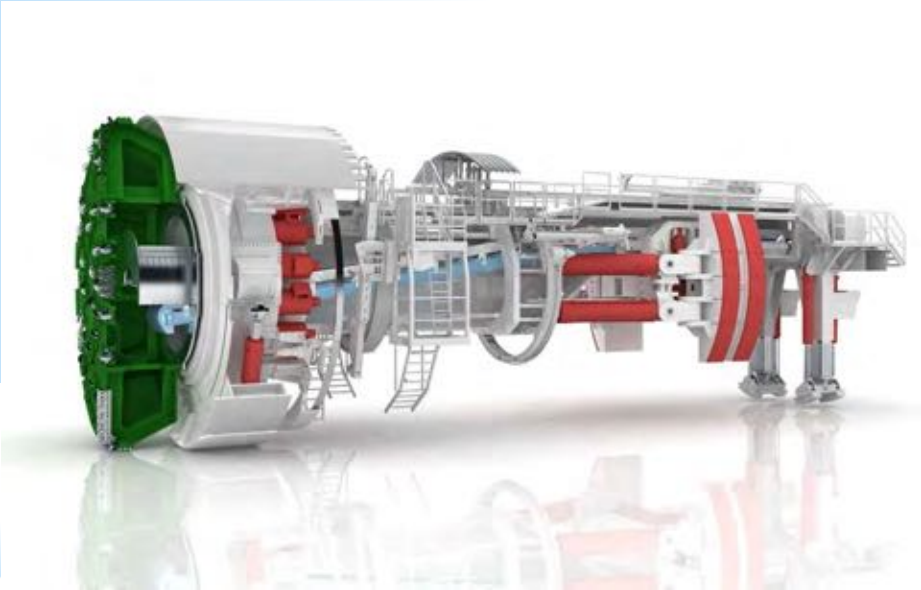


Figure 1. Configuration of continuous fiber/metal/epoxy hybrid composite (3/2 lay up).



Maschinen wie der neue Airbus A380 werden weitgehend geklebt.
Ihre **Rümpfe bestehen größtenteils aus "Glare",** einem **Verbundmaterial aus mehreren Schichten Glasfasern und Aluminium. Glare kann nur geklebt werden.**
Die entsprechenden Haftstoffe halten einen Zug von einer Tonne auf drei Quadratzentimeter Klebfläche aus.

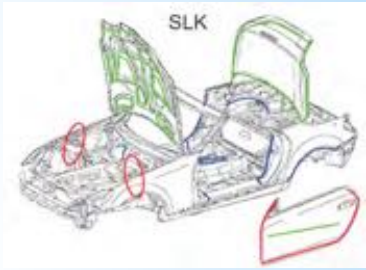
Kleben im Tunnelbau



Tunnelbohrer Fa. Herrenknecht:
Bei der Montage des Hauptantriebs werden verschiedene Getriebeteile miteinander verklebt und verschraubt.

Projekte u.a. Gotthard Basistunnel.

Kleben im Automobilbau



Kleben im Freizeitpark
Silver-Star 8er-Bahn

LOCTITE

Leistung die bleibt

Kunde:
Europa-Park, Deutschland

Aufgabe:
Schraubensicherung an Sicherheitsbügel-Systeme, Schraubensicherung an Laufräder, Befestigen der Laufrad-Kugellagerkäfige

Produkte:
Loctite® 243
Loctite® 638
Loctite® 7063

Reinigung mit Loctite® 7063

Sicherheitsbügel und Ratschenteil

Auftragung von Loctite® 243

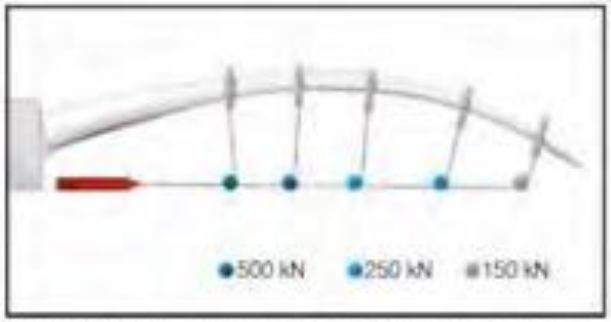
Bereit zur Montage

Raupenförmige Auftragung von Fügeprodukt Loctite® 638 auf den Kugellagerkäfig

Bei der Montage der Räder an den Zug werden die Schrauben mit Loctite® 243 gesichert

Kleben in der Windenergie

Neue Einsatzgebiete für Polyurethan-Klebstoffe bei der Rotorblattverklebung
Gegen den Wind – Starker Verbund bei extremer Belastung



Kräfte von umgerechnet vier LKWs (je 40t) wirken hier auf eine Tragfläche.

Die Rotorblätter entstehen in einer 250 Meter langen Halle in Schalen, die riesigen Sandkastenbackformen ähneln.
Moderne Windräder sind oft über 50 Meter lang und werden in einem Stück "gebacken

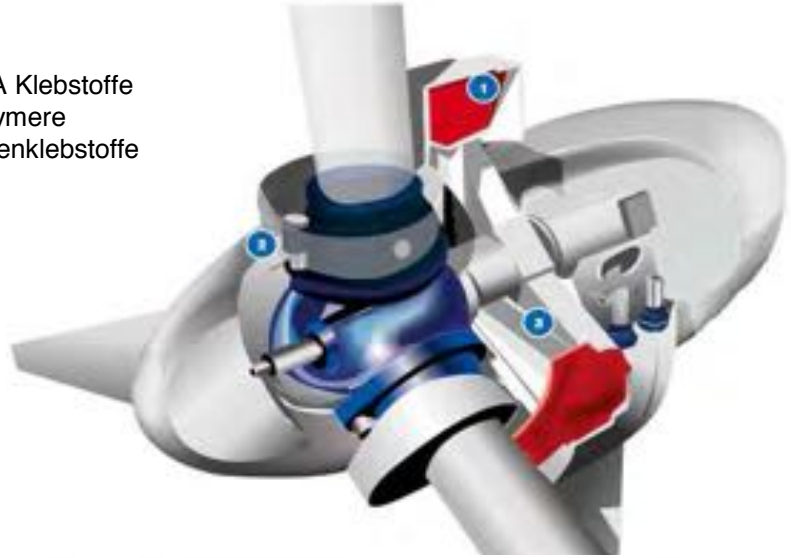
Henkel ist es gelungen, einen PUR-Klebstoff zu entwickeln, der die spezifischen mechanischen Anforderungen für den Einsatz in der Windenergieindustrie erfüllt und eine effizientere Herstellung von Rotorblättern ermöglicht.
Zu den primären Vorteilen von Macroplast UK 1340 zählt insbesondere die beschleunigte Aushärtung.
Klebstoffe auf Polyurethanbasis reagieren sehr viel schneller als die bisher eingesetzten Epoxidharze.
Dank einer hohen Reaktivität bei gleichzeitig niedrigerer Energiefreisetzung während der Aushärtung des zweikomponentigen Klebstoffs wird sowohl die Dauer als auch die Temperatur der Aushärtungsphase deutlich herabgesetzt.

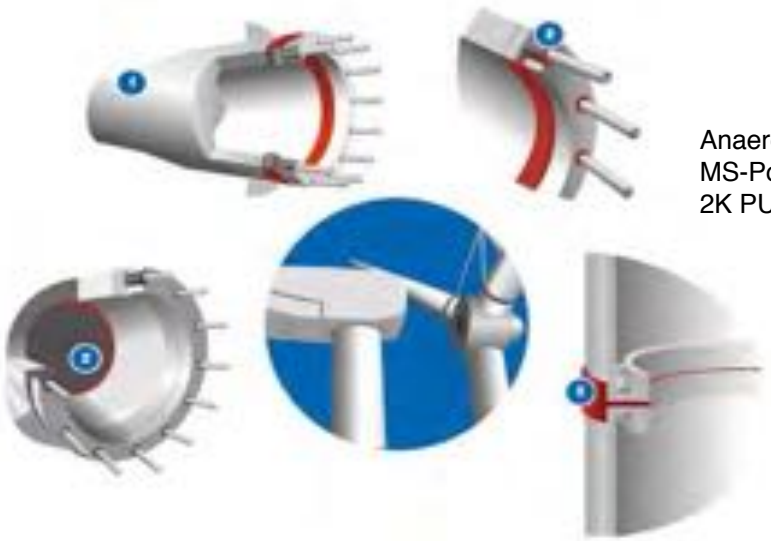
Kleben in der Windenergie

Weiterer Einsatz von Klebstoffen

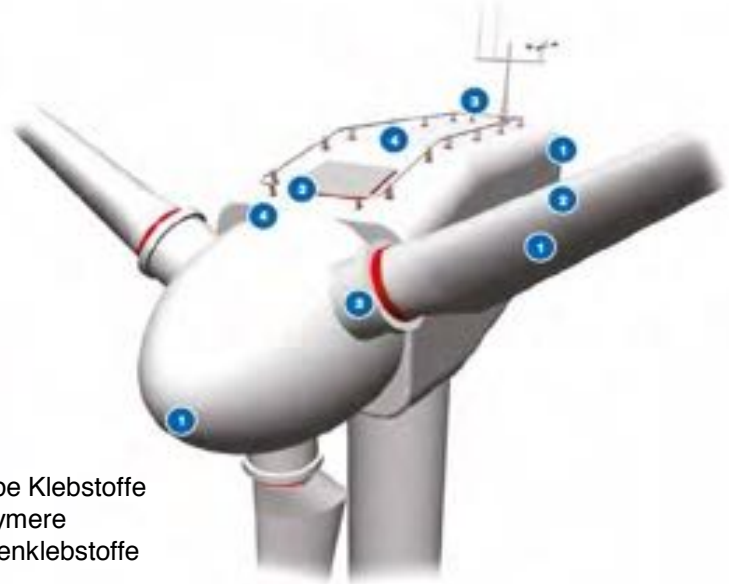
Anaerobe Klebstoffe
2K MMA Klebstoffe

2K MMA Klebstoffe
MS-Polymere
Sekundenklebstoffe





Anaerobe Klebstoffe
MS-Polymere
2K PUR Klebstoffe



Anaerobe Klebstoffe
MS-Polymere
Sekundenklebstoffe

Kleben mit Sofortklebstoffen

- Einkleben von kleinen Lagern in Kunststoff-/Metallgehäuse, Kleben von Drehungsmessgeräten, von Schleifspitzen auf Maschinenwerkzeuge, O-Ringen auf Flansche und Gummidichtungen auf Fahrzeugteile aus Metall.

- Kleben von Silikongummi auf Kunststoffgehäuse in Verriegelungsmechanismen von Autotürschlössern, Befestigen von Kunststoffsockeln an Feuerlöscherflaschen, Kleben von Geflechtschläuchen auf Gummigehäuse von Heizgeräten und Befestigen von Abdichtgummi.

- Montage von Lautsprecherbaugruppen, Fahrzeugkomponenten, elektrischen Geräten und Laufwerken, Kleben von O-Ringen auf verzinkte Ölfilterabdeckungen, Kunststoffe auf Metallgehäusen von Elektromotoren und Stahlabdeckungen von Transformatoren.

HUBER+SUHNER

Grundlagen der Klebstofftechnik

- **1A** Geschichte der Fügetechnik –
  Vom Nieten bis zur Klebtechnik
- **1B** Limitierende und Vorteilhafte
  Faktoren bei der Klebtechnik
- **1C** Einfluss der Adhäsion und Kohäsion
  auf Verklebungen
- **1D** Einfluss der Benetzung auf Verklebungen
  Typische Oberflächenspannungswerte
  Messmethoden für die Benetzung
  Ursachen einer schlechten Benetzung
- **1E** Einteilung der Klebstoffe nach ihrer
  chemischen Basis

HUBER+SUHNER

1A / Geschichte der Fügetechnik

Nietkonstruktion

Eiffelturm 1889

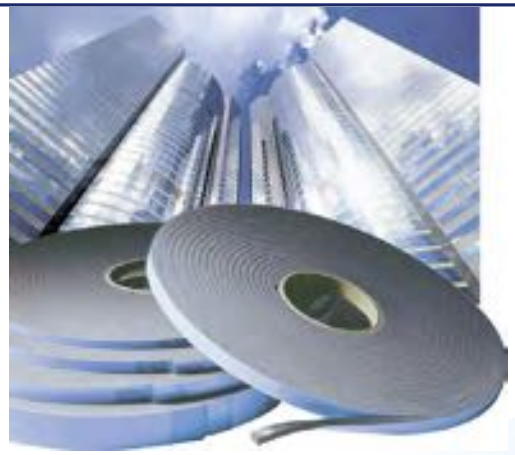
Schweisskonstruktion

Erstes vollständiges geschweisstes Schiff 1920

Welded Ship ' Fullagar '
February 1920

Klebkonstruktionen

Airbus 380



HUBER+SUHNER

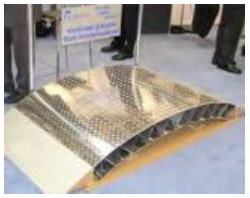
1B / Vorteilhafte Faktoren in der Klebetechnik

Verbinden von unterschiedlichen Werkstoffe mit-und untereinander

Keine Verletzung der Fügeteilwerkstoffe durch Bohrungen, Stanzen, Nieten.
Kein Wärmeeinfluss wie beim Löten, Schweissen
Voller Erhalt der Werkstoffeigenschaften

Herstellbarkeit glatter, grossflächiger Verbunde

Das Kleben erlaubt die Verknüpfung von sehr dünnen (<500um) Materialien. Ein Aspekt der besonders für Leichtbaukonstruktionen von Bedeutung ist (Brücken- und Fahrbahnelemente)

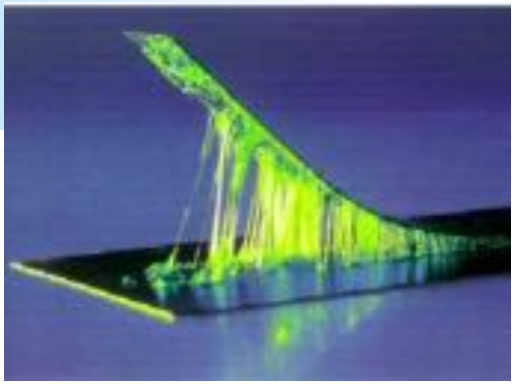


HUBER+SUHNER

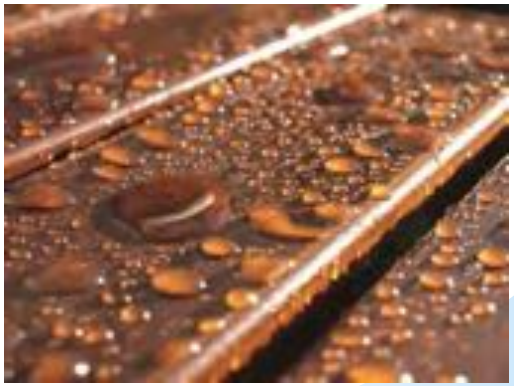
1B / Limitierende Faktoren in der Klebetechnik

Drei entscheidende technologische Einschränkungen:

- Klebstoffe und Klebungen sind nur begrenzt thermisch belastbar.



