

## Vorwort

Industrielle Klebtechnologie ist die Verbindungstechnik der Zukunft. Als universell einsetzbare Schlüsseltechnologie wird sie heute höchsten Anforderungen gerecht. Ohne diese innovative, leicht automatisierbare und in zahlreichen Einsatzbereichen überlegene Füge-technik wären viele moderne Produkte und Anwendungen undenkbar.

## Kurze Geschichte der Klebstoffe

Schon lange bevor man das Schrauben, Nieten, Lötten und Schweißen kannte, wurde bereits geklebt. Kleben ist eine der einfachsten und ältesten Füge-techniken, die der Mensch kennt. Als älteste Klebstoffanwender werden die Menschen der jüngeren Steinzeit angesehen. Sie bedienten sich bereits vor über 7000 Jahren eines Birkenharzes zum Befestigen von Pfeil und Speerspitzen, indem sie es mit Bienenwachs mischten und mit heißen Steinkeilen, wie mit einem LötKolben, verarbeiteten.

Die Klebstoffentwicklung stark beeinflussende Industrialisierung setzt aber erst nach 1910 richtig ein. In den 30er Jahren entdeckt man das Carboxymethyl und Methylcellulose für den Leim und Klebstoffmarkt, sie werden heute noch als Tapezier und Malerleime eingesetzt. Entdeckt werden kurz hintereinander Harnstoff, Melanin und Phenolharze (Bakelite), Kunstkautschuk wie Polychloropren, Buna (Polybutadien) und die Gruppe der Silikonkautschuke, die nachfolgend beschrieben werden.

## Klebetchnik

Werkstoffauswahl. Die Auswahl der Werkstoffe, der Oberflächenbeschaffenheit und der Vorbehandlung ist entscheidend für die Klebbarkeit und Langlebigkeit der Verbindung. Bei einem Füge-teil sind die Klebbarkeit der Oberfläche und das Verhalten unter Belastung ausschlaggebend.

Oberfläche. Werkstoffe mit schlechter Benetzbarkeit lassen sich grundsätzlich schlecht verkleben, Füge-teile mit guter Benetzbarkeit können gut verklebbar sein. Kunststoffe lassen sich generell schlechter verkleben als metallische Werkstoffe, die Oberfläche läßt sich aber meist durch eine entsprechende Vorbehandlung in einen gut verklebbaren Zustand überführen.

Wichtige Oberflächenparameter sind die Rauigkeit und die Benetzbarkeit. Die ursprüngliche Rauigkeit ergibt sich aus dem Fertigungsverfahren und kann durch eine Vorbehandlung, wie z.B. Sandstrahlen, Plasma- / Coronabehandlung verändert werden.

Die Benetzbarkeit hängt u.a. von der Oberflächenenergie ab und kann auch durch eine entsprechende Vorbehandlung verbessert werden. Werkstoffe sind in der Regel gut bzw. einfach zu verkleben, wenn diese eine hohe Oberflächenenergie aufweisen oder anlösbar (nur bei Kunststoffen) sind.

Mit der Rauheit der Oberfläche steigt auch deren wahre bzw. benetzbare Oberfläche an. Dies führt bei gering- bis mittelviskosen Klebstoffen im Allgemeinen zu einem Anstieg der übertragbaren Kraft bis zu einer Rauheit von circa 50 µm.

Bei höheren Werten kann es durch die Kerbwirkung auf die Klebschicht zu einem Festigkeitsabfall kommen. Die Klebschichtdicke muß so ausgelegt werden, daß sich die Füge-teile nicht berühren. Als Klebschichtdicke (d) sollte mindestens der Dreifache Wert der maximalen Rauheit kalkuliert werden. Bei sehr niedrigviskosen Klebstoffen sollte aufgrund des geringeren Klebschichtdicken auch die Rauheit auf einen niedrigeren Wert eingestellt werden, da es sonst zum Kontakt der Füge-teile kommen kann.

