



Faserverbundwerkstoffe®
Composite Technology

**Abformmassen aus
Silikonkautschuk**

**Silicone moulding
compounds**

R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH • 71111 Waldenbuch • Germany
Fon +49 (0) 7157 530 460 • Fax +49 (0) 7157 530 470 • **www.r-g.de**

EK997201 Ausgabe/ Edition 06/2020

Produkt	Beschreibung	Mischungsverhältnis Gewichtsteile	Verarbeitungszeit Minuten	Entformbar bei 23 °C nach	Hitzebeständigkeit bis °C	Mischviskosität mPa·s (bei 23 °C, Brookfield)	Dichte g/cm³ (DIN 53479)	Härte Shore A (DIN 53505)	Reißfestigkeit N/mm² (DIN 53504, S3A)	Reißdehnung % (DIN 53504, S3A)	Weiterreißwiderstand N/mm (ASTM D 624 B)	Lineare Schrumpfung % (nach 7 Tagen)
KDSV-10 Komponente A + B Art.-Nr.: 415200-10-X	Gießmasse, weiß, kondensationsvernetzend , 2 Komponenten	100 : 2 bis 100 : 3	40 bis 30	5 h bis 3 h (bei 25 °C)	kurzzeitig bis max. 200 °C	16.000 ±2.000	1,08	10	> 3,1	> 550 %	>15	≤0,25
KDSV-25 Komponente A + B Art.-Nr.: 415200X	Gießmasse, weiß, kondensationsvernetzend , 2 Komponenten	100 : 2 bis 100 : 3	60 bis 30	-	kurzzeitig bis max. 200 °C	22.000 - 25.000	1,08	25	4,0	430 %	≥27	0,3
KDSV THX-30 Komponente A + B Art.-Nr.: 415220X	Streichmasse, weiß, kondensationsvernetzend , 2 Komponenten lebensmittelzugelassen (FDA-Zulassung)	100 : 2 bis 100 : 3	60 bis 30	5 h bis 3 h (bei 25 °C)	kurzzeitig bis max. 200 °C	35.000 - 40.000	1,09	35	>5,5	>350	>30	≤0,25
KDSV M 4470 + Vernetzer 40 Art.-Nr.: 415120X-P	Gießmasse, rotbraun, kondensationsvernetzend , 2 Komponenten	100 : 2 bis 100 : 3	40 20	3 - 4 h 2 - 3 h	kurzzeitig bis max. 300 °C	10.000	1,44	60	4,5	120	>4	0,8
ADDV-25 Komponente A + B Art.-Nr.: 415210X	Gießmasse, farblos transluzent, additionsvernetzend , 2 Komponenten	100 : 100	30 bis 50 (bei 25 °C)	4 h bis 5 h (bei 25 °C)	kurzzeitig bis max. 250 °C	6.800 ± 1.500	-	25	9,5 ± 1,0	≥450	31 ± 2	≤0,1
ADDV-42 Komponente A + B Art.-Nr.: 415215X	Gießmasse, farblos transluzent, additionsvernetzend , 2 Komponenten	100 : 100	30 bis 50 (bei 25 °C)	4 h bis 5 h (bei 25 °C)	kurzzeitig bis max. 250 °C	7.200 ± 1.500	1,14	40 ± 2	9 ± 1	380	19 ± 2	≤0,1
ADDV M 4601 Komponente A + B Art.-Nr.: 415133X	Gießmasse, rotbraun, additionsvernetzend , 2 Komponenten lebensmittelzugelassen (FDA- und BfR-konform)	100 : 11	90	12 h bei 70 °C nach 20 min	kurzzeitig bis max. 300 °C	10.000	1,13	28	6,5	700	>30	<0,1
ADDV M 4641 Komponente A + B Art.-Nr.: 415130X	Gießmasse, farblos transparent, additionsvernetzend , 2 Komponenten lebensmittelzugelassen (FDA- und BfR-konform)	100 : 10	100	15 h bei 70 °C nach 30 min	kurzzeitig bis max. 300 °C	30.000	1,07	43	4,5	300	>25	<0,1

Abformmassen aus Silikonkautschuk

Hochflexible Formen aus Silikonkautschuk erlauben die Reproduktion komplizierter Formteile mit Hinterschnitten. Die hauptsächlichen **Einsatzgebiete** sind z.B. die Herstellung von Modellteilen, Möbelverzierungen, Reliefbildern, Schmuckkerzen, Architekturmodellen, Zierknöpfen, Puppenkörpern, Dichtungsprofilen sowie Reproduktionen in der Denkmalpflege.

Urmodelle aus den üblichen Werkstoffen wie Holz, Metall, Kunststoff, Gips, Stein und Wachs sind für Abformungen mit Silikonkautschuk gut geeignet. Bei glatten, nichtsaugenden Oberflächen wie z.B. Kunststoff oder Metall, sind Trennmittel in der Regel nicht notwendig (lediglich Silikon auf Silikon verklebt, so dass mit einem Trennmittel vorbehandelt werden muss).

Poröse Modelle aus Gips, Holz oder Stein sollten vor der Abformung versiegelt werden, um den Saugeffekt zu beheben. Üblich sind für diesen Zweck wasserlösliche Kunstharze, z.B. Methylzellulose (Tapetenkleister), Polyvinylalkohol oder Acryl-Tiefgrund bzw. Nitro-Schnellschliffgrund. Aufgrund der hohen Flexibilität des Kautschuks ist die Abformung starker Hinterschnitten möglich.

Abformungen

In den Formen aus Silikonkautschuk können Positiv-Gieslinge aus Polyester-, Epoxid- und Polyurethanharzen sowie Gips, Wachs und Beton hergestellt werden. Hierzu sind besondere **Trennmittel** für die Form in der Regel nicht erforderlich (mit **Ausnahme** von **Epoxidharzen**). Die Silikon-Abformmasse **KDSV M 4470** ist für den Verguss von niedrigschmelzenden Metalllegierungen (**Schmelzpunkt maximal 300 °C**) auf Basis von Blei, Zinn und Zink empfohlen.

Mit Polyester- und Polyurethanharzen können größere Stückzahlen abgeformt werden. **Amingehärtete Epoxidharze greifen das Silikon an.** Um die Lebensdauer der Formen zu erhöhen, können geeignete Trennmittel verwendet werden. Dieses Trennmittel ist auch erforderlich, wenn als erste Schicht EP- oder UP-Deckschichtharze in die Silikonform gestrichen werden sollen, da sonst aufgrund schlechter Benetzbarkeit Fehlstellen in Form von Augen oder Pinselstrichen entstehen können.

Allgemeines

Hinsichtlich der **Konsistenz** unterscheidet man zwischen gießbaren, streichbaren, streichbar-standfesten und knetbaren Systemen. Die Viskosität beschreibt näherungs-

weise das Fließverhalten. Je höher der Zahlenwert, desto dickflüssiger ist die Gieß- bzw. steifpastöse Streichmasse.

Die **Reaktivität** wird durch die Kenngrößen Verarbeitungs- (Topf-) und Vulkanisationszeit beschrieben. Als Verarbeitungszeit wird üblicherweise die Zeitspanne angegeben, an deren Ende die katalysierte Kautschukmasse gerade noch gieß-, streich- oder knetbar ist. Bei Anwendungen, die sehr hohe Anforderungen hinsichtlich Fließfähigkeit stellen, wie z.B. beim Vergießen elektronischer Bauteile mit engen Spalten, wird aber meist die Zeitspanne bis zur Verdoppelung der Ausgangsviskosität als Verarbeitungszeit angeführt. Die Vulkanisationszeiten geben in der Regel nur die Zeitspanne an, nach der der Kautschuk klebfrei ausvulkanisiert und damit handhabbar ist. Die endgültigen Vulkanisateigenschaften werden bei Raumtemperaturvulkanisation meist erst nach einigen Tagen erreicht.

Auch bei höheren Temperaturen hergestellte Vulkanisate vernetzen in der Regel während der anschließenden Raumtemperaturlagerung noch in unterschiedlichem Ausmaß nach.

Die endgültigen Vulkanisateigenschaften stellen sich am schnellsten durch eine mehrstündige Lagerung bei nicht zu hohen Temperaturen (100 - 120 °C), das sogenannte **Tempern**, ein.

Während der Vulkanisation entsteht keinerlei Reaktionswärme, so dass auch große Mengen (>5 kg) gefahrlos verarbeitet werden können. Ein Anheben der Temperatur während der Verarbeitung wird jedoch die Vulkanisation beschleunigen, folgend der Regel, dass eine Erhöhung um 7 °C die Reaktionsgeschwindigkeit verdoppelt.

Vulkanisateigenschaften

Zu den wichtigsten Vulkanisateigenschaften gehören die **mechanischen und elektrischen Werte**.

Bei den **mechanischen Vulkanisateigenschaften** stellt, neben der meist in Shore A-Punkten angegebenen Eindruckhärte (je höher der Shore A-Wert, desto härter das Vulkanisat!), der Weiterreißwiderstand eine der wesentlichsten Kenngrößen dar. Werte über etwa 10 N/mm bedeuten, dass es sich um eine sogenannte „kerbfeste“ Type handelt, d.h. sie weist eine deutlich höhere Ein- und Weiterreißfestigkeit auf als die Typen mit „Standardmechanik“.