- Die Langzeitbeständigkeit wird durch Alterungsmechanismen eingeschränkt.



- Beim Kleben ist eine spezielle Prozessführung erforderlich

HUBER+SUHNER

1B / Limitierende Faktoren in der Klebetechnik

Spezielle Prozessführung erforderlich:

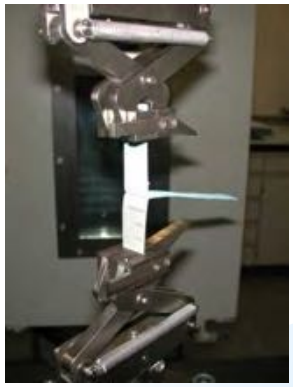
Klebstoffvorbereitung / Mischen

Klebstoffauftrag

Arbeitsschutz

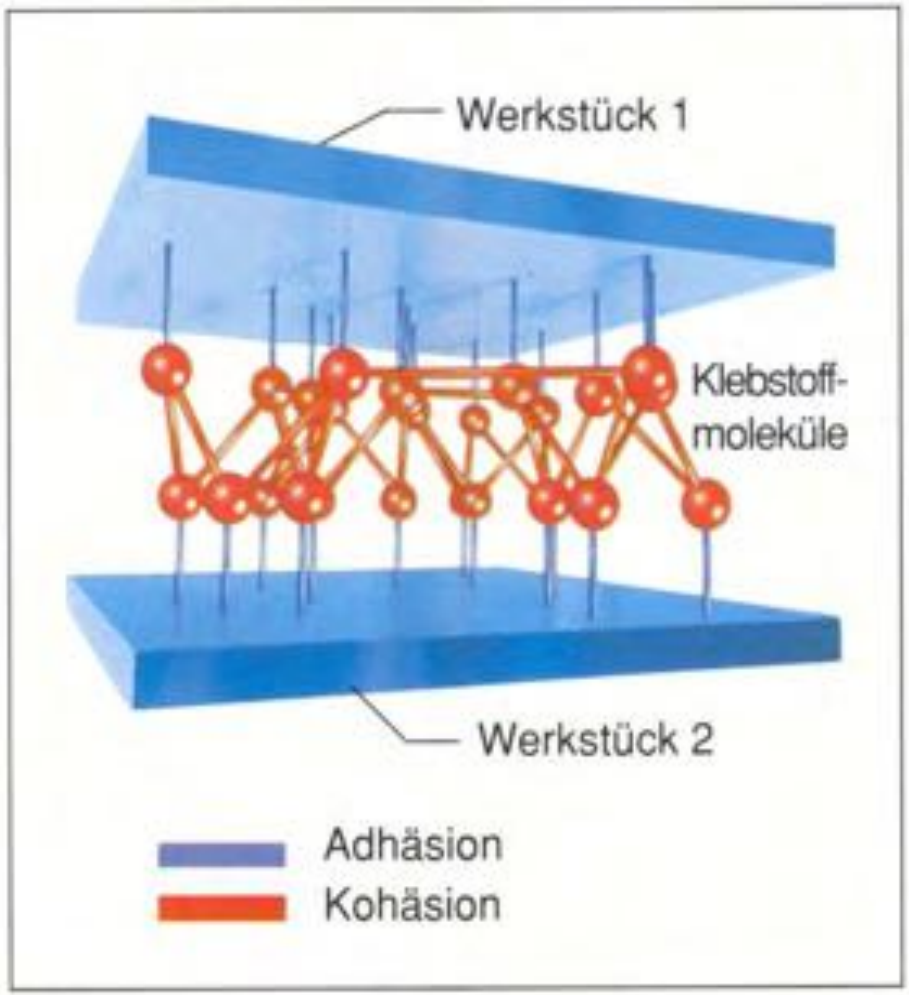
Klebflächen Vorbehandlung

Kontrolle



Lagerung

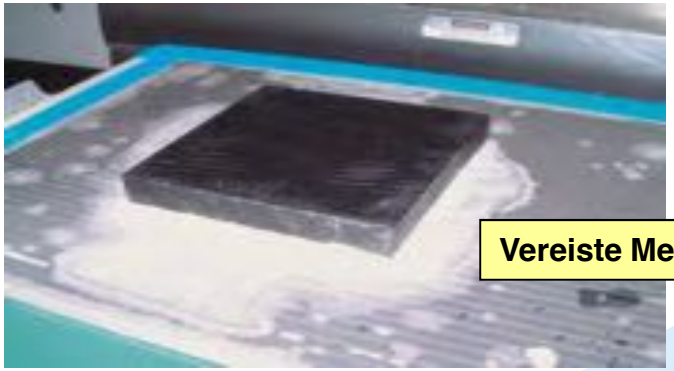
1C / Einfluss der Adhäsion/Kohäsionskräfte



Kleben:
Kleben ist das Verbinden von Fügeteilen über **Adhäsion (Oberflächenhaftung)** und **Kohäsion (innere Festigkeit)** mit einem nichtmetallischen Bindemittel (Klebstoff)

Klebstoff:
Ist ein Nichtmetallisches Bindemittel, welches Fügeteile über Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion)

Ist dann Wasser ein Klebstoff ?



Vereiste Metallplatte

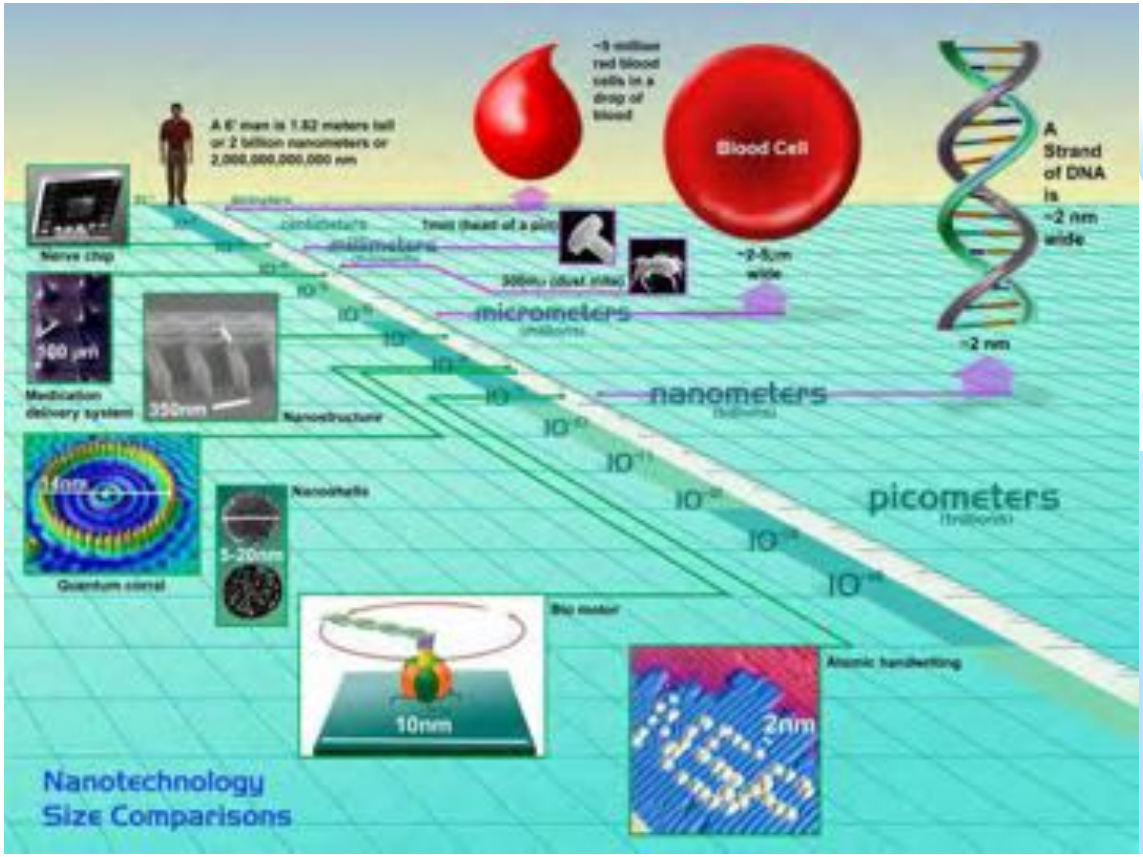
1C / Einfluss der Adhäsion/Kohäsionskräfte

Adhäsions-Bindungskräfte in Klebungen:

Ein Nanometer (nm) = $1x10^{-9}$m

1 km	**=**	**1mm**
1 mm		**1 nm**

Nanometer = molekulare/atomare Abstände



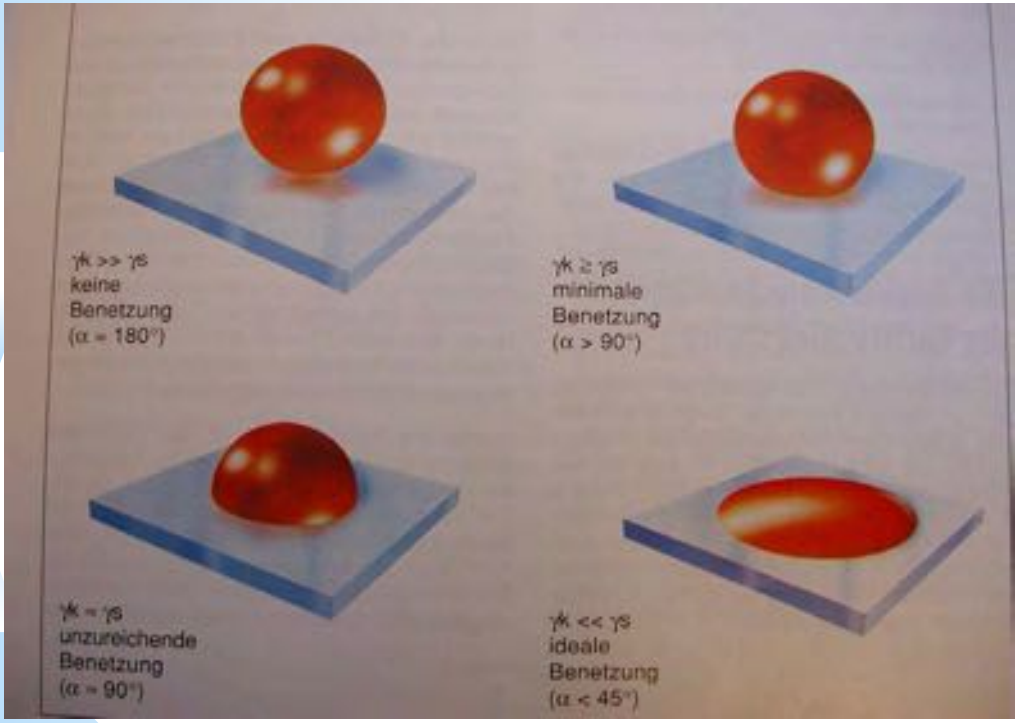
Der Gecko ist das schwerste Tier, das sich kopfüber an nahezu allen Oberflächen festhalten kann.

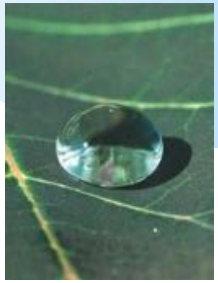
An der Sohle eines Gecko-Fußes sitzen etwa eine Milliarde so genannter Spatulare – winzige, etwa 200 Nanometer breite und ebenso lange Hafthärchen.

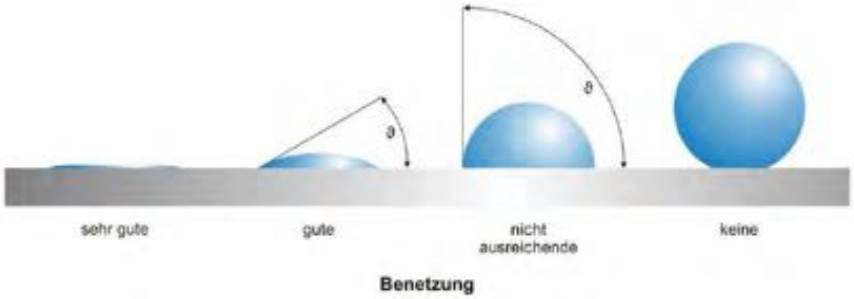
In einem dreigliedrigen, hierarchisch geordneten Haftsystem sitzen diese Nano-Hafthärchen an den so genannten Setae, die etwa 100 Mikrometer lang sind und mit einer Breite von 6 Mikrometern gerade einmal ein Zehntel des Durchmessers eines menschlichen Haares erreichen.
Die reihenförmig angeordneten Setae bilden wiederum 400 bis 600 Mikrometer lange Lamellen,
die bereits mit dem menschlichen Auge gut zu sehen sind.

1D / Einfluss der Benetzung auf Verklebungen

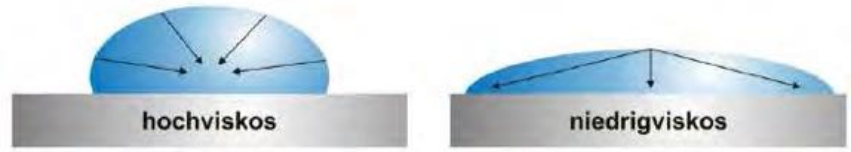
<u>Benetzung</u> ist **<u>für die Adhäsion</u>** eine **<u>notwendige</u>**, aber **<u>alleine keine hinreichende Voraussetzung!</u>**







Die Benetzung ist der Grund dafür, dass Klebstoffe normalerweise flüssig appliziert werden.
Sie müssen sich auf Oberflächen ausbreiten, wofür eine gewisse Fliessfähigkeit (niedrige Viskosität) gefordert ist.



