



**WACKER** **SILICONES**

BEGREIFEN UND VERSTEHEN.  
SCHULVERSUCHE MIT WACKER-SILICONEN

INTELLIGENT INDUSTRY SOLUTIONS

CHEMIE ZUM ANFASSEN UND  
BEGREIFEN – LEARNING BY DOING.  
WACKER-SCHULVERSUCHSKOFFER  
FÜR DEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN  
UNTERRICHT.

# INHALT

Bezüge zum Lehrplan – Einsatz im Unterricht	4
Vorwort	5
<b>Silicone – ein Kunststoff macht Karriere</b>	
Basis der Silicone: Silicium	6
Die Herstellung von Siliconen	7
Silicone – Werkstoffe mit nahezu unbegrenzten Anwendungsmöglichkeiten	8
<b>V1 Siliconöle</b>	
V1.1 Eigenschaften und Verwendung	11-12
V1.2 Siliconöle – die vielseitigen Flüssigkeiten. Versuchsvorschriften	13-15
<b>V2 Hochdisperse Kieselsäure (HDK®) – leichter als Sand</b>	
V2.1 Entstehung und Eigenschaften	19
V2.2 Exkurs: Gesetzmäßigkeiten flüssiger Systeme = Rheologie	19-20
V2.3 Verdicken und Thixotropieren – Verstärken – Rieseln. Versuchsvorschriften	21-23
<b>V3 Silicon-Antischaummittel</b>	
V3.1 Exkurs: Tenside – Wie entsteht Schaum?	27
V3.2 WACKER Antischaummittel – Wirkungsweise und Anwendung	28
V3.3 Schaumbekämpfung. Versuchsvorschriften	30
<b>V4 Silicone in der Bauchemie</b>	
V4.1 WACKER Siliconbautenschutzmittel	33-34
V4.2 Wirkungsweise der Siliconbautenschutzmittel	35
V4.3 Exkurs: Emulsionen – Microemulsionen	35
V4.4 Hydrophobierung mit SILRES® BS SMK Technologie	36
V4.5 Microemulsion und Hydrophobierung. Versuchsvorschriften	37
<b>V5 DEHESIVE® Silicontrennpapiere – damit der Sticker da klebt, wo er soll</b>	
V5.1 Verwendung und chemische Grundlagen	41
V5.2 Herstellung eines siliconbeschichteten Papiers. Versuchsvorschrift	42
<b>V6 ELASTOSIL® M – der Reiz des Abbilds</b>	
V6.1 Kaltvulkanisierende 2-Komponenten-Kautschuke	45
V6.2 Abformung eines Gegenstands mit RTV-2 (additionsvernetzend). Versuchsvorschrift	46-47
V6.3 Abformung mit RTV-2 (kondensationsvernetzend). Versuchsvorschrift	48
<b>V7 ELASTOSIL® Silicondichtstoffe fürs Aquarium</b>	
V7.1 Fugendichtungsmassen – Verwendung	51
V7.2 Chemische Zusammensetzung eines RTV-1 Siliconkautschuks	52
V7.3 Eigenschaften von Dichtungsmitteln. Versuchsvorschriften	53-54
<b>V8 HTV-Siliconkautschuk – flexibel und formgerecht</b>	
V8.1 Radikalische Polymerisation und Eigenschaften von ELASTOSIL® R	57-58
V8.2 ELASTOSIL® R – der Werkstoff mit breitem Eigenschaftsspektrum. Versuchsvorschriften	59
<b>V9 Der „Hüpfende Kitt“ – plastisch und elastisch in einem</b>	
V9.1 Viskoelastizität	63
V9.2 Übungen mit dem „Hüpfenden Kitt“	64
<b>V10 Klebstoffe für jeden Zweck</b>	
V10.1 Was sind Klebstoffe? – Eigenschaften	67-69
<b>Chemikalienliste</b>	70
<b>Impressum</b>	71
<b>Rückmeldungen (Beiblatt)</b>	

# BEZÜGE ZUM LEHRPLAN – EINSATZ IM UNTERRICHT

Angesichts der Vielzahl und der unterschiedlichen Eigenschaften der WACKER SILICONES Produkte im Versuchskoffer sind die vorgeschlagenen Versuche und dazugehörigen Themengebiete über einen weiten Bereich einsetzbar. Die vorliegenden Materialien sind in erster Linie für den Einsatz in der Oberstufe gedacht. Der Schwerpunkt liegt dabei sicherlich beim Thema Organische Chemie des Alltags mit Beispielen von Tensiden, Farb- und Kunststoffen.

Bei dem Themengebiet „Kunststoffe“ sind viele Versuche aus dem Silicongebiet verwendbar. So können Begriffe wie Polykondensation oder Polyaddition anhand von Versuchen mit den RTV-1 und RTV-2 Siliconkautschuken oder dem Versuch zur Papierbeschichtung mit DEHESIVE® erläutert und theoretisch begründet werden.

Struktur und verschiedene Eigenschaften (Elastomere, Viskoelastizität, Beständigkeit gegenüber Lösungsmitteln) von Kunststoffen, im besonderen der Silicone, können anhand der mitgegebenen Proben („Hüpfender Kitt“, ELASTOSIL®) bzw. der in Versuchen selbst erzeugten Silicone anschaulich demonstriert werden.

Der wichtige Themenbereich „Tenside“ (Struktur und Funktionsweise, Einsatz, Gewässerbelastung etc.) kann mit Hilfe des Versuchs mit der WACKER Antischaumemulsion SILFOAM® SRE ausgezeichnet unterstützt und abgerundet werden (ebenso Zellstoffgewinnung). Außerdem kann der Versuch auch in der Biologie im Bereich Abwasserreinigung eingesetzt werden.

Die verschiedenen Versuche zur hochdispersen Kieselsäure (HDK®) können zum Thema technische Silicate/Quarz verwendet werden.

Das Gebiet „Katalyse“ (metastabiler Zustand, Aktivierungsenergie, Katalysatorgift etc.), Aktivierungsenergie (Temperaturabhängigkeit, Konzentration) und Reversibilität einer Reaktion (dynamisches Gleichgewicht) kann mit den Versuchen der RTV-2 Kautschuke mit abgedeckt werden.

Die Versuche zur Verdickung eines Siliconöls bzw. Reaktion von Wasser mit HDK® können beim Lerninhalt „Modifikationen, zwischenmolekulare Kräfte etc.“ zur Demonstration benutzt werden.

# VORWORT

„Eines steht fest: Wenn wir den Innovationswettbewerb mit den führenden Wirtschaftsnationen bestehen wollen, müssen wir uns in den Technologiefeldern der Zukunft eine Spitzenstellung erarbeiten. Dafür müssen wir insbesondere bei den jungen Menschen in unserem Land Begeisterung wecken.“ – Dr. Edmund Stoiber, Bayerischer Ministerpräsident, anlässlich des Internationalen Symposiums „100 Jahre WACKER-Forschung“ am 23. Juni 2003 in der Technischen Universität München.

Begeisterung wecken, Spitzenleistungen fördern – diese Ziele sind bei WACKER ein wesentlicher und gelebter Bestandteil der Unternehmenspolitik. Seit Jahren engagiert sich der Konzern in zahlreichen regionalen und überregionalen Projekten, um Fachwissen an Schulen und Universitäten weiterzugeben und auf diese Weise chemiebegeisterte Schüler und Studenten zu fördern und zu unterstützen.

Gerade Silicone, mit ihren enormen technologischen und wirtschaftlichen Potenzialen, sind ein besonders wichtiges Gebiet der modernen Chemie. Doch im Chemieunterricht werden sie üblicherweise – wenn überhaupt – nur ganz am Rande behandelt. Das ist bedauerlich, denn Silicone spielen in unserem täglichen Leben eine wesentlich größere Rolle, als man denkt. Unter der Motorhaube schützen Siliconkautschuke die Autoelektronik vor Feuchtigkeit und Schmutz. Im Lack sorgen Siliconadditive für den gewünschten Glanzeffekt. Mit Siliconen schäumt das Waschpulver in der Waschmaschine nicht über. Im Shampoo geben Silicone dem Haar seidigen Glanz. Brandschutzkabel aus

diesem Material gelten als besonders sicher, und auch Isolatoren für Hochspannungsleitungen werden immer häufiger aus Siliconkautschuk gefertigt. Siliconharzfarben lassen das Regenwasser abperlen, sind aber durchlässig für Wasserdampf und Kohlendioxid aus dem Inneren des Mauerwerks. Auch in der Medizintechnik sind Silicone allgegenwärtig: Weil sie gut verträglich und äußerst strapazierfähig sind, werden sie für medizinische Schläuche oder zur Abdichtung von Filterelementen in Dialysegeräten verwendet.

WACKER hat sich der weltweiten Initiative der chemischen Industrie „Verantwortliches Handeln – Responsible Care“ angeschlossen. Ziel dieser Initiative ist es, Glaubwürdigkeit und Vertrauen in den Schulen und der Öffentlichkeit zu erhöhen. Wir arbeiten daran, Berührungspunkte mit der Chemie abzubauen sowie eine aktive und offene Kommunikation mit Schulen aufzubauen. Dieser Experimentierkasten ist einer unserer Beiträge dazu.

Wir haben uns zum Ziel gesetzt, durch diesen Schulversuchskoffer die Lebendigkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu fördern und moderne Chemie dem Lehrer und dem Schüler näher zu bringen. Ganz nach dem Motto „Learning by doing“ oder „Chemie zum Anfassen“ werden Arbeitsmaterialien, die in Abstimmung mit verschiedenen Lehrplänen entworfen wurden, zur Verfügung gestellt.

Zwei Ziele sollen so erreicht werden. Zum einen sollen sich die Schüler durch Versuche mit Silicon-Produkten von WACKER und den jeweils dazugehörigen Hinführungen theoretisches und praktisches Wissen gemäß dem Lehrplan lebendig erarbeiten können. Zum anderen soll durch diesen Dialog das Verständnis für die moderne Chemie geweckt werden.

Der Versuchskoffer ist auch als Unterstützung der LehrerInnen zu sehen, Themen aus der Siliconchemie sachlich fundiert und realitätsnah im Unterricht zu behandeln. Dazu stellt WACKER neben den abwechslungsreichen Arbeitsmaterialien dieses Begleitheft mit aufbereiteten Informationen sowie theoretischen Grundlagen zur Verfügung. Bei der Erarbeitung der Materialien wurde Wert darauf gelegt, dass zum einen nur wenig zusätzliches Material benötigt wird und zum anderen die Versuche nahezu gefahrlos durchzuführen sind. Das durch die Versuche erworbene Wissen kann unmittelbar in die alltägliche Anwendung übernommen werden und somit zu einer Vertiefung und fachlichen Ergänzung des naturwissenschaftlichen Unterrichts führen.

In diesem Sinne:  
Viel Freude beim Experimentieren!

München im Oktober 2004

Wacker-Chemie GmbH

# SILICONE – EIN KUNSTSTOFF MACHT KARRIERE

## Basis der Silicone: Silicium

Silicium ist nach Sauerstoff das meist verbreitete Element und macht mehr als 25 % des uns zugänglichen Teils der Erdkruste aus.

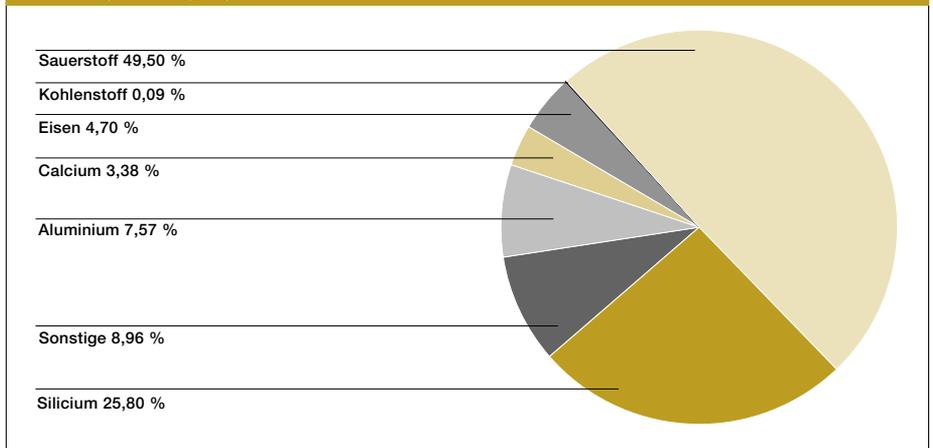
Aufgrund seiner hohen Affinität zu Sauerstoff ist Silicium, im Gegensatz zu Kohlenstoff, jedoch nicht in elementarer Form anzutreffen. Man begegnet Silicium hauptsächlich in Verbindungen der Kieselsäure, und zwar vorwiegend in Form von Magnesium-, Calcium-, Eisen- und Glimmersilikaten. Ebenso kommt Siliciumdioxid in vielfältiger Form als Sand, Quarz und Kieselstein vor. Alle Verbindungen enthalten als Strukturelement ein Tetraeder, in dem Silicium mit vier Sauerstoffatomen verbunden ist.

Siliciumhaltige Materialien wie Sand, Ton und Keramik wurden bereits in ältester geschichtlicher Zeit verwendet und waren überall als Bau- und Werkstoffe verfügbar. Für die technische Anwendung ist Silicium heute hauptsächlich in vier Formen von Bedeutung:

- Ferrosilicium und Calciumsilicid ( $\text{Ca}_x\text{Si}_y$ ) als Legierungsbestandteil
- Siliciumcarbid  $\text{SiC}$  als Schleifmittel und Hochleistungswerkstoff (Gleitlager, Ventile, Kugeln etc.)
- Technisches Silicium (Reinheit 98,5-99,7 %) in der Aluminiumindustrie und Siliconindustrie
- Reinstsilicium (für die Halbleiterindustrie)

Im Vergleich zu der ungeheuren Zahl der Kohlenstoffverbindungen ist die Zahl der Siliciumverbindungen in der Natur äußerst beschränkt und auch synthetische Verfahren erlauben keine dem Kohlenstoff vergleichbare Chemie des Siliciums.

Verteilung der zugänglichen Elemente der Erdkruste



## Die Herstellung von Siliconen

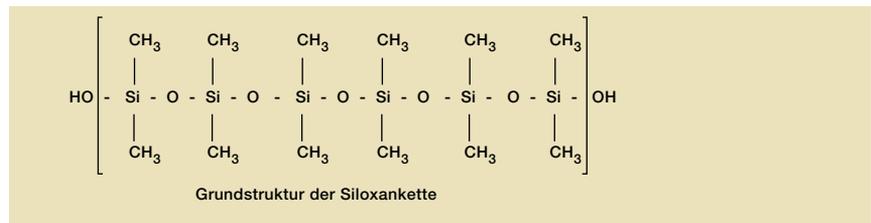
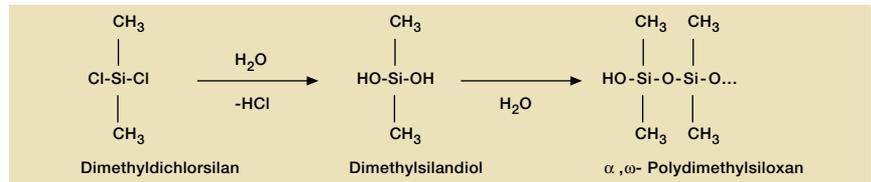
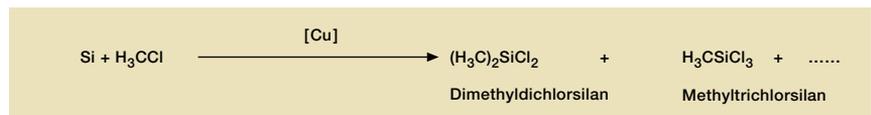
Erst 1940 wurden durch die Direkt-synthese von Methylchlorsilanen aus elementarem Silicium und Chlormethan, der sog. Müller-Rochow-Synthese, die polymeren organischen Siliciumverbindungen einer wirtschaftlichen Nutzung zugänglich. Methylchlorsilane sind farblose wasserklare Flüssigkeiten, die in organischen Lösungsmitteln löslich sind. Ihre niedermolekulare Struktur bewirkt ihre hohe Flüchtigkeit. Die Methylchlorsilane bilden letztendlich die Ausgangsprodukte für die Siliconherstellung.

Die Müller-Rochow-Synthese läuft unter katalytischem Einfluss von Kupfer bei Temperaturen von 250-300 °C ab. Für die Herstellung der Kontaktmasse werden Silicium und Kupfer fein vermahlen und vermischt. Die größte Bedeutung kommt einer guten Durchmischung der Kontaktmasse im Chlormethan-Strom zu. Die günstigen Reaktionsbedingungen werden dabei in Fließbettreaktoren (Wirbelschichtreaktoren) realisiert. Die besonders starke Verwirbelung der Kontaktmasse mit Chlormethan ist nötig, um lokale Überhitzung (hot spots) zu vermeiden. Die Silane werden nachfolgend auskondensiert und in flüssiger Form abgetrennt.

Moderne Anlagen besitzen eine Kapazität von über 70.000 t Rohsilan/Jahr und erzeugen folgende Silanzusammensetzung:

- 85-90 % Dimethyldichlorsilan  
 $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$
- 6-10 % Methyltrichlorsilan  
 $\text{CH}_3\text{SiCl}_3$
- 2-4 % Trimethylchlorsilan  
 $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$
- 4-6 % Polysilane

## Müller-Rochow-Synthese



Die Reaktionsgleichungen sind nicht stöchiometrisch formuliert!

Das flüssige Rohsilangemisch wird durch Destillation in hintereinander geschalteten Kolonnen in die einzelnen Silane aufgetrennt. Hier ist ein hoher Reinheitsgrad erforderlich, da bereits geringe Vermischungen bei der Weiterverarbeitung kettenzweigend oder abbrechend wirken.

Im nächsten Reaktionsschritt erfolgt durch Hydrolyse bzw. Methanolyse die Substitution von Chlor durch OH bzw.  $\text{OCH}_3$  unter Abspaltung von Chlorwasserstoff. Die Monomere kondensieren anschließend zu Siloxanketten. Die Art und Weise der Hydrolyse und die Zusammensetzung des Silangemisches bestimmen die Kettenlänge des Polysiloxanmoleküls.

Die Herstellung der technischen Siliconprodukte erfolgt durch weitere Polykondensation mit sauren Katalysatoren bei etwa 130 °C. Durch Zugabe von Kettenstoppnern wie z. B.  $(\text{CH}_3)_3\text{Si-O-Si}(\text{CH}_3)_3$  entstehen Siliconöle.

Siliconharzvorstufen entstehen bei der Hydrolyse von tri- und tetrafunktionellen Chlorsilanen.

## Silicone – Werkstoffe mit nahezu unbegrenzten Anwendungsmöglichkeiten

WACKER Silicone sind Werkstoffe mit vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten und stehen in Form von Ölen, Kautschuken und Harzen zur Verfügung.

Aus diesen drei Grundprodukten leiten sich weitere Siliconprodukte wie Fette, Trennmittel, Antischaummittel, Lackzusätze, Papierbeschichtungsmittel, Hydrophobierungsmittel für Bauten, Textil oder Leder sowie heiß- oder kaltvulkanisierender Kautschuk ab.

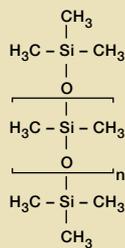
Silicone stellen eine besondere Gruppe unter den Kunststoffen dar, denn sie besitzen neben den organischen Eigenschaften (aufgrund der direkten Verknüpfung von Silicium mit organischen Resten) auch noch anorganischen Charakter (durch die Siloxanbindung, die auch in den Silicaten vorkommt). Vereinfacht ausgedrückt stellen Silicone organisch modifizierten Quarz dar. Silicium-Sauerstoff-Bindungen sind bemerkenswert stabil. Sie bieten ausgezeichnete Beständigkeit gegen extrem hohe Temperaturen, gegen UV- und IR-Strahlung sowie gegen zahlreiche andere Einflüsse.

Die Siliconprodukte zeichnen sich aus durch:

- hohe Resistenz gegen Hitze und Kälte, gegen Ozon und Strahlung
- wasserabweisende Eigenschaften
- gute Trennwirkung
- hohe Elastizität
- gute dielektrische Eigenschaften (hohes Isoliervermögen, gute Kriechstromfestigkeit)
- Umweltverträglichkeit
- physiologische Verträglichkeit

## WACKER Silicone – Werkstoffe in den Formen von Ölen, Kautschuken und Harzen

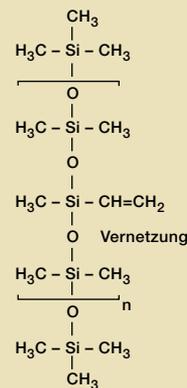
### Öle



Siliconöle sind lineare Polymere mit Kettenlängen zwischen zwei und über 1.000 Si-O-Einheiten.

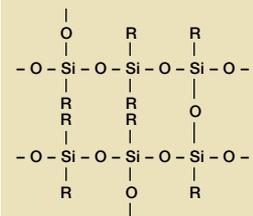
Der inerte Charakter der Siliconöle läßt sich durch Einführung reaktiver Gruppen modifizieren.

### Kautschuke



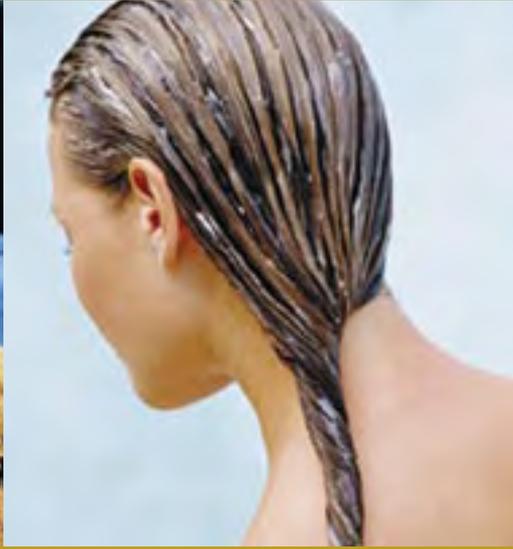
Chemische Basis der Siliconkautschuke sind lineare Siliconöle mit Hydroxyl-, Vinyl- oder anderen reaktiven Gruppen. Die Polymere lassen sich über diese Gruppen vernetzen und bilden weitmaschige Strukturen mit ausgeprägtem elastischen Verhalten.

### Harze



Die Produktklasse der Siliconharze erstreckt sich von relativ niedermolekularen Zwischenprodukten (Intermediates) bis hin zu hochmolekularen, stark vernetzten Harzkörpern unterschiedlichster Struktur.