Die elastischen Eigenschaften von Silikonkautschuken bleiben in einem Bereich von ca. - 50 °C bis + 200 °C, kurzzeitig bis 300 °C erhalten. Mit Spezialtypen lässt sich dieser Bereich bis zu - 100 °C in der Kälte ausweiten.

Die Beständigkeit gegen hohe Temperaturen ist einerseits typenabhängig und andererseits abhängig von der Umgebung des Materials. Im Allgemeinen bleiben Silikonkautschuk-Vulkanisate bei extremen Temperaturen elastisch, jedoch spielt die Anwesenheit von Luftsauerstoff für die Langzeitalterung eine wichtige Rolle. Unter Luftzutritt sind RTV-2 Silikonkautschuk-Vulkanisate bis zu + 200 °C dauerhaft (kurzzeitig bis 300 °C). Bei besonders hitzestabilen RTV-2 Produkten bleibt die Elastizität selbst bei + 250 °C noch bis 1000 Stunden erhalten. Kurzzeitig ertragen sie sogar Temperaturen über + 300 °C. Bei längerer Hitzeeinwirkung über + 180 °C werden in Gegenwart von Sauerstoff durch Oxydation langsam Vernetzungsstellen zwischen den Polymerketten geschaffen.

Dieser irreversible Prozess zeigt sich durch Gewichtsverlust, Schrumpfung und zunehmende Versprödung. Er ist verbunden mit einem Anstieg der Härte, einem Abfall der Reißfestigkeit und Reißdehnung sowie einer Verschlechterung des Weiterreißwiderstandes. Unter Luftausschluss in geschlossenen Systemen dominieren bei erhöhter Temperatur Alterungsprozesse durch Polymerisation oder Reversion.

Dies gilt insbesondere in Gegenwart von Feuchtigkeitsspuren (bzw. Hydroxylgruppen) oder zinnorganischen Verbindungen, die in den Härtern von **kondensationsvernetzenden** Kautschuken enthalten sind. Bei **kondensationsvernetzenden** Typen muss deshalb auf eine vollständige Entfernung der Spaltprodukte geachtet werden. In dieser Hinsicht sind die meisten **additionsvernetzenden** Produkte wegen der Abwesenheit von zinnorganischen Verbindungen den **kondensationsvernetzenden** Produkten überlegen.

Die **elektrischen Vulkanisateigenschaften** sind weitgehend unabhängig von Konsistenz, Reaktivität, mechanischen Eigenschaften oder Vernetzungssystemen. Die meisten Verarbeitungs- und Vulkanisateigenschaften werden jedoch wesentlich von der Art des Vernetzungssystems mitbestimmt.

Man unterscheidet zwei Vernetzungssysteme:

1. Kondensationsvernetzung KDSV-10, KDSV-25, KDSV THX-30, KDSV M 4470

Die Vulkanisation von **kondensationsvernetzenden** Silikonkautschuken erfolgt durch Zugabe eines flüssigen oder pastenförmigen Härters zur Kautschukmasse. Je nach Type und zugesetzter Menge des Härters ergeben sich längere oder kürzere Verarbeitungs- und Vulkanisationszeiten, wobei für jede Kautschuktype

bestimmte Härter und Mengenbereiche festgelegt sind. Wird der vorgeschriebene Mengenbereich des Härters unterschritten (**Unterdosierung**), kommt es zur Untervulkanisation: Der Kautschuk bleibt weich oder sogar klebrig; die mechanische Festigkeit ist wesentlich geringer; die Beständigkeit gegen Quellung durch Lösemittel und Gießharzbestandteile ist deutlich reduziert.

Wird der vorgeschriebene Mengenbereich des Härters überschritten (**Überdosierung**), liegt ein Überschuss des Vernetzers im Vulkanisat vor. Die Trennfähigkeit des Kautschuks nimmt ab. Außerdem kommt es durch Einwirkung von Luftfeuchtigkeit zu einer Nachhärtung des Vulkanisates, die zum weitgehenden Verlust seiner mechanischen Festigkeit führen kann.

Die Vulkanisation der **kondensationsvernetzenden** Silikonkautschuke kann bei Temperaturen zwischen 0 °C und max. 70 °C vorgenommen werden (bei Temperaturen > 80 °C kommt es zu einer Umkehrung der Vernetzungsreaktion, der sogenannten Reversion: das System bleibt oder wird wieder klebrig bis flüssig!).

Zur ordnungsgemäßen Vulkanisation werden zusätzlich zu dem im Härter enthaltenen Organozinn-Katalysator geringe Mengen an Feuchtigkeit sowohl in der Kautschukmasse als auch in der Umgebungsluft benötigt. Bei der Vernetzung entsteht als Reaktionsprodukt ein niedriger Alkohol, meist Ethanol oder Propanol. Erst wenn sich der gesamte gebildete Alkohol aus dem Vulkanisat verflüchtigt hat, ist dieses einsatzfähig. Durch die Verflüchtigung des Alkohols kommt es zu einem Masseverlust, der zu einer dreidimensionalen Schrumpfung des Vulkanisates im Bereich von < 5 Volumenprozent führt.

Verdickungsadditiv C dient zur Modifizierung der Fließfähigkeit bzw. zur Standfest-Einstellung der Silikon-Typen **KDSV-10, KDSV-25** und **KDSV THX-30**, um z.B. bei der Herstellung von Hautformen die Silikonkautschukmasse im Streichverfahren auf nicht ebene bzw. senkrechte Formoberflächen ohne Abfließen bzw. Absacken mittels Pinsel oder Spachtel auftragen zu können. In Abhängigkeit von der zugesetzten Menge lässt sich, je nach Bedarf, die Konsistenz der Kautschukmasse gezielt von nur verminderter Fließfähigkeit bis zur völligen Standfestigkeit einstellen.

Lagerung

Die **kondensationsvernetzenden** Silikonkautschuke benötigen, wie bereits erwähnt, zur ordnungsgemäßen Vulkanisation, besonders in dickerer Schicht, geringe Mengen an Wasserdampf in der Kautschukmasse. Um ein Entweichen der bei der Herstellung zugesetzten



Feuchtigkeit aus dem unvulkanisierten Kautschuk zu verhindern, müssen die Gebinde dicht verschlossen bei **Temperaturen** zwischen 5 und 30 °C gelagert werden.

Nach der Entnahme von Teilmengen der Kautschukmasse muss das Gebinde sofort wieder dicht verschlossen werden, darf also keinesfalls längere Zeit offen bzw. mit nur locker aufgelegtem Deckel gelagert werden. Anderenfalls kann es zu Untervulkanisation kommen, d.h. deutlich verlängerten Zeiten bis zur Entformbarkeit bzw. Klebfreiheit, verzögerter Durchhärtung in dicker Schicht und starker Haftungstendenz an der Form. Treten derartige, durch **Feuchtigkeitsmangel** hervorgerufene Vulkanisationsstörungen auf, kann durch eine einfache Maßnahme ein ordnungsgemäßes Vulkanisationsverhalten wieder hergestellt werden: Dazu rührt man 1 - 2 g Wasser pro Kilogramm Kautschuk in die unvulkanisierte, noch nicht mit dem Härter versetzte Kautschukmasse ein, und lagert diese anschließend im dicht verschlossenen Gebinde mindestens 24 Stunden bei Raumtemperatur. Dabei verdunstet das flüssige Wasser und sättigt den Kautschuk mit der benötigten Feuchtigkeit. Die Vernetzer reagieren dagegen mit Feuchtigkeit unter Bildung eines flockigen Niederschlags. Die Härterflaschen müssen deshalb sofort nach Entnahme einer Teilmenge wieder dicht verschlossen werden. Die Lagerung sollte möglichst kühl, am besten zwischen 5 °C und 25 °C, erfolgen. Geringe Mengen des Niederschlags haben aber keine Auswirkungen auf Verarbeitungs- und Vulkanisateigenschaften.

Überlagerte Härter (älter als 6 Monate) **können die Verarbeitungszeit des Silikons erheblich verkürzen!** Daher sollten gelieferte Gebinde innerhalb dieses Zeitraums verarbeitet werden.

2. Additionsvernetzung ADDV-25, ADDV-42, ADDV M 4601, ADDV M 4641

Die Vulkanisation der **additionsvernetzenden** Silikonkautschuke erfolgt durch Vermischen der beiden Komponenten A und B.

Die beiden Komponenten sind **genau aufeinander abgestimmt** und werden deshalb nur zusammen ausgeliefert, d.h. ein Einzelbezug ist nicht möglich.

Die Komponenten A und B dürfen ausschließlich im vorgeschriebenen Gewichtsverhältnis verarbeitet werden! Ein abweichendes Mischungsverhältnis A : B führt im Allgemeinen zur Untervulkanisation mit ähnlichen Folgen, wie bereits bei den **kondensationsvernetzenden** Typen beschrieben.

Die Vulkanisation der **additionsvernetzenden** Silikonkautschuke kann bei Temperaturen zwischen 10 °C und 300 °C vorgenommen werden. Da bei der Vernetzung keine flüchtigen Reaktionsprodukte gebildet werden, kommt es weder zu einer

Umkehrung der Vernetzungsreaktion bei höheren Temperaturen noch zu einer chemischen Schrumpfung des Vulkanisates durch einen Masseverlust. Vulkanisate aus **additionsvernetzenden** Silikonkautschuken sind daher unmittelbar nach Entformung einsatzfähig.