1D / typische Oberflächenspannungswerte

Zur Orientierung fassen die beiden Wertetabellen typische Werte für Oberflächenspannungen zusammen. Aus Sicht der klebtechnischen Praxis sollte der Klebstoff für eine gute Benetzung eine geringere Oberflächenspannung als die zu klebende Werkstoffoberfläche aufweisen, evtl. müssen die Klebstoffe der Oberfläche angepasst werden. Dabei werden die Oberflächeneigenschaften der Füge-Werkstoffe für das Kleben modifiziert (Oberflächenvorbehandlung).
Grosse Oberflächenspannungsdifferenzen ergeben sich von Klebstoffen zu Metallen, warum sich Metalle nach entsprechender Vorbehandlung gut bis sehr gut kleben lassen. Ausnahme: Edelmetalle wie Gold, Silber, Platin. Auf der anderen Seite ist das Kleben von Kunststoffen nur unter speziellen Voraussetzungen möglich.

Oberflächenspannung

Die **Oberflächenspannung** ist die, infolge von Molekularkräften, auftretende Erscheinung bei Flüssigkeiten, deren Oberfläche klein zu halten. Die Oberfläche einer Flüssigkeit verhält sich ähnlich einer gespannten, elastischen Folie. Dieser Effekt ist zum Beispiel die Ursache dafür, dass Wasser Tropfen bildet, und trägt dazu bei, dass einige Insekten über das Wasser laufen können oder eine Rasierklinge auf Wasser „schwimmt".

Größenordnungen von Oberflächenspannungen.

Material	Oberflächenspannung			
Metalle	1000	–	3000	mN/m
Gläser	250	–	350	mN/m
Wasser	72.75			mN/m
Quecksilber	472			mN/m
Kunststoffe	20	–	60	mN/m
Klebstoffe	30	–	50	mN/m

Oberflächenspannungen einzelner Werkstoffe [mN/m]:

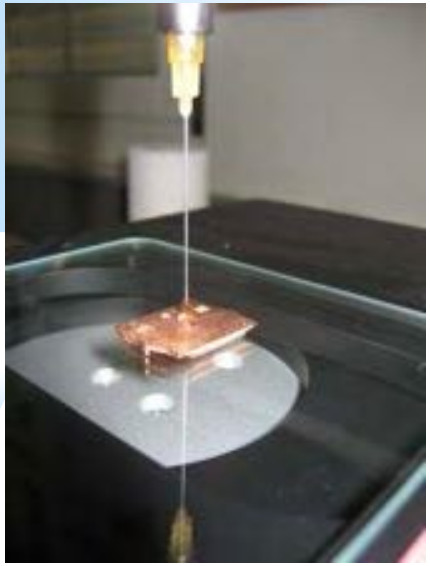
Polytetrafluorethylen	= 18.5
Silikone	= 24
Naturkautschuk	= 24
Polypropylen	= 29
Polyethylen	= 31
Polystyrol	= 33
Polyvinylchlorid	= 40
Epoxidharz	= 47
Zink	= 1020
Aluminium	= 1200
Gold	= 1550
Kupfer	= 1850
Nickel	= 2450
Eisen	= 2550

Die Oberflächenspannung (σ) ist als Quotient aus der notwendigen Arbeit (dW) zur Veränderung der Oberfläche (dA) definiert und wird in SI-Einheiten mit $J/m^2 = N/m$ angegeben.
Oberflächenspannung [N/m]:

$$\sigma = \frac{dW}{dA}$$

1D / Messmethoden für die Benetzung

Kontaktwinkelmessmethode (Randwinkel)



Mittels der Kontaktwinkelmessmethode
kann das Benetzungsverhalten von Flüssigkeiten
auf Fügeoberflächen bestimmt werden.
Bei einer schlechter Benetzung muss die
Oberfläche vorbehandelt werden.
Die Messung wird nur mit einer polaren Flüssigkeit
(Wasser) durchgeführt.
Die Messungen können als Vergleichsprüfungen
genommen werden.
Je kleiner der Randwinkel, umso grösser ist die Benetzbarkeit.

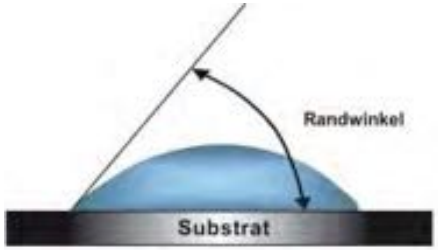


Abb. 35: Kontaktwinkel

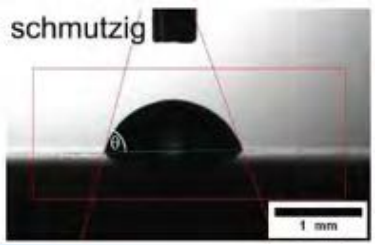
Testtintenmessmethode

Dieses Verfahren arbeitet mit verschiedenen Testtinten.
Je nachdem, wie diese Testtinten verlaufen, kann den Behandlungsgütern
eine bestimmte Oberflächenenergie zugeordnet werden.
Die Einheit ist mN/m [früher: dyn/cm].
Wasser besitzt eine Oberflächenenergie von 72,6 mN/m.
Die Testtinten sind erhältlich von 28 mN/m - 56 mN/m in 2er Schritten.

Oberflächenenergiemessmethode

Prüfung nach DIN 55660-2:2011-12.
Benetzbarkeit: Bestimmung der freien Oberflächenenergie fester Oberflächen durch Messung des Kontaktwinkels.

Dient zur Messung der freien Oberflächenenergie von Festkörpern und deren polarer und nichtpolarer Komponenten.
Berechnung der freien Oberflächenenergie von Festkörpern und deren Komponenten (disperse und polare Anteile) nach der Methode von Wu.

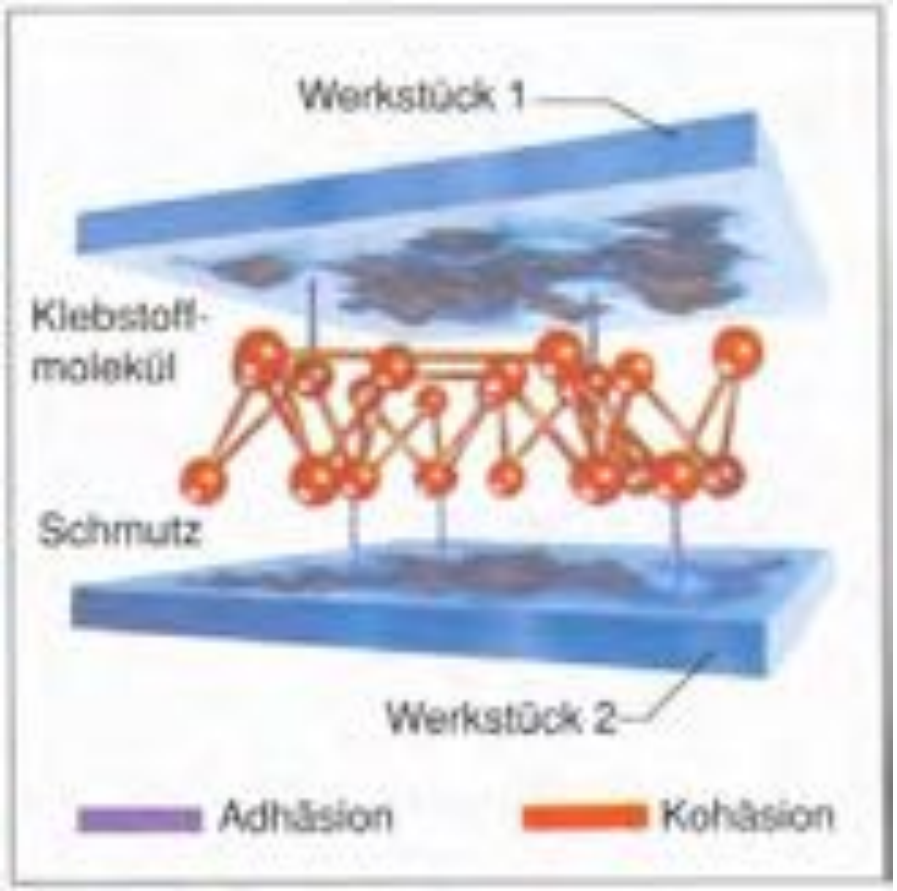


MOBILE MESSUNGEN DER
FREIEN OBERFLÄCHENENERGIE

HUBER+SUHNER

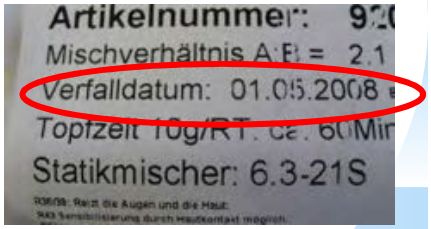
1D / Einfluss der Benetzung auf Verklebungen

Ursachen einer schlechten Benetzung



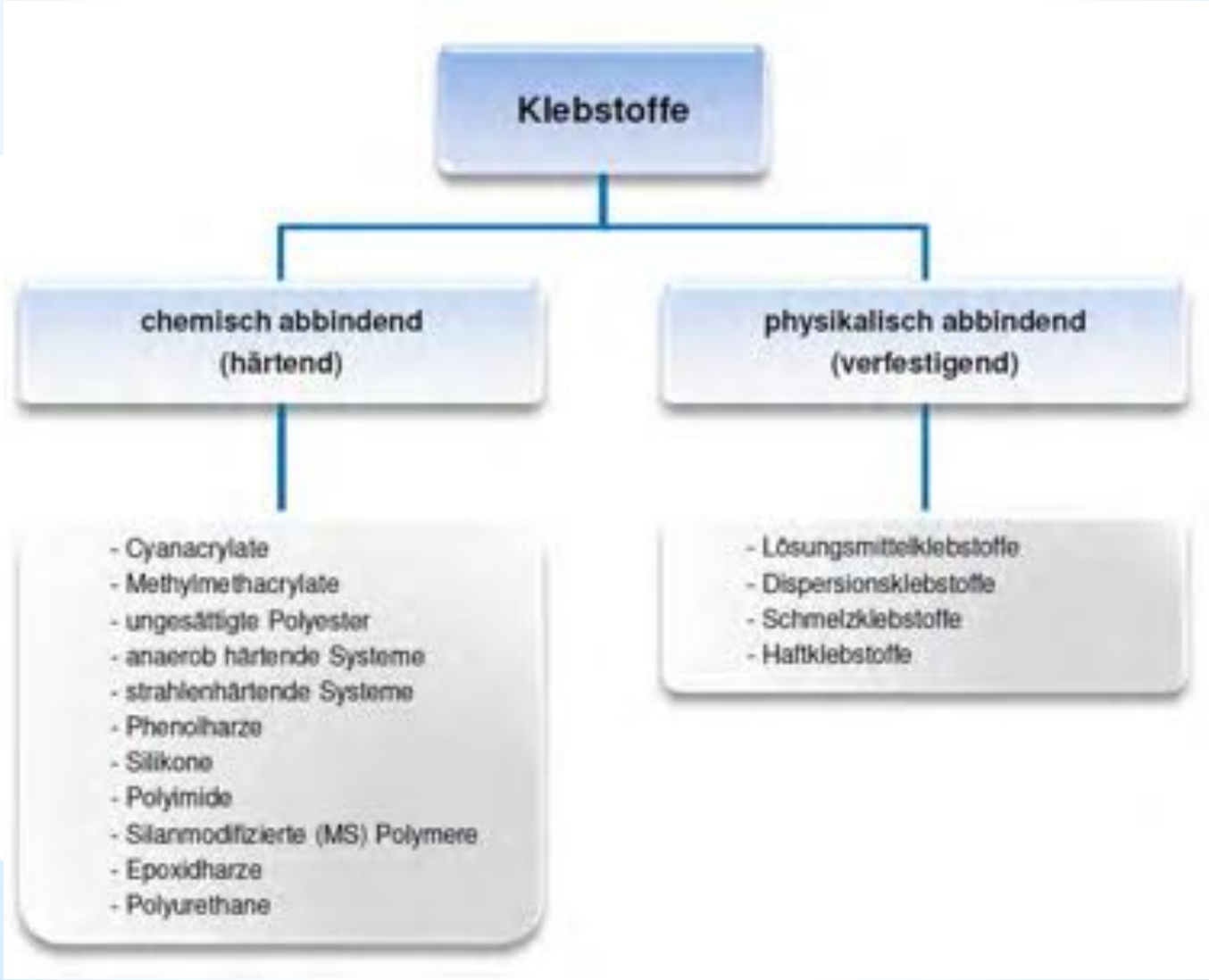
Kontamination der Oberfläche
(Staub, Schmutz; Fett, usw.)

Viskosität des Klebstoffes zu hoch
(zu kalt, überlagert,
Verarbeitungszeit abgelaufen)



Fügeteiloberfläche zu rau
(bei hochviskosen Klebstoffen)

1E / Einteilung der Klebstoffe (nach ihrer chemischen Basis)



HUBER+SUHNER

Metalle als Fügeteile

Aluminium

- Auf **frisch bearbeiteten Oberflächen bildet** sich **sofort eine Oxidschicht**.
- Die **Oxidschicht ist fest und sehr gut mit** dem **Grundwerkstoff verbunden**.
- Die **Oxidschicht schützt** den **Grundwerkstoff** vor **weiterer Oxidation und Korrosion (Passivierung)**
- **Häufig** ist die **Vorgeschichte der Oxidschicht** und Oberfläche des Aluminiums **unbekannt**, dass heisst, es liegt eine ungleichmässige Schicht vor

In der Regel, bei Verklebungen mit Aluminium gilt:

1. **Entfernung der alten, unbekannten Oxidschicht**
2. **Aufbau einer neuen definierten Oxidschicht – Verklebung durchführen**

Aufbau einer Metalloberfläche

Stahl

3 Hauptgruppen: **Baustahl**
Edelstahl
Stahl verzinkt

Baustahl: Hat eine Reaktionsschicht aus Oxiden und Hydroxiden (= Rost)
Die Rostschicht ist porös und hat keine feste Anbindung am Grundwerkstoff

Achtung: Die **Entfernung dieser Rostschicht** ist vor dem Kleben **unbedingt nötig!!**
Die Rost-**Entfernung** muss durch **mechanische/chemische Vorbehandlungsmethoden (schleifen, strahlen – Beizen, Beschichtung)** vollzogen werden.
Danach muss ein **Korrosionsschutz aufgetragen** werden (Verzinken, Lackieren..). Nun kann geklebt werden.

Stahl

Edelstähle:

Edelstähle haben eine **passive Oberfläche**, die **Rostbildung verhindert.**
Typisch bei Edelstählen: **Trotz** Ihrer **hoher Oberflächenspannung, ist die Verklebbarkeit im allgemeinen eher schlecht**.
Das Benetzungsverhalten von Klebstoffen ist zwar gut,
es **bilden sich aber weniger Adhäsionskräfte** aus.