## V1 SILICONÖLE

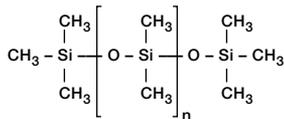


Chemikalien aus dem Versuchskoffer:  
WACKER® SILICONÖL AK 1000  
WACKER® SILICONÖL AK 5000



# SILICONÖLE

Dimethylpolysiloxan-Grundstruktur



## V1.1 Eigenschaften und Verwendung

Siliconöle sind wasserklare, geschmacks- und geruchlose Flüssigkeiten, die in Viskositäten von 0,65 bis etwa 1.000.000 mm<sup>2</sup>/s zur Verfügung stehen und deren besondere Eigenschaften sich aus ihrer molekularen Struktur herleiten. Siliconöle sind lineare Polysiloxane, deren unverzweigte Ketten wechselweise aus aufeinanderfolgenden Silicium- und Sauerstoffatomen aufgebaut und deren freie Valenzen mit organischen Resten abgesättigt sind. Dabei entspricht die Beständigkeit der Si-O-Bindungen in vieler Hinsicht dem chemisch inerten Verhalten silikatischer Mineralien und unterscheidet sich dadurch erheblich von der Kohlenstoffkette organischer Kunststoffe.

Die als Siliconöle AK bezeichneten WACKER Siliconöle sind Polydimethylsiloxane und besitzen Molekulargewichte von 162-74.000 (n = 0-1.000). Die allgemeine Grundstruktur kann durch nebenstehende Formel veranschaulicht werden.

Das Molekulargewicht, und davon abhängig die Viskosität der Siliconöle AK, ist durch die Anzahl n der Zwischenglieder im Molekül bestimmt. Die Zahl der Typenbezeichnung bei den Siliconölen AK gibt die Viskosität des Siliconöls in mm<sup>2</sup>/s bei 25 °C an. Als Folge der geringen intermolekularen Kräfte weisen Siliconöle in einem extrem weiten Bereich ihres Molekulargewichts flüssige Konsistenz auf. Die Stockpunkte der Siliconöle liegen bei etwa -50 °C, die Flammpunkte bei über 300 °C, die Dampfdrücke sind sehr gering. Besonders auffällig sind bei Siliconölen die geringe Abhängigkeit

physikalischer Eigenschaften wie Viskosität, Wärmeleitfähigkeit u. a. von der Temperatur und die physiologische Unbedenklichkeit. Außerdem sind die Siliconöle in Wasser unlöslich.

Durch die Einführung von reaktiven organischen Gruppen (z. B. Amino- oder Glykolresten) wird der inerte Charakter je nach Bedarf abgewandelt und ein abgestuftes Polaritätsverhalten hergestellt, das zu deutlich modifizierten Eigenschaften führt (copolymerer Siliconöle bzw. funktionelle Siliconöle). Sie zeichnen sich durch hohe Substrataktivität (Haftung) aus und werden z. B. für die Behandlung von Textilien, in der Kosmetik, in Autopolituren etc. eingesetzt.

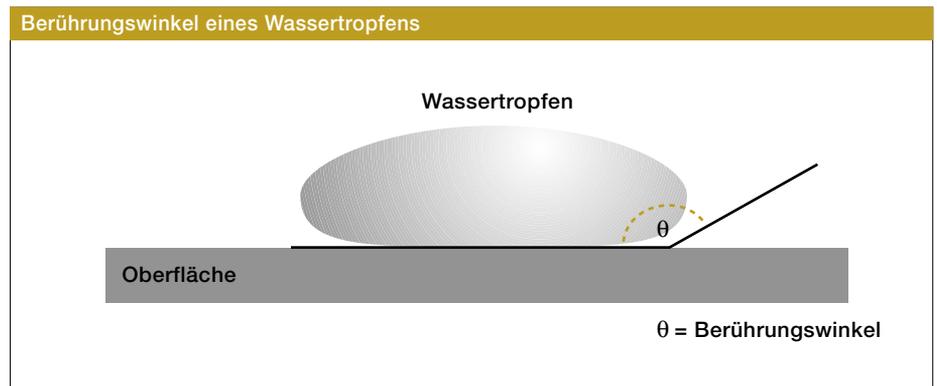
Siliconöle kommen in weitem Umfang auch als wässrige Emulsionen zum Einsatz. In dieser Form werden durch eine gleichmäßige Verteilung des Siliconöls in Wasser sehr geringe Auftragsmengen auf den Substraten ermöglicht. (Verwendung als Trenn- und Imprägniermittel). So ist der Auftrag eines gleichmäßigen hochviskosen Siliconölfilms auf einer Oberfläche technisch schwierig, es bietet sich daher der Auftrag des Wirkstoffes über die Emulsionsform an. Ein weiterer Vorteil dieser Applikation ist die Vermeidung von organischen Lösungsmitteln, also ein Vorteil aus dem Blickwinkel des Arbeits- und Umweltschutzes.

Aufgrund der oben aufgeführten Eigenschaften finden Siliconöle und die modifizierten Siliconöle über einen weiten Einsatzbereich Anwendung.

## Einsatzbereich für Siliconöle

Anwendung	Einsatzgebiete	Benötigte Eigenschaften
<b>Trennmittel</b>	Entformung von Kunststoffteilen, z.B. in der Reifenindustrie, bei der Fabrikation von Pressteilen etc.	Temperaturbeständig, einmaliger dünner Auftrag für viele Trennvorgänge; verhindern das Festkleben der Kunststoffe an den Geräten
<b>Gleitmittel</b>	Kunststofflager, Nähgarn, Weinkorken, Schneidwerkzeuge, Folien	Verringern die Oberflächenreibung, verleihen ausgezeichnete Gleiteigenschaften, wasserabweisend
<b>Dämpfungsmedium</b>	Drehzahlregler, Federbeine, Flüssigkeitskupplung, Messschreiber, Kreiselkompass, (aero)nautische Instrumente	In einem weiten Temperaturbereich bis 200°C bleiben die physikalischen Eigenschaften nahezu unverändert
<b>Hydrauliköl</b>	Stoßdämpfer, Bremszylinder, Pumpen	Ausgezeichnetes Viskositäts-Temperaturverhalten, hohe Kompressibilität und Stabilität
<b>Flüssiges Dielektrikum</b>	Kühlmittel, Transformatoren, Kondensatoren, Hochspannungsröhren, Raumfahrt	Strahlungsbeständig, elektrische Eigenschaften bleiben über einen weiten Temperaturbereich erhalten
<b>Hydrophobierungsmittel</b>	Glas, Keramik, Schichtstoffe, Schalter, Isolatoren, Textilien	Geringe Oberflächenspannung, stark wasserabweisend, hygienisch
<b>Antischaummittel</b>	Verhindert Schaumbildung	In sehr geringen Mengen wirksam; geruchs- und geschmacksfrei
<b>In kosmetischen Rezepturen</b>	Hautschutzsalben, Sonnencremes, Haarpflegemittel, Insektenschutzmittel	Ungiftig, bilden wasserabweisenden Schutzfilm, der die Haut atmen lässt und nicht reizt
<b>Pflegemittelzusatz</b>	Auto- und Möbelpolituren, Schuh- und Bodenpflegemittel	Glanzhaltend, wasserabstoßend, glättend

## V1.2 Siliconöle – die vielseitigen Flüssigkeiten. Versuchsvorschriften



### Versuch 1: Hydrophobe Eigenschaften von Siliconölen

Ein Maß für die wasserabweisenden Eigenschaften eines Materials ist der sogenannte Berührungswinkel. Er wird an Wassertropfen gemessen, die auf entsprechend vorbehandelten Oberflächen liegen. Für mit Siliconölen vorbehandelte Glas- oder Metalloberflächen ergeben sich dabei Berührungswinkel von  $100^\circ$ - $110^\circ$ , vergleichbar mit dem Berührungswinkel bei Paraffinbehandlung der Oberfläche. Paraffin gilt allgemein als das am stärksten ausgeprägte hydrophobe Mittel.

Verschiedene Oberflächen (Glas, Keramik, Metall, Papier) werden partiell mit Siliconöl gleichmäßig bestrichen. Dann wird sowohl auf die siliconisierte als auch auf die unbehandelte Oberfläche ein Wassertropfen gegeben. Beobachtung! Dieser Oberflächenversuch kann auch auf Stoffen wiederholt werden. Verwenden sie dazu z. B. ein Papiertaschentuch, auf dem sie auf einer Seite einige Tropfen Siliconöl verstreichen.

### Was kann man hier beim Auftropfen von Wasser beobachten?

Der stark hydrophobe Effekt ist den Methylgruppen zuzuschreiben und kommt dann voll zur Geltung, wenn ein Siliconöl eine Ausrichtung auf einer Oberfläche erfährt (spontane Ausrichtung auf affinen Oberflächen wie Glas, Baustoffen, Textilien). Kombiniert man also die hydrophoben Eigenschaften des Siliconöls mit einer Fixierung auf dem entsprechenden Untergrund, so erhält man wasserabweisende auf dem Untergrund haftende Beschichtungen (Imprägnierungen) (siehe auch Versuch Hydrophobierung von Baustoffen **V4**).

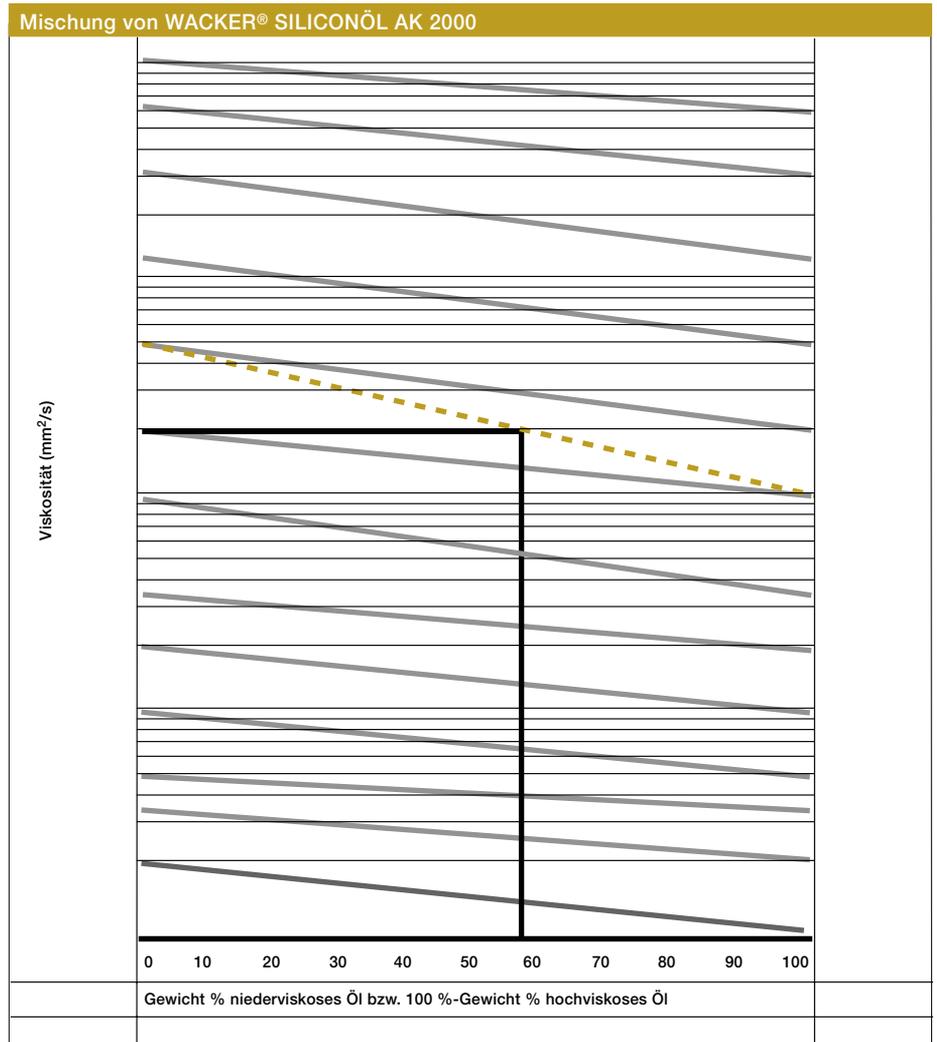
**Versuch 2:**

**Viskosität bei Siliconölen**

Die Siliconöle AK können je nach Kettenlänge in abgestuften Viskositäten hergestellt werden. Außer den Standardtypen kann jedoch jeder beliebige Viskositätsgrad durch Mischen von verschiedenen Ölen eingestellt werden. Da alle Siliconöle AK den gleichen Aufbau besitzen, können sie ohne weiteres in jedem Mischungsverhältnis vermischt werden. Das Mischungsverhältnis zum Einstellen einer bestimmten Viskosität kann nachstehendem Diagramm entnommen werden. So kann aus den mitgegebenen Siliconölen jede beliebige Viskosität dazwischen eingestellt werden.

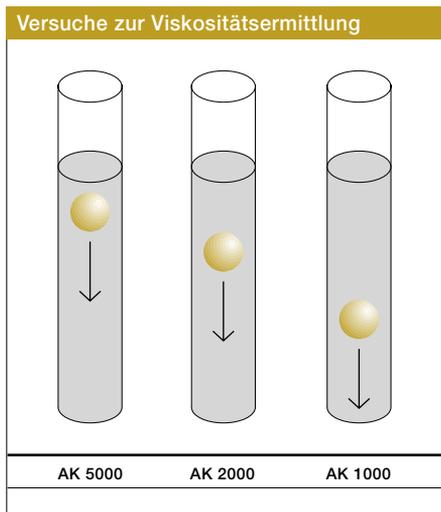
**Mischen eines Siliconöles:**

Zum Beispiel erhält man WACKER® SILICONÖL AK 2000 aus den mitgelieferten Standardsiliconölen WACKER® SILICONÖL AK 1000 und WACKER® SILICONÖL AK 5000, in dem die entsprechenden Gewichtsverhältnisse dem beiliegenden Diagramm entnommen werden. Dazu zieht man eine Linie von 5.000 zu 1.000 und bestimmt dann den Schnittpunkt zur waagerechten 2.000-er Linie. Von diesem Schnittpunkt aus fällt man das Lot auf die Prozentskala.



Die verschiedenen Siliconöle werden mit Glaspipetten in typengleiche Reagenzgläser gefüllt (etwa 20 ml). Anschließend wird die Zeit gemessen, die ein Gegenstand benötigt, um zu Boden zu sinken. Als Gegenstand können gleichgroße und gleichschwere Metallkugeln oder Rührfische verwendet bzw. im Vergleich zu den Siliconölen auch noch andere Flüssigkeiten wie Wasser, Octan, Moto-

renöl oder Paraffinöl benutzt werden. Anschließend stellt man die Reagenzgläser einige Minuten in Eiswasser oder in den Kühl- oder Gefrierschrank und wiederholt die Versuchsreihe. Dann kann die Versuchsreihe nochmals wiederholt werden, nachdem die Reagenzgläser einige Minuten in 70 °C heißes Wasser gestellt wurden.

**Aufgabe:**

Vergleiche nun die Absinkzeiten und interpretiere diese in Bezug auf Stoffgruppe und Temperaturabhängigkeit. Die Messreihen der verschiedenen Substanzen können in ein Diagramm als Temperatur/Zeit-Koordinaten eingetragen werden.

**Erklärung zur Temperaturabhängigkeit der Viskosität:**

Erhöht man in einer Flüssigkeit die Temperatur, so führt man dem System Energie zu, die mittlere Energie der einzelnen Moleküle der Flüssigkeit steigt an. Dies macht sich bemerkbar in der Zunahme der ungeordneten Bewegungen der einzelnen Moleküle (Brownsche Molekularbewegung) der Flüssigkeit. Somit wird die gegenseitige Anziehungskraft der Moleküle in der Flüssigkeit kleiner, die Flüssigkeit wird beweglicher, also nimmt die Viskosität ab. Dabei ist der natürliche Logarithmus der Viskosität  $\ln \eta$  direkt proportional zu  $1/T$ .

Wie bei allen Flüssigkeiten ist auch die Viskosität der Siliconöle AK von der Temperatur abhängig, jedoch ist diese Abhängigkeit deutlich geringer als beispielsweise bei Mineralölen, so dass in extremen Temperaturbereichen Siliconöle bevorzugt verwendet werden.



## V2 HOCHDISPERSE KIESELSÄURE HDK® – LEICHTER ALS SAND



Chemikalie aus dem Versuchskoffer:  
HDK® N 20 KIESELSÄURE HYDROPHIL



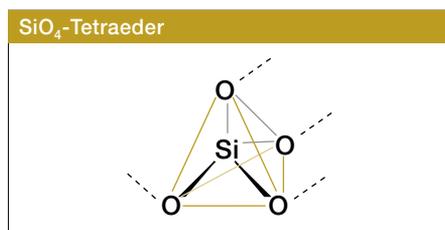
# HOCHDISPERSE KIESELSÄURE HDK® – LEICHTER ALS SAND

## V2.1 Entstehung und Eigenschaften

Kieselsäuren sind Stoffe, die in der Natur häufig anzutreffen sind. Der Name deutet es an, Kiesel(steine) bestehen daraus, ebenso wie ganz normaler Sand. Hochdisperse Kieselsäure (HDK®) ist also von seinen Bestandteilen her „ganz normaler Sand“. Bei WACKER wird demnach künstlicher Sand produziert, pro Jahr werden etwa 15.000 Tonnen, das sind ca. 5.000 LKW-Ladungen, hergestellt. Warum muss dieser künstliche Sand extra hergestellt werden? Gibt es nicht schon genügend Sand?

**Antwort:** Dieser künstliche Sand hat ganz andere Eigenschaften als normaler Sand.

Bei der Herstellung von HDK® wird flüchtiges Chlorsilan (Tetrachlorsilan, Methylchlorsilane, usw.) in eine Wasserstoff-Flamme eingeleitet. Durch Hydrolyse bei diesen hohen Temperaturen mit in situ gebildetem Wasser entsteht pyrogene Kieselsäure (HDK®) und Chlorwasserstoff:



Durch genaue Prozessführung und kurze Kontaktzeit mit der Flamme entstehen kugelförmige Kieselsäure-Primärteilchen mit einer mittleren Teilchengröße von 5-30 nm. In einem Primärteilchen sind etwa 10.000 SiO<sub>2</sub>-Einheiten.

Die Primärteilchen verschmelzen zu Aggregaten von etwa 100 - 500 nm, welche weiter agglomerieren.

Der große Vorteil der Produktion bei WACKER ist, dass die Kieselsäuren im Verbundsystem mit anderen Siliconprodukten hergestellt werden. Das bedeutet, dass Nebenanfallprodukte aus anderen Produktionsbereichen als hochwertige Rohstoffe zur Herstellung der HDK® eingesetzt werden. Die hochdisperse Kieselsäure ist aufgrund des oben beschriebenen Darstellungsprozesses sehr rein. Während im Sand oder Quarz die als kleinstes Strukturelement enthaltenen SiO<sub>4</sub>-Tetraeder absolut regelmäßig zu einem dreidimensionalen Kristallgitter angeordnet sind, verteilen sie sich im Primärteilchen der HDK® völlig unregelmäßig in einem ungeordneten, nicht kristallinen (amorphen) System ohne feste Form.

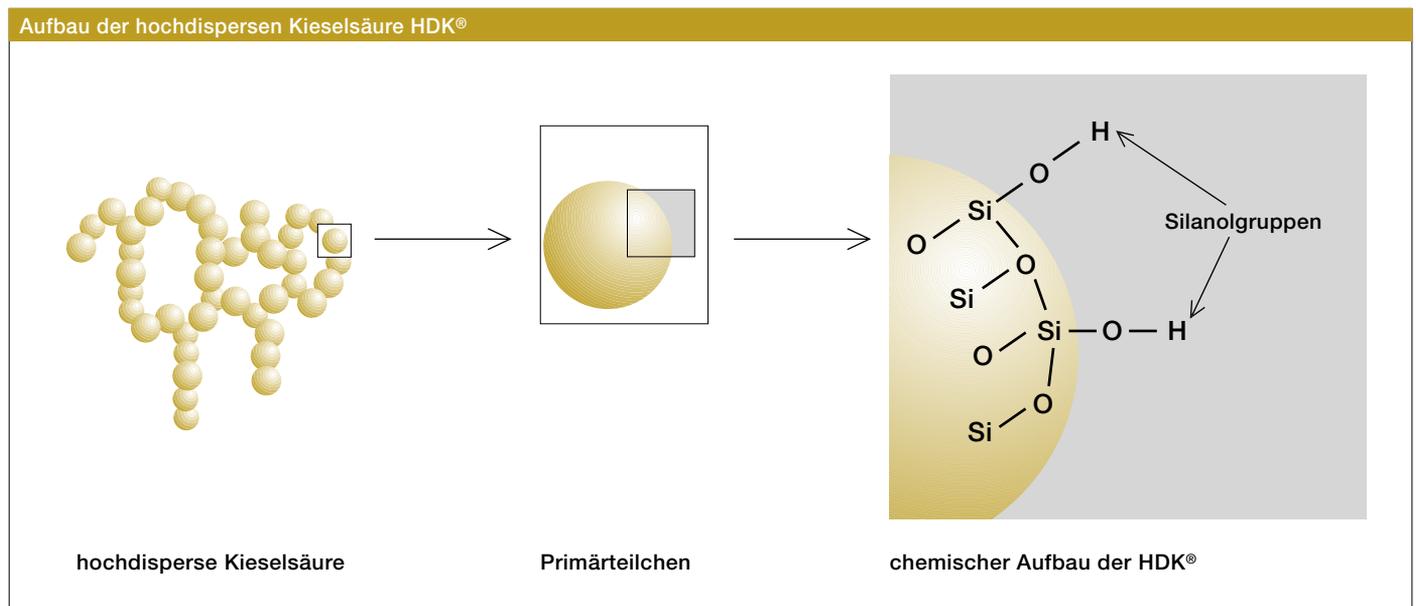
Führt man HDK® einer Flüssigkeit zu, so bilden die Silanolgruppen benachbarter Kieselsäure-Aggregate Wasserstoffbrückenbindungen aus. Ein dreidimensionales Netzwerk baut sich auf, das die Beweglichkeit der Flüssigkeitsmoleküle einschränkt. Je engmaschiger dieses Netzwerk aus Kieselsäure-Teilchen ist, desto höher ist die Viskosität.