Mit dem unvulkanisierten Kautschuk in Kontakt kommende, sogenannte „inhibierende“, d.h. die Vernetzung durch Reaktivitätshemmung des Platinkomplex-Katalysators störende Substanzen können jedoch den Einsatz von **additions-vernetzenden** Silikonkautschuken erschweren oder sogar unmöglich machen.

Verdickungsadditiv ADDV-43 dient zur Modifizierung der Fließfähigkeit bzw. zur Standfest-Einstellung der Silikon-Typen **ADDV-25, ADDV-42, ADDV M 4601** und **ADDV M 4641**, um z.B. bei der Herstellung von Hautformen die Silikonkautschukmasse im Streichverfahren auf nicht ebene bzw. senkrechte Formoberflächen ohne Ablaufen bzw. Absacken mittels Pinsel oder Spachtel auftragen zu können. In Abhängigkeit von der zugesetzten Menge lässt sich, je nach Bedarf, die Konsistenz der Kautschukmasse gezielt von nur verminderter Fließfähigkeit bis zur völligen Standfestigkeit einstellen.

Lagerung

Die Komponenten der **additionsvernetzenden** Silikonkautschuke sollten bei Temperaturen zwischen 5 °C und 30 °C gut verschlossen gelagert werden.

Achtung! Bereits winzige Mengen des Platinkatalysators reichen aus um, falls sie -versehentlich- in die vernetzerhaltige Komponente gelangen, eine Reaktion zu bewirken. Man findet dann vulkanisierte Partikel bis zu mehreren Zentimetern Durchmesser im unvulkanisierten Material oder es kommt möglicherweise zur Freisetzung von Wasserstoff. Eine derartige Verunreinigung mit Platinkatalysator („Kontamination“) kann bereits dann stattfinden, wenn die Gebinde von A- und B-Komponente offen nebeneinander stehengelassen werden. Daher müssen die Gebinde nach der Entnahme einer Teilmenge **sofort** wieder **dicht verschlossen** werden!

Es ist auch unbedingt darauf zu achten, dass Verarbeitungsgeräte, die jemals mit der katalysatorhaltigen Komponente oder der Mischung der beiden Komponenten in Berührung gekommen sind, keinesfalls in Kontakt mit der vernetzerhaltigen Komponente kommen! Es wird daher dringend empfohlen, die nur getrennt zu verwendenden Verarbeitungsgeräte jeweils unterschiedlich und gut sichtbar zu kennzeichnen, um Verwechslungen zu vermeiden.

Sicherheitshinweise / Sicherheitsvorkehrungen

Die in mehreren Jahrzehnten Anwendung gewonnene Erfahrung mit Silikonkautschuken hat ergeben, dass die **kondensationsvernetzenden** und **additions-vernetzenden** Kautschukmassen im Lieferzustand weder als toxisch noch als aggressiv anzusehen sind. Daher erübrigen sich besondere, über die allgemeinen arbeitshygienischen Vorschriften hinausgehende Vorsichtsmaßnahmen.

Dagegen kann der zur Verarbeitung der **kondensationsvernetzenden** Typen eingesetzte Vernetzer Reizerscheinungen auslösen, wenn er unverdünnt auf die Haut oder gar in die Augen gelangt. Bei besonders disponierten Personen können auch allergische Symptome auftreten. Daher sind entsprechende Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Weitere Hinweise

Unvulkanisierte Reste von Silikonkautschuk lassen sich problemlos mit fettlösenden Lösemitteln wie Benzin oder Aceton aus Gefäßen oder von Kleidungsstücken entfernen. Topfrete lässt man am besten vulkanisieren; danach kann man sie mühelos aus den Arbeitsgefäßen entnehmen. Bereits an- oder gar ausvulkanisiertes Material lässt sich nur mehr nach vorherigem Anquellen in einem der oben genannten Lösemittel durch mechanische Einwirkung entfernen; ein Auflösen ist nicht mehr möglich! Dies sollte bei der Wahl einer zweckmäßigen Arbeitskleidung berücksichtigt werden. Beim Umgang mit Lösemitteln muss für eine ausreichende Belüftung des Arbeitsplatzes gesorgt werden.

Verarbeitung

Silikonkautschuke sind hochentwickelte technische Produkte, deren Verwendung gewisse Kenntnisse erfordert, um das gesamte Leistungsvermögen der jeweiligen Type ausnützen bzw. grundsätzliche Anwendungsfehler vermeiden zu können. Vor Beginn der Verarbeitung sollte man sich daher unbedingt davon überzeugen, dass alle notwendigen Produktinformationen vorliegen.

Empfohlene Grundausrüstung

Für die Verarbeitung kleinerer Mengen empfehlen wir folgende Grundausrüstung:

- **Waage** (Genauigkeit 0,1 g) oder Messgefäß oder Pipette bzw. Einwegspritze
- Saubere **Mischgefäße** aus Metall oder Kunststoff (am besten PE oder PP) oder Papp-Mischbecher
- **Spatel** aus Metall, Holz oder Kunststoff
- Steifer **Kurzhaarpinsel**
- Mechanisches **Rührgerät** (z.B. Bohrmaschine mit Blattrührer)
- **Vakuumpumpe** und **Exsikkator**
- Fettlösendes **Lösemittel** (z.B. Benzin, Aceton, MEK)

Vorbereiten der Komponenten

Die gießbaren Massen bzw. Komponenten (ausgenommen die glasklar transparenten Typen) müssen vor jeder Entnahme einer Teilmenge aus dem Gebinde bzw. vor der Verarbeitung im Gebinde gründlich durchgerührt werden, um eine gleichmäßige Verteilung der enthaltenen Füllstoffe zu gewährleisten, die sich während der Lagerung abgesetzt haben könnten. Bei den Typen mit hoher Weiterreißfestigkeit, die bei längerer Lagerung etwas verdicken können, wird durch das Aufrühren wieder die optimale Fließfähigkeit erzielt.

Dosieren der Komponenten

Es wird dringend empfohlen, die Komponenten exakt zu dosieren, da nur bei genauer Einhaltung des Mischungsverhältnisses reproduzierbare Verarbeitungs- und Vulkanisationszeiten sowie, noch wichtiger, spezifikationsgerechte Vulkanisateigenschaften erhalten werden. Die Dosierung kann entweder über das Gewicht (Waage) oder das Volumen (Messgefäß, Pipette oder Einwegspritze) erfolgen.

Da in den Verarbeitungsunterlagen das Mischungsverhältnis meist nur in Gewichtsteilen angegeben ist, muss für die Volumendosierung zuvor das Volumenverhältnis mittels der in den Produktmerk- sowie Sicherheitsdatenblättern angeführten Dichten errechnet werden.

Achtung! Wird die Entlüftung der katalysierten Masse im Einwaagegefäß vorgenommen, muss dessen Fassungsvermögen mindestens dem vierfachen Volumen der katalysierten Kautschukmasse entsprechen (siehe unter „Entfernen der eingemischten Luft“!). Bei den **kondensationsvernetzenden** Silikonkautschuken führen Härter-Fehldosierungen zu folgenden Problemen:

Überdosierung

- Verkürzte Verarbeitungszeiten (bei sehr großer Überdosierung keine Vulkanisation!)
- Haftungstendenz auf Kontaktmaterialien (Grundierungseffekt!)
- Drastisch erhöhte chemische Schrumpfung
- Nachhärtung der Vulkanisate unter Einwirkung von Luftfeuchtigkeit („Versprödung“)
- Bei hoch ein- und weiterreißfesten Typen nach kurzer Zeit starker Rückgang des Weiterreißwiderstandes

Unterdosierung

- Verzögerte Vernetzungsreaktion (im Extremfall gar keine oder keine vollständige Ausvulkanisation!)
- Haftungstendenz auf Kontaktmaterial (Klebeeffekt!)
- Weiche, „lappige“ Vulkanisate mit geringer mechanischer Festigkeit und stark erhöhter Quellbarkeit

Bei den **additionsvernetzenden** Silikonkautschuken sind die konkreten Auswirkungen einer Fehldosierung der Komponente B unterschiedlich, abhängig vom Mischungsverhältnis A : B sowie davon, in welcher Komponente sich der Vernetzer bzw. der Platin-Katalysator befindet. In jedem Fall kommt es jedoch zu einer Veränderung des optimalen Polymer/Vernetzer-Verhältnisses sowie der Katalysator-Konzentration.

Die Folgen sind:

- Verlängerte oder verkürzte Verarbeitungszeiten (bei sehr starker Abweichung vom vorgeschriebenen Mischungsverhältnis, keine oder keine vollständige Vulkanisation!)
- Weiche, „lappige“ Vulkanisate mit geringer mechanischer Festigkeit und stark erhöhter Quellbarkeit
- Nachhärtung der Vulkanisate (bei Vernetzerüberschuss!)
- Verstärkte Inhibierbarkeit (bei Katalysatormangel!)