Beim Kleben von Edelstahl ist Wahl eines guten Klebstoffes besonders wichtig, da Edelstahl eher schlechte Klebe-Eigenschaften aufweist.

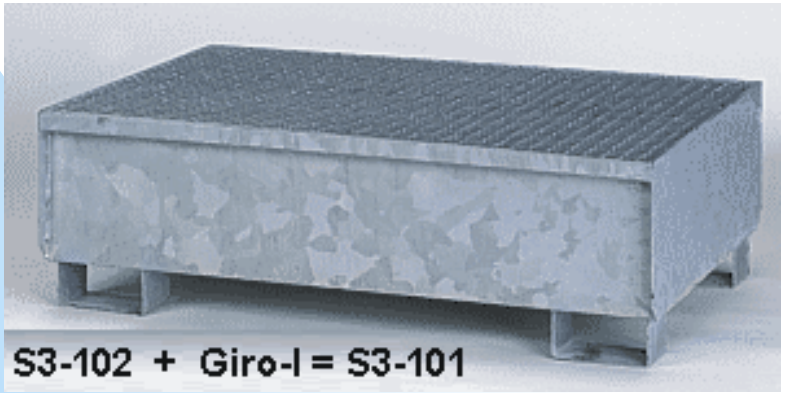
Grund hierfür ist die sehr glatte Oberfläche. Wasser, insbesondere warmes Wasser, droht ständig die Verklebung zu unterwandern.

Stahl

Stahl Feuerverzinkt:

Unter Feuerverzinken versteht man das Überziehen von Stahl mit einem metallischen Überzug durch Eintauchen des Stahls in eine Schmelze aus flüssigem Zink, deren Temperatur bei ca. 450 °C liegt. Dabei **bilden sich** aufgrund der **unterschiedlich ausgebildeten Kristallstrukturen** stark **schwankende Haftfestigkeiten** der **Zinkschicht**. Bei **Belastung** ist dadurch ein **Versagen der Klebung möglich (Zinkschicht löst sich vom Untergrund)!!**

Allgemein gilt: **Niemals mechanisch vorbehandeln.**
Zinküberzüge verhindern das Rosten von Eisen.



Stahl

Stahl elektrolytisch verzinkt:

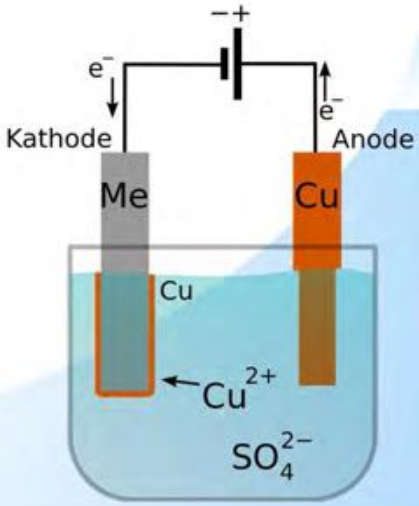
Die Werkstücke werden nicht in eine Zinkschmelze, sondern in einen Zinkelektrolyten eingetaucht; dabei wird das zu verzinkende Werkstück als Kathode in die Lösung gehängt. Als Anode benutzt man eine Elektrode aus möglichst reinem Zink. Beim galvanischen Verzinken ist der Zinkauftrag proportional zu der Stärke und Zeitdauer des Stromflusses, wobei – abhängig von der Werkstückgeometrie – eine Schichtdickenverteilung über das gesamte Werkstück entsteht.
Galvanisch verzinkte Bleche eignen sich besonders für die Pulverbeschichtung, die abgeschieden Zinkschichten besitzen kleine Kristallite mit
guter Haftfestigkeit. Dadurch sind diese Zinkschichten geeigneter fürs Verkleben und Beschichten.

Allgemein gilt: **Niemals mechanisch vorbehandeln.**
Zinküberzüge verhindern das Rosten von Eisen.

Galvanotechnik

Unter Galvanotechnik (auch Elektroplattieren genannt) versteht man die elektrochemische Abscheidung von metallischen Niederschlägen (Überzügen) auf Substrate (Gegenstände).

Galvanische Verkupferung eines Metalls (Me) im Kupfersulfatbad
Bei der Galvanik wird durch ein elektrolytisches Bad Strom geschickt. Am Pluspol (Anode) befindet sich das Metall, das aufgebracht werden soll (z. B. Kupfer oder Nickel), am Minuspol (Kathode) der zu beschichtende Gegenstand. Der elektrische Strom löst dabei Metallionen von der Verbrauchselektrode ab und lagert sie durch Reduktion auf dem Werkstück ab. So wird der zu veredelnde Gegenstand allseitig gleichmäßig mit Kupfer oder einem anderen Metall beschichtet. Je länger sich der Gegenstand im Bad befindet und je höher der elektrische Strom ist, desto stärker wird Die Metallschicht (z. B. Kupferschicht).
Um Konversionsschichten erfolgreich auftragen zu können, muss das Substrat vorbehandelt werden.



Galvanische Schichten bei H+S

- **SUCOPLATE®:**

Nickelersatz mit ausgezeichneten elektrischen Eigenschaften, gutem Korrosionsschutz

- **SUCOPRO®:**

Ersatz für herkömmliche Hartvergoldung – mit überlegenen Eigenschaften bei wesentlich dünneren Goldschichten

- **Silber:**

Hervorragende elektrische Eigenschaften

- **Nickel:**

Gute mechanische Eigenschaften, gute Korrosionsbeständigkeit
Nickel ist ein Kontaktallergen. Als Alternative bietet sich SUCOPLATE an.

HUBER+SUHNER

Richtiges Fügen mit Metallen

- **A** Oberflächenvorbereitung
  - Reinigung

- **B** Oberflächenvorbehandlungen
  - Mechanisch
  - Physikalisch

- **C** Oberflächennachbehandlungen
  - Primer Einsatz

HUBER+SUHNER

Übersicht

Oberflächenbehandlung

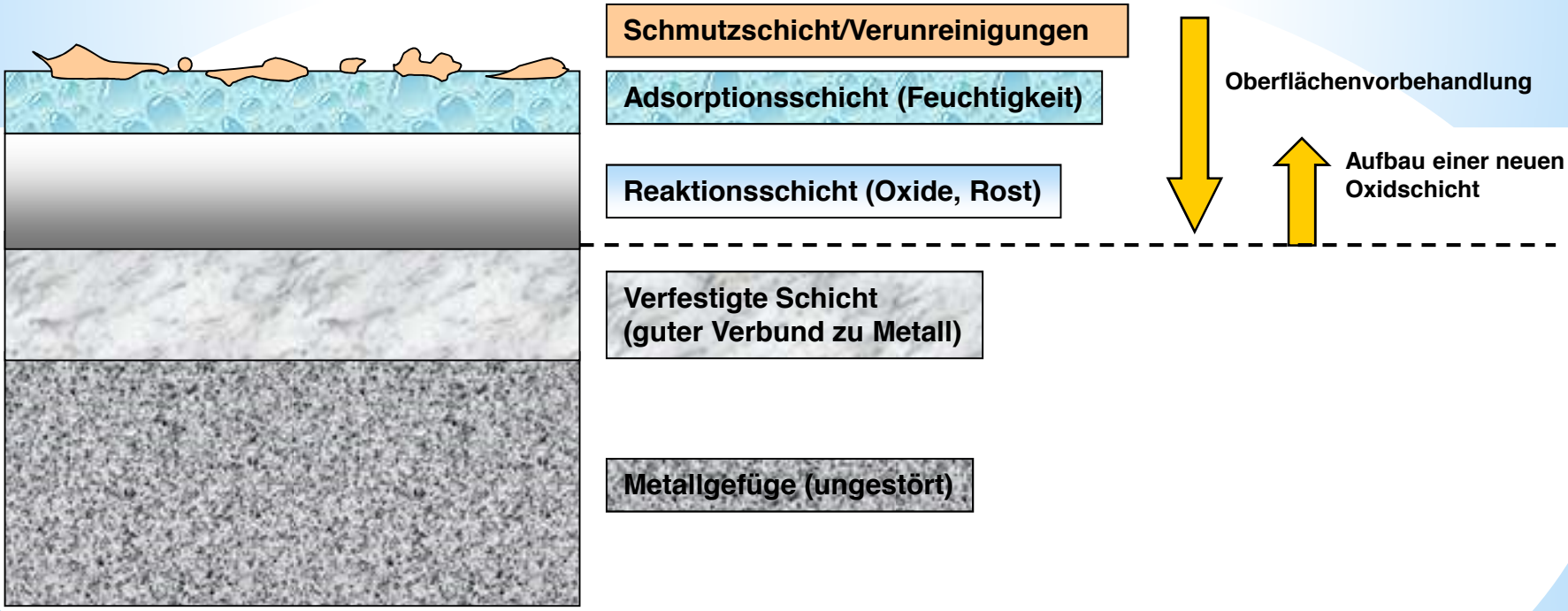
1. Schritt Oberflächenvorbereitung	2. Schritt Oberflächenvorbehandlung	3. Schritt Oberflächennachbehandlung
• Reinigen • Passend machen • Entgräten	• Mechanisch (Rauen, Strahlen) • Physikalisch (Plasma)	• Primer/Haftvermittler • Konservierung des Oberflächenzustandes bis zum Kleben (Schutzfolie)

Es gilt immer bei Oberflächenbehandlungen:

Zuerst Oberflächenvorbereitung (Reinigen)
– dann erst die Oberflächenvorbehandlung durchführen

Reinigungsverfahren bei Metalloberflächen

Aufbau einer Metalloberfläche:



Es gilt immer bei Oberflächenbehandlungen:

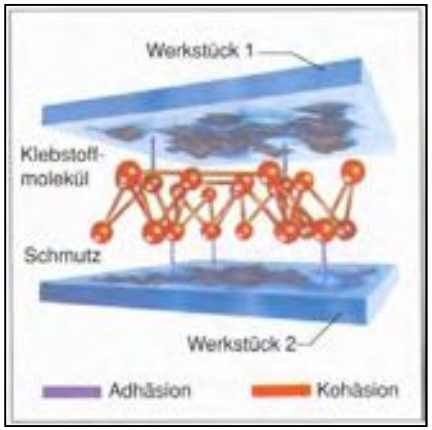
Zuerst Oberflächenvorbereitung (Reinigen)
– dann erst die Oberflächenvorbehandlung durchführen

Reinigungsverfahren bei Metalloberflächen

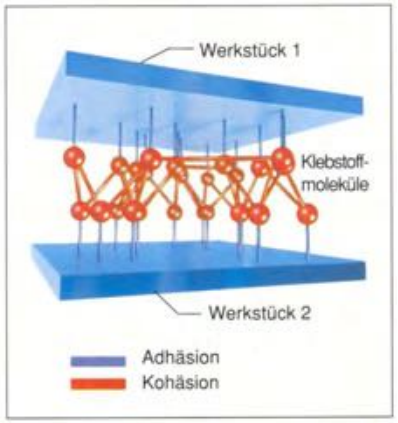
Anforderungen an das Reinigungsmittel

- **muss die Verunreinigung von der Oberfläche lösen**

Verklebung mit Verunreinigung



Verklebung ohne Verunreinigung



- **muss möglichst schnell und rückstandsfrei Verdunsten**

  Verdunstungszahl muss klein sein – ungeeignet: Benzin, Terpentin

- **darf die Fügeteile nicht angreifen/quellen/lösen**
- **Kostengünstig**
- **Für Gesundheit und Umwelt unbedenklich sein**

Reinigungsverfahren bei Metalloberflächen

Organische Lösungsmittel als Reiniger

Abbildung 2: Gefahrenpiktogramme nach GHS-Verordnung

Gefahrenhinweise beachten !!

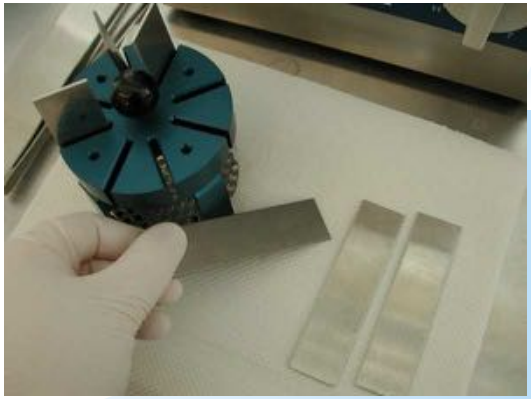
- **geeignete organische Lösungsmittel:**
  Aceton / Ethanol (Sprit) / N-Propanol / Benzin 60/95℃

- **nicht geeignete organische Lösungsmittel:**
  Toluol / Xylol / Mehylethlyketon / chlorierte LM / Benzin 120/125℃

Reinigungsverfahren bei Metalloberflächen

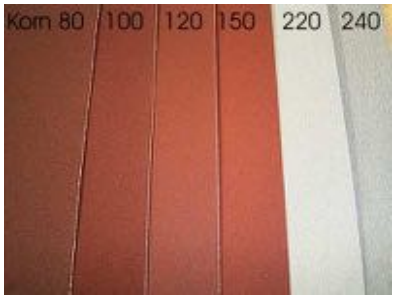
Wisch-Verfahren/
Entfettung von Hand mittels Tuch

Tauchverfahren /
Ultraschall-Reinigung in organischen Lösungsmitteln



mechanische Oberflächenvorbehandlungsmethoden

Schleifen/Rauen



Strahlen

Strahlmittel - Strahlgut

Ziele der Vorbehandlung:

- **Entfernung** von **störenden Schichten** (z.Bsp. Lacke, Oxide, Reaktionsschichten)
- **Erhöhung der Oberflächenrauhigkeit** (Vergrösserung der Oberfläche)

Wichtig:
Nach einer mechanischen Oberflächenvorbehandlung ist die Fügeoberfläche Nochmals intensiv vom Rau/Schleif-Rückstand zu reinigen.