## V2.2 Exkurs: Gesetzmäßigkeiten flüssiger Systeme = Rheologie

Die Fließkunde (Rheologie, vom griech. **rheos** = Fließen, Strom) ist ein Teilgebiet der Physik und befasst sich mit dem Fließ- und Deformationsverhalten von Materie, insbesondere von Flüssigkeiten. Um eine ruhende Flüssigkeit zu bewegen, muss eine Kraft auf sie einwirken. Diese wird durch die Scherkraft  $\tau$  beschrieben und entspricht der Vorstellung, dass dünne Schichten der Flüssigkeit gegeneinander verschoben werden. Die Geschwindigkeit, mit der diese Verschiebung stattfindet, wird als Geschwindigkeitsgefälle  $D$  bezeichnet. Das Verhältnis der beiden Größen  $\tau$  und  $D$  wird als dynamische Viskosität (Zähigkeit)  $\eta$  bezeichnet:

$$\eta = \frac{\tau}{D} \text{ [Pa s]}$$

Die Viskosität gibt den Widerstand an, den eine Substanz dem Fließen entgegensetzt. Verhält sich die Flüssigkeit idealviskos, d. h. die Viskosität ist unabhängig vom Geschwindigkeitsgefälle  $D$ , so spricht man von Newtonschen Flüssigkeiten. Das bedeutet, dass  $\eta$  bei gegebener Temperatur eine Stoffkonstante ist. Newtonsches Fließen findet sich bei niedermolekularen reinen Flüssigkeiten oder Lösungen und verdünnten Suspensionen kugelförmiger Teilchen. Beispiele dafür sind Wasser, Benzin, Schmieröle, Hydraulikflüssigkeiten.



In nachfolgender Tabelle sind die Viskositäten einiger Flüssigkeiten aufgeführt (25 °C Messtemperatur, in mPa s).

Viskositäten bekannter Flüssigkeiten	
Verbindung	Viskosität [mPa s]
Ether	0,238
Chloroform	0,579
Benzol	0,673
Wasser	1,002
Ethanol	1,22
Rizinusöl	1.060
WACKER Siliconöle	0,65-1.000.000
Glas	10 <sup>17</sup>

Die meisten Flüssigkeiten sind allerdings nicht idealviskos, sondern zeigen die Eigenschaften sogenannter nichtnewtonscher Flüssigkeiten. Bei ihnen ist die Viskosität bei gegebener Temperatur keine Konstante, sondern von der Schergeschwindigkeit D abhängig.

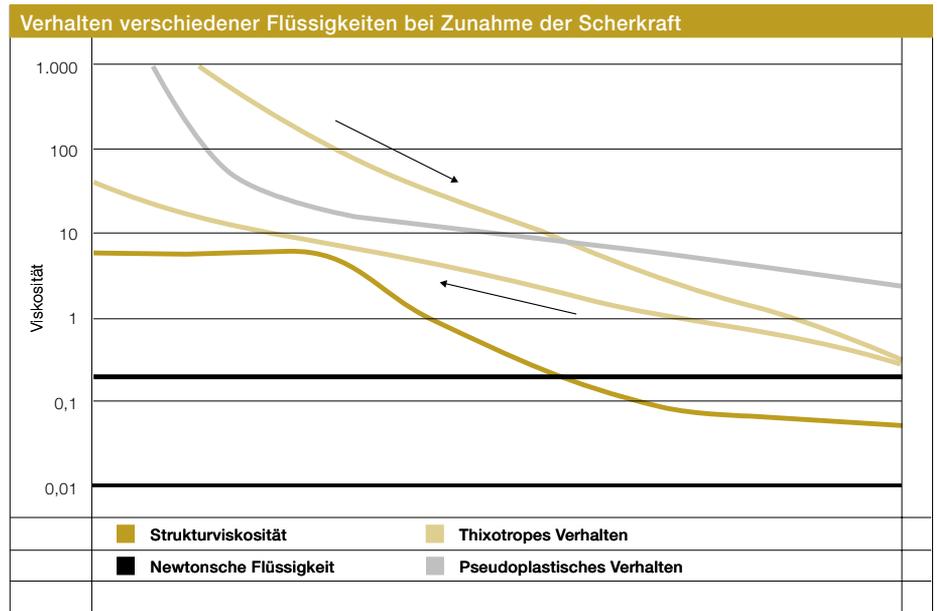
Die nichtnewtonschen Flüssigkeiten spielen nicht nur in der Technik eine große Rolle (Beispiele: Sole, Gele, Suspensionen höherer Konzentrationen, Kunststoffe), sondern auch in der Physiologie (Blut!). Viele Systeme zeigen eine starke Viskositätsabnahme, wenn das Geschwindigkeitsgefälle erhöht wird, d. h. die Viskosität ändert sich durch Einwirkung von Bewegung (Rühren, Schütteln etc.). In diesen Fällen spricht man von Strukturviskosität. Pseudoplastisches Verhalten beschreibt strukturviskose Flüssigkeiten mit einer zusätzlichen Fließgrenze, d. h. unter normalen Bedingungen ist die Substanz fest und

verflüssigt sich erst unter Einwirkung von Scherkräften. Typische Beispiele für Substanzen mit pseudoplastischem Verhalten sind Schokolade, Fette, Zahnpasta, Salben etc. (vgl. auch nachfolgendes Diagramm).

Im Unterschied zu strukturviskosen Flüssigkeiten mit pseudoplastischem Verhalten spielt bei thixotropen Systemen zusätzlich die Zeit eine wichtige Rolle. So tritt bei der Thixotropie bei der Ab- bzw. Zunahme der Viskosität eine mitunter beträchtliche Zeitverzögerung ein.

**Beispiel:** Unter konstantem Rühren wird ein thixotropes System immer flüssiger, je länger der Rührvorgang anhält.

Thixotrope Flüssigkeiten werden heute für die Lackindustrie in großen Mengen hergestellt. Moderne, nicht tropfende Lacke sind thixotrop: Sie lassen sich leicht streichen und sind während des Streichens leichtflüssig. Im Ruhezustand ist ihre Zähigkeit jedoch bedeutend größer, so dass es zu keiner Tropfen- oder Tränenbildung an der bestrichenen Oberfläche kommen kann. In Lacken und anderen Anstrichstoffen erreicht man die Thixotropie durch Zugabe von sogenannten Thixotropiermitteln, z. B. Bentoniten, Kaoliniten, besonders aber durch SiO<sub>2</sub>-Substanzen, die auch als Absetzungsverhinderungsmittel wirksam sind. In anderen Systemen fungieren Thixotropiermittel als Verdickungsmittel, die die Konsistenz von Nahrungs- und Körperpflegemitteln verändern sollen. Ein sehr bekanntes Beispiel für eine thixotrope Flüssigkeit ist Ketchup.



**V2.3 Verdicken und Thixotropieren – Verstärken – Rieseln. Versuchsvorschriften**

**Versuch 1: Vergleich von natürlichem Sand und HDK®**

0,1 g HDK® N20 und 0,1 g Sand werden auf einem Filterpapier abgewogen. Vergleiche das Volumen und das Aussehen der beiden Stoffe. Welche Unterschiede kann man mit bloßem Auge oder durch das Betasten der Stoffe mit den Fingern feststellen?

Die hochdisperse Kieselsäure kann mit unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften hergestellt werden, so variiert die spezifische Oberfläche der einzelnen HDK®-Typen je nach Prozessführung zwischen 125 und 400 m<sup>2</sup>/g. Zum Beispiel besitzen 30 g der HDK® N20 die Fläche eines Fußballfeldes, also 6.000 m<sup>2</sup>. Könnte man die Primärpartikel von 1 g hochdisperser Kieselsäure aneinanderreihen, so würde dies eine Länge ergeben, die 17-mal der Entfernung von der Erde zum Mond entspricht! Die Oberfläche der HDK® ist also um ein Vielfaches höher als die von Sand. Daraus leiten sich auch viele ungewöhnliche Eigenschaften der hochdispersen Kieselsäuren im Vergleich zu Sand ab.

#### **Versuch 2:**

##### **Streifähigkeit von Salz**

Es gibt oft das Problem beim Salzstreuer, dass trotz Klopfen und Schütteln kein Salz herauskommt, da Salz die Eigenschaft hat, die Feuchtigkeit der Luft zu binden.

Besprühe 50 g Kochsalz mit 5 ml Wasser. Beobachtung!

Nun fügt man zu dieser Mischung 3 gehäufte Löffel HDK® N20 hinzu und schüttle das ganze. Beobachtung!

##### **Erläuterung:**

Hochdisperse Kieselsäure hat eine hohe Affinität zu Wasser und kann eine größere Menge Wasser in Zwischenräumen binden.

#### **Versuch 3:**

##### **Rieselfähigkeit von Schwefel**

Zu 10 g Schwefel werden in einem verschließbaren Glas 0,1 g (gehäufte Spatelspitze) HDK® N20 hinzugefügt. In ein zweites Glas fülle zum Vergleich lediglich 10 g Schwefel.

Beobachte das Verhalten des Schwefels in den beiden Gläsern und beim Durchfließen durch einen Weithalstrichter.

##### **Erläuterung:**

Die HDK® eignet sich ausgezeichnet als Rieselhilfe. Geringste Zusätze (0,01-3 Gewichtsprozent) genügen, um die Fließeigenschaften von Pulvern zu verbessern. Dabei werden schlecht fließende Feststoffpartikel von einem Mantel aus winzigen HDK®-Teilchen umgeben. Die Verbesserung des Fließverhaltens ist, grob vereinfacht, als eine Art „Kugellagereffekt“ zu verstehen:

Partikel werden durch die runden Kieselsäureteilchen so umhüllt, dass sie wie auf Kugeln rollen. Außerdem können die Pulverteilchen aufgrund der Trennung durch die winzigen HDK®-Kugeln nicht mehr aneinander haften, sie haben keine Wechselwirkungen mehr miteinander.

##### **Anwendung:**

###### **HDK® als Dispergier- und Mahlhilfe:**

Bruchstücke werden umhüllt, dies verhindert eine Rekombination energiereicher Bruchflächen, z. B. als Zusatz beim Mahlen von Schwefel.

###### **HDK® erhöht die Fließfähigkeit und Lagerstabilität von Pulvern:**

HDK®-Pulver kommen zum Einsatz in Feuerlöschpulvern, im Speisesalz, in Tabletten und Pudern, in Kunststoffpulvern und in Tonern.

**Versuch 4:**  
**HDK® als Verdickungsmittel,  
Adsorbens und Träger**

Zu je 1,2 g HDK® N20 werden in einem verschließbaren Glas 5, 10, 15 bzw. 20 g Wasser gegeben. Was kann man in den verschiedenen Gläsern beobachten? Wie verhalten sich die Substanzen in Ruhe bzw. bei Bewegung?  
Zu etwas Siliconöl (einige ml) rührt man im Reagenzglas schrittweise 2 Gewichtsprozent HDK® N20 unter und beobachtet die Viskosität des Systems. Wie verhalten sich die eingerührten Luftblasen im System? Anschließend verflüssigt man das ganze wieder durch erneute langsame Siliconözugabe unter Rühren.

**Zum Verständnis:**

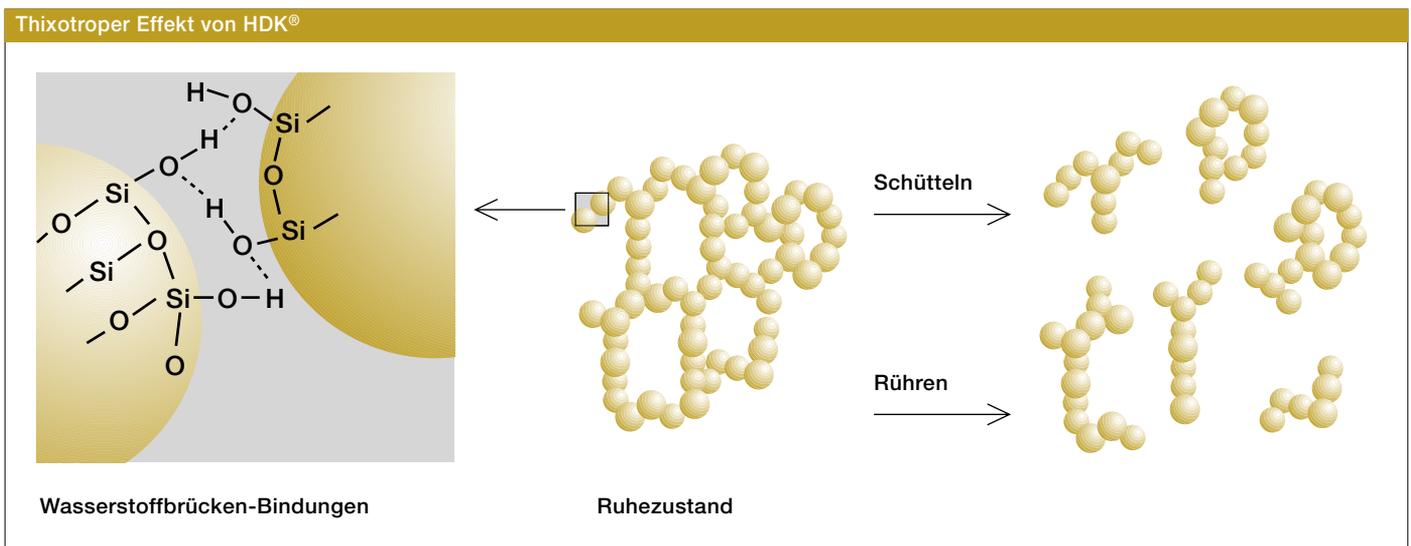
Bei der Dispersion von hochdisperser Kieselsäure in Flüssigkeiten kommt es zur Verdickung durch Ausbildung von Wasserstoffbrücken zwischen den Primärteilchen, die ein dreidimensionales Netzwerk aus HDK®-Primärteil-

chen entstehen lassen, welches die Beweglichkeit der Flüssigkeitsmoleküle einschränkt. Kieselsäure verfestigt das System. In dem Zwischenkornvolumen dieser Agglomerate wird die Flüssigkeit gespeichert, gasförmige und flüssige Substanzen werden mit Hilfe von Wasserstoffbrückenbildung adsorbiert. Dieses Netz kann kurzfristig durch Energiezufuhr oder durch mechanische Beanspruchung wie Schütteln oder Rühren (thixotroper Effekt) zerstört werden. Die Wasserstoffbrückenbindungen, die vorher Stabilität erzeugten, brechen teilweise auf.

Die Flüssigkeitsmoleküle werden beweglicher, die Viskosität der Substanz sinkt. Je stärker und länger die Kraft einwirkt, desto mehr Verknüpfungsstellen brechen, desto „flüssiger“ wird eine Substanz. Da die Neubildung der Bindungen eine gewisse Zeit dauert, ist das System noch einige Zeit flüssig (Thixotropie).

**Anwendung:**

- Zur Viskositätserhöhung als Zusatz in Gelen, Pasten, Salben und Cremes
- als Adsorbens und Träger von Substanzen in Parfümölen, Pflanzenextrakten und Balsamen
- Farben und Kleber sollen zwar gut zu verstreichen sein und gut verlaufen und trocknen, sie dürfen aber nicht tropfen oder ablaufen. Deshalb setzt man zur verbesserten Verarbeitung von Druckfarben, Klebstoffen, Kunststoffen und Lacken HDK® zu; bei geringer Viskosität bildet HDK® ebenfalls ein dreidimensionales Netzwerk, Füllstoffe und Pigmente werden in dieser Struktur in Schwebe gehalten (Antisedimentationsverhalten), sie sinken also nicht nach unten.





## V3 SILICON-ANTISCHAUMMITTEL



Chemikalie aus dem Versuchskoffer:  
SILFOAM® SRE



# SILICON-ANTISCHAUMMITTEL

## V3.1 Exkurs:

### Tenside – Wie entsteht Schaum?

Der Wassertropfen auf einer hydrophoben Unterlage (vgl. Siliconöle) demonstriert die große Bedeutung von Grenzflächen bei vielen technischen und natürlichen Prozessen. Der Tropfen bildet sowohl gegen die Oberfläche als auch gegen die gasförmige Atmosphäre eine Grenzfläche. Die hohe Oberflächenspannung des Wassers, die durch die starken Wechselwirkungen der Wassermoleküle untereinander verursacht wird, sorgt dafür, dass der Tropfen eine kugelförmige Gestalt annimmt. Die feste Oberfläche wird also nicht benetzt. Andererseits kann in der Natur aber auch die Herabsetzung einer hohen Oberflächenspannung – oder ganz allgemein Grenzflächenspannung – existentielle Bedeutung haben. So könnten wir die mit der Nahrung aufgenommenen wasserunlöslichen Fette nicht verdauen, wenn sie nicht in das wässrige System unseres Körpers aufgenommen würden. Dafür sorgen die Gallensäuren, die sich an der Grenzfläche zwischen Wasser und Fett anreichern und dadurch die Grenzflächenspannung herabsetzen.

Man bezeichnet solche als Emulgatoren wirkende Substanzen deshalb auch als grenzflächenaktive Verbindungen oder Tenside (lat. Tensio = Spannung).

Wichtigstes Anwendungsgebiet von Tensiden ist der Wasch- und Reinigungsmittelsektor, in dem 50 % der Tenside verwendet werden. Tenside werden als Effektstoffe aber auch als Helfer in der Textil- und Faserproduktion, dem Kosmetikbereich mit Shampoos, Duschgels, Hautölen und -cremes eingesetzt. Bei Anreicherungsprozessen zur Kohle-

und Erzgewinnung, im De-Inkingprozess bei der Aufbereitung von Altpapier sowie im Nahrungsmittel-, Lack-, Farben- und Pflanzenschutzbereich werden sie ebenfalls verwendet.

Eine typische Formulierung (Rezeptur) eines modernen Kompaktwaschmittels enthält neben den Buildern (Phosphat-ersatzstoffe) und dem Bleichsystem ca. 20 Gewichtsprozent Tenside.

### Chemie der Tenside

Die wesentlichen Eigenschaften von Tensiden sind die Fähigkeit zur Schaumbildung, Hautbenetzung, Schmutz- und Fettemulgierung und die Abspülbarkeit. Sie sind alle auf eine charakteristische Struktur zurückzuführen: Sie enthalten immer einen wasseraffinen (hydrophilen) und einen öllaffinen (hydrophoben) Molekülteil. So besteht die in der Galle vorkommende Taurocholsäure aus dem hydrophoben Kohlenwasserstoffanteil des Steroidgerüsts und einer hydrophilen Amidoalkylensulfonat-Gruppe.

Die ältesten Tenside – die Seifen – bestehen entsprechend aus einer hydrophoben, linearen Kohlenwasserstoffkette und einer hydrophilen Carboxylatgruppe:

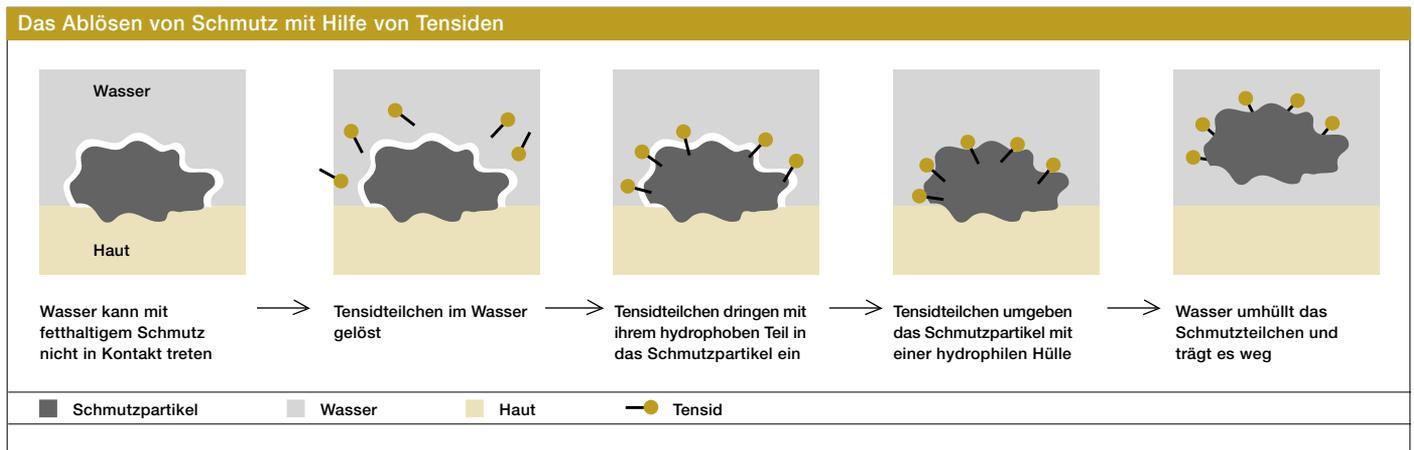
Bringt man nun solche Tensidmoleküle in ein zweiphasiges System, so lagern sie sich an Grenzflächen zwischen den verschiedenen Phasen an. Durch ihre Anreicherung und Ausrichtung verändern sie die Eigenschaften der Grenzflächen, d. h. sie setzen die Oberflächenspannung herab. Diese Herabsetzung führt im Falle von Schmutz zur Benetzung und fördert damit die Ablösung eines an der Gewebe- oder Hautoberfläche haftenden Schmutzpartikels.

### Aufbau eines Tensid-Teilchens (hier: Seife)



Hydrophober, d. h. wasserunlöslicher Molekülteil

Hydrophiler, d. h. wasserlöslicher Molekülteil



Die anschließende Umnetzung führt zu stabilen Schmutzemulsionen, die nach außen gerichteten Ladungen der Tensid-anionen verhindern ein Zusammenlagern der Schmutzpartikel, die somit in der Waschlösung schweben bleiben.

In der Literatur findet man oft folgende und immer wiederkehrende Definition von Schaum: „**Gebilde aus gasgefüllten, kugel- oder polyederförmigen Zellen, welche durch flüssige, halbflüssige, hochviskose oder feste Zellstege begrenzt werden**“. An der Oberfläche von Wasser (Grenzfläche: Wasser/Luft) richten sich daher Seifenanionen in der Weise aus, dass der hydrophobe Alkylrest in die Luft ragt und das hydrophile Ende in das Wasser eintaucht. Die Grenzflächenspannung sinkt mit zunehmender Tensidkonzentration kontinuierlich ab, bis die Oberfläche vollkommen von Tensidmolekülen bedeckt ist. Die Oberfläche wird immer luftähnlicher, d. h. es entwickeln sich Schaumblasen (Kugelschaum). Zunehmendes Abfließen der Flüssigkeit lässt die Blasen immer dünner werden, die Gasblasen rücken enger zusam-

men, deformieren sich gegenseitig und werden zu Polyedern (Polyederschaum). Diesen Vorgang nennt man Drainage-Effekt. Die Luftblasen bleiben jedoch weitgehend stabil, wenn das Tensid ein vollständiges Abfließen der Flüssigkeit aus der Lamelle verhindert. Da sich die hydrophilen geladenen Gruppen der Tenside beim Abfließen der Flüssigkeit immer näher kommen, tritt mit abnehmender Wanddicke eine verstärkte elektrostatische Abstoßung zwischen den Tensidmolekülen auf, ein weiteres Abfließen wird verhindert.