Vermischen der Komponenten (Katalysierung)

Es ist darauf zu achten, dass die beiden Komponenten Kautschuk und Härter bei den **kondensationsvernetzenden** Typen völlig gleichmäßig (homogen) vermischt werden. Dies lässt sich bei den gieß- und streichbaren Produkten per Hand mit dem Spatel bzw. bei größeren Mengen mittels eines mechanischen Rührwerkes oder einer automatischen Misch- und Dosieranlage erreichen. Als Rührwerkzeuge für mechanische Rührwerke haben sich mehrfach gelochte, leicht aus der Achsenebene gekantete Blattrührer bewährt, im Fall von Hochgeschwindigkeitsrührwerken (Dissolvern) auch Zahnscheiben.

Achtung! Sind die Viskositäten der beiden zu vermischenden Komponenten deutlich verschieden, wie z.B. beim Einmischen eines flüssigen Härters in eine Kautschukmasse, dann neigt die dünnerflüssige Komponente dazu, sich an der Wand des Mischgefäßes anzureichern. Um eine örtliche Überkonzentration mit ihren negativen Folgen (ungleichmäßige Ausvulkanisation, Inhomogenitäten) zu vermeiden, muss die Gefäßwand während des gesamten Mischvorganges mit einem Spatel in kurzen Abständen abgestreift werden, auch bei einer Vermischung mit Hilfe eines mechanischen Rührwerkes!

Entfernen der eingemischten Luft

Durch die Vermischung von Masse und Härter bzw. der beiden Komponenten A und B unter Luftzutritt wird zwangsläufig eine bestimmte Menge Luft in die Kautschukmasse eingetragen. Nur in wenigen Fällen ist aber die Viskosität der katalysierten Mischung so niedrig, dass sich innerhalb der jeweiligen Verarbeitungszeit eine vollständige bzw. ausreichende Selbstentlüftung der Kautschukmasse ergibt. Zur Erzielung völlig luftblasenfreier Vulkanisate müssen daher gießbare, d.h. fließfähige Mischungen (Viskositätswerte bis 200.000 mPas) unter vermindertem Druck (10 - 20 mbar!) in einem Exsikkator oder Vakuumschrank entlüftet (evakuiert) werden.

Da sich die katalysierte Masse während des Evakuierens sehr stark ausdehnt, darf das verwendete Gefäß nur zu höchstens einem Viertel seines Gesamtvolumens mit dieser gefüllt werden, um eine maximale Expansion der Kautschukmasse zu erlauben und damit die kürzestmögliche Entlüftungszeit zu gewährleisten. Während des Evakuierens steigt die Masse zunächst hoch und fällt dann, bei ausreichendem Volumen des Mischgefäßes, von selbst zusammen, bevor der Gefäßrand erreicht wird. Droht die Masse dennoch überzulaufen, muss kurz belüftet werden, wobei dieser Vorgang so oft zu wiederholen ist, bis die Masse bei vollem Vakuum in sich zusammenfällt. Kurz darauf wird das Evakuieren abgebrochen.

Die gesamte Dauer des Evakuervorganges sollte 5 Minuten nicht überschreiten. Es sollte keinesfalls so lange evakuiert werden, bis sich keine Blasen mehr bilden, da in diesem Fall für die ordnungsgemäße Vulkanisation notwendige flüchtige Bestandteile entfernt werden könnten. Außerdem geht durch zu langes Evakuieren Verarbeitungszeit verloren.

Im Gegensatz zu Gießmassen können höherviskose Streichmassen nicht durch Evakuieren entlüftet werden. In diesem Fall sollte entweder versucht werden, die Luftbläschen durch intensives Rühren klein und damit wenig störend zu halten, oder aber man bringt auf die Kontaktflächen (die abzuformende Oberfläche) zuerst eine dünne, blasenfreie Schicht einer Gießmasse auf, lässt

diese leicht anvulkanisieren (nicht bis zur Klebfreiheit!) und appliziert dann erst die luftblasenhaltige Streichmasse.

Applikation

Gießbare Silikonkautschuke werden- nach dem Entlüften im Vakuum- aus möglichst geringer Höhe in dünnem Strahl auf- bzw. eingegossen.

Falls keine Evakuiermöglichkeit besteht, wird ein gewisser Entlüftungseffekt erreicht, wenn die Masse aus größerer Höhe in möglichst dünnem Strahl gegossen wird. Sollen jedoch völlig blasenfreie Kontaktflächen erzielt werden oder handelt es sich um eine streichbare Type, wird zuerst eine dünne Schicht katalysierte Gießmasse mit Hilfe eines steifen Kurzhaarpinsels luftblasenfrei aufgetragen. Nachdem diese Schicht leicht anvulkanisiert, aber noch klebrig ist, wird ein gießbares System, wie oben beschrieben, aufgegossen, eine streichbare Type mit einem Spatel aufgestrichen. Knetmassen werden von Hand oder mittels einer Walze appliziert.

Verarbeitungs- und Vulkanisationszeit

Die Verarbeitungs- oder Topfzeit, also jene Zeitspanne, innerhalb der sich die katalysierte Kautschukmasse noch gut verarbeiten lässt, hängt sowohl bei den **kondensations-** wie auch den **additionsvernetzenden** Typen stark von der Temperatur ab. Durch Erwärmen der Masse verkürzt, durch Abkühlen verlängert sich der Verarbeitungsspielraum wesentlich. Als Faustregel gilt eine Halbierung bzw. Verdoppelung der Topfzeit bei einer Erwärmung bzw. Abkühlung um etwa 7 °C. Die beginnende Vulkanisation macht sich durch einen zunehmenden Anstieg der Viskosität (Verdickung, Abnahme der Fließfähigkeit bzw. der Plastizität) bemerkbar. Daher sollte der gesamte Topfzeitspielraum nicht vollständig ausgenutzt werden. Vielmehr sollte die katalysierte Masse in möglichst niedrigviskosem, d.h. dünnflüssigem bzw. weichpastösem Zustand angewendet werden. Auch die Vulkanisationszeit hängt, bei den **kondensationsvernetzenden** weniger, bei den **additionsvernetzenden** Typen jedoch sehr stark von der Temperatur ab. Man unterscheidet die Zeit bis zur Klebfreiheit des Vulkanisates, nach der z.B. entformt werden bzw. das vergossene oder beschichtete Teil ohne Beschädigung manipuliert werden kann, und die Zeit bis zur vollständigen Ausvulkanisation. Letztere kann, je nach Temperatur, von wenigen Minuten bei **additionsvernetzenden** bis zu mehreren Monaten bei **kondensationsvernetzenden** den Produkten reichen. So lange die Vulkanisation nicht vollständig abgeschlossen ist, können längerdauernde Verformungen des Vulkanisates durch Nachvernetzung zu bleibenden Verformungen führen!

Wird die **Vulkanisation** durch Anwendung **höherer Temperaturen** beschleunigt (**Achtung! Bei kondensationsvernetzenden Typen dürfen 70 °C wegen der Gefahr einer Reversion des Vernetzungsprozesses nicht überschritten werden!**), kommt es beim Abkühlen des Vulkanisates zu einer thermischen Volumen-Schrumpfung, entsprechend dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Kautschuks. Je nachdem, ob die thermische Ausdehnung des Kautschuks im unvernetzten oder vernetzten Zustand erfolgt, was u.a. von der Topfzeit abhängt, kann es beim Abkühlen auf Raumtemperatur zu Verzerrungen der Vulkanisationsgeometrie kommen. Dies gilt sowohl für **kondensations-** (hier kommt noch die chemische Schrumpfung hinzu!) als auch für **additionsvernetzende** Produkte. Ist höchste Maßgenauigkeit gefordert, muss daher entweder die Vulkanisation bei der späteren Einsatztemperatur des Kautschuks vorgenommen, oder aber die Dimensionsänderung durch Berechnung oder Vorversuche ermittelt und entsprechend berücksichtigt werden.

Vulkanisationsstörungen

Kondensationsvernetzende Silikonkautschuke benötigen für eine schnelle und vollständige Aushärtung geringe Mengen an Feuchtigkeit. Informationen zum Fall eines Feuchtigkeitsmangels in der Kautschukmasse finden Sie unter „Lagerung“.

Enthält die Umgebungsluft weniger als 40 % relative Feuchtigkeit, können die der Luft zugewandten Vulkanisatoberflächen klebrig bis flüssig bleiben. In diesem Fall muss der Feuchtigkeitsgehalt der Raumluft durch geeignete Maßnahmen (Verdunster, Zerstäuber, feuchte Tücher) entsprechend angehoben werden, was sich leicht mittels eines Hygrometers kontrollieren lässt. Ein Wasserzusatz zur Masse stellt in diesem Fall keine geeignete Maßnahme dar!

Bei den **additionsvernetzenden** Silikonkautschuken kann es durch eine Reihe von Substanzen oder Werkstoffen, die die Funktion des Platin-Komplekkatalysators beeinträchtigen, im Falle eines Kontaktes mit der unvulkanisierten Mischung zu Vulkanisationsstörungen kommen, auch „Inhibierung“ genannt. Diese Substanzen können sich sowohl an der Oberfläche eines mit der Kautschukmasse in Kontakt kommenden Substrates (Modell, Mischwerkzeug etc.) als auch in der Umgebungsluft befinden, u.a. in Temperöfen oder Wärmeschranken, in denen Gießharze ausgehärtet wurden, die inhibierende Stoffe freisetzen.