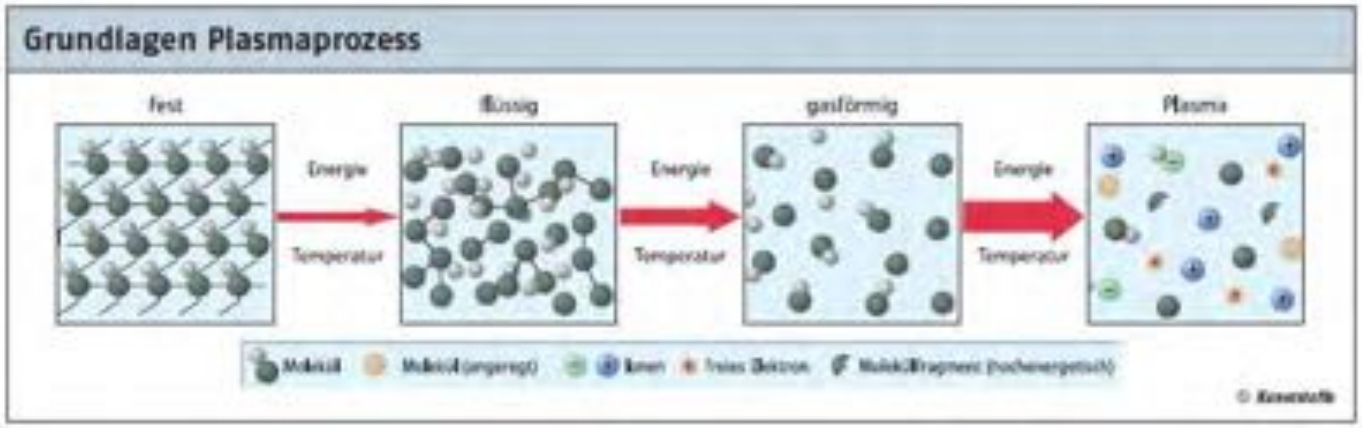
HUBER+SUHNER

physikalische Oberflächenvorbehandlungsmethoden

Plasmatreat:

Plasma – ist der **eigentliche 4.Aggregatszustand**
Gas mit hochreaktiven Anteilen (**Radikale**,Elektonen,Ionen,Atome) **unter hoher Energie**.
Die Plasmatechnik hört beim gasförmigen Zustand der Materie nicht auf:
Wird mittels elektrischer Entladung zusätzlich Energie in die Materie eingekoppelt, so erhalten Die Elektronen eine höhere kinetische Energie und verlassen die Elektronenschale. Es entstehen freie Elektronen, Ionen und Molekülfragmente.

Die Düsen werden mit Luft oder auch mit anderen gewünschten Prozessgas (z. Bsp. Stickstoff) sowie Hochspannung betrieben. Das austretende Plasma steht je nach Düsengeometrie in einem Arbeitsbereich bis 25mm Wirkbreite und 40mm Behandlungsabstand zur Verfügung.
Der austretende Plasmastrahl ist elektrisch neutral.
Die typische Erwärmung der Kunststoffoberflächen während der Behandlung beträgt ca. 20℃.



HUBER+SUHNER

physikalische Oberflächenvorbehandlungsmethoden

Plasmatreat:

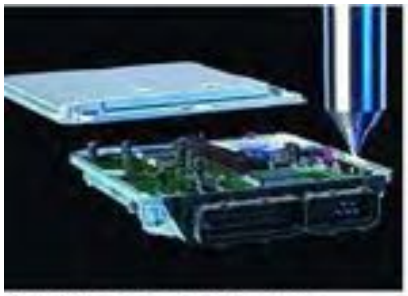
Die Plasmatechnologie eignet sich zur Aktivierung von Oberflächenmaterialien wie Kunststoff, Metall, Gewebe oder auch Glas.

Bei Metalloberflächen gilt:

Durch das hohe Energieniveau des Plasmas können chemische oder organische Stoffe an der Oberfläche des Materials gezielt in ihrer Struktur aufgebrochen werden.
Dieser Vorgang führt zu neuen Reaktionsprodukten.
Die Oberfläche wird von den unerwünschten Ausgangstoffen vollständig befreit.
Hierdurch ergeben sich optimale Voraussetzungen für die spätere Beschichtung.

Vorteile der Plasma-aktivierung an Metallen

- Hohe Prozessgeschwindigkeit und -sicherheit
- Großes Prozessfenster durch homogenen Plasmastrahl
- Kostengünstige, umweltfreundliche Vorbehandlung



Vorbehandlung zur Verklebung von Motorsteuergehäusen

Antistatische Reinigung von Platinen vor dem Vergießen

Wichtig:
Nach einer Physikalischen Oberflächenvorbehandlung ist die Fügeoberfläche so zeitnah als möglich zu verarbeiten (fügen), da die Wirkung auf Metalloberflächen relativ schnell nachlässt.

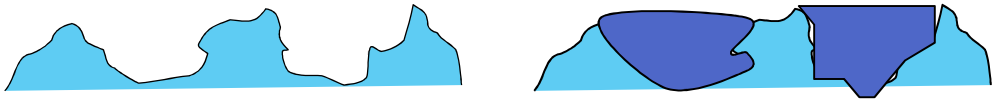
Primereinsatz bei Metalloberflächen

2 Hauptziele:

a) verdünnter Klebstoff (Primer im ursprünglichen Sinne)
b) chemischer Adapter (Haftvermittler im ursprünglichen Sinne)

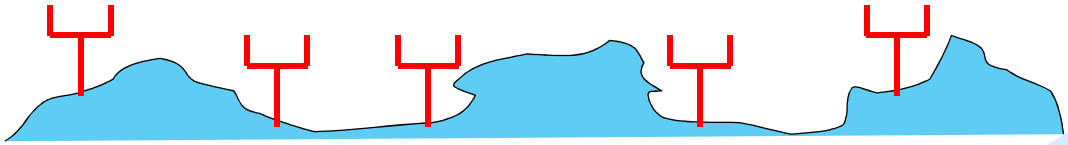
a) Verdünnter Klebstoff

Durch Auftrag eines Primers wird die Oberflächenrauhigkeit des Fügeteils ausgeglichen, man füllt die Löcher auf. Dadurch können auch hochviskose Klebstoffsysteme eingesetzt werden, die nun genug Benetzung mit dem Fügeteil haben.



b) Chemischer Adapter

Mittels einem Haftvermittler werden chemische Adapter (reaktive chemische Verbindungen) auf die Fügeteiloberfläche aufgetragen, die dann mit dem Klebstoffe chemische Bindungen in der Adhäsionszone eingehen.
Beispiel: Silan-Primer auf Metallen.



Primereinsatz bei Metalloberflächen

- Gleichmässig und dünn auftragen auf beide Fügeteilseiten
  Bei unterschiedlichen Werkstoffen – Welche Seite primeren?

- Ablüftzeiten beachten –
  Zeit in der das Trägermaterial (Lösungsmittel) ab lüften kann

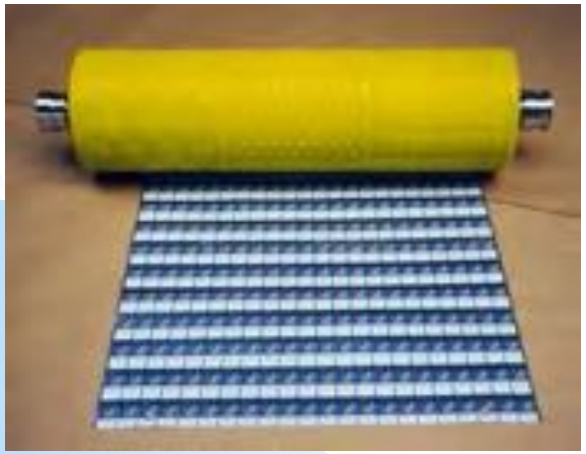
- offene Zeit beachten –
  Zeit in der der Klebstoff aufgetragen wird und
  die Teile zusammengefügt werden können

- Gefahrenhinweise beachten –
  Gut Lüften, Schutzbrille und Handschuhe tragen

- Vor Arbeitsbeginn technisches Datenblatt gut durchlesen

Primereinsatz / Anwendungsbeispiele

Walzenindustrie

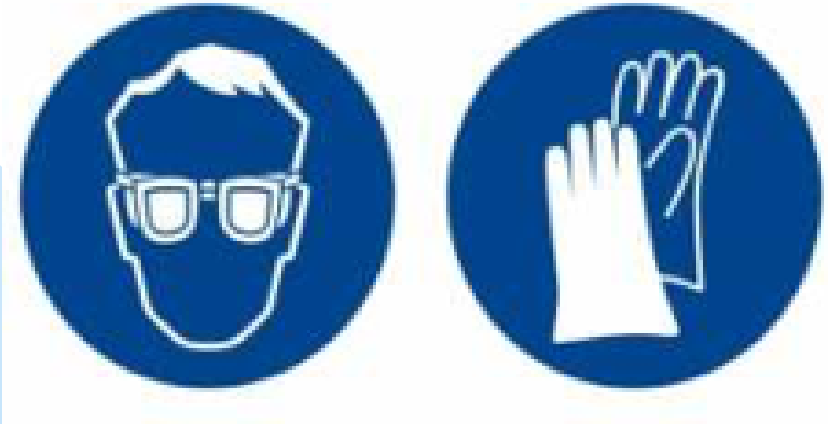


Stromschienen

Fügen mit schwer zu verklebenden Oberflächen

HUBER+SUHNER

Sicherheit beim Umgang mit Klebstoffen



Verhalten im Umgang mit Gefahrenstoffen

Bei allen Arbeiten mit Gefahrenstoffen immer
Schutzbrille, Handschuhe und Arbeitskleidung tragen !

Vor der Arbeit mit Gefahrenstoffen immer zuerst das
Sicherheitsdatenblatt verlangen/organisieren
und darauf die Gefahrenhinweise durchlesen !

Sicherheitsdatenblatt gemäss 2001/58/EG
BECKOPOX EP 116
Seite 6 6
Stoffschlüssel: S201725
Version : 4 - 9 /CH / 19.08.2004
Druckdatum : 01.11.04

Gefahrensymbole
Xi Reizend
N Umweltgefährlich

Gefahrenbestimmende Komponente(n) zur Etikettierung
Reaktionsprodukt, Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze mit durchschnittlichem Molekulargewicht <= 700

R-Sätze
36/38 Reizt die Augen und die Haut.
43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich.
51/53 Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche

Ausserdem auch immer die
Gefahrenkennzeichnungen auf den Gebinden betrachten.

Nach der Arbeit mit Gefahrenstoffen immer Hände
gut mit Seife und Wasser waschen.
Nach der Arbeit Handschutzcreme auftragen.

Bei Unklarheiten oder Unsicherheiten.
Melde Dich bei Deinem Ausbildner.
Ausserdem gilt die Eigenverantwortung beim Umgang mit Gefahrenstoffen.

Die neue Gefahrenkennzeichnung

Die neuen Gefahrenpiktogramme

GHS 01

Die Stoffe können, auch ohne Beteiligung von Luftsauerstoff, mit Wärmeentwicklung und unter schneller Entwicklung von Gasen reagieren. Sie explodieren leicht oder verpuffen schnell. Achtung Explosionsgefahr!

GHS 02

Produkte mit diesem Zeichen entzünden sich schnell in der Nähe von Hitze und mit offenen Flammen. Besondere Vorsicht mit dem Produkt bei Hitze, Feuer oder in der Nähe von offenen Flammen. Nicht rauchen, Sprays mit diesem Zeichen nie in der Nähe von offenen Flammen versprühen!

GHS 03

Die Chemikalien können in Berührung mit anderen, insbesondere entzündlichen Stoffen, mit starker Wärmeentwicklung reagieren.

GHS 04

Die Gasflasche weist auf unter Druck stehende Gase hin. Es gelten besondere Vorschriften im Umgang mit unter Druck stehenden Gasen!

GHS 05

Gefahr der schweren Ätzung der Haut oder es können schwere Augenschäden auftreten (Zerstörung der Haut oder der Sehkraft). Das Piktogramm weist oftmals auch darauf hin, dass die Chemikalie auf Metalle korrosiv wirkt. Bei solchen Produkten immer Augen- und Hautschutz verwenden!

Die neuen Gefahrenpiktogramme

GHS 06

Bestimmte Chemikalien können schon in kleinsten Mengen zu lebensgefährdenden Vergiftungen führen, wenn sie auf die Haut gelangen, verschluckt oder eingeatmet werden. Es gelten besondere Vorschriften im Umgang mit Giften. Auf keinen Fall in direkten Kontakt mit solchen Stoffen kommen!

GHS 07

Das Ausrufzeichen warnt vor diversen Gesundheitsgefahren. Es können die Haut oder Augen gereizt oder Allergien ausgelöst werden. Vorsichtiger Umgang mit solchen Produkten ist erwartet!

GHS 08

Dieses Piktogramm weist auf Gefahren von möglichen schweren Gesundheitsschäden hin. Das Produkt hat krebserregendes Potential, schwere Folgen bei Schwangerschaft oder liegt ähnliche schwere Gesundheitsrisiken. Produkte mit diesem Piktogramm mit besonderer Vorsicht benutzen!

GHS 09

Der sterbende Baum und der sterbende Fisch warnen vor möglichen Umweltgefahren. Die Produkte können Lebewesen (Menschen, Tiere und Pflanzen) schädigen oder auch langfristig schwere Umweltschäden hervorrufen. Produkte mit diesem Piktogramm immer richtig entsorgen und nie in den Hausmüll geben oder ins Abwasser schütten!

Signalwörter

Als Zusatz zu den Gefahrenpiktogrammen finden sich auf jedem Etikett die Signalwörter GEFAHR oder ACHTUNG.

GEFAHR steht für ein hohes Gefahrenniveau.

ACHTUNG steht für die „weniger schwerwiegenden" Gefahrenkategorien.

Sicherheitshinweise

Precautionary Statements (P-Sätze, alt: S-Sätze) sind Standardsätze, die Ratschläge für Schutzmaßnahmen bei der Verwendung der jeweiligen gefährlichen Chemikalie geben.

Es gibt rund 155 P-Sätze.

Wie lange gibt es noch die alten (orangen) Symbole?

Bis 2017 können Verpackungen mit den alten (orange) Gefahrensymbolen im Handel sein. Die neuen (rot/weiß) Gefahrenpiktogramme dürfen seit Jänner 2009 genutzt werden. Auf Verpackungen ist entweder die alte oder die neue Kennzeichnung angegeben. In Sicherheitsdatenblättern sind beide Einstufungen angeführt.

Schau auf das Gefahrenpiktogramm!

Lies die Gefahrenhinweise (H-Sätze oder R-Sätze)!

Wo finde ich Gefahrenpiktogramme?

Gefahrenpiktogramme (Gefahrenzeichen) informieren in leicht verständlicher Form über die möglichen Gefahren, die bei der Anwendung und Lagerung des Produktes auftreten können. Auf der Verpackung und dem Etikett von vielen alltäglichen Produkten finden sich die Gefahrenpiktogramme.