### V3.2 WACKER Antischaummittel SILFOAM® SRE – Wirkungsweise und Anwendung

Es gibt jedoch Anwendungen, bei denen zwar die Reinigungskraft der Tenside gewollt, ihre Neigung zur Schaumbildung aber eher unerwünscht ist. Bei modernen Waschmaschinen z. B. ist die Schaumunterdrückung mitentscheidend für das Waschergebnis. Starke Schaumentwicklung kann zu erheblichen Verlusten an waschaktiven Substanzen durch Übersäumen führen. Außerdem bremst starke Schaumentwicklung die mechanische Reinigung des Waschguts.

Doch nicht nur bei Waschprozessen ist eine übermäßige Schaumbildung nicht immer erwünscht, auch bei zahlreichen anderen industriellen Prozessabläufen kann eine Schaumbildung zu erheblichen Beeinträchtigungen führen. Die Zerstörung von Schaum kann zu Verkürzungen von Produktionsabläufen oder zu deren Vereinfachung und/oder zu einer Qualitätsverbesserung der Produkte führen.

**So kommen WACKER Schaumkontrollsysteme in sehr vielen Produkten und Industrieprozessen zur Anwendung:**

1. In der Textilindustrie bei der Faserherstellung und -verarbeitung, bei Wasch- und Färbeprozessen.
2. In der Lederindustrie beim Färben und Fetten (Lickerung) des Leders.
3. Im Reinigungsmittelbereich für kontrollierte Schaumbildung in Universal-, Glas-, Metall-, Desinfektions-, Sanitär- und Teppichreinigern, in Bodenpflege- und Abbeizmitteln.
4. In Waschmitteln zur Regelung der Schaumentwicklung.
5. Bei der Lack- und Farbherstellung zur Zerstörung von Schaum bei Misch-, Pump- und Abfüllvorgängen sowie bei der Anwendung (Lackierung etc.), da hier der Schaum zu Oberflächenstörungen führen kann.
6. In der Petrochemie zur Entschäumung und Entgasung von Rohöl bei der Förderung, bei Destillationsprozessen in Raffinerien sowie zur Entschäumung von Dieselkraftstoffen.
7. In Kühlschmiermitteln, Motorölen und Metallbearbeitungsflüssigkeiten.
8. In der Agroindustrie bei der Herstellung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln sowohl in der Produktion als auch in der Anwendung.
9. In der Papierindustrie für eine verbesserte, umweltschonendere und damit auch kostengünstigere Zellstoffherstellung.
10. In der Abwasseraufbereitung zur Entschäumung von Abwässern in Kläranlagen zur Unterstützung der Reinigungsprozesse.

11. In der Pharmaindustrie bei der Herstellung von Flüssigpräparaten, bei Fermentationsprozessen und als Wirksubstanz zum Abbau von Gasblasen im Verdauungstrakt.

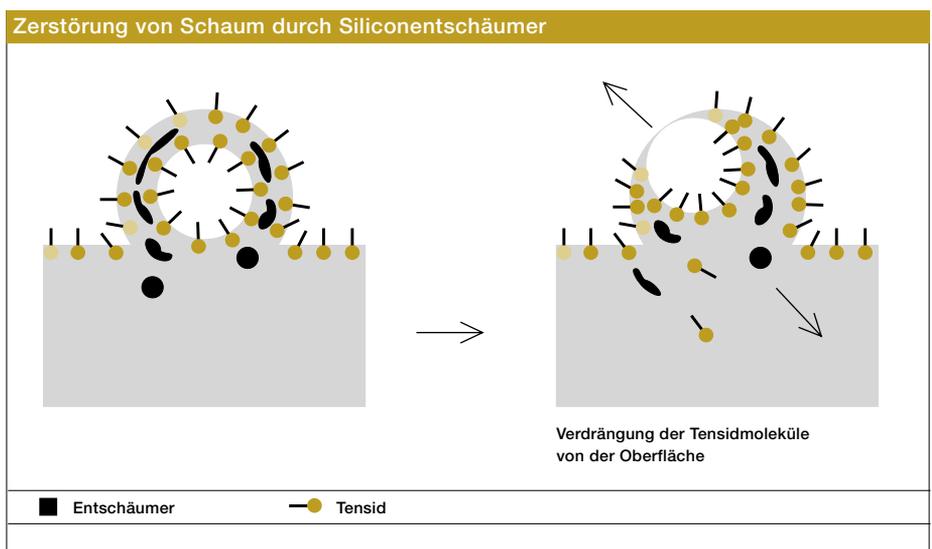
Da sich die Anwendungsgebiete der WACKER Antischaummittel über einen sehr weiten industriellen Bereich erstrecken und damit unterschiedlichste Anforderungen erfüllen müssen, gibt es sie als unterschiedlichste Produkttypen, z. B. als Konzentrat, als Emulsion oder als Pulver.

**Wirkungsweise von Entschäumern**

Entschäumer sind Flüssigkeiten oder Emulsionen mit niedriger Oberflächenspannung. Sie müssen im wesentlichen drei Bedingungen erfüllen:

- Sie müssen unlöslich im zu entschäumenden Medium sein
- sie müssen einen positiven Eindringkoeffizienten und
- einen positiven Spreitungskoeffizienten besitzen.

Ist der Eindringkoeffizient positiv, so kann der Entschäumer in die Schaumlamelle eindringen. Ist weiterhin auch noch die Bedingung eines positiven Spreitungskoeffizienten erfüllt, so ist der Entschäumer in der Lage, nach dem Eindringen in die Lamelle an der Grenzfläche zu spreiten, d. h. das Tensid von der Grenzfläche zu verdrängen. Somit wird die elastische Lamelle durch einen Film mit geringerer Oberflächenspannung und geringeren Kohäsionskräften ersetzt. Die entschäumende Wirkung solcher Entschäumerflüssigkeiten lässt sich in vielen Systemen durch die Zugabe fein dispergierter hydrophober Feststoffteilchen noch erheblich verstärken. Die Entschäumerflüssigkeit dient als Transportmittel, um die Feststoffteilchen in die Schaumlamelle zu bringen. Die hydrophoben Teilchen wirken nun in der hydrophilen Flüssigkeitslamelle als Fremdkörper und tragen einerseits durch Reduzierung der Kohäsionskräfte zur Destabilisierung bei, andererseits adsorbieren sie an ihrer Oberfläche



Tensidmoleküle (Tensidfänger) und lassen dadurch die Schaumlamellen zusammenbrechen.

Bei den WACKER Silicon-Antischaummitteln wirken Siliconöle als Entschäumerflüssigkeiten. Siliconöle bieten dabei sehr viele Vorteile. Sie können chemisch leicht modifiziert werden, haben damit ein sehr breites Wirkungsspektrum, sie sind chemisch weitgehend inert, die Netzwirkung (Reinigungswirkung) der Tenside wird nicht beeinträchtigt und sie können auch im pharma- und lebensmittelnahen Bereich eingesetzt werden. Wegen der geringen Oberflächenspannung von ca. 21 mN/m zeigen Silicon-Entschäumer eine starke Tendenz auf, Schaumlamellen zu spreiten. Darüber hinaus werden mit dem Siliconöl hydrophobe Teilchen (z. B. hochdisperse Kieselsäure) in die Lamelle transportiert. Durch Zusatz bestimmter Substanzen (z. B. Emulgatoren) wird das Eindringen der Siliconöle in die Lamelle noch gefördert (entering agent).

### V3.3 Schaumbekämpfung.

#### Versuchsvorschriften

##### Versuch 1:

Ein Schnappdeckelgläschen wird zu 2/3 mit Wasser gefüllt und mit einigen Tropfen Spülmittel versetzt. Nach dem Verschließen wird kräftig geschüttelt. Was ist zu beobachten? Wie verändert sich der Schaum im Laufe der Zeit? Beschreibe! Zeichne die verschiedenen Stadien der Schaumbildung (siehe Kugel- bzw. Polyederschaum).

##### Versuch 2:

Nun entnimmt man mit einer Pipette einige Milliliter der Tensidlösung und benetzt mit je einem Tropfen (im Vergleich zu normalem Wasser) verschiedene Oberflächen wie Glas, Porzellan, Metall, Papier. Was kann man beobachten? Welche Rückschlüsse lässt diese Beobachtung auf die Oberflächenspannung des Wassers bzw. der Tensidlösung zu. Vergleiche hierzu auch die auftretenden Winkel mit den Berührungswinkeln aus

##### V1.2.

##### Versuch 3:

Parallel dazu legt man in einem anderen Rollrandgläschen eine identische Tensidlösung vor und gibt nach dem Schütteln (Schaumbildung!) einen Tropfen einer WACKER Antischaumemulsion SILFOAM® SRE dazu. Was kann man beobachten? Was kann man dann nach erneutem Schütteln beobachten?

##### Versuch 4:

Wie ist die Benetzungsfähigkeit dieser Lösung im Vergleich zur reinen Tensidlösung bzw. zu reinem Wasser?

## V4 SILICONE IN DER BAUCHEMIE



Chemikalie aus dem Versuchskoffer:  
SILRES® BS SMK 1311



# SILICONE IN DER BAUCHEMIE

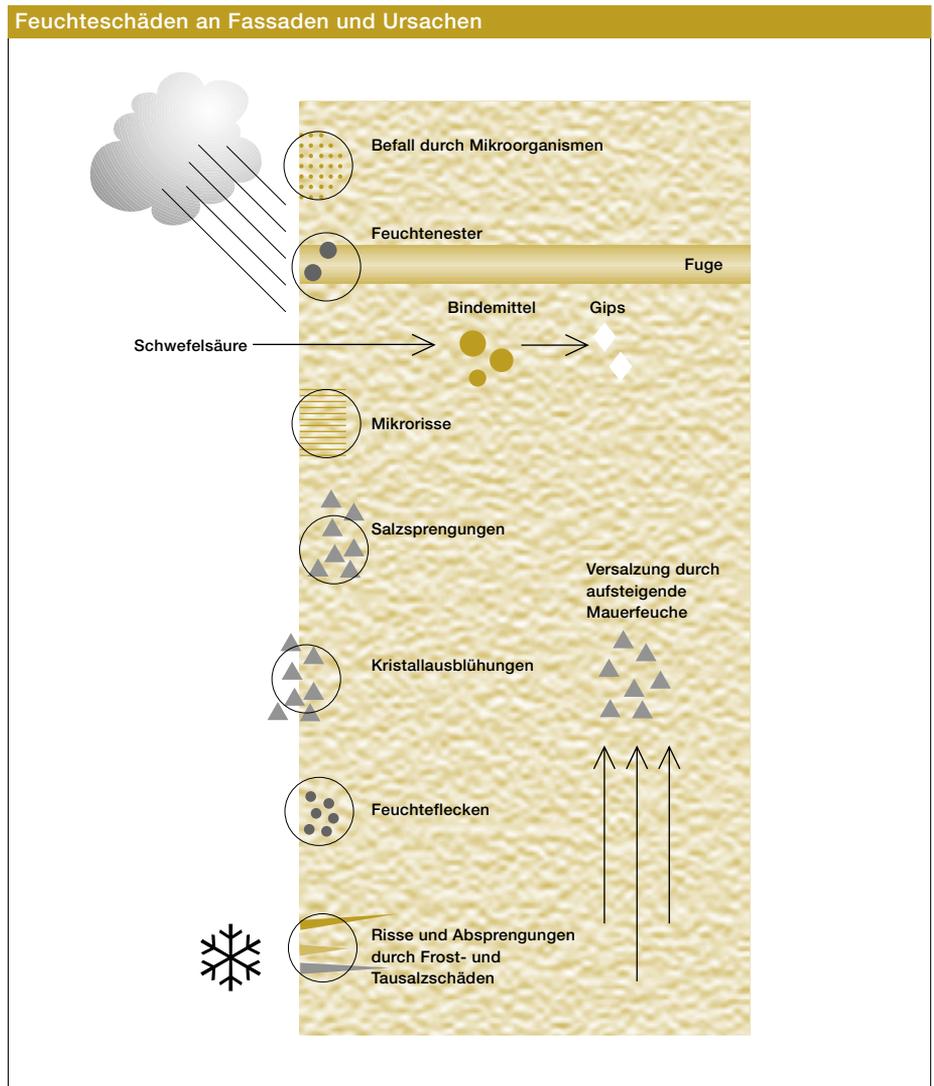
## V4.1 WACKER Siliconbauteenschutzmittel SILRES® BS SMK 1311

**In principio erat aqua oder das Wasser ist an allem schuld.** Die Feuchtigkeit ist eines der gravierendsten Probleme für Planer, Baubeauftragte und Hausbesitzer beim wirksamen Schutz von Gebäuden. Die Zerstörung von Baumaterialien kann in sehr verschiedener Weise vonstatten gehen, ist aber letztlich immer mit der Aufnahme von Wasser verbunden. Durch Wasser wird dem Eindringen von Salzen, Schadstoffen und Mikroorganismen Vorschub geleistet, es löst somit die schwerwiegenden Schäden an der Bausubstanz erst aus. Baumaterialien besitzen eine mehr oder weniger poröse Struktur, die Kanäle, Blasen und Kavernen aufweist. Werden diese Hohlräume mit Wasser aufgefüllt, geht die thermische Isolierfähigkeit dadurch verloren und als weitere Folge stellen sich eine Reihe von Bauschäden ein.

Die Wasseraufnahme kann dabei nach verschiedenen Mechanismen erfolgen:

- Wasseraufnahme in flüssiger Form:** Regenwasser, Sickerwasser, aufsteigende Feuchtigkeit.
- Wasseraufnahme als Wasserdampf:** Kapillarkondensation, hygroskopische Feuchtigkeitsaufnahme, Kondensation.

In jedem Fall kommt es zu einer Durchfeuchtung des Mauerwerks. Die Folge davon sind verschiedene Arten der Verwitterung, die in folgender Grafik und Übersicht zusammengestellt sind.



- Regen- und Oberflächenwasser verursachen mechanische Abtragung und Schäden durch Quellungs- und Schrumpfungsprozesse des Bindemittels, vor allem Fugen zeichnen sich durch hohe Wassersaugfähigkeit aus, nach dem Trocknen entstehen sog. Feuchtenester.
- Mikrorisse durch Temperaturschwankungen führen zu erhöhter Wasseraufnahme.
- Aufsteigende Mauerfeuchte führt zu Salzsprengungen im Mauerwerk, diese können durch Feuchtigkeit bis an die Oberfläche transportiert werden, wo sie auskristallisieren.

- Ablagerung von Salzen unterhalb der Oberfläche führt zur Zermürbung des Baustoffs und zum Oberflächenabtrag durch Salzsprengung.
- Hygroskopische Salze nehmen ständig Feuchtigkeit aus der Umgebung auf und führen zu einer Durchfeuchtung des Baustoffs.
- Abplatzungen und Risse im Mauerwerk durch Frost-Tausalzschäden im Sockelbereich.
- Schwefelsäure aus der Luft reagiert mit Carbonaten (Bindemittel) zu Gips (chemische Korrosion) und Kohlen-säure mit erhöhtem Sprengdruck.
- Befall mit Moos und Mikroorganismen (Pilze, Algen) als Folge längerer Durchfeuchtung von Fassadenoberflächen.

Feuchtes Mauerwerk verringert die Wärmedämmung. Zur Verhinderung der Bauschäden ist es daher erforderlich, dass dem Wasser ein Eindringen in das Mauerwerk verwehrt wird. Das kann auf zwei grundsätzlich verschiedenen Wegen entweder durch filmbildende Beschichtungen oder durch offenporig hydrophobierende Imprägnierungen erfolgen:

- Zu den filmbildenden Oberflächenbehandlungen zählen herkömmliche Harze und filmbildende Farbanstriche. Sie dichten zwar das Mauerwerk gegen Wasser von außen ab, verschließen jedoch zusätzlich die Poren, so dass keine Wasserdampfdurchlässigkeit mehr vorhanden ist.
- Bei offenporig hydrophobierenden Behandlungen wird das Eindringen von Wasser in den Baustoff durch hydrophobe Molekülfilme verhindert, die sich auf der Baustoffoberfläche anlagern, ohne die Wasserdampfdurchlässigkeit des Materials zu vermindern. Zu dieser Gruppe von Behandlungsmitteln zählen Silicone.

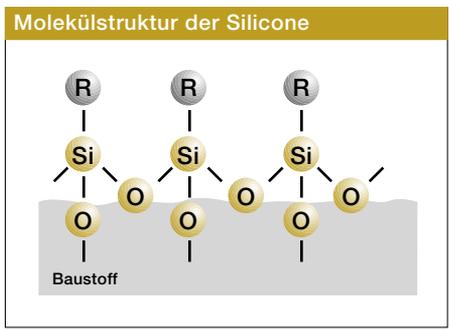
### **Siliconbautenschutzmittel werden in der Bauchemie eingesetzt zur:**

- **Hydrophobierung** als nachträgliche wasserabweisende Imprägnierung von Bauwerken. Die Imprägnierung ist farblos, nicht filmbildend und behindert das kapillare Einsaugen von Wasser und darin gelösten Schadstoffen in den Baustoff zur Verminderung von Feuchteschäden.
- **Steinfestigung** zum Erhalt von Kulturgütern aus Naturstein. Steinbindemittel zur Bildung von Kieselsäuregel im Inneren des Steines bringen die ursprüngliche Festigkeit zurück, ohne das Aussehen der Steine zu verändern.
- **Oleophobierung** als vorbeugende Schutzmaßnahme zur ölabweisenden Imprägnierung von Natursteinen gegen organische Verunreinigungen wie Öle, Fette oder Wachse und Kleber.
- **Bohrlochinjektion** von Siliconen als Horizontalsperre gegen kapillar aufsteigende Mauerfeuchtigkeit, vor allem in Altbauten.

In den verschiedenen Bereichen kommen dabei ganz unterschiedliche siliciumorganische Verbindungen zum Einsatz, wie Siliconate (wasserlösliche Salze von Organokieselsäuren), Silan/Siloxan-Gemische (in organischen Lösungsmitteln oder als Microemulsionen) und Kieselsäureester (zur Steinverfestigung). Diese Siliconverbindungen werden zum Teil vorbeugend in Bau-farben oder Baustoffen als Bindemittel oder Additive zugesetzt oder nachträglich zur Sanierung und Instandhaltung verwendet.

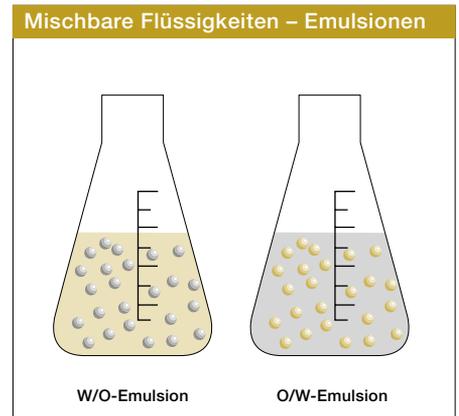
**V4.2 Wirkungsweise der Siliconbautenschutzmittel**

Silicone sind halborganische Stoffe. An das organische Grundgerüst, das dem Quarz (SiO<sub>2</sub>) ähnlich ist, sind organische Reste (R) gebunden. Daraus ergibt sich eine spezifische Molekülstruktur. Diese richtet sich an der Oberfläche des Baustoffes so aus, dass sich die anorganischen Teile der Silicone an den strukturähnlichen Baustoff anlagern. Die wasserabweisende Wirkung tritt durch die organischen Reste auf, die hydrophob sind und eine Sperre gegen das eindringende Wasser bilden. Damit wird die Benetzbarkeit des Baustoffes bzw. der Bausubstanz drastisch vermindert, Wasser kann in flüssiger Form nicht mehr in die Poren eindringen. Da die Poren des Bauwerkes durch die Silicone nicht verschlossen werden, bleibt die Wasserdampfdurchlässigkeit der Mauer erhalten. Schäden durch Kondenswasser innerhalb des Gebäudes werden dadurch ausgeschlossen. Diese wasserabweisende Wirkung der Silicone kann allerdings durch einen hohen Wasserdruck überwunden werden. Deshalb sind die im Bautenschutz eingesetzten Silicone zur Abdichtung von Grundmauern nicht geeignet, an Außenfassaden, also stark geneigten oder senkrechten Flächen kommen sie optimal zum Einsatz.



**V4.3 Exkurs: Emulsionen – Microemulsionen**

Disperse Systeme von nicht miteinander mischbaren Flüssigkeiten werden als Emulsionen bezeichnet. Die eine der beiden Flüssigkeiten bildet dabei die äußere zusammenhängende Phase, in dem die andere, innere Phase in Form feiner Tröpfchen verteilt ist. In Abhängigkeit von der Größe der dispergierten Teilchen spricht man von Makro- und Microemulsionen (kolloid-dispers). Der Teilchendurchmesser variiert dabei von 10<sup>-2</sup> und von 10<sup>-6</sup> cm. Je nach Größe der dispergierten Tröpfchen sind Emulsionen milchig trüb bis klar. Die meisten natürlichen und technischen Emulsionen bestehen aus Wasser und Öl oder Fett als nicht mischbare Phasen. Ist Wasser die äußere und Öl die innere Phase, liegt eine sogenannte Öl-in-Wasser-Emulsion (O/W-Emulsion) vor, deren Grundcharakter durch das Wasser geprägt ist (z. B. Milch, Mayonnaise, Speiseeis). Im umgekehrten Fall spricht man von einer Wasser-in-Öl-Emulsion (W/O-Emulsion) (z. B. Butter, Margarine, Salben).



Zur Herstellung einer Emulsion wird eine Flüssigkeit in einer anderen verteilt, wodurch sich die Oberfläche der verteilten Flüssigkeit beträchtlich vergrößert. Zur Stabilisierung werden Emulgatoren eingesetzt, die die Grenzflächenspannung herabsetzen. Emulgatoren haben den gleichen Aufbau wie Tenside und verhindern somit das Zusammenfließen der emulgierten Teilchen. In der technischen Anwendung bewirken Emulsionen den Transport von Substanzen an Stellen, an denen sie wegen der entgegengesetzt wirkenden Grenzflächenspannung oder Viskosität in reiner Form nicht vordringen können, z. B. durch Poren im Mauerwerk in kapillare Hohlräume.