Die wichtigsten dieser inhibierenden Stoffe sind:

- Schwefel, bestimmte Schwefelverbindungen wie Polysulfide und Polysulfone sowie andere schwefelhaltige Stoffe wie Natur- und bestimmte Synthesekautschuke (u.a. EPDM)
- Amine, Urethane und aminhaltige Stoffe wie amingehärtete Epoxydharze, bestimmte Polyurethane etc.
- Organometall- speziell Organozinn-Verbindungen und solche Substanzen enthaltende Stoffe wie z.B. Vulkanisate und Härter kondensations-vernetzender Silikonkautschuke
- Diverse natürliche und synthetische Öle, Fette, Wachse und Harze sowie solche Substanzen enthaltende Stoffe wie z.B. viele Trennmittel und fast alle Plastillinsorten

Es wird daher dringend empfohlen, über entsprechende Vorversuche abzusichern, dass die mit dem unvulkanisierten **additionsvernetzenden** Kautschuk in Berührung kommenden Materialien keine Inhibierung verursachen. Flüssige Anteile, klebrige oder deutlich weichere Vulkanisatoberflächen im Kontaktbereich oder eine deutlich verzögerte Ausvulkanisation weisen auf das Vorliegen einer Inhibierung hin.

Vorbereitung des Vulkanisates

Vor dem ersten Einsatz eines vulkanisierten Silikonkautschukes müssen je nach Vernetzungssystem, Vulkanisations- und Einsatzbedingungen im einzelnen Fall bestimmte Voraussetzungen erfüllt bzw. spezielle Maßnahmen getroffen werden:

Vulkanisate **kondensationsvernetzender** Kautschuke müssen absolut frei sein vom bei der Vernetzungsreaktion gebildeten flüchtigen Alkohol, bevor sie:

- Dauernd verformt werden, z.B. als Dichtung; anderenfalls kommt es zu einem Druckverformungsrest von bis zu 100 %, d.h. es ist kein Rückstellvermögen mehr vorhanden
- Auf Temperaturen über 90 °C erhitzt werden, da sonst Reversion eintritt, d.h. eine Umkehrung der Vernetzungsreaktion, die zur Erweichung bis Verflüssigung des Kautschuks innerhalb dickerer Schichten bzw. im geschlossenen System führt
- Alkoholdampfdicht verschlossen werden, z.B. im gekapselten Elektroverguss, da es sonst zu massiver Metall- und Kunststoffkorrosion kommt, als Langzeiteffekt auch bei Raumtemperatur
- Mit chemisch aggressiven oder physikalisch quellenden Agentien in Kontakt gebracht werden, z.B. als Formen zur Gießharzverarbeitung, da daraus sonst eine drastische Erniedrigung der erreichbaren Abformzahlen resultiert

Die Alkoholfreiheit frischer **kondensationsvernetzter** Vulkanisate lässt sich entweder durch mehrtägige Lagerung bei Raumtemperatur (Faustregel: ca. 24 Stunden je cm Schichtdicke bis zur nächstliegenden freien Oberfläche) oder mehrstündige Lagerung bei maximal 70 °C (Faustregel: ca. 6 Stunden je cm Schichtdicke bis zur nächstliegenden freien Oberfläche) erreichen, wobei das Vulkanisat offen, mit möglichst großer freier Oberfläche gelagert werden sollte.

Vulkanisate **additionsvernetzender** Kautschuke enthalten kein Reaktionsprodukt und sind deshalb im Prinzip sofort nach vollständiger Vernetzung einsatzfähig. Da dieser Vorgang bei Raumtemperatur jedoch ebenfalls einige Tage dauern kann, empfiehlt sich eine anschließende mehrstündige Wärmebehandlung bei 100 °C, um die Vernetzung abzuschließen, insbesondere dann, wenn ein möglichst niedriger Druckverformungsrest gefordert wird. Generell lässt sich sagen, dass sich eine mehrstündige Wärmebehandlung, zumindest bei der künftigen Einsatztemperatur, maximal aber bei 180 °C, sowohl für alkoholfreie **kondensations-** wie auch für **additionsvernetzende** Vulkanisate im Hinblick auf das Erreichen ihrer höchstmöglichen Leistungsfähigkeit als günstig erwiesen hat.

Verkleben mit verschiedenen Materialien

Bereits vulkanisierte Silikonkautschuke lassen sich mit Hilfe von unter Einwirkung von Luftfeuchtigkeit ausvulkanisierenden Silikonkautschuk-Klebern mit anderen Werkstoffen verbinden. Besonders bewährt haben sich dafür die Produkte ELASTOSIL® E 4 (standfest) und ELASTOSIL® 43 (fließfähig).

Zur Verklebung wird der Einkomponenten-Kautschuk dünn auf die vorbehandelte und entsprechend grundierte Werkstoff-Haftfläche sowie auf die mit Aceton oder Benzin gereinigte Silikonkautschuk-Vulkanisatoberfläche aufgetragen, worauf beide Teile ohne Wartezeit zusammengefügt werden. Durch seitliches Verschieben kann die Passung, falls erforderlich, noch korrigiert werden. Der seitlich herausquellende, überschüssige Kleber wird anschließend abgestreift. Bereits nach 1 - 2 Stunden ist meist eine gute Haftung gegeben, wobei allerdings die Schichtdicke des Kautschukvulkanisates, der Feuchtigkeitsgehalt der Umgebungsluft und die Temperatur einen starken Einfluss auf die Vulkanisationszeit des Klebers ausüben. Der bei der Vernetzung der ELASTOSIL® E-Typen auftretende Geruch nach Essigsäure verschwindet nach abgeschlossener Vulkanisation vollständig.

Sollen Silikonkautschuk-Vulkanisate miteinander verklebt werden, so bestreicht man die mit Aceton oder Benzin gereinigten Haftflächen jeweils mit einer möglichst dünnen

Schicht ELASTOSIL® E 4 oder ELASTOSIL® 43 und fügt sie ohne Wartezeit zusammen. Im Übrigen gilt das bereits beim Verkleben von RTV-2 Silikonkautschuk-Vulkanisaten mit Nicht-Silikon-Werkstoffen erwähnte.



Alle Informationen, Empfehlungen oder Ratschläge seitens der R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen. Sie gelten als unverbindliche Hinweise und enthalten weder ausdrückliche noch stillschweigende Zusicherungen noch eine Garantie bestimmter Eigenschaften. Bei den angegebenen Eigenschaftskennwerten handelt es sich um typische Werte. Empfehlungen oder Ratschläge beschreiben unsere Produkte und mögliche Anwendungen in genereller oder beispielhafter, aber nicht auf den Einzelfall bezogener Weise. Im Zuge der ständigen technischen Weiterentwicklung und Verbesserung unserer Produkte können sich Veränderungen in den Kennwerten, Texten und Graphiken ergeben; ein besonderer Hinweis auf eine evtl. Veränderung erfolgt nicht. Der Kunde prüft eigenverantwortlich unsere Produkte in Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke sowie ihre entsprechende Verarbeitbarkeit, da die technischen Einsatzmöglichkeiten unserer Produkte zahlreich und je nach Fall sehr unterschiedlich sind. Sie entziehen sich daher unseren Kontrollmöglichkeiten und liegen ausschließlich im Verantwortungsbereich des Kunden. Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Gesetze und Bestimmungen sind vom Abnehmer bzw. Anwender in eigener Verantwortung zu beachten. Die Veröffentlichung ist keine Lizenz und beabsichtigt nicht die Verletzung irgendwelcher Patente.



All information, recommendations, and advice on the part of R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH are published to the best of our knowledge and belief. They are noncommittal and contain neither explicit nor tacit assurance or warranty of particular properties. The values specified for properties are typical figures. Recommendations or advice serve to describe our products and possible applications in a general or exemplary, but not specifically individual manner. In the course of the constant technical advancement and improvement of our products there may be changes to the characteristic values, copy, and diagrams; no specific reference is made to any such change. Owing to our products' wide and highly diverse range of potential applications far beyond any of our attempts to analyse, the customer alone is responsible for examining our products' suitability for the respective processes and purposes and their respective processability. All and any protective rights and the applicable laws, terms, and conditions must be observed by the buyer or user of our products at their own responsibility. Publication is not a licence and does not intend the violation of any patents.