HUBER+SUHNER

Die Gefahrenkennzeichnung

Die offizielle Bezeichnung der Symbole und deren hauptsächliche Bedeutung

GHS01:
Explodierende Bombe
«Explosiv»

GHS02:
Flamme
«Hochentzündlich»

GHS03:
Flamme über Kreis
«Brandfördernd»

NEU

GHS04:
Gasflasche
«Gas unter Druck»

GHS05:
Ätzwirkung
«Ätzend»

GHS06:
Totenkopf mit Knochen
«Hochgiftig»

NEU

GHS07:
Ausrufezeichen
«Vorsicht gefährlich»

NEU

GHS08:
Gesundheitsgefahr
«Gesundheitsschädigend»

GHS09:
Umwelt
«Gewässergefährdend»

HUBER+SUHNER

Typische Gefahrenkennzeichnungen bei Klebstoffen

Gefahrensymbol GHS05: Ätzwirkung

Beispiel einer Umschreibung der Gefahrenhinweise

- Bedeutung: **«Ätzend»**
- Typische Gefahrenhinweise: Kann schwere Hautverätzungen und Augenschäden verursachen. Kann bestimmte Materialien auflösen (z.B. Textilien). Ist schädlich für Tiere, Pflanzen und organisches Material aller Art.
- Typische Sicherheitshinweise: Beim Umgang immer Handschuhe und Schutzbrille tragen. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

Gefahrensymbol GHS07: Ausrufezeichen

Beispiel einer Umschreibung der Gefahrenhinweise

- Bedeutung: **«Vorsicht gefährlich»**
- Typische Gefahrenhinweise: Kann die Haut irritieren, Allergien oder Ekzeme auslösen, Schläfrigkeit verursachen. Kann nach einmaligem Kontakt Vergiftungen auslösen. Kann die Ozonschicht schädigen.
- Typische Sicherheitshinweise: Hautkontakt vermeiden. Nur die benötigte Menge verwenden. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

Gefahrensymbol GHS08: Gesundheitsgefahr

Beispiel einer Umschreibung der Gefahrenhinweise

- Bedeutung: **«Gesundheitsschädigend»**
- Typische Gefahrenhinweise: Kann bestimmte Organe schädigen. Kann zu sofortiger und langfristiger massiver Beeinträchtigung der Gesundheit führen, Krebs erzeugen, das Erbgut, die Fruchtbarkeit oder die Entwicklung schädigen. Kann bei Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
- Typische Sicherheitshinweise: Niemals einnehmen, jeden unnötigen Kontakt vermeiden, langfristige Schädigungen bedenken. Nach Gebrauch sorgfältig verschliessen.

Gefahrensymbol GHS09: Umwelt

Beispiel einer Umschreibung der Gefahrenhinweise

- Bedeutung: **«Gewässergefährdend»**
- Typische Gefahrenhinweise: Kann Wasserorganismen wie Fische, Wasserinsekten und Wasserpflanzen in geringen Konzentrationen akut oder durch Langzeitwirkung schädigen.
- Typische Sicherheitshinweise: Gefahren- und Sicherheitshinweise auf der Etikette beachten sowie Gebrauchsanweisung/Dosiervorschriften befolgen. Nicht mehr benötigte Produkte oder teilentleerte Gebinde der Verkaufsstelle zurückgeben oder als Sonderabfall entsorgen.

HUBER+SUHNER

Etikettierung

Wie sieht eine GHS-Etikette aus?

Folgende Kennzeichnungselemente sind auf allen chemischen Produkten Vorschrift:

1. Gefahrensymbole
2. Gefahrenhinweise
3. Sicherheitshinweise
4. Gefahrenstufe

- Produktname
- Produktbeschreibung fakultativ
- Gebrauchsanweisung fakultativ
- Inhaltsstoffe
- Herstelleradresse

HUBER+SUHNER

Sicherheitsdatenblatt

Das Sicherheitsdatenblatt (SDB)

Das Sicherheitsdatenblatt ist das zentrale Dokument der Gefahrenkommunikation entlang der Lieferkette: Produktion → Handel → Anwendung → Recycling/Entsorgung

Das Sicherheitsdatenblatt ist eine wichtige Informationsquelle für die sichere berufliche Verwendung von Chemikalien.

- Lesen Sie daher das Sicherheitsdatenblatt aller Chemikalien, mit denen Sie umgehen, oder lassen Sie sich die wichtigsten Elemente davon erklären.
- Sprechen Sie mit Kollegen über die Sicherheitsaspekte der von Ihnen verwendeten Chemikalien.

Und falls doch mal etwas passiert: sofort reagieren!

Tox-Zentrum: 145 (24-Stunden-Notfallnummer)

Für nicht dringliche Fälle wählen Sie 044 251 66 66
Kontakt und Informationen via Internet: www.toxi.ch

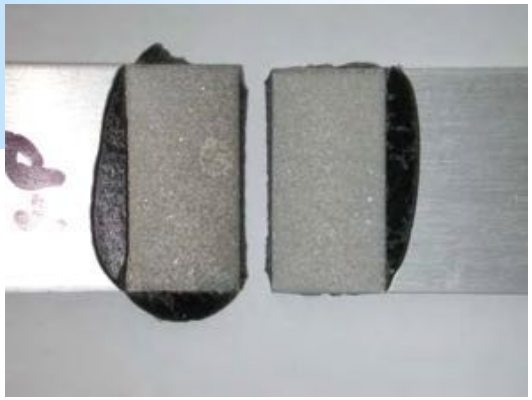
- Hinweis: Allgemeine Notrufnummer für Sanität ist 144
- Bei Unfällen immer Etikette oder Produkt für Angaben an die Hilfeleistenden bereithalten.

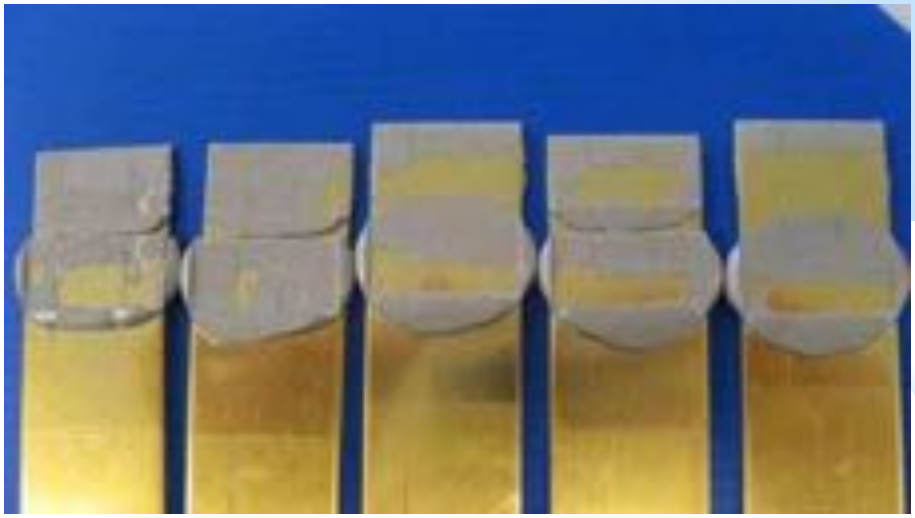
HUBER+SUHNER

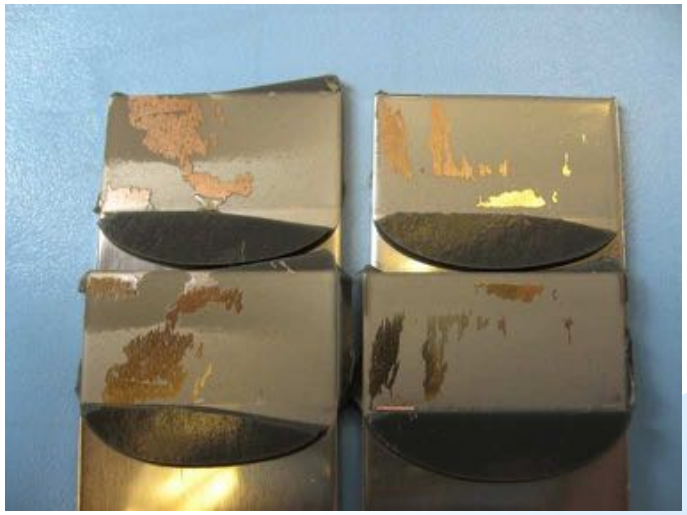
Eigenverantwortung

HUBER+SUHNER

Bruchbildbeurteilung von Verklebungen

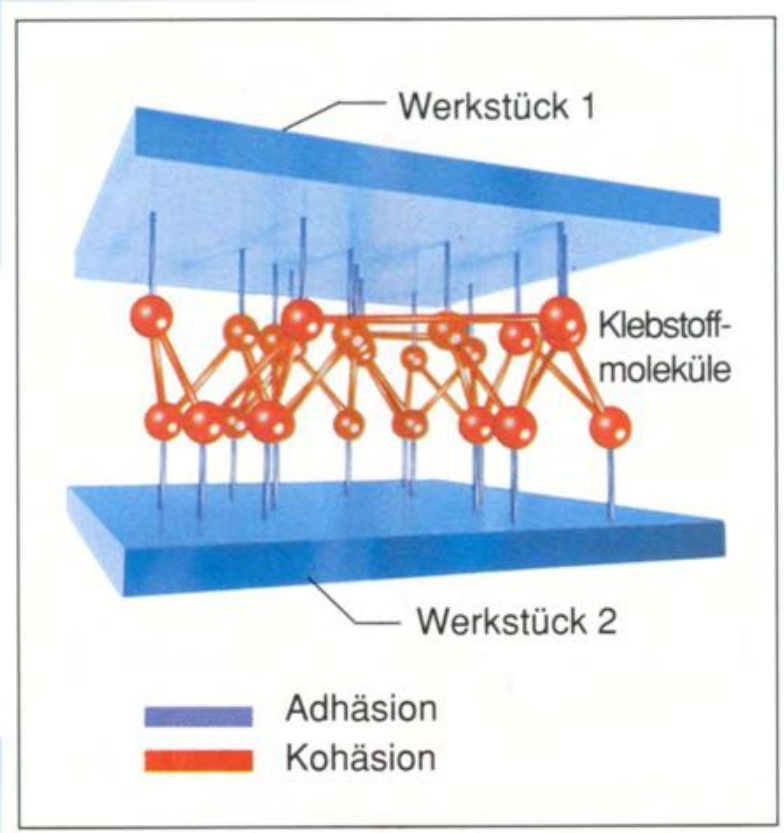




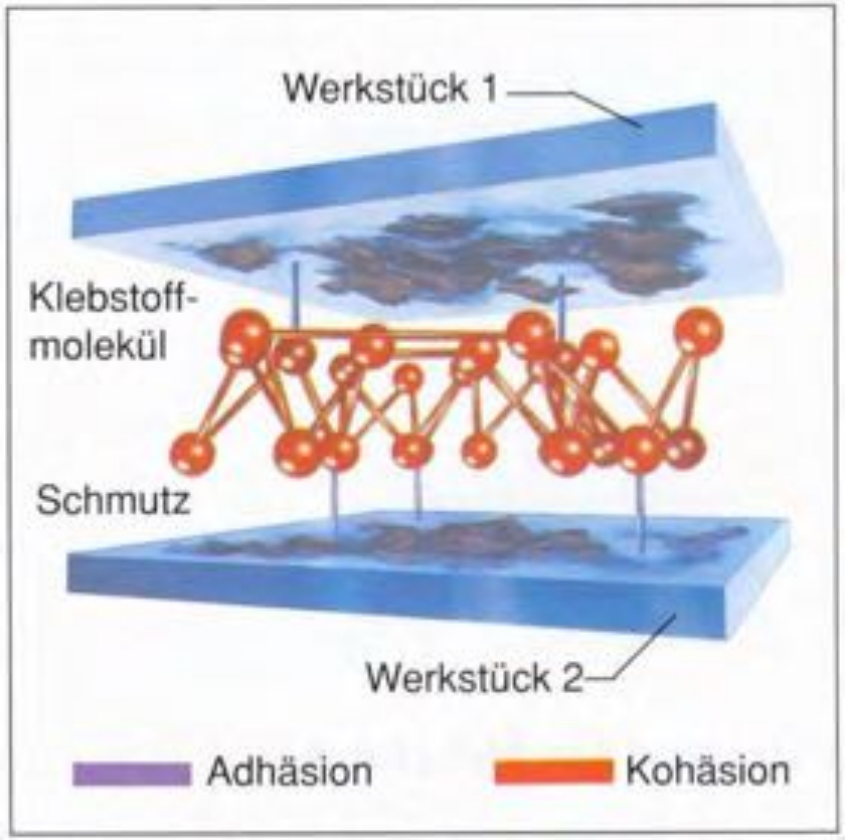


Bruchbildbeurteilung / Grundlagen

Ideale Fügeverbindung

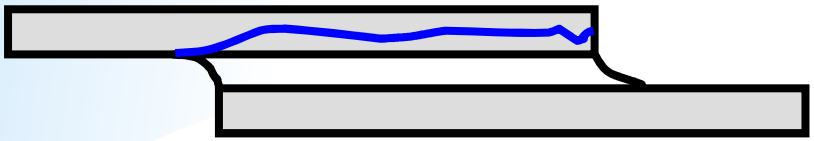


Störung in der Fügeverbindung

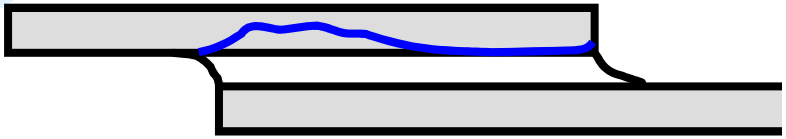


Zur Beurteilung einer Klebung wird die Bruchfläche visuell beurteilt und das Bruchbild bewertet.
Dies erfolgt immer individuell und kann je nach Anwender leicht unterschiedlich beurteilt werden.
Die Bruchbildbeurteilung bildet 50% des Messresultat einer zerstörenden Fügeverbindungsprüfung.