## Vorbehandlung

Die notwendige Vorbehandlung einer Oberfläche ist abhängig von dem Werkstoff und der Beanspruchung. Bei metallischen Werkstoffen ist oft eine mechanische Vorbehandlung ausreichend. Nur bei zusätzlicher Beanspruchung durch verschiedene Medien muß mit aufwendiger Vorbehandlung eine stabile Grenzschicht geschaffen werden.

Bei Kunststoffen muß oft aufwendig vorbehandelt werden um überhaupt eine Adhäsion zu erreichen. Die Vorbehandlung führt dann zu einem Anstieg der Oberflächenenergie und der Benetzbarkeit.

Verfahren der Vorbehandlung sind:

- Reinigen und entfetten
- Bürsten und schleifen
- Strahlen
- Beizen
- Corona Entladung
- Niederdruckplasma
- Atmosphärendruckplasma
- Beflammung

## Oberflächenenergie

Wenn Die Oberflächenenergie des Fügeteils geringer ist als dies des Klebstoffes, muß mit einer schlechten Benetzung gerechnet werden.

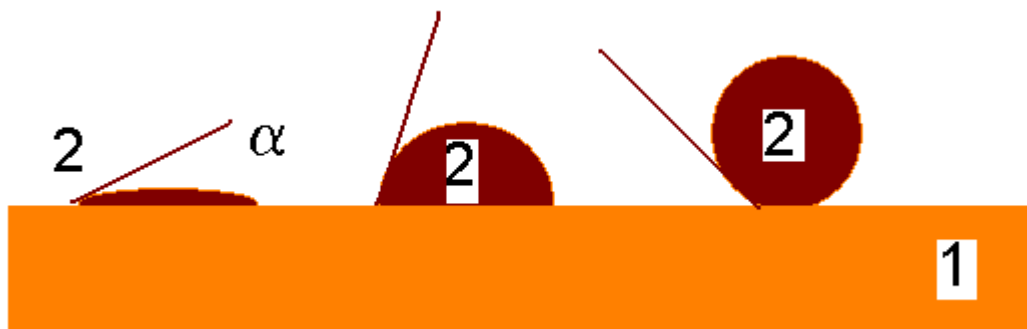


Bild 1: 1=Fügeteil; 2= Klebstoff

Die Oberflächenspannung des Fügeteils muß größer sein als die Oberflächenspannung des Klebstoffes. Je kleiner Winkel alpha ( $\alpha$ ), desto besser die Verklebung.

## Wirkprinzipien des Klebens

Die Kraftübertragung in einer Klebeverbindung resultiert aus dem Zusammenspiel von Adhäsions- und Kohäsionskräften. Dabei werden die Kräfte zwischen den Klebstoff- und Fügepartikelmolekülen als Adhäsionskräfte definiert und jene Kräfte, die zwischen den einzelnen Klebstoffmolekülen wirken, unter dem Begriff Kohäsion zusammen gefasst. Die Adhäsionsvorgänge lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

*Spezifische Adhäsion:*

1. Zwischenmolekulare Kräfte im Grenzschichtbereich
2. Chemische Bindungen zwischen Klebstoff und Füge­teil (Kovalenz/ Atombindung)
3. Thermodynamische Vorgänge wie. Benetzungskräfte
4. Diffusionsvorgänge

*Mechanische Adhäsion:*

1. Klebschichtverklammerung in Hinterschneidungen
2. Vergrößerung der adhäsiven Wirkfläche durch Optimierung der Rauheit
3. Anlösen oder Anquellen der Füge­teiloberfläche durch den Klebstoff
4. Mikroverklammerung durch die Reaktion von definiert aufgetragenen Schichten mit dem Klebstoff

Die mechanische Adhäsion ist grundsätzlich von geringerer Bedeutung als die spezifische Adhäsion, der chemische Wechselwirkungen zu Grunde liegen.