**V4.4 Hydrophobierung mit SILRES® BS SMK Technologie**

Wegen der relativ großen Teilchen eignen sich Silicon-Emulsionen nicht für die Oberflächenhydrophobierung von Baustoffen, denn diese brechen an der Baustoffoberfläche und bilden hier einen dunklen, glänzenden Belag. Eine nennenswerte Tiefenwirkung wird nicht erzielt. Deshalb werden Silicon-Emulsionen nur als hydrophobierendes Zusatzmittel bei Gips, Gasbeton und Anstrichfarben eingesetzt.

Die bei WACKER entwickelten Silicon-Microemulsions-Konzentrate (SILRES® BS SMK) sind niederviskose, klare, wasser- und lösemittelfreie Flüssigkeiten, die durch bloßes Eingießen in Wasser spontan äußerst feinteilige und stabile Silicon-Microemulsionen ausbilden. Die auf diese Weise erhaltenen wässrigen Siliconprodukte weisen Teilchengrößen von 10-80 nm auf und sind klar bis durchscheinend. Bei den wässrigen Ver-

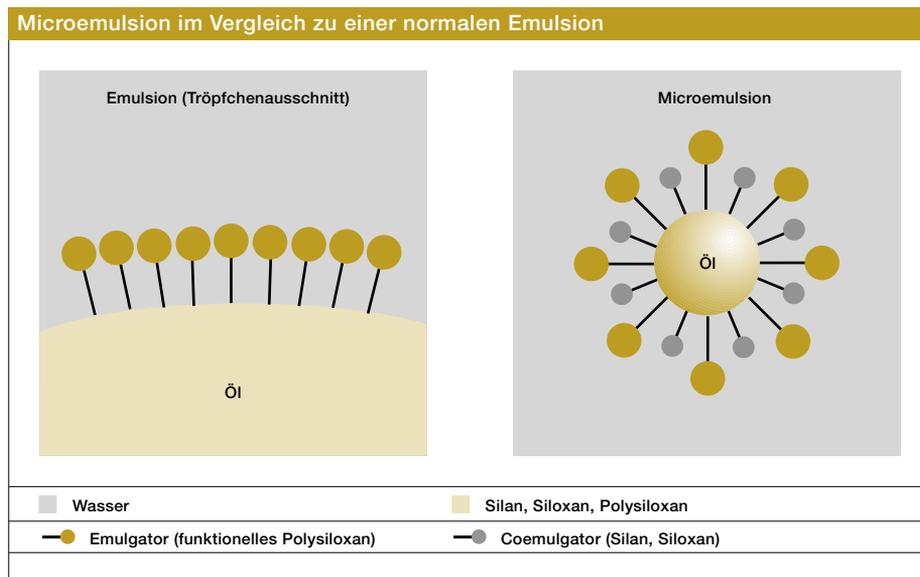
dünnungen handelt es sich um Silicon-Microemulsionen. Da ihre Teilchengröße kleiner als ein Viertel der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes ist, sind diese Systeme transparent. Sie werden den mizellaren Lösungen zugerechnet und als Einphasensysteme bezeichnet. Im Gegensatz zu klassischen Makroemulsionen, die aus Ölphase, Wasserphase und Emulgator bestehen, benötigt man zur Herstellung von Microemulsionen eine zusätzliche vierte Komponente, den Coemulgator. Dabei stellt die Siliconphase die innere Phase einer O/W-Emulsion dar. Der Emulgator ist ein Tensid, welches um die Tröpfchen der inneren Phase eine molekulare Schicht bildet. Diese zeigt jedoch wenig Neigung zur Krümmung, so dass sich ohne Coemulgator nur Makroemulsionen mit Tröpfchengrößen größer 1.000 nm ausbilden. Der Coemulgator stört die kristalline Tensidschicht, macht diese also weich, so dass eine große Krümmungsfähigkeit erreicht wird. Die Folge

ist eine Ausbildung kleinster Tröpfchen im Bereich 10-80 nm bei Verwendung eines Coemulgators.

Veranschaulicht man sich den Teilchengrößenunterschied zwischen den beiden Systemen, so verhalten sich die Partikel von Emulsion und Microemulsion wie Einfamilienhäuser zu Handbällen. Da damit die Oberfläche um den Faktor 100 größer wird, benötigt man eine viel höhere Konzentration an Emulgator und Coemulgator. Aus diesem Grunde verwendet man hier auch Siloxane, die gleichzeitig Wirkstoff sind und mit auspolymerisieren. Die Tröpfchen selbst beinhalten kondensationsvernetzende Bestandteile und gehören zur Produktklasse der Siliconharze mit einer hohen Vernetzungsdichte.

**Die Vorteile des SILRES® BS SMK-Systems liegen auf der Hand:**

- Hohe Wirksamkeit
- Einfache Anwendbarkeit
- Physiologische Verträglichkeit
- Gute Umweltverträglichkeit, da lösemittelfrei
- Hohe Eindringtiefe, auch bei nassem Mauerwerk



**V4.5 Microemulsion und Hydrophobierung. Versuchsvorschriften**

**Versuch 1: Herstellung einer Microemulsion**

Wenige Tropfen des SILRES® BS SMK 1311 Konzentrats werden unter Rühren in ein Becherglas mit Wasser gegeben. Es entsteht eine weißliche, jedoch klare und durchscheinende Lösung. Hält man nun eine Taschenlampe oder besser einen Laserpointer an das Becherglas, so kann man sehr gut den Lichtstrahl in der Emulsion verfolgen (→ Tyndall-Effekt, Nephelometrie), zum Vergleich kann eine klare Lösung (z. B. Zucker oder Kochsalz in Wasser) als Gegensatz verwendet werden.  
 Wie kommt dieser Effekt zustande?  
 Was versteht man unter Streulicht und wieso tritt dieser Effekt bei einer Lösung nicht auf?

**Versuch 2: Hydrophobierung des mitgelieferten Gasbetonsteines**

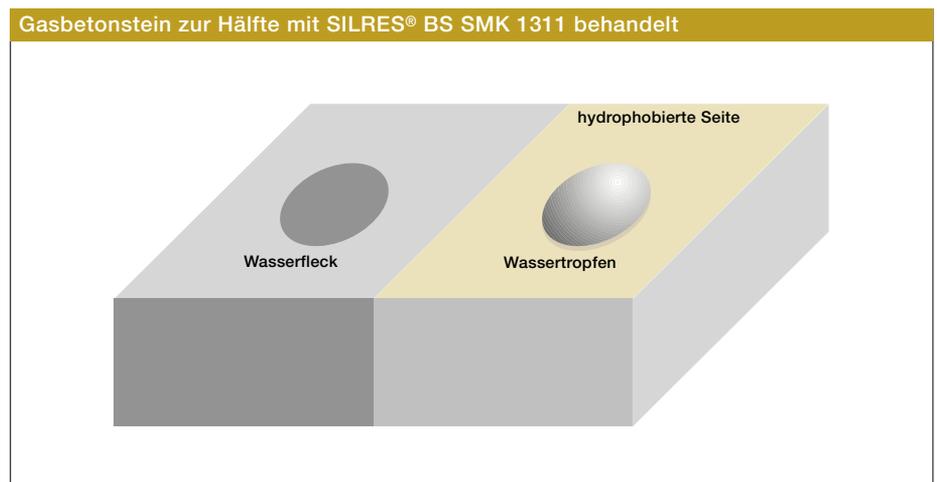
Ein Becherglas wird mit 100-200 ml Wasser gefüllt. 1/10 der Masse des Wassers wird an Konzentrat der Microemulsion SILRES® BS SMK 1311 unter Rühren zugegeben. Es bildet sich eine gelblich weiße Emulsion.

Der mitgelieferte Gasbetonstein wird zur Hälfte in diese Emulsion eingetaucht und nach 5 min wieder herausgenommen. Es können ebenfalls andere Baustoffe wie z. B. ein kleiner Blumentopf oder ein Betonstück mit der Emulsion imprägniert werden. Die eingetauchten Baustoffe werden an Luft getrocknet, schon nach einem Tag tritt beim Gasbetonstein ein schöner ABERLEFFekt an der behandelten Seite auf, während die unbehandelten Stellen aufgetropftes Wasser weiterhin sofort aufsaugen.

Der Effekt ist bei dieser Baustoffart besonders eindrucksvoll, da durch die großen Poren der Eindruck entsteht, dass die Wassertropfen auf dem Stein

schweben. Bei anderen Baustoffen kann der Hydrophobiereffekt auch erst nach 3 Tagen eintreten.

Der Gasbetonstein kann für Demonstrationszwecke über Jahre aufbewahrt werden. Die Emulsionslösung ist nur für etwa 24 Stunden stabil, danach treten Wirksamkeitsverluste auf.





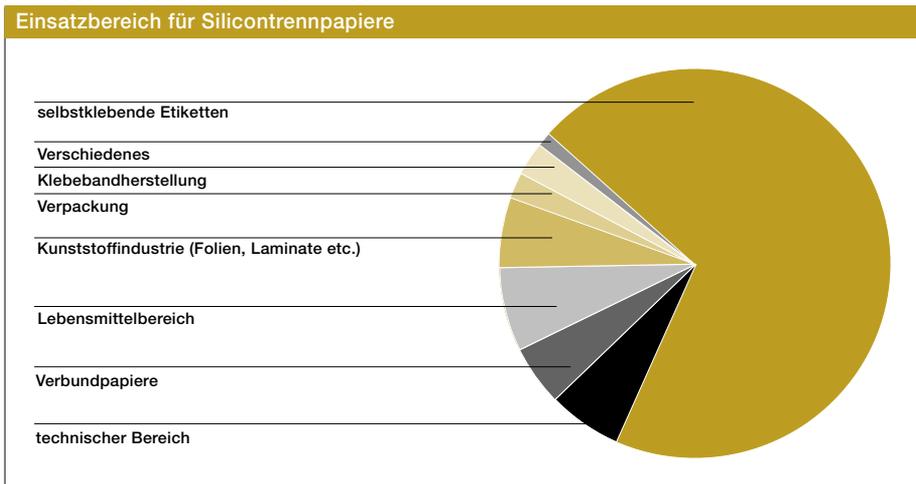
# V5 DEHESIVE® SILICONTRENNPAPIERE – DAMIT DER STICKER DA KLEBT, WO ER SOLL



Chemikalie aus dem Versuchskoffer:  
DEHESIVE® 920  
WACKER® VERNETZER V 24  
WACKER® KATALYSATOR C 05



# DEHESIVE® SILICONTRENNPAPIERE – DAMIT DER STICKER DA KLEBT, WO ER SOLL



## V5.1 Verwendung und chemische Grundlagen

Durch Beschichtung von Papier oder Folie mit vernetzbaren Siliconen erhält man Silicontrennpapiere für einen weiten Einsatzbereich.

Da es aus Preis- und Qualitätsgründen auf einen sehr dünnen und gleichmäßigen Siliconauftrag ankommt, gilt das besondere Augenmerk dem Einsatz von nach dem Auftragen sehr schnell vernetzenden und vorher gut zu verarbeitenden Siliconen.

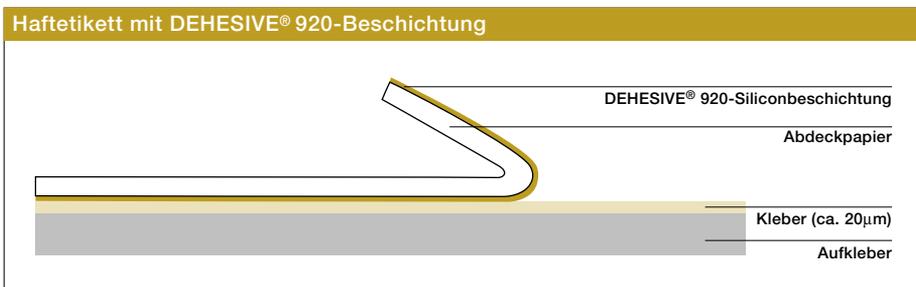
Wie ist nun ganz allgemein ein Haftetikett aufgebaut?

Für die Beschichtung von Abdeckpapieren werden sehr dichte Papiere, wie Pergaminpapiere, Clay-gestrichene Papiere oder sog. Kraftpapiere verwendet, die alle eine sehr geringe Saugfähigkeit und Eindringtiefe aufweisen, so dass sich eine glatte Oberfläche beim Siliconauftrag bildet. Ebenso können verschiedene Kunststoffolien (PE, PP, PVC) mit Silicon beschichtet werden. Die Beschichtung all dieser Materialien geschieht mit Hilfe von speziellen Beschichtungsmaschinen.

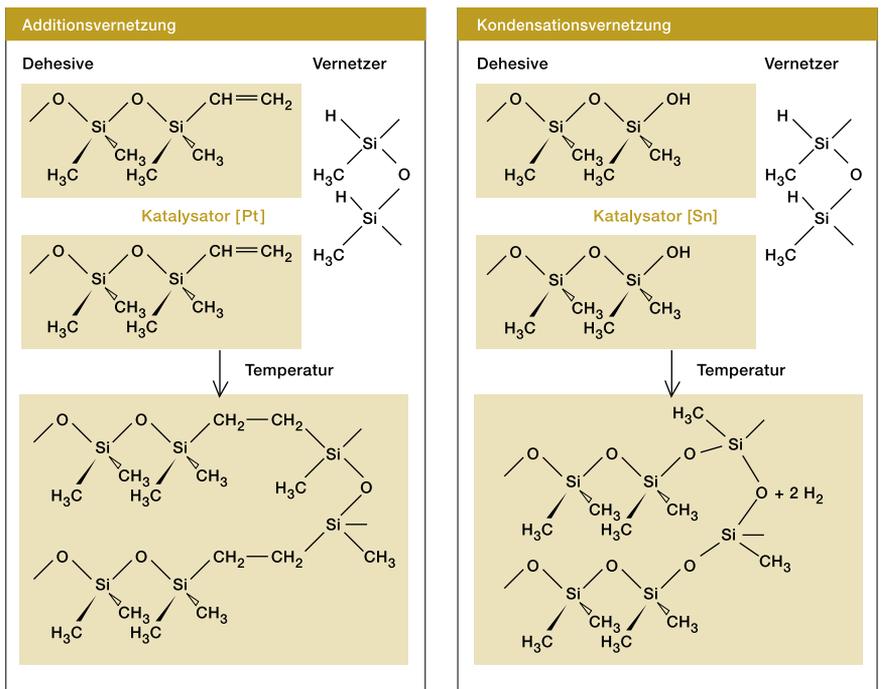
Um eine sehr flexible und individuelle Einstellung für verschiedene Beschichtungen zu ermöglichen, wird DEHESIVE® als 3-Komponenten-Material verarbeitet. Die Komponenten sind:

- **Polymer** (DEHESIVE®): Lösemittelfreie, additions- oder kondensationsvernetzende Methylpolysiloxane.
- **Vernetzer**: Hydrogenpolysiloxane mit einem hohen Gehalt an reaktiven Si-H-Bindungen zur thermischen Härtung additionsvernetzender Systeme, die Art und Menge des Vernetzers hat Einfluss auf die Abriebfestigkeit und die Hafteigenschaften des Siliconfilms.
- **Katalysator**: Meist hochaktive Platinkomplexe (0,1 %, 1.000 ppm) für die thermische Vernetzung von Siliconen, die eingesetzte Katalysatormenge bestimmt die Produktionsgeschwindigkeit, Vernetzungstemperatur sowie die Topfzeit (= maximale Zeitspanne, in der das angerührte Gemisch noch verarbeitbar ist).

Soll die Trennkraft angehoben werden, gibt es die Möglichkeit sog. Trennkraftregler CRA® (nicht im Schulversuchskoffer) zuzumischen. Dabei wird durch den Einbau spezieller Siliconharze die Haftung zwischen Kleber- und Siliconschicht erhöht. Die Stärke dieses Effektes wird durch Art und Menge des zugegebenen Additives bestimmt. Mit Hilfe dieser Trennkraftregler kann das Siliconpapier auf jede Kleberart individuell eingestellt werden.



Chemische Reaktionsabläufe



2. Am oberen Ende mit Hilfe einer Pipette einen Streifen des Reaktionsgemisches auftragen.
3. Mit Hilfe eines dicken Glas- oder Metallstabes wird das Gemisch über das Papier gestrichen. Dabei wird der Glasstab fest auf das Papier gedrückt und nach unten gezogen.
4. Anschließend wird das wie oben beschriebene Papier bei 100-150 °C für 30-60 sec. in den Trockenschrank oder Ofen gelegt. In diesem Temperaturbereich ist die Vernetzung nach dieser Zeit in jedem Fall abgeschlossen.

Durch Variation der Ofentemperatur (z. B. Raumtemperatur, 50 °C, 100 °C) kann die Temperaturabhängigkeit der Vernetzungsgeschwindigkeit überprüft werden.

Bei stark saugfähigem Papier (z. B. normales Kopierpapier) kann der gesamte Prozess nochmals wiederholt werden. Die Trennfähigkeit kann sehr einfach mit einem Tesafilm getestet werden, der ohne Probleme wieder abgezogen werden kann, während er auf unbehandeltem Papier kleben bleibt. In Zusammenhang mit den Versuchen zur Kleberherstellung (V10) kann damit ein eigener Aufkleber produziert werden.

V5.2 Herstellung eines siliconbeschichteten Papiers.

Versuchsvorschrift

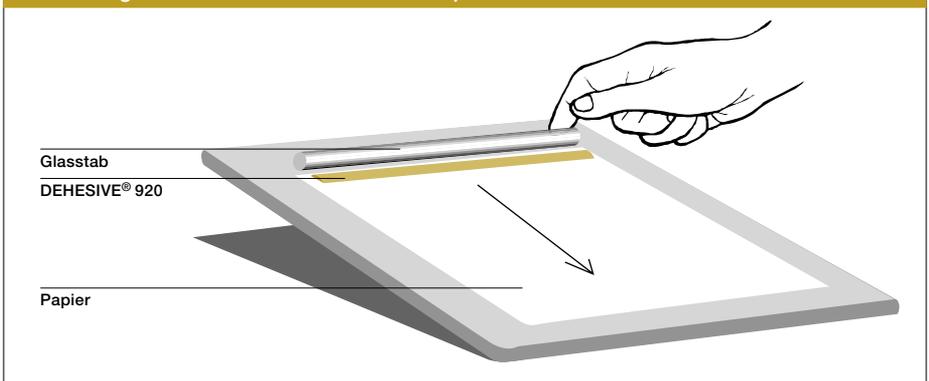
Die Herstellung der Reaktionslösung zur Siliconbeschichtung von Papier muss genau in der vorgegebenen Reihenfolge erfolgen:

Zu 50 g DEHESIVE® 920 gibt man 1,3 g WACKER® VERNETZER V24 und verrührt die Flüssigkeiten gut mit einem Glasstab. Anschließend gibt man 0,5 g des WACKER® KATALYSATORS C 05 zu und verrührt erneut kräftig. Die Mischung ist das fertige Beschichtungsreagenz und kann für etwa 24 Stunden verwendet werden. Die Flüssigkeit kann nun auf verschiedene Papiere aufgetragen werden.

Die Beschichtung geschieht folgendermaßen:

1. Papier mit Hilfe einer Klammer oder mit Klebstreifen auf einem abwischbaren, glatten und festen Untergrund fixieren.

Herstellung eines siliconbeschichteten Papiers



## V6 ELASTOSIL® M – DER REIZ DES ABBILDS



Chemikalien aus dem Versuchskoffer:  
ELASTOSIL® M 4601 A  
ELASTOSIL® M 4601 B  
ELASTOSIL® M 4400  
WACKER® HÄRTER T 37



# ELASTOSIL® M – DER REIZ DES ABBILDS

## V6.1 Kaltvulkanisierende 2-Komponenten-Kautschuke

Der wesentliche Bestandteil von Siliconkautschuk sind Siliconpolymere und Füllstoffe. Durch Vernetzung von chemisch modifizierten linearen Siliconölen entstehen mehr oder weniger weitmaschige Strukturen mit ausgeprägtem elastischen Verhalten. Durch den Zusatz von Füllstoffen (z. B. HDK®, Calciumsilicat, Calciumcarbonat) wird Siliconkautschuk mit seinen charakteristischen Eigenschaften erzeugt.

Die Vernetzung von Siliconkautschuk kann bei Raumtemperatur oder höheren Temperaturen entsprechend den in der Gummiindustrie üblichen Methoden erfolgen. Entscheidend für die Eigenschaften des Vulkanisats ist die Vernetzungsdichte, die in Abhängigkeit von der Vernetzungsart sehr verschieden sein kann. Die im Versuchskoffer mitgelieferten RTV-Siliconkautschuke (Raumtemperatur-Vernetzend) vernetzen nach Kondensations- und Additionsreaktionen. Während bei den RTV-1 Kautschuken neben dem Siliconegemisch nur noch die Luftfeuchtigkeit zur Vernetzung benötigt wird (vgl. Versuch V7), werden bei den RTV-2 Siliconkautschuken zwei Komponenten benötigt. Dabei wird die Hauptkomponente durch Zusatz einer zweiten Komponente vulkanisiert.

Die Kondensationsvernetzung beruht auf der Reaktion von  $\alpha,\omega$ -Dihydroxy-polydimethylsiloxan mit Kieselsäureestern in Anwesenheit von Katalysatoren wie Dibutylzinnlaurat oder Zinn(II)oktoat. Die Reaktionsgeschwindigkeit hängt dabei von der Funktionalität und Konzentration des Vernetzers, seiner chemischen Struktur und der Art des Katalysators ab.

Die Additionsvernetzung beruht auf der Addition von Si-H an Doppelbindungen. Die verwendeten Katalysatoren sind Salze und Komplexe des Platins (Palladiums oder Rhodiums). Die Reaktion läuft schon bei Zimmertemperatur ab, wenn Olefinkomplexe der Platinmetalle verwendet werden. Additionsvernetzende Kautschuke für die Verarbeitung bei erhöhter Temperatur enthalten stickstoffhaltige Platinkomplexe (Platinkomplexe des Pyridins, Benzonitrils, Benzotriazols).