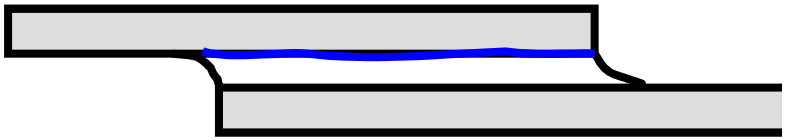
Einteilung der Brucharten



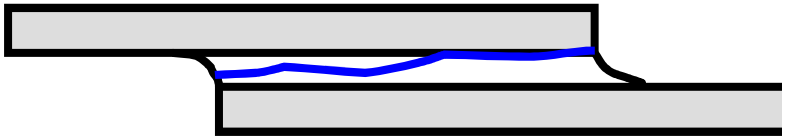
100%-iger Kohäsiver Bruch im Bauteil
-Materialbruch
-Plastische Verformung im Bauteil



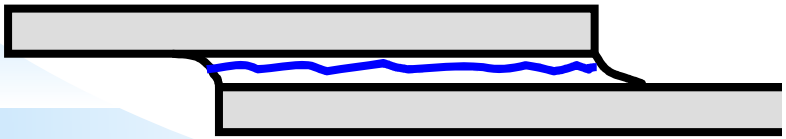
Mischbruch
50% kohäsiver Bruch im Bauteil;
50% adhäsiver Bruch an Grenzfläche Klebstoff/Bauteil



100%-iger Bruch an der Grenzfläche
Klebstoff/Bauteil



Mischbruch
50% kohäsiver Bruch im Klebstoff;
50% adhäsiver Bruch an Grenzfläche Klebstoff/Bauteil



100%-iger Kohäsiver Bruch im Klebstoff

HUBER+SUHNER

100% kohäsiver Bruch im Klebstoff

HUBER+SUHNER

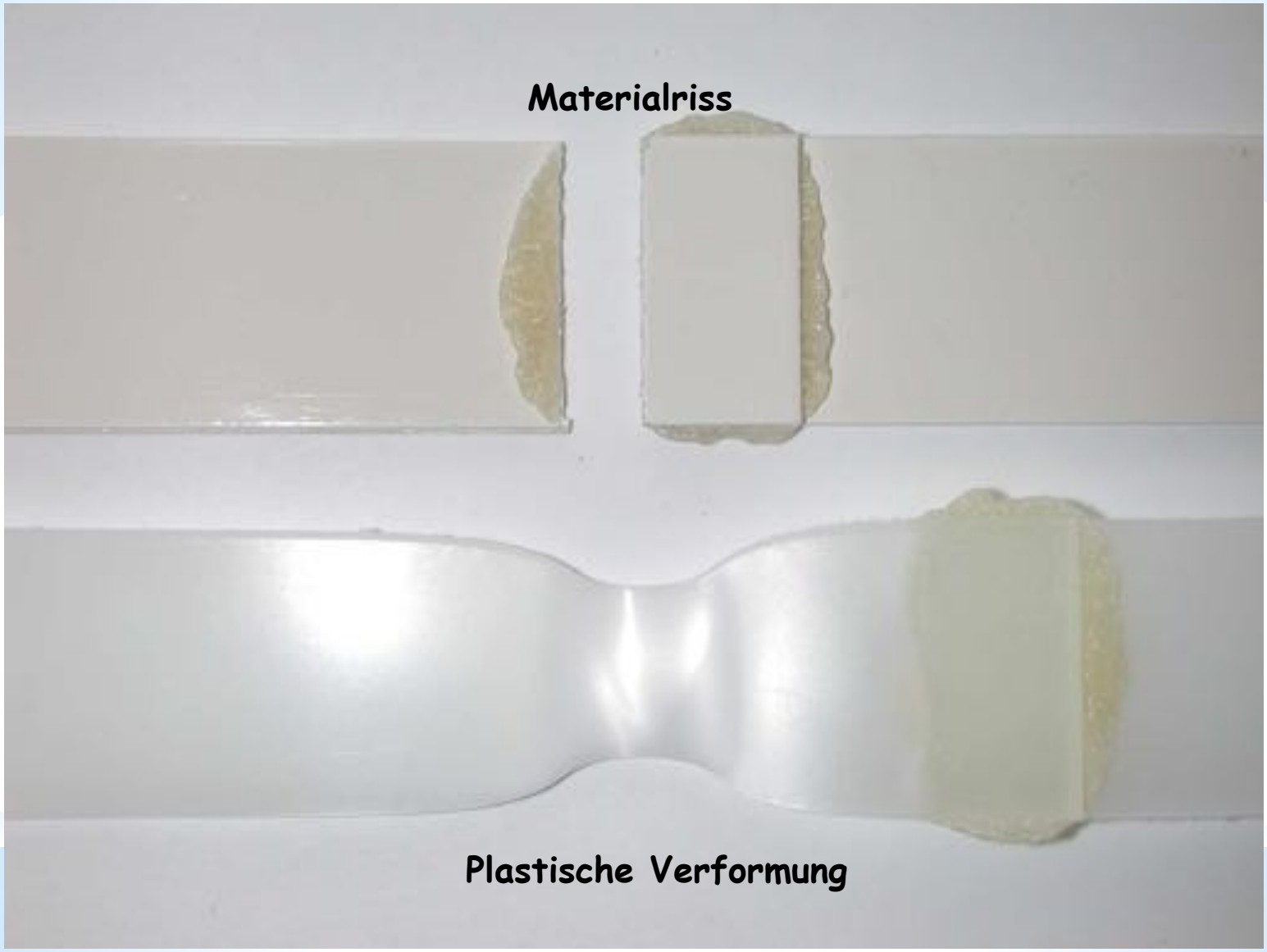
100% Adhäsiver Bruch an der Grenzfläche

HUBER+SUHNER

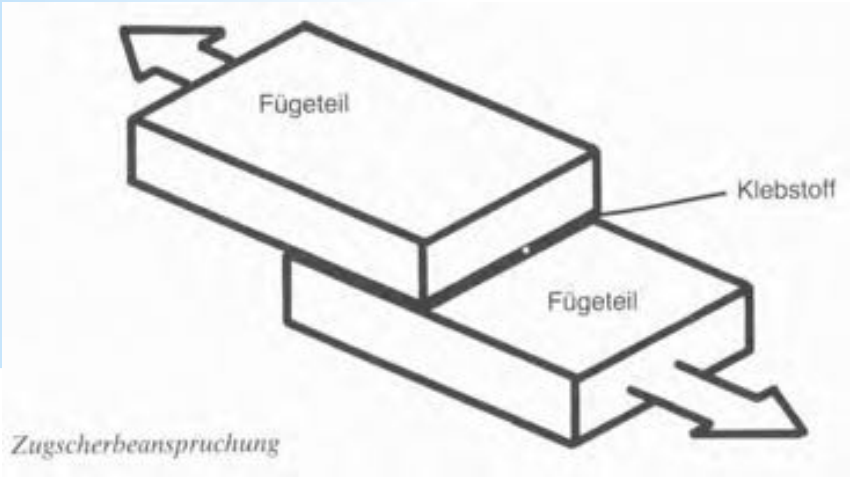
50% Adhäsiver Bruch an der Grenzfläche –
50% kohäsiver Bruch im Klebstoff

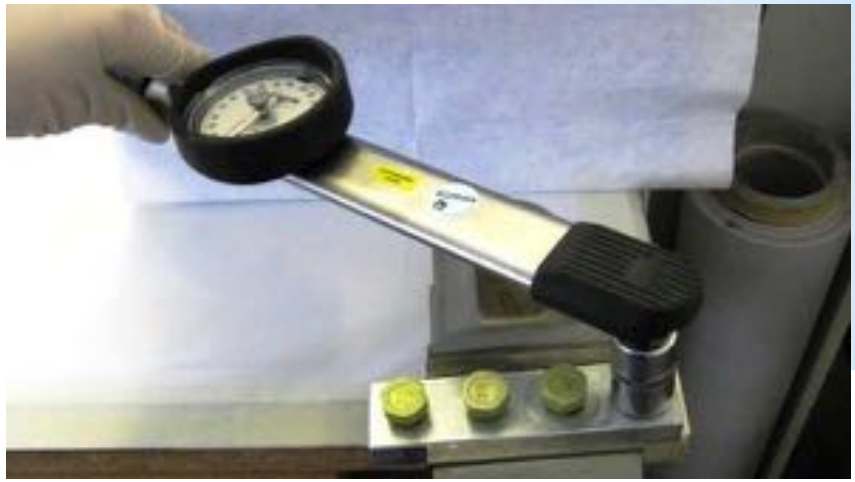
HUBER+SUHNER

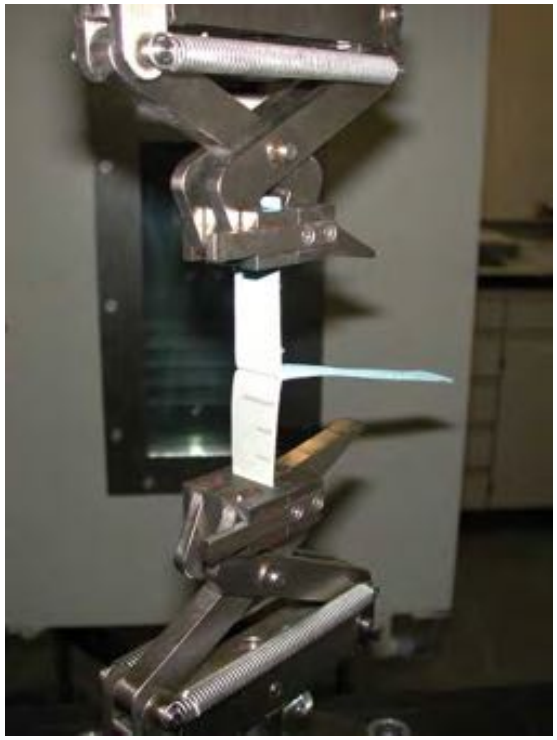
100% kohäsiver Bruch im Bauteil

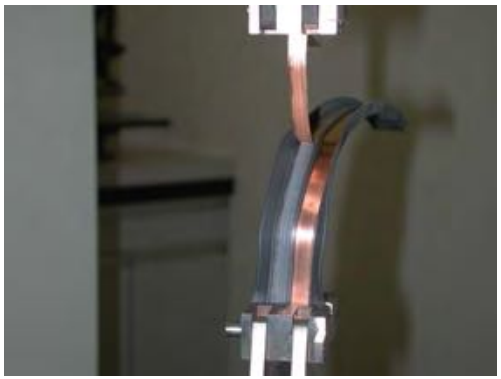


Prüftechnik von Klebverbindungen









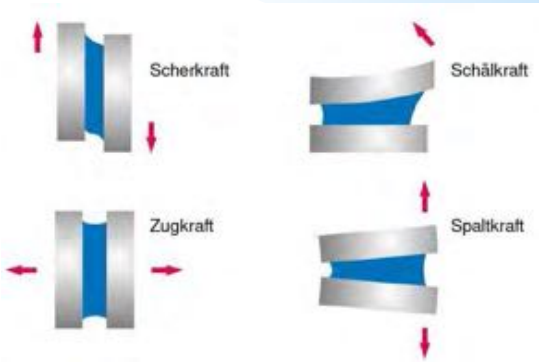
HUBER+SUHNER

Zerstörende Prüfverfahren

Prinzip: **Zerstörende Prüfverfahren erlauben Aussagen über die Verbindfestigkeit einer Klebung zum Zeitpunkt der Prüfung.**

Verfahren:

Zugscherfestigkeitsversuch
Rollenschälversuch
Torsionsversuch / Losbrechkraft
Winkelschälversuch
Keiltest
Raupenschältest



Prüfberichtinhalte:

- Normenhinweise
- Beschreibung des Klebstoffes (mit Verfalldatum, Wareneingang, Batch)
- Beschreibung der Fügeteile (mit Vorbehandlungsmethoden)
- Beschreibung des Fertigungsverfahrens (Prüfmittelvorschriften)
- Beschreibung der Proben
- Lagerungsbedingungen der Verklebungen
- Prüfbedingungen
- Bruchbildbeurteilung
- Prüfergebnisse mit Statistischer Auswertung
- Abweichung von der DIN-Norm bzw. der PMV

HUBER+SUHNER

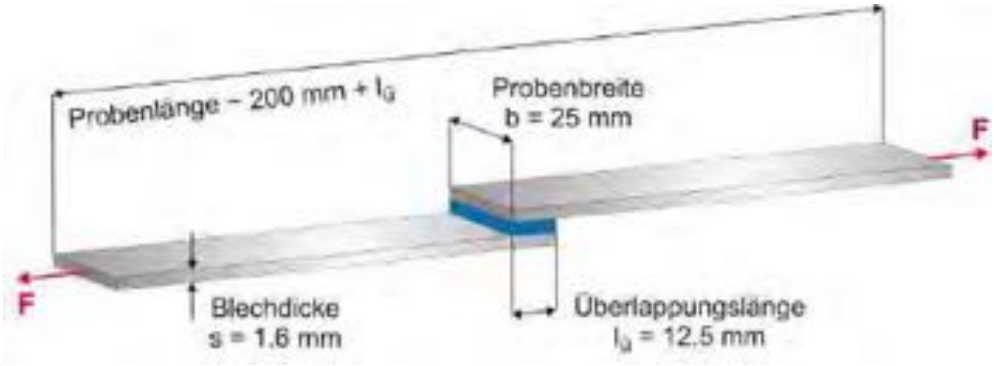
Zugscherfestigkeits-Versuch

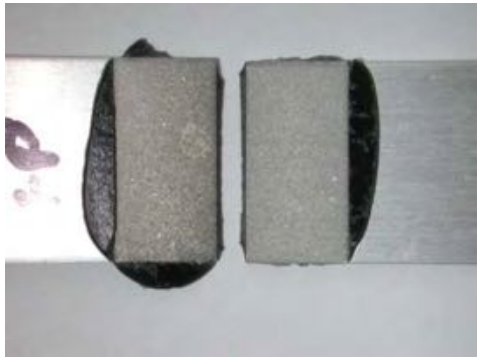
Prinzip: **Krafteinleitung parallel zur Klebefläche (=Scher-Schubbeanspruchung)**.

Probenbreite:	25mm
Probenlänge:	100mm
Klebschichtlänge:	12-13mm

Prüfnorm **DIN EN 1465:2009-07**

Klebstoffe - Bestimmung der Zugscherfestigkeit von Überlappungsklebungen





Verklebungs-Durchführung nach:

KL27 **Verklebungsvorschrift v. Zugscherfestigkeiten / def. Schichtdicke**

Zwick-Prüfvorschrift nach:

Z 07 a-c **Zugscherfestigkeitsmessungen an Verklebungsproben**

Zugscherfestigkeits-Versuch

Die Prüfmaschine:

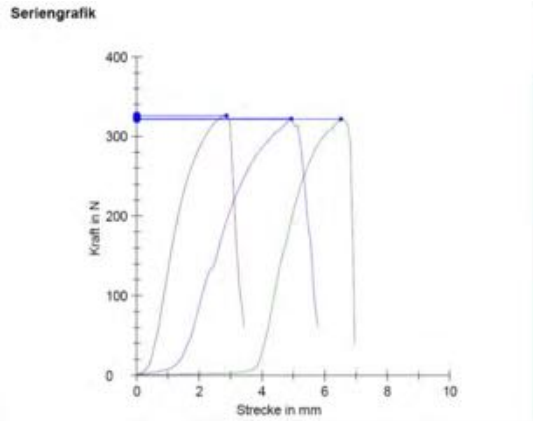
Die Universalprüfmaschine Zwick 1455
kann Kräfte bis zu 2200kg (22‘000N) aufnehmen.