## **Vernetzungsarten**

### *Kondensationsvernetzend, 1-komponentig*

Bei diesem Vernetzungssystem wird die chemische Reaktion (Vulkanisation) durch die Luftfeuchtigkeit in Gang gesetzt. Bei dieser Art wird ein Organo-Zinn-Katalysator eingesetzt. Bei der Aushärtung werden Spaltprodukte freigesetzt (Essigsäure, Ammoniak, Methanol- je nach System). Vollständige Durchhärtung wird meist nach 24 Stunden erreicht.

### *Kondensationsvernetzend, 2-komponentig*

Hier wird die chemische Reaktion durch Zugabe des Vernetzers, der in das Basismaterial eingerührt wird, ausgelöst (z.B. Dibutyltindilaurat kurz DBT). Durchhärtung meist nach 24 Stunden.

### *Additionsvernetzend, 1-komponentig*

Diese Silikone enthalten einen Platinkatalysator. Dadurch kann es zu Härtungs- und Haftungsproblemen kommen, wenn das Substrat so genannte „Katalysatorgifte“ enthält. Diese Probleme zeigen sich durch eine leichte Klebrigkeit der Oberfläche des gehärteten Materials, oder die Aushärtung unterbleibt vollständig. Solche Gifte sind Materialien die Schwefel (Gummi, Latex, Neopren, Naturkautschuk, Weichmacher, PVC) enthalten. Deshalb ist das Material vor dem Einsatz zu testen. Die Aushärtung geschieht unter Zufuhr von Wärme, meist 1 Stunde @ +150°C Celsius.

### *Additionsvernetzend, 2-komponentig*

Auch diese Gruppe enthält einen Platin-Katalysator, mit der gleichen vorher beschriebenen Problematik. Die Aushärtung geschieht unter Zugabe einer Vernetzers, der sog. B-Komponente. Die Aushärtung erfolgt zumeist bei Raumtemperatur. Die Silikone sind besonders geeignet für Tiefenaushärtung.

## Gele

Diese Gruppe ist additionsvernetzend und 1- oder 2-komponentig. Selbst im ausgehärteten Zustand werden diese Silikone nicht hart, sondern bleiben gelartig.

## Permeabilität

Wasseraufnahme und Gasdurchlässigkeit: Silikone sind generell wasserabweisend (hydrophob). Jedoch kann Wasser nach längerem Kontakt, in das Silikon eindringen. Bei einem Test mit 1- und 2komponentigen Silikonen in heißem Wasser über eine Woche, wurde 1% Wasseraufnahme verzeichnet. Auch gegenüber gasförmigen Molekülen sind Silikone durchlässig, nicht hermetisch dicht.

## Versagensmöglichkeiten von Klebverbindungen

Wenn eine Klebverbindung auseinanderbricht, kann dies an verschiedenen Stellen der Klebverbindung geschehen. Zur Klärung der Ursachen des Bruches ist es wichtig, an welcher Stelle der Bruch aufgetreten ist. Die Abbildung A zeigt den schematischen Aufbau einer Klebung mit den verschiedenen Bereichen, in denen ein Bruch auftreten kann.