## Eigenschaften von Siliconkautschuk

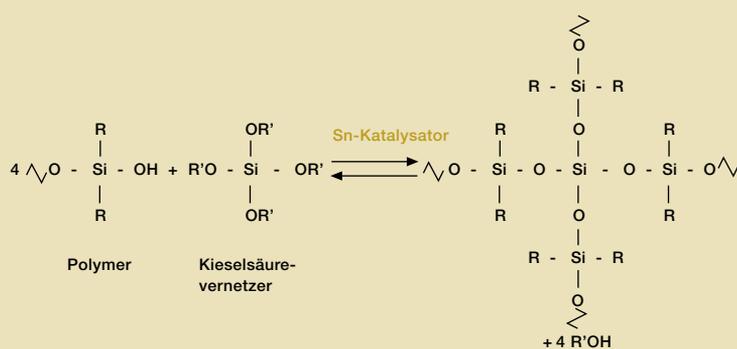
Siliconkautschuke besitzen einige besondere Eigenschaften. Dazu gehören in erster Linie:

- Elastisches Verhalten mit geringer Abhängigkeit von der Temperatur
- Hohe Hitze- und Kältebeständigkeit
- Geringfügige Änderung der mechanischen Werte mit der Temperatur
- Flammfestigkeit
- Elektrische Eigenschaften zur Isolierung
- Hohe Chemikalien- und Ölbeständigkeit
- Antiadhäsive Oberflächeneigenschaften, also hohe Trennwirkung;
- Gasdurchlässigkeit
- Gute Dämpfungseigenschaften bei Schock- und Geräuschkämpfung
- Vielseitigkeit durch Compoundierung, d. h. durch Variation z. B. der organischen Reste

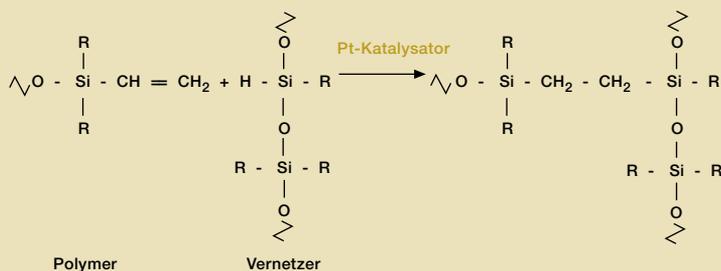
### Die Vernetzung von Siliconkautschuk

Kondensationsvernetzung	Additionsvernetzung
Mischungsverhältnis von Siliconkautschuk und Härter in Grenzen variabel	Mischungsverhältnis der beiden Kautschukkomponenten festgelegt
Vernetzer und Katalysator sind beide im Härter enthalten	Vernetzer in Kautschukkomponente A; Katalysator (Platinkomplex) in Kautschukkomponente B
Vulkanisationsstörungen nur durch Mangel an Wasser	Vulkanisationsstörungen durch verschiedene Substanzen (S-Verbindungen etc.)
Geringer Temperatureinfluss auf die Vulkanisationsgeschwindigkeit	Starker Temperatureinfluss auf die Vulkanisationsgeschwindigkeit
Chemische Schrumpfung durch Abspaltung von Alkohol bei der Vernetzung	Praktisch schrumpffrei
Depolymerisation durch Spaltprodukte (Alkohol) schon ab 80°C möglich	Keine Reversion
Lange Verarbeitungszeit und damit lange Vulkanisationszeiten	Bei langer Verarbeitungszeit schnelle Aushärtung bei höheren Temperaturen möglich

## Kondensationsvernetzung von RTV-2 Siliconkautschuk



## Additionsvernetzung von RTV-2 Siliconkautschuk



## V6.2 Abformung eines Gegenstands mit RTV-2 (additionsvernetzend).

## Versuchsvorschrift

Der 2-Komponenten-Siliconkautschuk ELASTOSIL® M 4601 ist ein gießbarer, bei Raumtemperatur vulkanisierender Kautschuk, der schnell und schrumpffrei vernetzt. Durch die speziellen mechanischen Eigenschaften eignet er sich hervorragend für Abformanwendungen jeglicher Art. Der Platinkatalysator befindet sich in der Komponente B, der Vernetzer ist in der Komponente A enthalten.

## Verarbeitung

## Ausstattung:

Waage, saubere Metall- oder Kunststoffbehälter, Spachtel, Glasstab, evtl. Exsikkator;

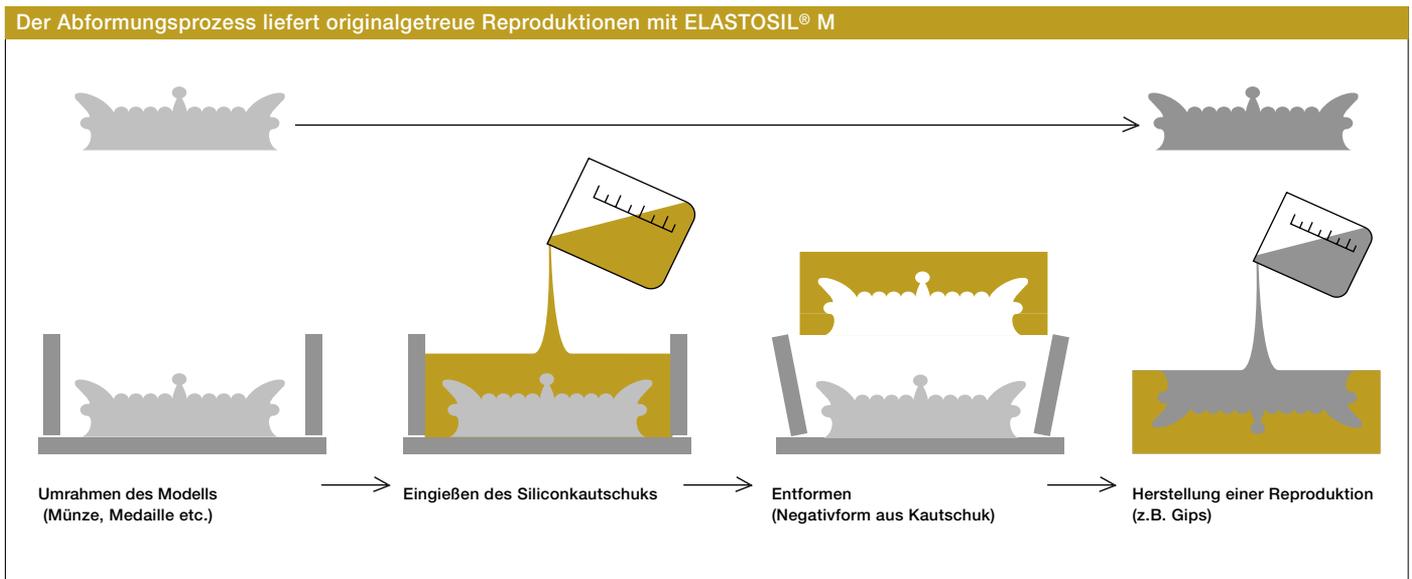
## 1. Vorbereiten der Komponenten:

Alle gießbaren Massen müssen vor jeder Entnahme gründlich aufgerührt werden, um eine gleichmäßige Verteilung der enthaltenen Füllstoffe zu gewährleisten.

## 2. Dosieren und Vermischen der Komponenten:

Die Komponenten sollten genau eingewogen werden, da nur bei exakter Einhaltung des Mischungsverhältnisses reproduzierbare Verarbeitungs- und Vulkanisationszeiten erhalten werden.

Dabei werden die Komponenten ELASTOSIL® M 4601 A und B im Mischungsverhältnis 9 : 1 (Gewichtsteile) eingesetzt. Sie sollten getrennt eingewogen und anschließend miteinander vermischt werden, bis eine einheitliche, weinrote Färbung entstanden ist. Die Verarbeitungszeit für ELASTOSIL® M 4601 liegt bei 15 °C bei 3 Stunden, bei 30 °C bei 40 Minuten.



### 3. Entfernen der eingemischten Luft:

Die Masse kann im Exsikkator unter vermindertem Druck entlüftet werden. Doch Vorsicht! Die Masse dehnt sich während des Evakuierens sehr stark aus, so dass das verwendete Gefäß nur max. zu einem Viertel seines Gesamtvolumens gefüllt sein darf. Während des Evakuierens steigt die Masse hoch und fällt dann meist zusammen. Droht die Masse überzulaufen, wird kurz belüftet und der Vorgang wiederholt. Bei vielen Abformungen ist jedoch eine Entlüftung nicht nötig und kann aus Zeitgründen auch unterbleiben!

### 4. Aufbringen auf das Modell:

Die Mischung wird vorsichtig in eine Form gegossen (alternativ kann auch ein Joghurtbecher mit flachem Boden verwendet werden), auf deren Boden sich der abzuformende Gegenstand befindet.

### 5. Entformung des Gegenstands:

Nach Ablauf der Vulkanisation ist die Masse fest und das Modell kann entformt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Vulkanisationszeit stark temperaturabhängig ist. So beträgt die Vulkanisationszeit bei 23 °C 12 Stunden, bei 70 °C 20 Minuten und bei 150 °C 5 Minuten. Lässt man also zwei Ansätze aushärten, einen bei Raumtemperatur und einen bei 100 °C im Ofen, so kann man die Temperaturabhängigkeit dieser Additionsvernetzung demonstrieren.

### 6. Erstellung einer Reproduktion:

Additionsvernetzende ELASTOSIL® M-Typen können sofort nach dem Abziehen vom Modell zur Reproduktion verwendet werden.

Als Reproduktionswerkstoffe können verwendet werden:

- Wachse
- Gips, durch Vorbehandlung der Form mit Seife wird bei neuen Formen eine Blasenbildung des Gipses verhindert
- Gießharze, wie z. B. Polyesterharze, Polyurethanharze oder Epoxidharze, diese Reproduktionsmassen beanspruchen die Formen am stärksten;
- Metallegierungen, jedoch nur bis zu einer Schmelztemperatur bis maximal 300 °C
- Lebensmittel (z. B. Schokolade, Marzipan, Eis)

Bei zweiteiligen Formen muss zwischen die beiden Kautschukteile ein Trennmittel eingebracht werden (z. B. Siliconöl), um ein Zusammenkleben zu verhindern.

### Katalysatorgifte

Eine Reihe von Substanzen können die Funktion des Platin-Komplekxkatalysators beeinträchtigen (sog. Katalysatorgifte), es kann zu Vulkanisationsstörungen bei Kontakt der unvulkanisierten Masse mit solchen Inhibitoren kommen.

Durch Zugabe von Schwefel, aminhaltigen Substanzen oder dem WACKER® HÄRTER T37 kann es zu Inhibierung oder Verzögerungen der Aushärtung kommen.

### V6.3 Abformung mit RTV-2 (kondensationsvernetzend);

#### Versuchsvorschrift

Der RTV-2 Siliconkautschuk ELASTOSIL® M 4400 gehört zu den gießbaren, bei Raumtemperatur vulkanisierenden, kondensationsvernetzenden 2-Komponenten-Siliconkautschuken. Er besitzt gute Fließfähigkeit und Selbstentlüftung, niedrige Härte und große Dehnbarkeit und Elastizität.

Die Verarbeitung von ELASTOSIL® M 4400 erfolgt durch Zusatz von WACKER® HÄRTER T37.

Der Härter enthält eine Tetraorganozinn-Verbindung. Er ist entflammbar und kann Haut und Augen reizen. Deshalb sind entsprechende Schutzmaßnahmen erforderlich (siehe auch Sicherheitsdatenblatt)! Je nach Härterdosierung variiert die Verarbeitungs- und Vulkanisationszeit des Siliconkautschuks. Kondensationsvernetzende Siliconkautschuke benötigen zur Vulkanisation, vor allem in dickerer Schicht, geringe Mengen an Feuchtigkeit in der Kautschukmasse, die im Normalfall schon zugegeben ist. Die Vulkanisationszeit ist hier weitgehend unabhängig von der Temperatur. Bei der Vernetzung entsteht als Reaktionsprodukt Alkohol, meist Methanol oder Ethanol. Durch Verflüchtigung kommt es zu einem Massenverlust, der zu einer Schrumpfung des Vulkanisats < 5 % führt.

#### Verarbeitung

Das ELASTOSIL® M 4400 in ein Becherglas geben und wiegen. Unter Rühren (z. B. Glasstab) setzt man 2-3 Gewichtsprozent Härter T 37 zu und verrührt die Mischung vorsichtig, um keine Luft mit einzurühren. Anschließend kann mit

der gelben Masse ein Abdruck wie im vorherigen Versuch gegossen werden. Die Verarbeitungszeit beträgt in dieser Mischung 90 min, die Vulkanisationszeit 9-12 h. Die Entformung nach 24 h liefert einen exakten, blasenfreien Abdruck, der sich hervorragend für Reproduktionen eignet.

Wird der vorgeschriebene Mengenbereich des Härters unterschritten (Unterdosierung) kommt es zur Untervulkanisation, der Kautschuk bleibt weich oder klebrig, bei Überdosierung des Härters kann es zu einem weitgehenden Verlust der mechanischen Festigkeit führen. Die Vulkanisation kann bei Temperaturen zwischen 0 °C und max. 70 °C durchgeführt werden.

Bei Temperaturen über 80 °C kommt es zu einer Umkehrung der Vernetzungsreaktion, der sog. Reversion: Das System bleibt oder wird wieder klebrig und flüssig.

#### Weitere Versuchsvorschläge

Neben dem eigentlichen Abformen kann die Kondensationsreaktion – also die Entstehung einer flüchtigen niedermolekularen Verbindung – durch Wägung vor und nach der Vulkanisierung demonstriert werden.

Außerdem kann ein Ansatz bei >80 °C im Trockenschrank stehen gelassen werden, so dass hier keine Aushärtung eintritt. Weiterhin kann parallel ein Ansatz bei 40 °C und bei Raumtemperatur erfolgen, um die Temperaturunabhängigkeit der Reaktion zu demonstrieren.

## V7 ELASTOSIL® SILICONDICHTSTOFFE – FÜRS AQUARIUM



Chemikalie aus dem Versuchskoffer:  
ELASTOSIL® E 43 transparent

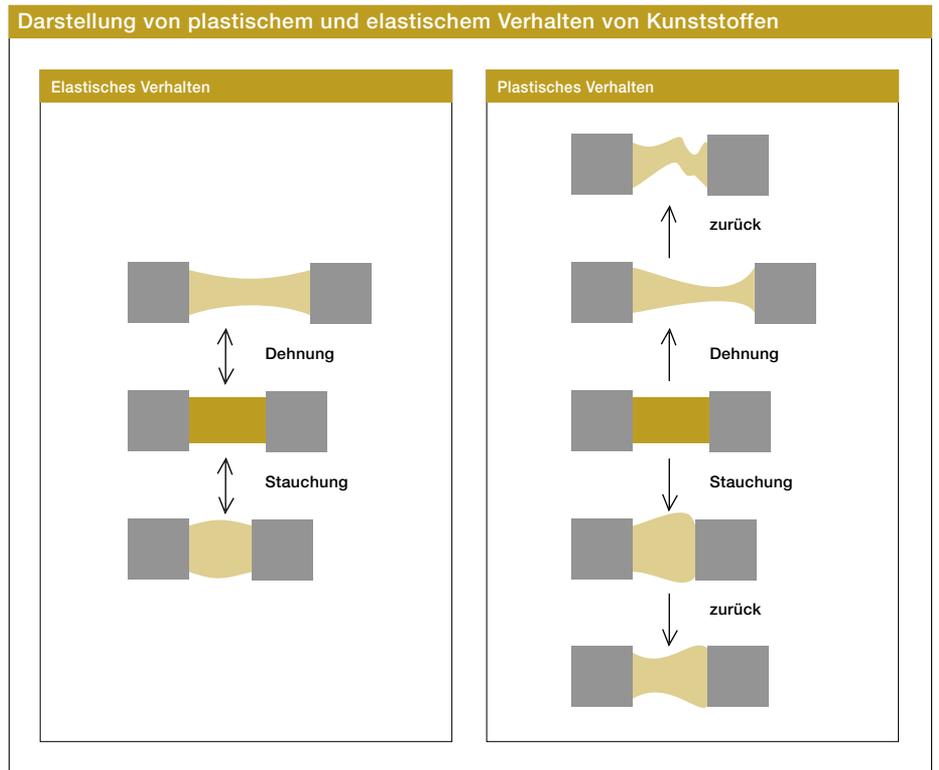


# ELASTOSIL® SILICONDICHTSTOFFE – FÜRS AQUARIUM

## V7.1 Fugendichtungsmassen – Verwendung

Siliconfugenmassen haben einen weiten Einsatzbereich. Besonders die sehr leicht zu verarbeitenden RTV-1 (= Raum-Temperatur-Vernetzung, 1-komponentig) Siliconkautschuke kommen wegen ihren ausgezeichneten Eigenschaften zur Anwendung. Sie sind anwendungsfertige 1-Komponentenmassen fließfähiger oder pastöser Konsistenz, die mit der Feuchtigkeit der Luft zu einem elastischen Silicongummi reagieren. Sie lösen viele Abdichtungs-, Verklebungs- und Beschichtungsprobleme. Diese Dichtstoffe werden verwendet im Kfz-, Schiffs- und Flugzeugbau, in der Elektroindustrie, Elektronik und im Maschinenbau, vor allem aber im Bausektor. Sie kommen hier zum Einsatz im Glas- und Fensterbau, bei der Natursteinverfugung, im Kunststoffbau, im Tiefbau, im Sanitärbereich und beim Structural Glazing (geklebte rahmenlose Verglasung von Glasfassaden).

Gebäude sind ständigen Bewegungen und Spannungen ausgesetzt, deren Ursachen thermische Schwankungen, feuchtigkeitsbedingte Einflüsse, das Schwinden von Baustoffen, mechanische Schwankungen, Absenkung des Untergrunds u. a. sein können. Die Folge solcher Bewegungen sind Risse im Mauerwerk, die nur durch eine elastische Verfugung vermieden werden können. Besonders beim Zusammenfügen unterschiedlicher Materialien (Glas/Metall, Stein/ Metall etc.) müssen elastische Dichtstoffe verwendet werden, um die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der verschiedenen Werkstoffe auszugleichen. Während plastische Massen maximale Bewegungsaufnah-



men von 3-5% haben, liegt dieser Wert für elastische Massen bei 15-25%.

Silicondichtstoffe besitzen neben ihrem elastischen Verhalten noch Vorteile durch ihre extrem lange Lebensdauer, die auf die hohe Witterungs-, Strahlungs- und Chemikalienbeständigkeit zurückzuführen ist. Außerdem haben sie eine gute Haftung auf den meisten Untergründen und sind über einen weiten Temperaturbereich (-30 bis +80 °C) in ihren Dehnungseigenschaften stabil. Bis 150 °C behalten alle Typen ihre Elastizität bei, spezielle Typen bis 250 °C.

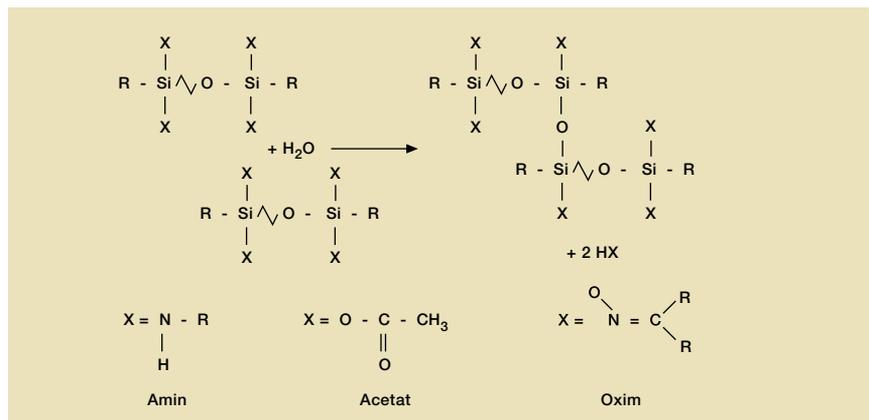
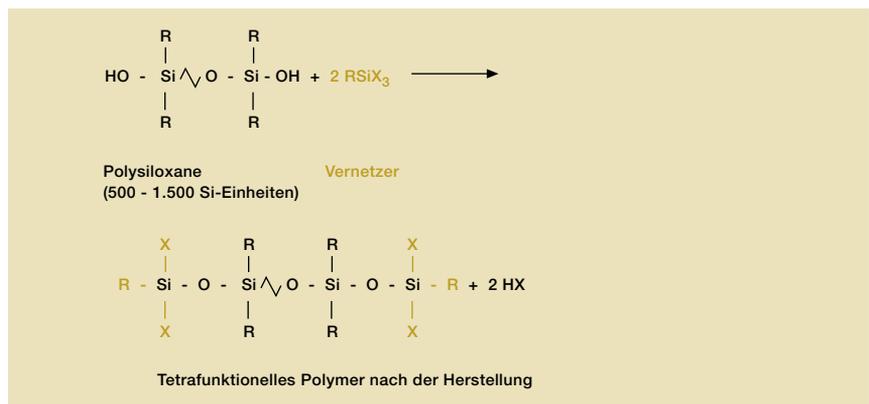
Sehr wichtig ist bei vielen Anwendungen von Fugenmassen die Standfestigkeit, die darin besteht, dass eine Masse sofort nach dem Auspressen auf vertikale Flächen nicht mehr fließt. Diese Eigenschaft wird durch Verwendung von HDK® als wichtigster Füllstoff in Siliconfugenmassen erzielt (thixotroper Effekt).

**V7.2 Chemische Zusammensetzung eines RTV-1 Siliconkautschuks**

WACKER RTV-1 Siliconkautschuke bestehen aus Polydimethylsiloxanen, Vernetzern, Füllstoffen, teilweise auch aus Lösemitteln und Hilfsstoffen. Bei der Herstellung reagieren endständige OH-Gruppen des Polysiloxans mit Vernetzern unter Bildung vulkanisierbarer Produkte. Bei Zutritt von Luftfeuchtigkeit setzt die Vernetzung unter Abgabe von Spaltprodukten ein. Diese auch als Vulkanisation bezeichnete Reaktion beginnt an der Oberfläche des aufgetragenen Siliconkautschuks mit Bildung einer Haut und setzt sich allmählich ins Innere der Masse fort. Durch Verwendung abgeschlossener Systeme (Tube, Kartusche) wird eine Vulkanisation verhindert. Je nach Art der verwendeten Vernetzer unterscheidet man folgende Systeme:

- a) **Basische Systeme:** Sie spalten bei der Vulkanisation geringe Mengen eines Amins ab (A-Typen)
- b) **Saure Systeme:** Sie spalten bei der Vulkanisation geringe Mengen Essigsäure ab (E-Typen)
- c) **Neutrale Systeme:** Sie spalten bei der Vulkanisation geringe Mengen eines Oxims ab (N-Typen)

**Vulkanisationsmechanismus der verschiedenen RTV-1 Siliconkautschuke**

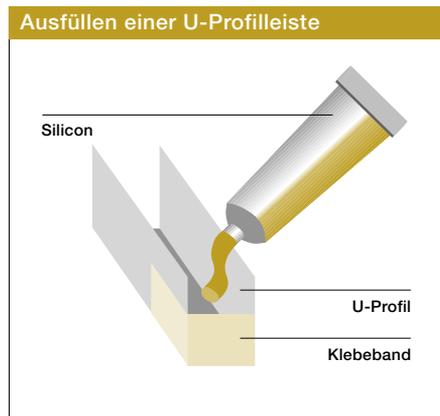


### V7.3 Eigenschaften von Dichtungsmitteln. Versuchsvorschriften

#### Versuch 1:

Der Handwerker steht immer wieder vor der schwierigen Frage nach dem geeigneten Dichtungsmittel. Im Haushalt oft verwendete Mittel zum Abdichten und Verfugen sind Gips und Silicon. Wir wollen uns in einem einfachen Versuch die Eigenschaften von Silicon und Gips ansehen, um zu überlegen, welches der beiden Dichtungsmittel für welche Fugen geeignet ist.