condensation-curing

addition-curing

Product	Description	Mixing ratio parts by weight	Processing time minutes	Demoldable at 23 °C after	Heat resistance up to °C	Viscosity mPa·s (at 23 °C, Brookfield)	Density g/cm ³ (DIN 53479)	Hardness Shore A (DIN 53505)	Tensile strength N/mm ² (DIN 53504,S3A)	Elongation at break % (DIN 53504, S3A)	Tear resistance N/mm (ASTM D 624 B)	Linear shrinkage % (after 7 days)
KDSV-10 Component A + B Art.-no.: 415200-10-X	Casting compound, white condensation-curing two components	100 : 2 up to 100 : 3 bis	40 up to 30	5 h up to 3 h at 25 °C)	shorttime up to max. 200 °C	16.000 ±2.000	1.08	10	> 3,1	> 550 %	>15	≤0.25
KDSV-25 Component A + B Art.-no.: 415200-X	Casting compound, white condensation-curing two components	100 : 2 up to 100 : 3	60 up to 30	-	short-time up to max. 200 °C	22.000 - 25.000	1.08	25	4.0	430 %	≥27	0.3
KDSV THX-30 Component A + B Art.-no.: 415220-X	Casting compound, white condensation-curing two components complies with food regulations (FDA approval)	100 : 2 up to 100 : 3	60 up to 30	5 h up to 3 h (at 25 °C)	short-time up to max. 200 °C	35.000 - 40.000	1.09	35	>5.5	>350	>30	≤0.25
KDSV M 4470 + Catalyst 40 Art.-Nr.: 415120X-P	Casting compound, red brown condensation-curing two components	100 : 2 up to 100 : 3	20 - 40	3 - 4 h 2 - 3 h	short-time up to max. 300 °C	10.000	1.44	60	4.5	120	>4	0.8
ADDV-25 Component A + B Art.-no.: 415210-X	Casting compound, colourless translucent, addition-curing two components	100 : 100	30 up to 50 (at 25 °C)	4 h up to 5 h (at 25 °C)	short-time up to max. 250°C	6.800 ± 1.500	-	25	9.5 ± 1.0	≥450	31 ± 2	≤0.1
ADDV-42 Component A + B Art.-no.: 415215-X	Casting compound, colourless translucent, addition-curing two components	100 : 100	30 up to 50 (at 25 °C)	4 h up to 5 h (at 25 °C)	short-time up to max. 250 °C	7.200 ± 1.500	1.14	40 ± 2	9 ± 1.0	380	19 ± 2	≤0.1
ADDV M 4601 Component A + B Art.-no.: 415133-X	Casting compound, red brown, addition-curing , two components complies with food regulations (FDA approval)	100 : 11	90	12 h at 70 °C after 20 min	short-time up to max. 300 °C	10.000	1.13	28	6.5	700	>30	<0.1
ADDV M 4641 Component A + B Art.-no.: 415130-X	Casting compound, colourless transparent, addition-curing , two components complies with food regulations (FDA approval)	100 : 10	100	15 h at 70 °C after 30 min	short-time up to max. 300 °C	30.000	1.07	43	4.5	300	>25	<0.1



Silicone moulding compounds

Highly flexible moulds of silicone rubber are ideal for the reproduction of complex parts with undercuts. These moulds are **used primarily** in the manufacture of model parts, decorative elements for furniture, reliefs, ornamental candles, architectural models, decorative buttons, dolls' bodies, sealing sections, and reproductions for the preservation of historical monuments.

Master patterns of the usual materials such as wood, metal, plastic, plaster, stone, and wax are highly suitable for making moulds with silicone rubber. Smooth, non-absorbent surfaces, e.g. of plastic or metal, generally do not need release agents (solely silicone adheres to silicone, so the surfaces must be pretreated with a release agent).

The surfaces of **porous models**, e.g. of plaster, wood, or stone, are highly absorbent, so they must be sealed beforehand. The sealants commonly used for this purpose are water-soluble synthetic resins such as methyl cellulose (wallpaper paste), polyvinyl alcohol, acrylic penetrating stopper, nitro primer, etc. The high flexibility of the rubber means that moulds can be made with extreme undercuts.

Mould making

Moulds of silicone rubber can be used to make male casts not only of polyester, epoxy, and polyurethane resin, but also of plaster, wax, and concrete. Special **release agents** generally do not need to be applied to the mould (with the **exception of epoxy resins**).

The silicone moulding compound **KDSV M 4470** is recommended for the casting of low-melting metal alloys (**melting point max. 300 °C or 572 °F**) based on lead, tin and zinc.

Moulds of polyester or polyurethane resin are recommended for greater piece numbers.

Amine-hardened epoxy resins attack silicone. The service life of the mould is extended when a thin coat of **release agent** is applied before the first cast. This release agent also becomes necessary when EP or UP overlay resins are to be applied as the first coat in a silicone mould. Otherwise, the silicone's poor wetting properties could give rise to voids in the form of bubbles or brush marks.

General information

Consistency: This property can be divided into pourable, spreadable, firm-spreadable, and kneadable systems. The viscosity is an approximate measure of the flow characteristics. The higher the value for the viscosity, the thicker the pourable compound or the stiffer the pastiness of the spreadable compound. The processing time (pot life) and the vulcanisation time are

a measure of a system's **reactivity**. Usually the processing time is specified as the period after which the catalysed rubber compound has just become pourable, spreadable, or kneadable. However, where very high demands are placed on flowability, e.g. when the compound is to embed electronic components separated by narrow gaps, the processing time is usually specified as the time needed for the viscosity to reach double the initial value.

As a rule, the vulcanisation times specify only that period after which the rubber has fully cured (to exhibit a tack-free surface) for further processing. In most cases, the final vulcanisate properties are not reached until the system has undergone vulcanisation a number of days at room temperature.

Even when vulcanisates are manufactured at higher temperatures, they generally undergo differing degrees of post-cross-linking during subsequent storage at room temperature. The fastest method for obtaining the final vulcanisate properties is to store the products for several hours at temperatures that are not too high (100–120 °C). This method is so-called **annealing**.

No exothermal reaction occurs during vulcanisation, so larger quantities (> 5 kg) can be processed safely. However raising the processing temperature will accelerate the vulcanisation, following the rule that an increase of 7 °C will double the reaction rate.

Vulcanisate properties

The most important vulcanisate properties include the **mechanical and electrical properties**.

Of a **vulcanisate's mechanical properties**, the tear propagation strength is one of the key characteristics next to the indentation hardness (mostly specified in Shore A, whereby the higher the Shore A value, the harder the vulcanisate). Tear propagation strengths greater than about 10 N/mm mean that the vulcanisate exhibits a high notch toughness, i.e. a far higher tear and tear propagation strength than the standard mechanical properties.

The **elastic properties** of silicone rubbers maintain within a range of - 50° to + 200 °C, short-time up to 300 °C. With certain types, this range can be extended to - 100°C.

The resistance against high temperatures is on the one hand depending on the type itself and on the other on the environment it is going to be used in. In general vulcanisates of silicone rubbers stay elastic at extreme temperatures, however the presence of atmospheric oxygen plays an

important role. During access of air silicone rubbers are able to permanently withstand temperatures up to + 200 °C (short-time up to 300 °C). Exceptionally heat resistant types maintain their elasticity at 250 °C for over 1000 h. For a short period of time even + 300 °C are possible. At a heat exposure of over 180 °C and the presence of oxygen cross-linking will occur between the polymer chains.

This irreversible process will show through weight loss, shrinking and increasing embrittlement. It is affiliated with an increase in shore hardness, a decline in tear strength and elongation at break as well as a degradation of tear propagation strength. The domination of aging processes through polymerization or reversion will appear with air exclusion in closed systems.

This applies in particular at the presence of humidity (respectively hydroxyl groups) or organotin compounds which are contained in hardeners of **condensation-curing** silicone rubbers. Therefore close attention has to be paid to completely removing of degradation products from condensation types. In this regard, most of the **addition-curing** silicone rubbers are superior to **condensation-curing** types due to the absence of organotin compounds.

A **vulcanisate's electrical properties** are to a great extent independent of the consistency, reactivity, mechanical properties, and curing (cross-linking) system. However, the type of curing system is an essential factor affecting most of the processing and vulcanisate properties.

There are two types of curing systems:

1. Condensation-curing KDSV-10 , KDSV-25, KDSV THX-30, KDSV M 4470

Silicone rubbers from the **condensation-curing** category undergo vulcanisation on the addition of a liquid or pasty hardener, which has been developed for silicone rubber compounds.

Different types and added quantities of hardener serve to lengthen or shorten the processing and vulcanisation times. These hardeners and quantity ranges are fixed for every rubber type.

Introducing less than the prescribed quantities of hardener (**underdosing**) leads to undercuring: the rubber stays soft or even tacky, the mechanical strength is considerably reduced, and its resistance to the swelling effects of solvents and cast resin constituents clearly suffers.

Introducing a greater amount of hardener than that specified (**overdosing**) gives rise to an excess of catalyst in the vulcanisate. Not only does the rubber's resistance to the

separating procedure increase, the vulcanisate undergoes post-curing under the effects of air humidity, with the result that it loses most of its mechanical strength.

Silicone rubbers that undergo **condensation-curing** can be vulcanised at temperatures between 0 and max. 70 °C. It is important to note that temperatures higher than 80 °C cause the cross-linking reaction to switch directions: so-called reversion, whereby the system remains or again becomes tacky or even liquid.

For vulcanisation to take place without problems, what is needed is not only the organotin catalyst contained in the hardener, but also small quantities of moisture in both the rubber compound and the ambient air. The reaction product generated by the cross-linking is a low-concentration alcohol, in most cases ethanol or propanol. The alcohol thus formed must first volatilise out of the vulcanisate before it can be used. This volatilisation leads to a loss in mass, which in turn causes the vulcanisate to shrink along all three axes by as much as 5 % vol.

Thickening agent C serves to modify the flowability or the firm formulation of the silicone types **KDSV-10 , KDSV-25** and **KDSV THX-30** so that it does not run off or sag when it is spread with a brush or spatula on uneven or vertical mould surfaces for manufacturing skin moulds. The added quantity can be varied to modify the consistency of the rubber compound to the respective requirements, in various stages from reduced flowability to complete firmness.