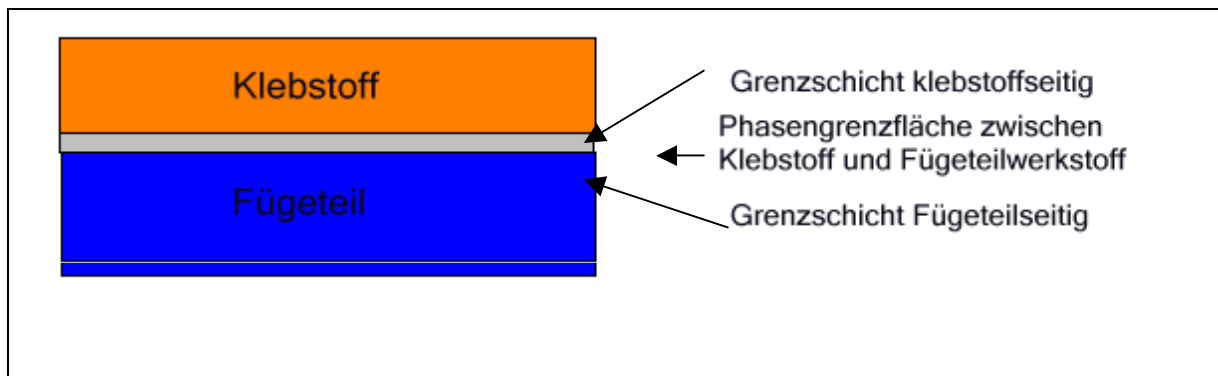


Abb. A: Schematischer Aufbau einer Klebverbindung

## Adhäsionsbruch

Von Adhäsionsbruch ist üblicherweise die Rede, wenn sich der Klebstoff durch den Bruch vollständig von der Klebfläche trennt. Der Nachweis von Klebstoffresten auf dem Fügeartikel ist dem Tester anheim gestellt, ganz gleich, ob er dazu sein unbewaffnetes Auge benützt oder empfindliche Mikroanalytik betreibt. Deshalb wird der Begriff des Adhäsionsbruchs meist nicht ausreichend genau definiert.

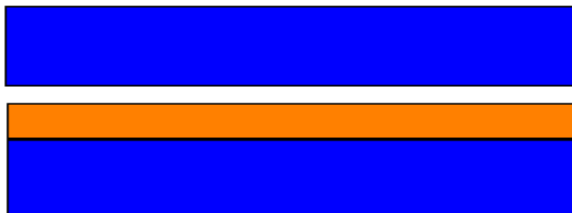


Abb. B: Adhäsionsbruch

Im strengen Sinne ist nur dann von einem Adhäsionsbruch zu sprechen, wenn der Bruch tatsächlich genau entlang der Phasengrenzfläche auftritt. Das heißt, daß das Füge­teil nach dem Bruch keinerlei Klebstoffreste aufweist und daß der Klebstoff völlig frei von Resten des Füge­teilwerkstoffs ist. Die bisher bekannten Untersuchungen zeigen, daß ein Adhäsionsbruch im strengen Sinne höchst selten und auf metallischen sowie anorganischen Klebflächen praktisch niemals beobachtet wird.

## **Kohäsionsbruch**

### **Kohäsionsbruch im Klebstoff**

In der Praxis wird von einem klebstoffseitigen Kohäsionsbruch gesprochen, wenn Klebstoffreste die Füge­teiloberfläche gänzlich bedecken. Um den Bruch richtig zu beschreiben, ist zwischen Kohäsions- und Grenzschichtbruch zu unterscheiden. Der Kohäsionsbruch findet in jenem Bereich des Klebstoffs statt, der nicht von der Phasengrenze beeinflusst ist.

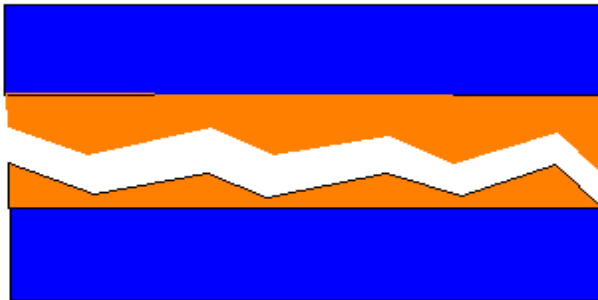


Abb. C: Kohäsionsbruch im Klebstoff

### **Kohäsionsbruch im Füge­teilwerkstoff**

Entsprechend wird von einem füge­teilseitigen Kohäsionsbruch gesprochen, wenn der Bruch vollständig durch das von der Klebung unbeeinflusste Material des Füge­teils verläuft.