Man klebt zwei U-Profilleisten mit einem Klebeband ab und spritzt eine der beiden Leisten hohlraumfrei mit der Siliconmasse ELASTOSIL® E 43 aus und drückt mit einem feuchten Finger die Masse an. Die zweite Profilleiste wird hohlraumfrei mit Gips befüllt und der Überstand mit einem Spatel abgezogen. Wenn keine Profilleisten zur Verfügung stehen, kann man sich auch mit Streichholzschachteln behelfen. Nun steckt man in jede Dichtungsmasse ein Thermometer und überstreicht nach dem Aushärten (einige Stunden) die Massen mit Wasserfarbe.



#### Versuch 2:

#### Einfluss der Luftfeuchtigkeit

Ein weiteres U-Profil wird mit einer Siliconmasse gefüllt und parallel zu obigem Versuch in einem Exsikkator im Wasserstrahlvakuum über trockenem Kieselgel gelagert.

Wie verläuft in diesem Fall die Vulkanisation? Welche Konsistenz besitzt die Masse nach einem Tag, einer Woche?

#### Beobachtungsaufgaben:

Prüfe die drei Dichtungsmassen und stelle die folgenden Eigenschaften in einer Tabelle gegenüber:

1. Geruchsentwicklung
2. Temperaturentwicklung beim Aushärten
3. Schlagfestigkeit
4. Konsistenz
5. Überstreichbarkeit mit Wasserfarbe

Finden bei der Aushärtung chemische Reaktionen statt? Welche Dichtungsmittel nimmt man infolge ihrer Eigenschaften für welchen Bereich. Wieso verwendet man die essigsauer vernetzenden Systeme vorwiegend für Glas und glasierte Flächen, nicht jedoch für Marmor, Kalksandstein und einige Metalle?

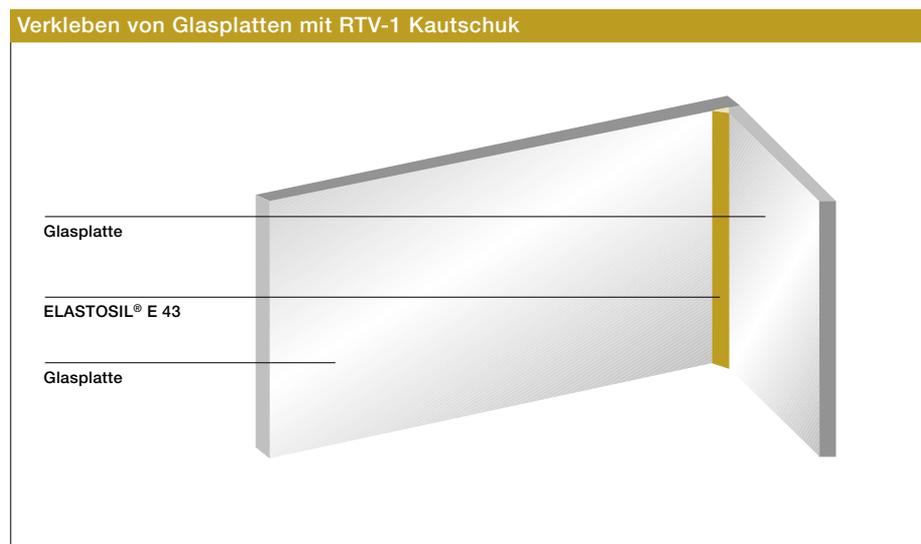
### Versuch 3:

#### Bau eines Aquariums

Fettfreie Glasplatten (Reinigung mit Aceton oder Ethanol) werden mit Hilfe eines RTV-1 Kautschuks wasserdicht verfugt, so dass ein Aquarium daraus entsteht. Die Glasplatten werden rechtwinklig mit ELASTOSIL® E 43 verklebt und über Nacht stehen gelassen.

Die Haut bildet sich auf dem Polymer innerhalb von 25-40 Minuten, nach einigen Tagen ist eine elastische Verbindung entstanden. Wieso erfolgt die Hautbildung sehr schnell, die endgültige Aushärtung jedoch erst nach einiger Zeit?

Verklebt man nun fünf Platten miteinander (4 Seitenwände und Boden), so erhält man ein kleines wasserdichtes Aquarium, das man für den Versuch zur Imprägnierung eines Bausteines verwenden kann. Alternativ können auch Fliesen o. ä. zum Verkleben verwendet werden.



## V8 SILICONKAUTSCHUK – FLEXIBEL UND FORMGERECHT



Chemikalie/Zubehör aus dem  
Versuchskoffer:  
RTV-Plättchen



# HTV-SILICONKAUTSCHUK – FLEXIBEL UND FORMGERECHT

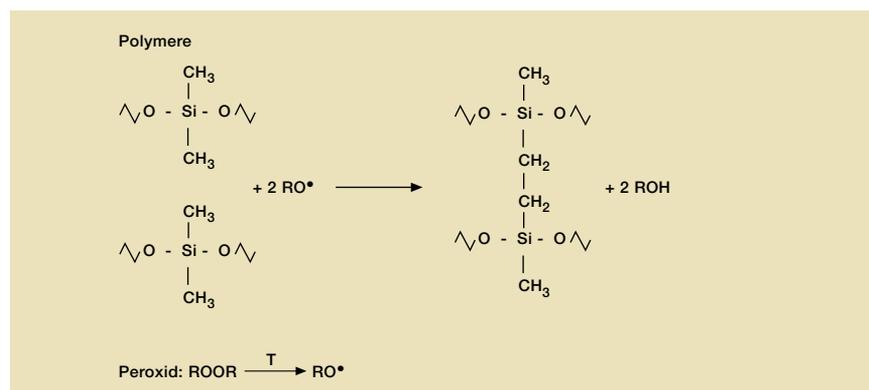
## V8.1 Radikalische Polymerisation und Eigenschaften von ELASTOSIL® R

Eine Einteilung in verschiedene Siliconkautschuk-Produktgruppen erfolgt in erster Linie nach dem verarbeiteten Grundpolymer und der Vernetzungsart. Neben den Raumtemperaturvernetzenden-Siliconkautschuken (RTV) (vgl. V6) gibt es auch Kautschuke, die erst bei erhöhter Temperatur vulkanisieren (HTV), bei WACKER die sog. ELASTOSIL® R Siliconkautschuke. Diese zeichnen sich durch verschiedene herausragende Eigenschaften aus, die sie für viele Einsatzgebiete auch unter extremen Bedingungen geeignet machen.

HTV-Siliconkautschuke sind Kautschukmischungen aus hochmolekularen Polydiorgano-Siloxanen, die bei erhöhter Temperatur vulkanisieren. Das Grundpolymer ist sehr zähflüssig und besitzt Kettenlängen um 10.000 Si-Einheiten und Molekulargewichte von 400.000 bis 1 Million. Durch Einbau von Alkyl-, Alkenyl-, Vinyl-, Phenyl- oder Trifluoropropylgruppen wird das starre Gerüst des Si-O-Polymers modifiziert und die Eigenschaften können variiert werden. Diese linearen Polymerketten bilden die Basis der Siliconkautschuke.

Die Vulkanisation der HTV-Siliconkautschuke wird meist unter Verwendung von organischen Peroxiden (radikalische Vernetzung) bei erhöhter Temperatur durchgeführt.

### Radikalischer Vulkanisationsmechanismus der verschiedenen RTV-1 Siliconkautschuke



Organische Peroxide der allgemeinen Formel R–O–O–R zerfallen bei erhöhter Temperatur in chemisch hochreaktive Radikale, die die linearen Ketten der Polymermatrix untereinander verbinden. Der Zerfall der Peroxide kann auch durch energiereiche Strahlung, wie UV-Licht oder Mikrowellen eingeleitet werden. Dadurch entsteht ein dreidimensionales Netzwerk, das den plastischen Kautschuk in einen elastischen Gummi überführt.

Die Anwesenheit von Vinylgruppen verkürzt die Vulkanisationszeit bei Verwendung von Peroxiden, da ihre Aktivierungsenergie niedriger liegt als die der Methylgruppe. Durch Variation der Vinylgruppensdichte des Grundpolymers kann so die Vernetzungsdichte gesteuert werden. Wird ein Teil der Methylgruppen durch Phenylgruppen ersetzt, so bleiben die Siliconkautschuke bis -90 °C elastisch.

Die nach der Vernetzung entstandenen HTV-Kautschuke sind sog. Elastomere und besitzen ein breites Spektrum hervorstechender Eigenschaften:

- Anwendungsmöglichkeiten in einem Temperaturbereich von -50 °C bis zu +200 °C; spezielle Einstellungen erlauben den Einsatz von -90 °C bis zu +300 °C
- Hohe Alterungsbeständigkeit auch unter starken Belastungen, z. B. durch Ozon oder heißen Wasserdampf
- Gute Beständigkeit gegenüber vielen Chemikalien
- Hervorragende elektrische Eigenschaften
- Gute physiologische Eigenschaften;
- Problemlose, wirtschaftliche Verarbeitung mit den in der Kunststoffindustrie üblichen Maschinen wie Pressen, Spritzgießautomaten, Extrudern, Kalandern etc.
- Eine große Palette farblicher Gestaltungsmöglichkeiten

Einsatzbereich für HTV-Silikonkautschuke

Automobil	Elektro	Lebensmittel/Pharma	Bau	Maschinen
<b>Dichtungen für:</b> Antriebswellen Ventile Ölwannen Scheinwerfer Schiebedächer Kühler usw.	<b>Kabel für:</b> Industrieanlagen Elektro-, Mikrowellenherde Grills, Bügeleisen Heizlüfter Kaffeemaschinen Röntgengeräte Halogenlampen usw.	<b>Dichtungen für:</b> Kaffeemaschinen Getränkeautomaten Thermoskannen Dampfkochtöpfe Mikrowellen Sterilisationsschränke usw.	<b>Profile für:</b> Fugenbänder Trockenverglasungen Fassadendichtungen Fensterrahmen Structural Glazing	<b>Walzen für:</b> Kopiergeräte Kunststoff-, Textil-, Papier-, Stahl-, Keramik-, Holz-, Glasverarbeitung
<b>Schutzkappen für:</b> Zündkerzen Verteiler Scheinwerfer Stecker usw.	<b>Tastaturen für:</b> Taschenrechner Computerspiele Telefone Fernbedienungen Schalterabdeckungen Isolatoren, Kabelmuffen etc.	Dialyseschläuche Narkosemasken-, -schläuche Beatmungsbeutel Stopfen, Dichtungen Ventile und Membranen für mediz. Geräte	<b>Notstromkabel für:</b> Kraftwerke Hochhäuser U-Bahnen	O-Ringe Ventile Förderbänder Flachdichtungen Kompensatoren usw.
<b>Schläuche für:</b> Kühlungssysteme Heizungssysteme Turbolader, Zündkabel Türpuffer usw.				

WACKER ist im Bereich der heißvulkanisierenden Siliconkautschuke weltweit zum Technologieführer geworden. Aufgrund der hervorragenden Kombination von Produkt- und Verarbeitungseigenschaften erschließen die HTV-Silikonkautschuke ein hohes Technologie- und Marktpotential und sind in zahlreichen Anwendungen im Einsatz.

Eine Spezialität stellen HTV-Silikonkautschuke zur Herstellung von Industrie-Sicherheitskabeln dar. In besonders sensiblen Bereichen öffentlicher Gebäude eingesetzt, können sie die Funktionalität des Kabels auch noch im Brandfall über einen längeren Zeitraum gewährleisten. So können lebenswichtige Steuerungs- bzw. Kommunikationsanlagen selbst während eines Brands oberhalb 900 °C funktionsfähig gehalten werden. Während normaler Siliconkautschuk zu pulverförmiger Asche verbrennt, bildet die neue Spezialmischung ein elektrisch isolierendes Gerüst um den stromführenden Leiter und sichert damit den Funktionserhalt.

## V8.2 ELASTOSIL® R – Der Werkstoff mit breitem Eigen- schaftsspektrum.

### Versuchsvorschriften

Die mitgelieferten drei verschiedenfarbigen Plättchen HTV-Siliconkautschuk (weiß, blau und schwarz) sollen im Vergleich zu konventionellen Kunststoffen (z. B. aus einem Demonstrations-Kunststoffkoffer) auf ihre besonderen Eigenschaften überprüft werden:

- weiß: kältebeständig
- blau: schwer brennbar
- schwarz: hitzebeständig

### Heißluft

Das Verhalten der verschiedenen Siliconkautschuke und von Vergleichskunststoffen bei Hitze soll untersucht werden. Es sollte überprüft werden, ob die Kunststoffe bei vorsichtigem Erhitzen erweichen oder nicht (Thermoplaste oder Duroplaste). Dazu kann ein normaler Ofen oder auch ein Trockenschrank verwendet werden.

Silicongummi zeigt in der Hitze im Vergleich zu anderen Elastomeren ein teilweise erheblich besseres Verhalten (siehe Plättchen mit der schwarzen Farbe). In diesem Zusammenhang ist auch besonders die ausgezeichnete Ozon- und Strahlenbeständigkeit von Silicongummi herauszustellen, die sich in einer hervorragenden Witterungsbeständigkeit auswirkt.

### Die Beständigkeit von Silicongummi bei hohen Temperaturen kann durch folgende Angaben beschrieben werden:

bei 150 °C:	2-4 Jahre
bei 200 °C:	1 Jahr
bei 250 °C:	100 Tage
bei 300 °C:	etwa 14 Tage

Bei Temperaturen bis 180 °C ändern sich die Eigenschaften von Silicongummi nur sehr langsam. Durch bestimmte Additive (Ruß, Eisenoxid etc.) kann eine ausgesprochene Hochtemperaturbeständigkeit bis 250 °C erzielt werden. Handelt es sich nur um sehr kurze Temperaturbelastungen, so werden auch Temperaturen bis 900 °C überstanden. Im Temperaturbereich bis 200 °C fallen die mechanischen Werte nur reversibel ab, die Reißfestigkeit erhält nach Hitzebeanspruchung bei 200 °C die ursprünglichen Werte wieder, solange kein thermischer Abbau des Siliconpolymers stattgefunden hat. Bei hoher Temperatur (>200 °C) werden die organischen Substituenten am Silicium radikalisch abgespalten und somit zusätzliche Vernetzungsstellen zwischen den Polymerketten geschaffen. Dieser irreversible chemische Prozess zeigt sich im Gewichtsverlust. Damit einher geht eine Schrumpfung der Gummiteile in Verbindung mit zunehmender Versprödung. Das heißt: Härteanstieg, Abfall der Reißfestigkeit sowie Verschlechterung des Weiterreißwiderstands. Das Isolationsvermögen dagegen bleibt nahezu konstant, der Gummi nähert sich immer mehr den isolierenden Eigenschaften von Quarz.

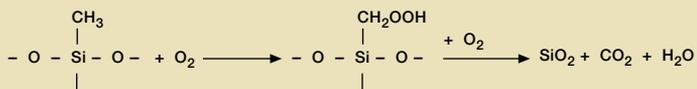
Bei extremen Temperaturen kommt es durch die Füllstoffe zur hydrolytischen Spaltung der Polymerketten, der Gummi erweicht. Ist kein Sauerstoff bei gleichzeitiger hoher Temperatur vorhanden, so erfolgt eine Depolymerisation des Gummis, er wird unbrauchbar. Die sehr gute Temperaturbeständigkeit gilt deswegen nur bei Anwesenheit von Luftsauerstoff. In Wasserdampf kann Silicongummi bis etwa 130 °C langfristig belastet werden. Dies bedeutet, dass Silicongummi für medizinische Anwendungen ohne Probleme in Dampf sterilisiert werden kann.

### Flamme

Das Verhalten von verschiedenen Kunststoffen in der Flamme eines Brenners soll untersucht werden. Dabei sollen die Brennbarkeit und der Geruch der Verbrennungsgase (nur ganz vorsichtig zufächeln!) ermittelt werden. Werden die Kunststoffe erst weich bevor sie sich zersetzen, mit welcher Flamme brennen sie und wie sieht der Verbrennungsrückstand aus?

Die Selbstentzündungstemperatur von Vulkanisaten aus ELASTOSIL® R liegt bei etwa 430 °C. Die Temperatur der Flamme beträgt 750 °C. Brennt Silicongummi, so bildet sich eine weiße, aus Siliciumdioxid bestehende Asche, die immer noch hervorragende elektrisch-isolierende Eigenschaften hat. Beim Verbrennen entstehen nur sehr geringe Rauchmengen. Entscheidend ist jedoch, dass bei der Verbrennung keine toxischen oder aggressiven Gase wie HCl oder Schwefelverbindungen entstehen.

## Reaktionsabläufe bei der Verbrennung eines Silicongummis



Durch besondere Zusätze zum Silicongummi (TiO<sub>2</sub>, Platin- oder Aluminiumverbindungen) entstehen besonders schwer brennbare Verbindungen, die so eingestellt werden können, dass die Flamme nach kurzer Zeit wieder erlischt (siehe Plättchen mit der blauen Farbe).

**Kältebeständigkeit**

Das elastische Verhalten von verschiedenen Kunststoffen bei Kälte soll überprüft werden. Dazu legt man die verschiedenen Plättchen in einen Gefrierschrank und untersucht die Elastizität.

Silicongummi zeichnet sich durch elastisches Verhalten auch bei extrem niedrigen Temperaturen aus. Besondere Tieftemperaturmischungen erreichen eine Beständigkeit bis in Bereiche von -60 bis -120 °C. Der Einbau von Phenylgruppen bewirkt dabei ein starkes Absinken der Kristallisationstemperatur und Glasübergangstemperatur (siehe Plättchen mit der weißen Farbe).

V9 DER „HÜPFENDE KITT“ –  
PLASTISCH UND ELASTISCH IN EINEM



Chemikalie aus dem Versuchskoffer:  
WACKER® HÜPFENDER KITT 29



# DER „HÜPFENDE KITT“ – PLASTISCH UND ELASTISCH IN EINEM

## V9.1 Viskoelastizität

Kunststoffe unterscheiden sich auch durch besondere mechanische Eigenschaften von anderen Werkstoffen. Unter einer lang andauernden Druckbelastung (z. B. unter dem Einfluss des Eigengewichtes) beginnen sie wie eine hochviskose Flüssigkeit zu fließen, während sie sich bei einer kurzfristigen schnellen Krafteinwirkung wie elastische Festkörper verhalten. Diese Eigenschaft wird als Viskoelastizität bezeichnet.

Dieses Verhalten wird durch die nebenvalenten Kräfte verursacht. Abschnitte in Polymerketten, die durch nebenvalente Bindungen verknüpft sind, wirken wie Vernetzungen. Zwischen solchen schwachen Vernetzungen können die Polymerketten durch eine kurze Zugbe-

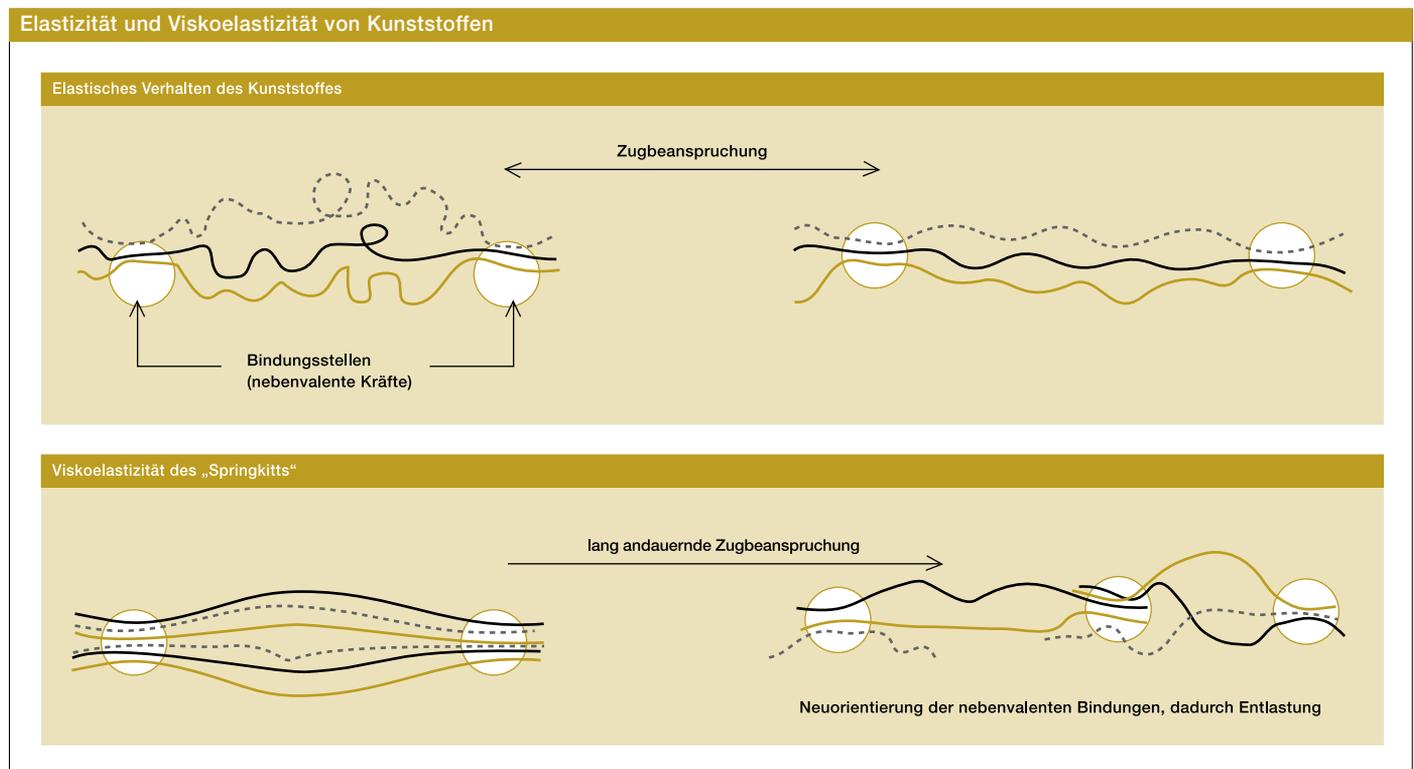
anspruchung gedehnt werden, wobei sich beim Nachlassen der Spannung die ursprüngliche Form wieder einstellt. Bleibt jedoch die Zugbeanspruchung längere Zeit bestehen, so erfolgt eine Neuorientierung der nebenvalenten Bindungen. Dadurch geht die ursprüngliche Form der Kunststoffe verloren.