Storage

For vulcanisation to take place properly (and especially in a thick coat), this category of silicone rubbers, as mentioned above, needs small quantities of water vapour in the rubber compound. So that this moisture added to the compound during its manufacture cannot escape from the uncured rubber, the packaging must be sealed tightly at temperatures between 5 and 30 °C.

When only part of the contents is removed, the packaging holding the rubber compound must be resealed tightly immediately afterwards: it must not remain open for a long time or be stored with a loose lid. Otherwise, undercuring is the consequence, i.e. considerably longer times until the part is ready to demould or develops a tack-free surface, delayed curing in thick coats, and a strong tendency to adhere to the mould. Should **lack of moisture** disrupt vulcanisation in this manner, it can be made to progress properly with a simple measure: simply mix 1–2 g of water for every kilogram of rubber in the uncured rubber compound (without added hardener), and then store this in its tightly sealed packaging at room temperature for at least



twenty-four hours. During this time, the water evaporates, saturating the rubber compound with the required moisture in the process.

The catalysts, on the other hand, react with moisture to form a flocculent precipitate. In other words, when only part of the contents is removed from the hardener's packaging, it must be resealed tightly immediately afterwards. The hardener must be stored in as cool an environment as possible, at best between 5 and 25 °C. Small quantities of precipitate, however, have no effect on the processing or vulcanisate properties.

Hardeners that have been stored for longer than the specified period (over six months) can cut the processing time for the silicone considerably. The contents of packaging must be consumed within the period specified.

2. Addition-curing ADDV-25, ADDV-42, ADDV M 4601, ADDV M 4641

Silicone rubbers from the **addition-curing** category undergo vulcanisation when the two constituents A and B are mixed. These two constituents must be **precisely matched to one another** and so are always supplied together, i.e. it is not possible to purchase the one constituent only.

The constituents A and B must be processed exclusively in the prescribed ratio of weights. A different mixing ratio A : B generally gives rise to undercuring with similar consequences to those described above for **condensation-curing**.

Addition-curing silicone rubbers can be vulcanised at temperatures between 10 and 300 °C. This type of cross-linking does not form volatile reaction products, so the cross-linking reaction is not reversed at higher temperatures, nor does the vulcanisate undergo chemical shrinkage as a result of any loss in mass. So vulcanisates that have been made from these silicone rubbers can be used directly after demoulding.

However, the possible applications for **addition-cured** silicone rubbers can be severely restricted and even made impossible should the unvulcanised rubber come into contact with so-called inhibiting substances, i.e. substances whose reactivity suppresses the cross-linking ability of the platinum complex catalyst.

Thickening agent ADDV-43 serves to modify the flowability or the firm formulation of the silicone types **ADDV-25, ADDV-42, ADDV M 4601** and **ADDV M 4641** so that it does not run off or sag when it is spread with a brush or spatula on uneven or vertical mould surfaces for manufacturing skin moulds. The added quantity can be varied to modify

the consistency of the rubber compound to the respective requirements, in various stages from reduced flowability to complete firmness.

Storage

The constituents of these types should be stored at temperatures between 5 °C and 30 °C in tightly sealed packaging.

Important! Even a minute quantity of the platinum catalyst is enough to initiate a reaction should it (accidentally) come into contact with the constituent containing the cross-linking agent.

In this event, unvulcanised material may contain vulcanised zones with diameters up to several centimetres, or the material may possibly release hydrogen. The material is so susceptible to contamination with the platinum catalyst that the packaging for the constituents A and B should not even be placed next to each other when they are open. When only part of the contents is removed, the packaging must be **tightly sealed** immediately afterwards.

It is imperative that the processor also ensures that tools and equipment used to prepare the constituent containing the catalyst or the mixture of the two constituents do not under any circumstances come into contact with the constituent containing the cross-linking agent. For this reason, we urgently recommend that the tools and equipment used separately to process the respective constituents are provided with different and highly visible markings so that they cannot be confused.

Notes on safety/ safety precautions

The experience gained from several decades of applications involving silicone rubbers has shown that the rubber compounds from both categories of **condensation-** and **addition-curing** may be regarded as neither toxic nor aggressive in the delivered state. For this reason, no special precautions need be taken beyond those specified in the general rules for industrial hygiene.

On the other hand, the catalyst used to process the **condensation-curing** types may cause irritation when, in the undiluted state, they come into contact with the skin or eyes. Particularly susceptible persons may show allergic symptoms, so the corresponding protective measures must be taken.

Other notes

Unvulcanised silicone rubber residue can be easily removed from receptacles and clothing with grease solvents such as petrol or acetone. The best method for residue in curing pots is to vulcanise it first: afterwards, it can be removed from the curing pot with the minimum of effort.

"Scorched" (prevulcanised) or even fully cured residue, on the other hand, can no longer be dissolved. Instead, it must be removed with a mechanical aid after the residue has undergone prior swelling under the effects of one of the solvents named above. The processor should take this into account when choosing suitable working clothes.

There must be adequate ventilation at the workplace when solvents are handled.

Processing

Silicone rubbers are **highly developed technical products** that require a certain level of knowhow if the full potential of these products is to be utilised and fundamental **errors are avoided in their application**.

So before commencing work on processing, you should always convince yourself that you have all the required product information to hand.

Recommended basic equipment

When smaller quantities are processed, we recommend the following basic equipment:

- **Balance** (precision 0.1 g) and measuring vessel or pipette or disposable injector
- Clean **mixing vessels** of metal or plastic (ideally of PE or PP) or cardboard mixing cups
- **Spatulas** of metal, wood, or plastic
- Stiff **short-bristle brushes**
- Mechanical **mixing device** (e.g. drill with paddle agitator)
- **Vacuum pump** and vacuum vessel (e.g. **desiccator** of plastic)
- Grease **solvent** (e.g. petrol, acetone, MEK)

Preparing the constituents

The pourable compounds or constituents (excluding the transparent types) must be thoroughly mixed before they are removed from or processed in the packaging. This ensures that the fillers that may have precipitated during the storage period are distributed uniformly throughout. Stirring also ensures that types with high tear propagation strength, which may have thickened slightly during storage, regain their optimal flowability.

Dosing the constituents

It is essential that the constituents are precisely dosed. Only meticulous adherence to the mixing ratio ensures reproducible processing and vulcanisation times and, more importantly, the vulcanisate properties required for the respective application. Either the weight (determined with the balance) or the volume (determined with the measuring vessel, pipette, or disposable injector) can serve as the basis for dosing.

In most cases, the processing instructions specify the mixing ratio in parts by weight only, so the volume ratio needed for volumetric dosing must first be calculated from the densities given on the product's information and safety data sheets.

Important! If the catalysed compound is de-aired in the weighing receptacle, the receptacle must be able to hold at least four times the initial volume of the catalysed rubber compound (see the section "Removing trapped air"). In the case of **condensation-curing** silicone rubbers, dosing the wrong quantity of hardener can cause the problems listed below.

Overdosing

- Shortened processing times (extreme overdosing suppresses vulcanisation)
- Tendency to adhere to contacting materials ("primer effect")
- Sharp increase in chemical shrinkage
- Vulcanisates post-cure, and so embrittle under the effects of air humidity
- High tear and tear propagation strengths drop sharply after a short time

Underdosing

- Retarded cross-linking reaction (in extreme cases there is no or only partial curing)
- Tendency to adhere to contacting material ("adhesive effect")
- Soft, limp vulcanisates with low mechanical strength and an exaggerated tendency to swell

In the case of **addition-curing** silicone rubbers, the specific effects of **wrongly dosed quantity** of constituent B vary, depending on the mixing ratio A : B and on which of the constituents contains the cross-linking agent and which the platinum catalyst. In all cases, both the optimal ratio of polymer to cross-linking agent and the concentration of the catalyst are changed as a result.



The consequences are:

- Extended or shortened processing times (with extreme deviations from the specified mixing ratio there is no or only partial curing)
- Soft, limp vulcanisates with low mechanical strength and an exaggerated tendency to swell
- Vulcanisates undergo post-curing (owing to the excess of cross-linking agents)
- Increased susceptibility to inhibiting effects (inadequate quantity of catalyst)

Mixing (catalysing) the constituents

It must be ensured that the two constituents, rubber and hardener, are mixed completely uniformly (homogeneously) when the result is a **condensation-curing** type. Pourable and spreadable products can be homogeneously mixed by hand with the spatula or, for larger quantities, with a mechanical mixing device or an automated mixing and dosing system. Perforated paddle agitators set at a slight angle to the axial plane have proved efficient in mechanical mixing devices, but also toothed discs are used in high-speed mixers (dissolvers).

Important! If the two constituents exhibit too great a difference in their viscosities, e.g. a liquid hardener must be mixed into the rubber compound, then the lower-viscosity constituent tends to accumulate on the sides of the mixing vessel. So that local overvulcanisation and its negative consequences (inhomogeneous curing or consistency) cannot arise, a spatula must be used to scrape down the sides of the receptacle at short intervals for the whole mixing process – even when a mechanical mixing device is used.