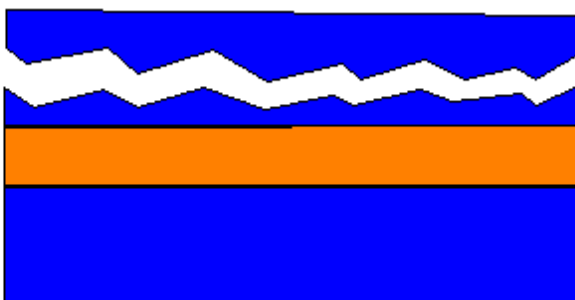


Abb. D: Kohäsionsbruch im Füge­teilwerkstoff

## Grenzschichtbruch

Grenzschichtbruch, klebstoffseitig

In einer dünnen Schicht, die direkt an der Phasengrenze liegt, zeigt der Klebstoff andere Eigenschaften als in jenen Bereichen, die tiefer im Klebstoff liegen. Die Dicke dieser Schicht kann von einer Moleküllage bis zu mehreren  $\mu\text{m}$  reichen. In dieser Schicht ist die Morphologie des Klebstoffs von der Phasengrenze in irgendeiner Weise beeinflusst. Diese Bruchart wird oft mit Adhäsionsbruch bezeichnet, was jedoch für das Verständnis der Bruchursachen zu ungenau ist.

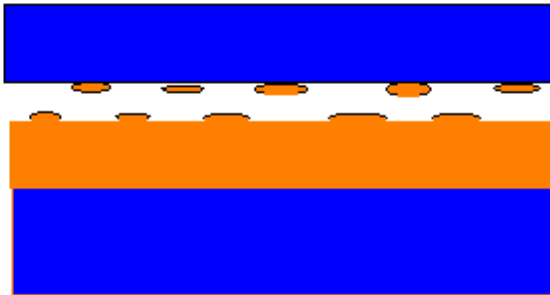


Abb. E: Grenzschichtbruch, klebstoffseitig

## Grenzschichtbruch, fügeteilseitig

In einer dünnen Schicht, die direkt an der Phasengrenze liegt, zeigt der Fügeteilwerkstoff andere Eigenschaften, als in jenen Bereichen, die tiefer im Fügeteil liegen. Die Dicke dieser Schicht kann von einer Moleküllage bis zu mehreren  $\mu\text{m}$  reichen. In dieser Schicht ist die Morphologie des Fügeteilwerkstoffs von der Phasengrenze in irgendeiner Weise beeinflusst. Diese Bruchart wird oft mit Adhäsionsbruch bezeichnet, was jedoch für das Verständnis der Bruchursachen zu ungenau ist.

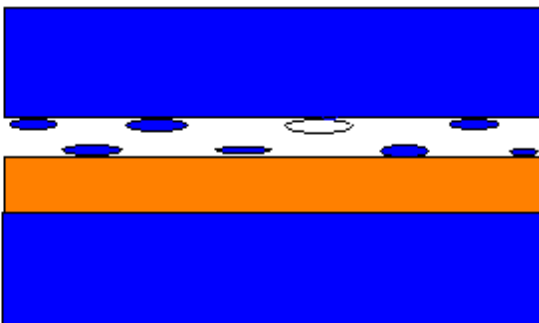


Abb. F: Grenzschichtbruch, fügeteilseitig

## Mischbruch

Von Mischbruch wird in der Prüfpraxis gesprochen, wenn das Bruchbild auf der Fügeiloberfläche sowohl Bereiche mit Klebstoffresten als auch (scheinbar) saubere Bereiche zeigt. Adhäsionsbruch und Kohäsionsbruch bzw. Grenzschichtbruch treten also beim Mischbruch örtlich verteilt auf.