Besonders gut zeigt der „Hüpfende Kitt“, ein Siliconpolymer von WACKER, die Eigenschaften der Viskoelastizität. Eine zu einer Kugel geformte Probe zerfließt allmählich und bildet nach längerer Zeit eine flache Scheibe. Bei Einwirkung größerer Kräfte verhält sich der „Hüpfende Kitt“ wie ein elastisches Material mit sehr hoher Rückprallelastizität: Wirft man eine Kugel aus „Hüpfendem Kitt“ gegen den Boden, so lassen sich ent-

sprechend dem Kraftaufwand doppelte bis dreifache Rückprallhöhen erzielen.

Bei sehr hoher Krafteinwirkung zeigt der „Hüpfende Kitt“ die Eigenschaften eines spröden Glases. Schlägt man z. B. mit einem Hammer auf eine Kugel aus „Hüpfendem Kitt“, so verursacht der beim Auftreffen wirkende Impuls ein Zerspringen in kleine Einzelteile.

Eine Erklärung dieser Erscheinung kann man vom Aufbau des im „Hüpfenden Kitt“ enthaltenen Polymers ableiten. Es enthält nicht nur die für die Siliconpolymere typischen Siloxankettenglieder, sondern auch Boroxangruppen (ca. 0,5 Mol%), die aus Bor- und Sauerstoffatomen bestehen (jedes 5. bis 100. Siliciumatom ist durch Bor ersetzt). Die



in der Polymerkette eingebauten Atome weisen auf Grund ihrer unterschiedlichen Elektronegativität jeweils eine elektrische Teilladung auf, der Sauerstoff eine negative und das Bor eine positive. Wird nun durch äußeren Einfluss eine Annäherung zwischen zwei Ketten erzwungen, so kommt die elektrostatische Anziehungskraft zur Wirkung und es bildet sich eine Vernetzungsstelle. Je größer die Krafteinwirkung, desto mehr Vernetzungsstellen bilden sich aus, was wiederum die Erscheinung eines elastischen oder auch sprödelastischen Verhaltens zur Folge hat. Die Bindungskräfte dieser Vernetzungsstellen sind jedoch so schwach, dass schon die thermische Bewegung bei drucklosem Zustand ausreicht, um die Vernetzungen wieder aufzuheben. Beim „Hüpfenden Kitt“ handelt es sich also um eine unter Krafteinwirkung erzwungene Vernetzung, die nach Entspannung wieder aufgehoben wird.

Der „Hüpfende Kitt“ wird hauptsächlich als Therapeutikum eingesetzt. Da er beim Kneten mit der Hand einer Deformierung einen um so höheren Widerstand entgegensetzt, je größer die Krafteinwirkung ist, eignet er sich zur Stärkung der Armmuskulatur.

### V9.2 Übungen mit dem WACKER® HÜPFENDEN KITT 29

Man kann aus dem „Hüpfenden Kitt“ einen Ball formen und ihn aufprallen lassen, ohne dass dabei die äußere Form verloren geht (schnelle Krafteinwirkung). Der Wurf des Balles an eine Wand verursacht bei entsprechendem Kraftaufwand doppelte bis dreifache Rückpralldistanzen.

Lässt man den Ball aus RTV-2 Siliconkautschuk jedoch längere Zeit liegen, zerfließt er zu einer fladenförmigen Scheibe. Ebenso verändert der Kitt seine Form beim manuellen Kneten. Wendet man jedoch größere Kraft auf den Kitt an, so setzt er der Deformation einen höheren Widerstand entgegen. Aus diesem Grund setzt man den „Hüpfenden Kitt“ auch als Knetmasse im Rehabilitationsbereich zum Muskeltraining und Aufbau ein.

Wenn man den „Hüpfenden Kitt“ teilt (was gar nicht so einfach ist!) und die beiden Stücke wieder in Kontakt bringt, so verschmelzen diese wieder blitzschnell miteinander.



# V10 KLEBSTOFFE FÜR JEDEN ZWECK



Chemie aus dem Schullabor:  
Caseinpulver  
NaOH



# KLEBSTOFFE FÜR JEDEN ZWECK

## V10.1 Was sind Klebstoffe? – Eigenschaften

### Definition Klebstoff:

Ein Klebstoff (umgangssprachlich Kleber) ist ein nichtmetallischer Werkstoff, der Werkstücke (Fügeteile) durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) verbinden kann, ohne dass sich das Gefüge der Werkstücke wesentlich verändert.

Man kann die Klebertypen in physikalisch (Leime, Kleister, Lösungsmittel-, Dispersions- oder Schmelzklebstoffe) und chemisch abbindende Klebstoffe (Cyanacrylat-, Urethan- oder Epoxid-Klebstoffe) einteilen. Die physikalisch abbindenden Klebstoffe können lösungsmittelfrei oder lösungsmittelhaltig sein. Sie binden durch Änderung des Aggregatzustandes (flüssig → fest), z. B. durch Abkühlen einer Schmelze, oder durch Verdunsten des Lösungsmittels vor und während des Klebeprozesses ab und sind im allgemeinen einkomponentig.

Unter den chemisch abbindenden ein- oder mehrkomponentigen Reaktionsklebstoffen befinden sich alle Polymerisationsreaktionen (Polyaddition, Polykondensation, Epoxidharze u. a.). Dadurch ist eine Verklebung von fast allen Materialien möglich.

Dominierendes Ziel laufender Klebstoffentwicklungen ist die (aus ökologischer und ökonomischer Sicht zwingende) Umstellung auf lösungsmittelfreie Systeme oder Systeme, die Wasser als Lösungsmittel enthalten.

Außerdem ist eine Unterscheidung zwischen natürlichen und synthetischen

Klebstoffen möglich: Die natürlichen Klebstoffe werden unterteilt in tierische (Glutin-Leime, Casein-Leime), pflanzliche (Stärke, Dextrin, Naturkautschuk) und mineralische Klebstoffe (Wasserglas).

### Geschichtliches zu den Klebstoffen:

Schon etwa 5.000 v. Chr. benutzten die Menschen der jüngeren Steinzeit Birkenharze als natürlichen Klebstoff zum Befestigen von Speer- und Harpunnenspitzen. Vor 4.000 Jahren fanden die Sumerer – vermutlich zur Zufall – heraus, dass beim Auskochen von Tierhäuten und Knochen eine klebrige, gelatineartige Masse entsteht, mit der man Holzteile aneinander kleben konnte. Damit war der Glutinleim erfunden. Aus den Collagenen, dem Gerüsteiweiß von Bindegewebe, Knorpel und Knochen, entsteht beim Kochen Glutin, eine leimartige zähe Masse. Auch Asphalt sollen die Sumerer beim Bau ihrer Häuser und Tempel als Bindemittel benutzt haben. In vorrömischer Zeit verwendete man u. a. Klebstoffe auf der Basis von Albumin (Bluteiweiß) und Hämoglobin. Bei der Entdeckung des Grabes des ägyptischen Königs Tutanchamun – er lebte um 1.300 v. Chr. – fand man unter den Grabbeigaben auch einen Leimbrocken, ein Zeichen dafür, dass Klebstoff als etwas Wichtiges und Wertvolles angesehen wurde.

In der Folgezeit wurden die folgenden auch heute noch eingesetzten Stoffe benutzt:

Gelatine, Blut, Alginate, Schellack, Gummi arabicum, Agar-Agar, Harze, Balsam, Bitumen und Wachse.

### Fallstudie:

#### Natürliche Produkte für Dispersionen (Kasein als Bindemittel in Farben und Gelatine als Klebstoff)

Prinzipiell ist der alternative Einsatz von Leim-Dispersionen und Bindemittel für Innenwandfarben durch Produkte biologischen Ursprungs möglich. So kann das Bindemittel durch den nachwachsenden Rohstoff Casein ersetzt werden. Problematisch ist jedoch der Mengenbedarf:

So enthält die Milch nur 2,8-3 % Casein. Eine durchschnittliche Milchkuh liefert pro Jahr 5.000 kg Milch, also etwa 145 kg Casein. Da Casein eine schlechte Bindekraft besitzt, müssen in typischen Caseinrezepturen bis zu 25% Casein eingesetzt werden. Bei einer Jahresproduktion von 80.000 Tonnen Kunststoff-Dispersionen bräuchte man in Deutschland etwa 1,25 Millionen Kühe nur zur Bindemittelherstellung. Mit dem Ersatz von Kunststoff-Dispersionen durch Casein würde der ernährungsphysiologisch wertvollste Bestandteil der Milch – das Eiweiß – buchstäblich an die Wand geschmiert. Außerdem sind Caseinfarben nicht gerade billig (ca. 5,00 EUR pro kg Casein, ca. 1,50 EUR pro kg Kunststoff-Dispersion).

**Versuch:**

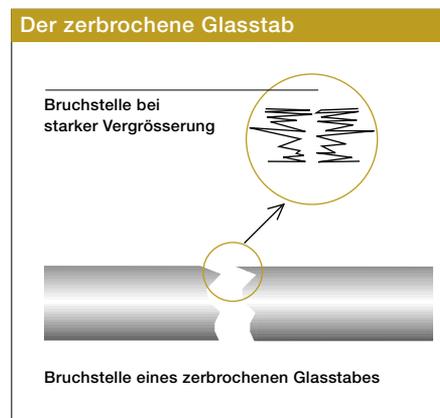
**Der Leim der alten Ägypter**

**Herstellung eines Caseinleims:**

Casein ist der Eiweißstoff der Säugermilch und ist ein weißes Pulver, das in Wasser unlöslich bzw. in Alkalien löslich ist. Zur Darstellung löst man 10 g Caseinpulver in 25 ml verdünnter NaOH und lässt die Suspension einige Minuten quellen. Mit dem so gewonnenen Leim versucht man nun, verschiedene Stoffe zu kleben, so z. B. zwei Holzstückchen, Objektträger aus Glas, Papier und Kunststoffplättchen. Die Klebstellen sollten jeweils solange mit einer Wäscheklammer fixiert werden, bis der Leim getrocknet ist. Welche Materialien können gut verklebt werden, welche nicht?

**Der Klebevorgang**

Kleben ist das Fügen gleicher oder ungleicher Werkstoffe unter Verwendung eines Klebstoffes, als Abbinden bezeichnet man das Verfestigen der flüssigen Klebeschicht. Doch wie funktioniert das Kleben, welche Prozesse ermöglichen die Haftung von zwei Fügeteilen?

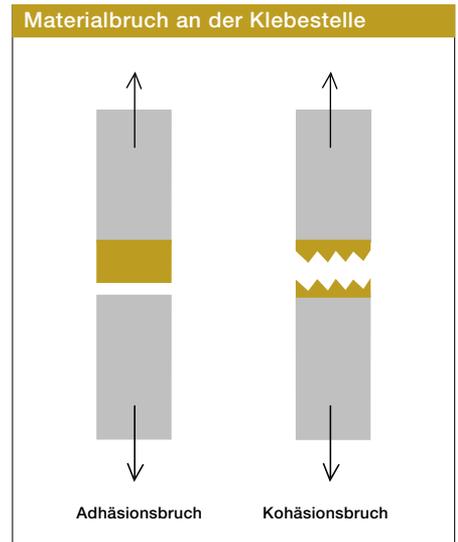
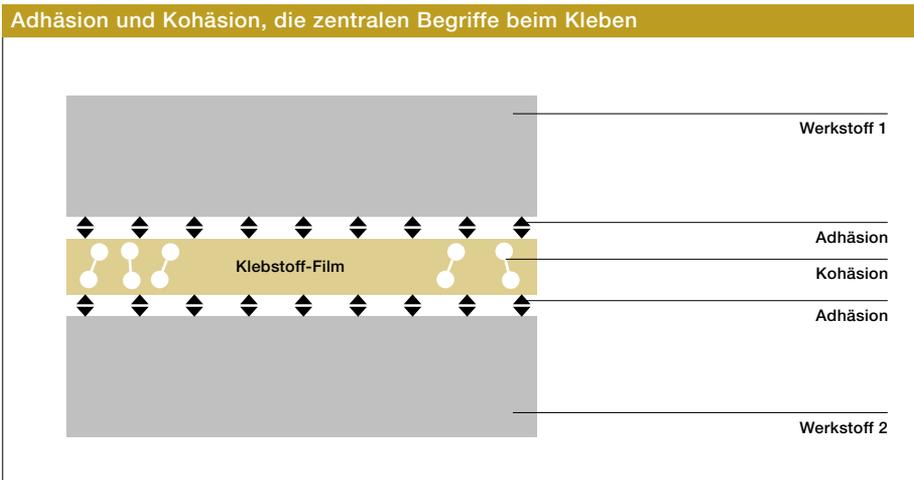


Betrachtet man einen zerbrochenen Glasstab, so stellt man sehr schnell fest, dass man ihn auch durch noch so festes Drücken nicht mehr zusammenfügen kann. Warum ist das eigentlich so? Zwei Dinge müssen gegeben sein, damit zwei Flächen fest zusammengefügt werden können:

1. Zwischen den Teilchen der beiden Flächen müssen Anziehungskräfte bestehen.
2. Damit diese Kräfte wirken können, müssen sich die beiden Teilchen möglichst weit nähern, der Abstand darf nicht größer als  $10^{-9}$ - $10^{-12}$  m sein. Dies ist mit normalen Techniken bei Bruchstellen nicht möglich.

Es gibt also prinzipiell zwei Möglichkeiten, um zwei Flächen eines Glasstabes wieder fest miteinander zu verbinden. Zum einen kann durch Schmelzen der beiden Bruchenden das Glas verflüssigt werden, so dass sich die Teilchen wieder nahe genug kommen und Anziehungskräfte wirken können. Eine zweite Möglichkeit ist die Verwendung eines bei der Verarbeitung flüssigen Vermittlers, eines Klebers, der mit beiden Oberflächen eine Verbindung eingehen kann und dabei aushärtet.

Damit sind die drei wichtigsten Voraussetzung schon genannt: Bei der Verarbeitung müssen die Klebstoffe flüssig oder wenigstens pastös sein, sie müssen an den zu verklebenden Materialien haften und der Klebstoff selbst muss genügend innere Stabilität aufweisen. Die beiden letztgenannten Punkte werden auch Adhäsion und Kohäsion genannt. In der Klebstoffindustrie sind diese beiden Begriffe die zentralen Punkte und sie erklären, warum und wie gut Stoffe kleben.



**Adhäsion** ist die Haftung der Klebeschicht an den Oberflächen der Füge-teile, also die Wechselwirkung des Klebstoffes mit der Oberfläche des zu klebenden Materials. Adhäsion kann eintreten durch

- die Ausbildung zwischenmolekularer Kräfte im Grenzschichtbereich, z. B. Van-der-Waals-Kräfte oder H-Brückenbindungen
- die Ausbildung chemischer Bindungen zwischen Klebstoffmolekülen und Oberflächenmolekülen
- die Mikroverzahnung von Polymermolekülen und den Reaktionsschichten der Materialoberfläche
- Diffusionsvorgänge von Klebschicht- und Füge-teilmolekülen im Grenzschichtbereich
- Benetzungskräfte im Grenzschichtbereich

**Die Kohäsion** ist die innere Festigkeit eines Klebstoffes. Sie bezeichnet die Wechselwirkung innerhalb eines Stoffes. Beeinflusst wird die Kohäsion durch

- den Aggregatzustand (im Festkörper am größten)
- das Molekulargewicht und die funktionellen Gruppen (hohe Wechselwirkung = große Kohäsion)
- die Anordnung der Polymerknäuel, also die Vernetzung
- und die Temperatur (je höher die Temperatur, desto niedriger die Kohäsion)

Bei Materialbruch an einer Klebestelle kann man demnach zwischen Adhäsions- und Kohäsionsbruch unterscheiden.

WACKER bietet für Klebstoffe eine breite Palette an Kunststoffdispersionen an. (Nicht im Schulversuchskoffer enthalten).

# CHEMIKALIENLISTE

## Chemikalieninhalt des Schulversuchskoffers

Versuch	Chemikalie	Aggregatsform	Sonst. Versuch	Menge
<b>V1 Viskosität V1</b>	WACKER® SILICONÖL AK 1000	flüssig	V2, V7	30 ml
<b>V1 Viskosität V1</b>	WACKER® SILICONÖL AK 5000	flüssig	V2, V7	30 ml
<b>V2 HDK®</b>	HDK® N20 KIESELSÄURE HYDROPHIL	Pulver	V2	7 g
<b>V3 Entschäumung</b>	SILFOAM® SRE	flüssig		20 ml
<b>V4 Imprägnierung</b>	SILRES® BS SMK 1311	flüssig		30 ml
<b>V5 Papierbeschichtung</b>	DEHESIVE® 920, Silicontrennmittel	flüssig		100 ml
<b>V5 Papierbeschichtung</b>	WACKER® VERNETZER V 24	flüssig		5 ml
<b>V5 Papierbeschichtung</b>	WACKER® KATALYSATOR C 05	flüssig		5 ml
<b>V6 Abformung</b>	ELASTOSIL® M 4601 A, Abformmasse	flüssig	V8	200 ml
<b>V6 Abformung</b>	ELASTOSIL® M 4601 B	flüssig	V8	20 ml
<b>V6 Abformung</b>	ELASTOSIL® M 4400	flüssig	V8	100 ml
<b>V6 Abformung</b>	WACKER® HÄRTER T37, Härter für Abformmasse	flüssig	V8	10 ml
<b>V7 Verfugen</b>	ELASTOSIL® E 43 transparent	Paste		30 ml
<b>V8 Eigenschaften von Silikonkautschuk</b>	RTV-Plättchen			3 Stck.
<b>V9 Hüpfender Kitt</b>	WACKER® HÜPFENDER KITT 29	Knetmasse		30 ml

# IMPRESSUM

## Redaktion

Dr. Walter Held, Asta Tehnzen-Heinrich

## Herausgeber

### **Wacker-Chemie GmbH**

WACKER SILICONES  
Hanns-Seidel-Platz 4  
81737 München, Germany  
silicones@wacker.com  
www.wacker.com

## Ansprechpartner für Schulen

### **Wacker-Chemie GmbH**

Unternehmenskommunikation  
Peter Hirschmann  
Hanns-Seidel-Platz 4  
81737 München, Germany  
Tel. +49 89 6279-1165  
Fax +49 89 6279-1239  
info@wacker.com  
www.wacker.com

## Ergänzungen zum Produktsortiment erhältlich bei:

### **DRAWIN Vertriebs-GmbH**

Rudolf-Diesel-Strasse 15  
85521 Ottobrunn/Riemerling,  
Germany  
Tel. +49 89 60869-0  
Fax +49 89 60869-250  
info@drawin.com  
www.drawin.com

## Ergänzende Informationen:

### **Schul-CD „DiSiDo“**

Didaktische Silicon Dokumentation“  
TU Duisburg/WACKER  
**www.silicones-europe.com**



# WACKER AUF EINEN BLICK



## WACKER

ist ein Technologieführer der chemischen und elektrochemischen Industrie und weltweiter Innovationspartner von Kunden in den globalen Schlüsselindustrien. Das Leistungsportfolio konzentriert sich auf Halbleitertechnologie, Siliconchemie und Spezialchemie.

Der Konzern erwirtschaftet mit rund 15.600 Mitarbeitern einen jährlichen Umsatz von 2,5 Mrd. EUR. Davon entfallen auf Deutschland gut 20 %, auf Europa (ohne Deutschland) über 30 %, auf Amerika rund 25 % und auf die Region Asien-Pazifik sowie die übrigen Länder zusammen knapp 20 %.

Mit 22 Produktionsstätten und mehr als 100 Vertriebsgesellschaften ist der Konzern weltweit präsent. Konzernsitz ist München. Mit einer Investitionsquote von 13 % vom Umsatz und einem Umsatzanteil von über 6 % für Forschung und Entwicklung gehört WACKER in die weltweite Spitzengruppe der forschenden Unternehmen.

## Siltronic

ist einer der Weltmarktführer für Wafer aus Reinstsilicium und Partner vieler führender Chiphersteller. Siltronic entwickelt und produziert Wafer mit Durchmessern bis zu 300 mm an Standorten in Europa, Asien, Japan und USA. Siliciumwafer sind die Grundlage der modernen Mikro- und Nanoelektronik – z. B. für Computer, Telekommunikation, Automobile, Medizintechnik, Consumerelektronik und Steuerungssysteme.

## WACKER SILICONES

bietet als einer der weltweit führenden Hersteller mehr als 2.000 Siliconprodukte an und ist in zahlreichen Arbeitsfeldern die Nummer eins am Weltmarkt. Silicone sind die Basis für Werkstoffe mit hochdifferenzierten Produkteigenschaften und nahezu unbegrenzten Einsatzmöglichkeiten. Sie finden Verwendung in den vielfältigsten Branchen: Von der Automobil-, Bau-, Chemie-, Elektro- und Elektronikindustrie über Kosmetik, Consumer Care, die Papier-, Textil- und Zellstoffindustrie bis hin zum Maschinen- und Metallbau.

## WACKER SPECIALTIES

hält bei hochwertigen Bindemitteln und polymeren Additiven die Spitzenposition auf dem Weltmarkt. Redispersionspulver, Dispersionen, Festharze, Bindepulver und Lackharze finden bei Unternehmen der Bau-, Automobil-, Farben- und Lackindustrie sowie bei Herstellern von Druckfarben Verwendung. In der Feinchemie und der Biotechnologie ist dieser Bereich zudem Experte für maßgeschneiderte Kundenlösungen, z. B. bei Synthesebausteinen für Arzneimittel, Kosmetika und Agrochemikalien.

## WACKER POLYSILICON

produziert seit über 50 Jahren hochreines Silicium für die Halbleiter- und Photovoltaikindustrie. Als einer der weltweit größten Hersteller von polykristallinem Silicium beliefert WACKER POLYSILICON führende Wafer- und Solarzellenhersteller.

**WACKER**

CREATING TOMORROW'S SOLUTIONS

**WACKER** **SILICONES**

**Wacker-Chemie GmbH**  
Hanns-Seidel-Platz 4  
81737 München, Germany  
info@wacker.com  
www.wacker.com