Mittels einer Prüfkammer können Prüfungen in einem Bereich von -35℃ bis +200℃ gemessen werden.

Die Messung wird „Live“ aufgezeichnet und kann somit zeitgleich mit der Prüfung verfolgt werden.

Die Prüfbedingungen für den Zugscherversuch:

Kraftaufnehmer:	22kN
Prüftemperatur:	Raumtemperatur: 25℃ / 25% HUMI
Prüfgeschwindigkeit:	50mm/Min
Vorkraft:	0.5N
Vorkraft-Geschwindigeit:	50mm/Min
Brucherkennung:	80% Abfall von der maximalen Kraft
Verklebungsfläche:	13mm x 25mm
Werteangaben in:	maximale erreichte Kraft in [N] und [N/mm^2]



HUBER+SUHNER

Schälversuche

Grundlagen zur Beanspruchung auf Schälung

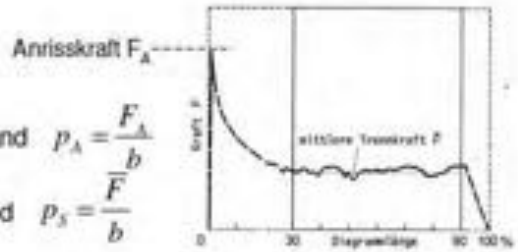
- Schälbeanspruchung sollte konstruktiv vermieden werden
- Prüfungen ermöglichen jedoch bessere Beurteilung des Adhäsions- und Kohäsionsverhaltens
- Linienbelastung mit vorwiegend Normalspannungen gegenüber Flächenbelastung mit vorwiegend komplexen Spannungszuständen

„Winkelschälversuch" nach DIN 53282

Prüfanordnung

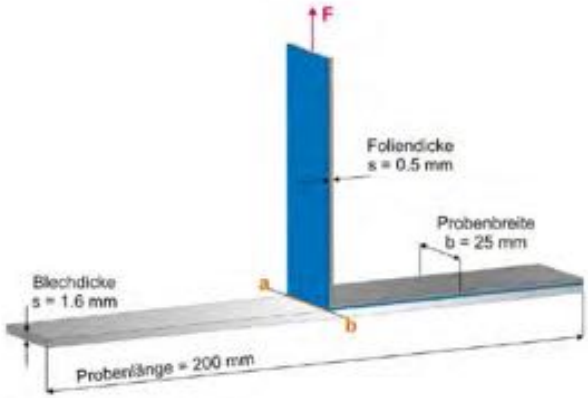
Ergebnis

- Schäldiagramm
- absoluter Schälwiderstand $p_A = \frac{F_A}{b}$
- relativer Schälwiderstand $p_S = \frac{\overline{F}}{b}$

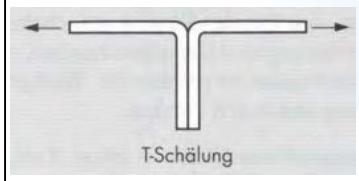


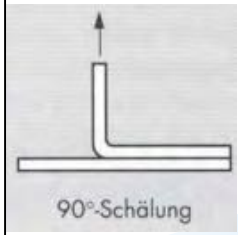
Ergebnisauswertung

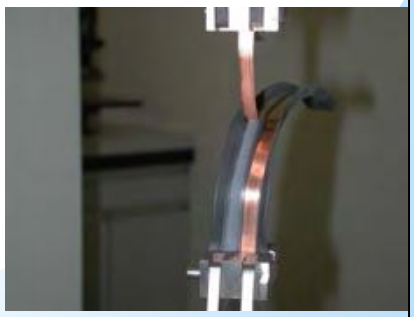
- zeigt Unterschied im Adhäsions- und Kohäsionsverhalten mit großer Genauigkeit an
- hoher Wert für Anrisskraft aufgrund aufzubringender Arbeit für die Fügeteilverformung
- relativer Schälwiderstandes charakterisiert neben Festigkeit auch Elastizität Klebschicht



Prüfung nach DIN EN 1464.







Rollenschälversuch

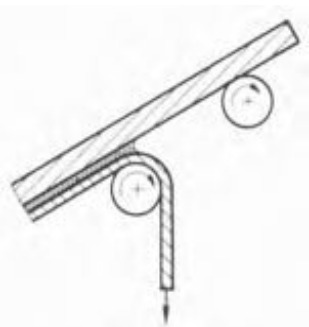
Alternative Schälversuche

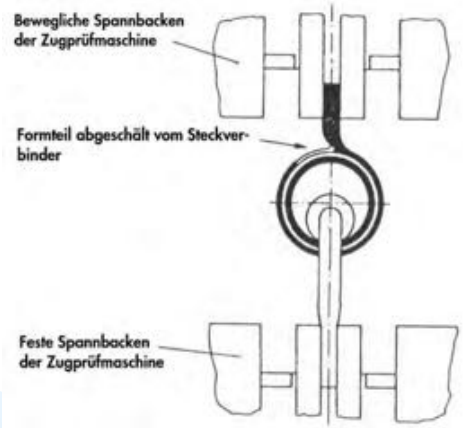
„Rollenschälversuch“ DIN EN 1464	„Klettertrommelschälversuch“ ASTM D 1781-93	„Folienschälversuch“

- konstanter Schälwinkel
- aufwendigere Durchführung als Winkelschälversuch
- Aussagekraft der verschiedenen Verfahren gleich gut

Fazit - Schälversuche

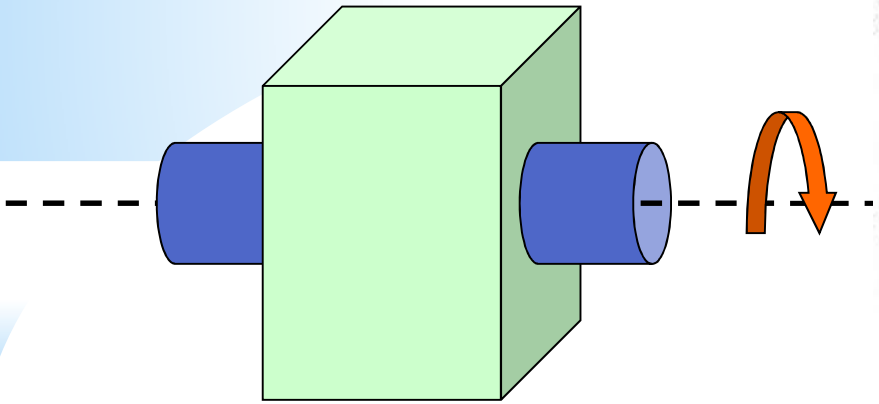
- eindeutigere Aussagen im Hinblick auf Adhäsions- und Kohäsionsfestigkeiten durch Linienbeanspruchung im Vergleich z.B. zum Zugscherversuch
- bessere Charakterisierung des Verformungsvermögens
  ➡ vergleichende Beurteilung von Klebstoffen und Klebungen
- Überwachen der Klebflächenvorbehandlungen
- keine Festigkeitswerte als Berechungsgrundlage

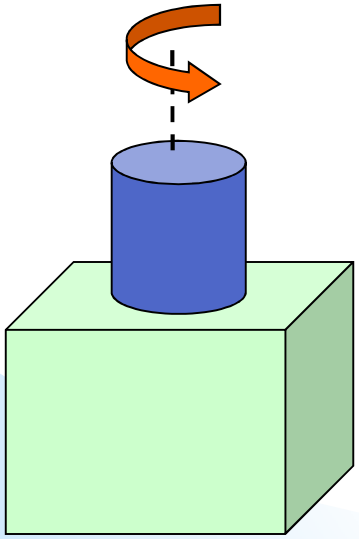




Torsionsversuche

1.3. Torsionsscherversuch

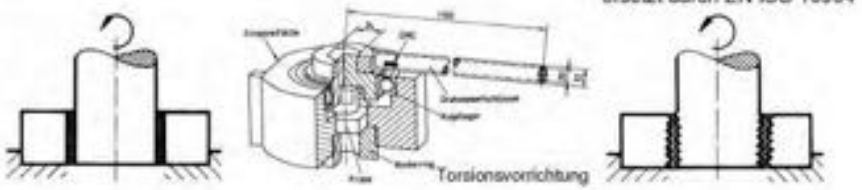




Prüfanordnungen

„Torsionsscher-Versuch“ nach DIN 54455

„Losbrechversuch“ nach DIN 54454
ersetzt durch EN ISO 10964



Ergebnis und Anwendung

- Torsionsscherfestigkeit

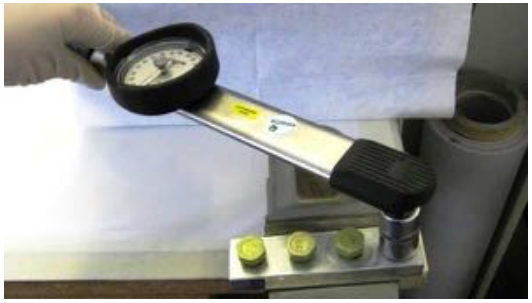
$$\tau_T = \frac{M_B}{r \cdot A}$$

- Scherfestigkeit von Klebungen in einer rotationssymmetrischen Fuge bei Torsionsbelastung

- Losbrechmoment

$$M_{LB}$$

- Beurteilung der Sicherungswirkung bei Gewindeklebungen (andere Verfahren unzureichend)



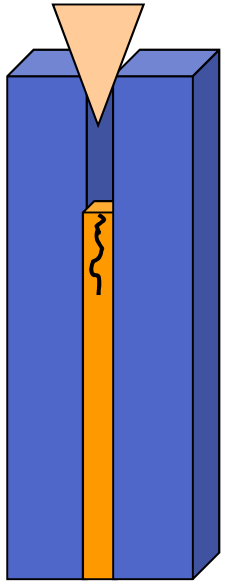
Gemessen wird die Kraft die benötigt wird, um die Schraube im Fügeteil anzulösen. Dabei wird der Versuch mit Hilfe eines Drehmomentschlüssels durchgeführt.

Keiltest's

Fügeteil

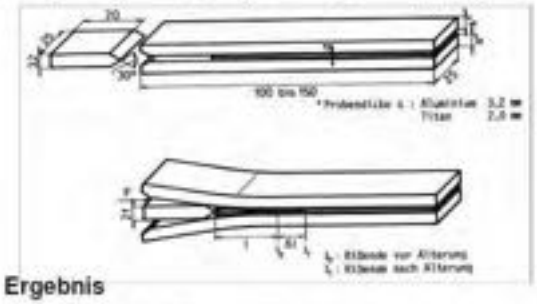
Klebstoff

Definierter Keil



Zeitabhängiger Test.
Neben dem Raupenschältest die einzige Prüfung, die die Beobachtung des Verhaltens der Probe über einen langen Zeitraum ermöglicht.
Prüfung einer Klebung starrer Fügeteile unter gleichzeitiger Einwirkung von mechanischer Beanspruchung - Keil.
Nicht geeignet für Kunststoffklebungen
– Abbau der Spannung durch Kriechen.
Gemessen wird der Rissfortschritt in der Klebefuge unter Berücksichtigung des Bruchbildes.

„Keiltest" DIN 65448
auch „Boeing test", „wedge test", „crack propagation test"

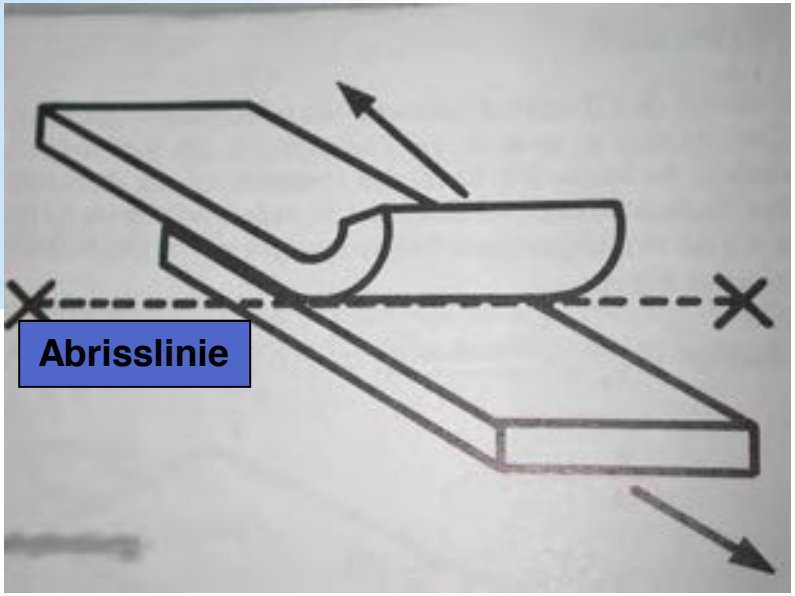


Ergebnis
- Rissfortschritt l_1-l_0 über der Zeit
- Bruchverhalten

Anwendung
- Ermittlung alterungsbestimmender Einflüsse auf Gesamtverhalten einer Klebung
- Vorteil: Schnelle Ergebnisfindung bei direkter Einwirkung der Alterungsmedien auf die unter Belastung stehenden Bauteile

HUBER+SUHNER

Raupenschälversuch



Eine Dreiecks-Raupe des Klebstoffes wird satt auf das Fügeteil aufgetragen. Nach der Aushärtung wird diese Verklebung ein wenig angeschält und das Bruchbild als Anfangswert festgehalten.
Nun wird die Verklebung mit bestimmten Alterungstest‘s über gewisse Zeiträume gealtert.
Danach wird das Bruchverhalten dieser elastischen Klebstoffraupen in festgelegten Zeitabständen beobachtet. Dies geschieht, in dem man immer wieder ca. 5cm abschält und das Bruchbild von Neuem beurteilt.
Es wird darum immer wieder eine neue Abrisslinie gesetzt.
Die Werte geben keine Aussagen zur Festigkeit her.

Mit dieser Prüfung lassen sich das Verhalten der Klebstoffe auf Elastizität und die Adhäsion in der Fügeteilfuge besser feststellen als bei den flächigen Beanspruchungen.
Dies Prüfung ist nur für Elastomere geeignet.
Grosse Bedeutung hat der Raupen-Schälversuch bei der Treffung einer Aussage über Langzeitalterung der Klebung in Medien oder in Klimaalterungen.