Removing trapped air

When the compound and hardener or the two constituents A and B are mixed in a vessel exposed to air, it is inevitable that a certain quantity of air becomes trapped in the rubber compound. Only in very few cases, however, is the viscosity of the catalysed mixture so low that the full or an adequate quantity of the air trapped in the rubber compound can escape within the respective processing time. Vulcanisates **completely free of air bubbles** are obtained only when pourable, i.e. flowable mixtures (max viscosity 200,000 mPa.s) are de-aired (evacuated) under a reduced pressure (10–20 mbar) in a desiccator or vacuum chamber. During evacuation, the catalysed compound undergoes extreme expansion. So that the rubber compound can expand to the maximum extent in the shortest possible evacuation time, the vessel holding

the compound should not be filled to more than a quarter of its capacity. During the evacuation process, the compound first expands and then (provided that the capacity of the mixing vessel is large enough) collapses before reaching the vessel's rim. Should the compound be on the point of spilling over, air must be introduced into the chamber for a short period. This procedure must be repeated until the compound collapses in the hardest obtainable vacuum. The evacuation process is now stopped.

The full duration of the evacuation process should not exceed **five minutes**. Under no circumstances should evacuation be continued until bubbles no longer form: this could cause volatile constituents to escape that are needed for vulcanisation to take place properly. Moreover, too long an evacuation adds to the processing time.

In contrast to pouring compounds, **higher-viscosity spreadable** compounds cannot be de-aired through evacuation. Instead, one of two methods can be applied. The first involves intensive mixing to minimise the size, and therefore the disruptive potential of air bubbles. Alternatively, **a thin, bubble-free coat of a pourable compound** is applied to the contact surfaces (the surfaces forming the cast) and left to prevulcanise slightly (but not until the surface becomes tack-free) before serving as the base coat for the spreadable compound containing air bubbles.

Application

After the de-airing process in a vacuum, pourable silicone rubbers are applied in thin jets as close to the base surface as possible.

If evacuation is not possible, a certain de-airing effect is achieved when the compound is applied in as thin a jet as possible from a greater height.

If, however, the contact surfaces should not exhibit any bubbles at all or the rubber compound is a spreadable type, then the catalysed pourable compound is first of all applied in a thin, bubble-free coat with a stiff short-bristle brush. Once this coat has prevulcanised slightly, but is still tacky, the pourable system is introduced as described above or the spreadable system applied with a spatula. Kneadable compounds are applied by hand or with a roller.

Processing and vulcanisation times

Whether **condensation-** or **addition-curing** types, the processing time or pot life, i.e. the time during which the catalysed rubber compound can be processed without difficulty, depends greatly on the temperature. Higher temperatures essentially shorten the processing time, lower temperatures essentially increase it. A general rule

of thumb is that a rise in temperature of about 7 °C halves the pot life, the equivalent drop in temperature doubles it.

A perceptible sign of **incipient vulcanisation is the constant increase in viscosity** (inspissation, drop in flowability or plasticity). For this reason, the pot life should not be utilised to the full extent. Instead, the catalysed compound should be used when it exhibits the lowest possible viscosity, i.e. when it is in a free-flowing or soft-pasty state.

Also the **vulcanisation times** depend on the temperature. This applies less to the **condensation-curing** types than to the **addition-curing** types, whose dependency is greater.

The vulcanisation time is divided further into the time needed for the vulcanisate to yield a tack-free surface, thus allowing e.g. demoulding or safe manipulation of the cast or coated part, and the time needed for full curing. Depending on the temperature, the latter can range from a few minutes in the case of **addition-curing** products to several months in the case of **condensation-curing** types. When vulcanisates have not cured completely, post-cross-linking can cause in the long term any deformation of the vulcanisate to become permanent.

If vulcanisation is accelerated at **higher temperatures (Important! Condensation-curing types must not be exposed to temperatures higher than 70 °C, otherwise the cross-linking process may undergo reversion)**, the vulcanisate, when cooled, experiences a thermally induced dimensional shrinkage based on the rubber constituent's coefficient of thermal expansion. Depending on whether the rubber undergoes thermal expansion in the cross-linked or un-cross-linked state (influenced by such factors as the pot life), the three-dimensional progress of vulcanisation can become distorted when the compound is cooled to room temperature. This applies to both **addition-curing** types and **condensation-curing** types (these latter undergo in addition chemically induced shrinkage). If the greatest dimensional accuracy is required, then either vulcanisation must take place at the subsequent working temperature of the rubber, or appropriate consideration is given to the dimensional changes that are calculated or determined beforehand in preliminary tests.

Disruptions to vulcanisation

Condensation-curing silicone rubbers need small quantities of moisture in order to cure completely and quickly. The consequences of a lack of moisture in the rubber compound are described under the section "Storage".

If the relative humidity of the ambient air is less than 40 %, then the surfaces of the vulcanisate exposed to the air can remain tacky or even liquid. In this event, suitable measures must be implemented (e.g. evaporator, atomiser, moist cloths) to raise the moisture content of the air in the processing environment, which can then be easily measured with a hygrometer. Adding water to the compound is not a suitable measure in this event.

In the case of **addition-curing** silicone rubbers, there are a number of substances or engineering materials that counteract the function of the platinum complex catalyst and so **disrupt**, or inhibit the **progress of vulcanisation** when they come into contact with the unvulcanised mixture. These substances can be found both on the surfaces of the substrate in contact with the rubber compound (model, mixer tools, etc.) and in the ambient air, e.g. in annealing ovens or hot-curing chambers used for cast resins that release inhibitors when curing.

List of the most important inhibitors:

- Sulphur, certain sulphur compounds such as polysulphides and polysulfones as well as other sulphurous substances such as natural and some synthetic rubbers (e.g. EPDM)
- Amines, urethanes, and substances containing amines such as amine-hardened epoxy resins, some polyurethanes, etc.
- Organometallic compounds, but specifically organotin compounds, and other substances containing these such as e.g. vulcanisates and hardeners for **condensation-curing** silicone rubbers
- Various natural and synthetic oils, greases, waxes, and resins as well as other substances containing these such as e.g. a large number of release agents and almost all plasticine brands

It is therefore urgently recommended to conduct the corresponding preliminary tests which can verify that the materials coming into contact with the unvulcanised **addition-curing** silicone rubber do not inhibit vulcanisation. Liquid zones, tacky or perceptibly softer vulcanisate surfaces in the contact area, or severely retarded curing are indications of the presence of inhibitors.

Preparing the vulcanisate

Before a vulcanised silicone rubber can be put to use in a specific situation, a number of conditions must first be fulfilled or specific measures implemented depending on the curing system as well as the vulcanisation and field conditions.



Vulcanisates of **condensation-curing** rubbers must be absolutely free of the volatile alcohol formed during the cross-linking reaction before they can be:

- Subjected to plastic deformation operations, e.g. for manufacturing gaskets; otherwise, the compression set may be as high as 100 %, i.e. the vulcanisate no longer exhibits a restoring force
- Heated to temperatures over 90 °C; otherwise, the cross-linking reaction will reverse, causing the rubber to soften or liquefy in thicker coats or a closed system
- Sealed tightly against alcohol vapour, e.g. in cast encapsulations for electronic components; otherwise, there will be severe corrosion to metals and plastics, in the long term at room temperature as well
- Brought into contact with chemically aggressive or physically swelling agents, e.g. as moulds for processing cast resins; otherwise, the max number of demouldings will be drastically reduced as a result

The alcohol content of fresh **condensation-cured** vulcanisates can be reduced to zero when they are stored for several days at room temperature (the general rule of thumb is approx. twenty-four hours for every centimetre of coat thickness to the next exposed surface) or for several hours at a max temperature of 70 °C (here the rule of thumb is approx. six hours for every centimetre of coat thickness to the next exposed surface). The vulcanisate must be stored with as much of its surface area exposed as possible.

Vulcanisates of **addition-curing** silicone rubbers do not contain any reaction product and so in principle can be put to use immediately they have completely cured. This process, however, may also take several days at room temperature, so one recommended procedure is subsequent heat treatment at 100 °C over several hours to bring cross-linking to a close, in particular when the lowest possible compression set is required. It is a generally accepted fact that heat treatment of several hours, at temperatures no less than the intended working temperature, yet no greater than 180 °C, is particularly effective as a measure for maximising the service properties of both alcohol-free **condensation-** and **addition-curing** vulcanisates.

Bonding various materials

Silicone rubber adhesives that undergo vulcanisation when exposed to air humidity can be used to bond fully cured silicone rubbers to other materials. The products ELASTOSIL® E 4 (firm) and ELASTOSIL® 43 (flowable) have proved particularly effective in this respect.

First of all, a thin coat of one-component rubber is applied to the pretreated and adequately primed surface of the material to be bonded and then to the surface of the silicone rubber vulcanisate. Both surfaces can now be joined without any further delay. If necessary, the parts can be pushed into place if they are misaligned. Any excess glue extruded from the sides of the join is then scraped off. In most cases, there is good adhesion as early as one to two hours later, depending on the applied thickness of the rubber vulcanisate, the moisture content of the ambient air, and the temperature, all of which greatly affect the vulcanisation time for the adhesive. The odour of acetic acid emitted by the ELASTOSIL® E types when undergoing cross-linking disappears once vulcanisation has completed.

When the two parts to be joined are silicone rubber vulcanisates, ELASTOSIL® E 4 or ELASTOSIL® 43 are spread as thinly as possible over each of the contact surfaces cleaned previously with acetone or petrol. The parts can now be joined without any further delay. Please also see the information provided earlier on bonding RTV-2 silicone rubber vulcanisates with non-silicone materials.

EK997201 Ausgabe/ Edition 06/2020