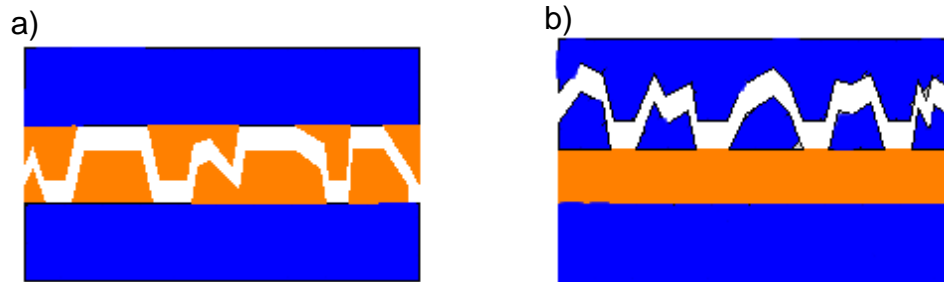
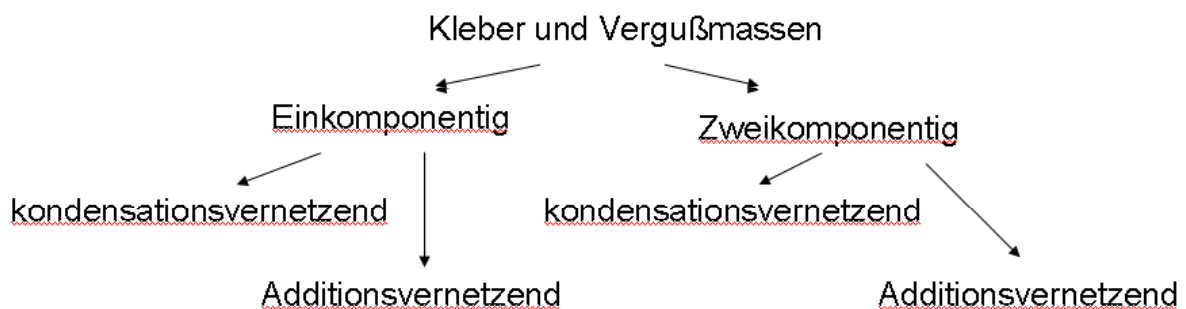


Abb. G: a) Mischbruch des Klebstoffs, b) Mischbruch des Fügeteils

Die Klassifizierung der Bereiche als sauber, d.h. unbedeckt, ist oft willkürlich (vgl. Adhäsionsbruch). Man beobachtet gelegentlich auch, daß sich Materialreste des Fügeils auf der Bruchfläche des Klebstoffes befinden. Zur genauen Bezeichnung eines Mischbruchs gehört demnach auch die Angabe, welche Brucharten gemischt auftreten (z.B. Mischbruch aus klebstoffseitigem Grenzschichtbruch und Kohäsionsbruch im Klebstoff).

(Quelle: Dorel Verlags GmbH & Co. KG)

## Produktübersicht



### 1K-Kondensation

Essigsäurevernetzend (Acetoxy)

- Abdichten
- Kleben
- FDA, UL, MIL Spec,

Alkoholvernetzend (Alkoxy)

- allg. Elektronikanwendungen
- Beschichten
- Kleben
- Fixieren von elektronischen Bauelementen

- Elektronik Anw. In Luft- und Raumfahrt
- FCNC fast cure no corrosion

Neutralvernetzend (Methoxy)

- Abdichten
- Kleben (schnelle Aushärtung)
- schnelle Anfangshaftung

Beispiele für 1K Kondensation:

RTV10x	Standardkleber (Acetoxyl) in mehreren Farben
RTV106	beständig bis +260°C
RTV1473	bedingt treibstoffbeständig
FRV1106	treibstoffbeständig, +260°C
RTV160	Beschichten Elektronik
TSE39x	FCNC, Tack-free 5-10 Minuten

**2K-Kondensation**                      Vergießen von Elektronik

- Luft- und Raumfahrt (auch tiefe Schichten)
- FDA
- Tieftemperatur (-115°C)

Beispiele für 2K Kondensation

RTV11	vergießen , FDA
RTV21	vergiessen, FDA
RTV12	vergießen, selbsthaftend
RTV31	vergießen, +260°C
RTV566	-115°C, ausgasungsarm (low volatile)

**1K- Addition**                              allg. Elektronik-Anwendungen

- Wärmeaushärtend, geeignet für Elektro, Elektronik, KFZ, Hausgeräte, Hochtemperaturbeständig, wärmeleitfähig

Beispiele für 1K Addition

TSE3280/3281	wärmeleitfähig
TSE326M	+250°C, HC, dünnflüssig
TSE325	weiß, fließfähig, selbstnivellierend

**2K-Addition**                              Allgemeine Elektronikanwendungen

- wärmeaushärtend
- Elektrotechnik
- Elektronik
- Silikongele
- Optisch klare Massen
- Optik
- Silikonschäume



#### Beispiele für 2K Addition

RTV615	optisch klar, Solarzellen
RTV627	dünnflüssig, Verguss Trafo, UL
TSE3331K_EX	vergießen, UL 94V0
RTV6156	Gel, -75°C - +235°C
RTV762	Schaum
TSE3663	Vergußmaterial, selbsthaftend
TSE3664	Vergußmaterial, UL-zertifiziert, sehr flüssig
TSE3331K_EX	Vergußmaterial, wärmeleitend, 0.53 W/mK

Momentive Performance Materials entstand durch den Verkauf von GE Advanced Materials und dessen bekannten Joint Ventures GE Bayer Silicones und GE Toshiba Silicones an Apollo Management, L.P. im Dezember 2006.

Momentive ist der weltweit zweitgrößte Hersteller von Silicon und Siliconderivaten und ein global führendes Unternehmen für die Herstellung und Entwicklung von Quarz und Spezialkeramik. Silicone sind eine vielseitige Familie von Materialien die in tausenden von Produkten zur Anwendung kommen und als wesentlicher Bestandteil in vielen Bereichen unseres Lebens wie in der pflegenden und dekorative Kosmetik, der Konstruktion, dem Transport, der Elektronik, bei Konsum- und Gebrauchsgütern sowie in der Agrarwirtschaft Anwendung finden. Silicone werden bei einer großen Spannbreite von Produkten eingesetzt, um deren Eigenschaften zu verstärken, zu ersetzen oder zu verbessern, wie z. B. in Bezug auf Widerstandsfähigkeit (Hitze, Ultraviolettes Licht und Chemische Einflüsse), Schmierung, Haftung, oder Viskosität. Einige der allgemein bekannten Anwendungen sind der Bad und Sanitärbereich, Klebstoff-, Schäumungsmittel-, Kosmetik- und Reifenbereich.

Der Quarzbereich stellt Quarz, Spezialkeramik und Kristalline Produkte für eine Vielzahl von Hightech-Anwendungen her, die typischerweise höchste Produkthanforderungen an Präzision stellen

Diese Materiallösungen sind Schlüsselmaterialien für Innovationen in hunderten von Endverbraucher- und Industrieanwendungen von Automotoren über Biomedizinische Bauteile bis hin zu integrierten Schaltkreisen. Zu den belieferten Industrien gehören Bereiche wie Luft- und Raumfahrt, Landwirtschaft, Haushaltsgeräteindustrie, Automobilindustrie, Bauwirtschaft, Elektronikindustrie, Möbel- und Textilindustrie Mediziner Bereich, Haushaltsbereich, Groß-Industriebereiche, Lichtindustrie, Verpackungsindustrie, Kosmetikindustrie, Kunststoffindustrie, Halbleiterindustrie, Telekommunikationsbereich, Reifenindustrie, Transportwesen und Wasseraufbereitungsbereiche.

Eine allgemeine Übersicht über die Vielfalt der Anwendung von Momentive Silikon finden Sie auch unter: [www.momentive.com](http://www.momentive.com) .

#### **Kontaktinformationen / Produktanfragen:**

per E-Mail: [Michael.Russ@sinus-electronic.de](mailto:Michael.Russ@sinus-electronic.de)

per Telefon: +49 (0) 7132 / 9969 - 20  
per Telefax: +49 (0) 7132 / 9969 – 50  
Per Post: SINUS electronic GmbH  
Schleifweg 10  
D-74257 Untereisesheim

ISO-Zertifikate: Auf Anfrage