

Die industrielle Abdichtungstechnik steht vor der ständigen Herausforderung, Verbindungen zwischen Bauteilen zuverlässig, langlebig und wirtschaftlich abzudichten. Klassische Festdichtungen aus Kautschuk, PTFE oder Faserwerkstoffen haben dabei ihre Grenzen – insbesondere bei komplexen Geometrien, großen Fertigungstoleranzen oder schwankenden thermischen Belastungen. Flüssigdichtsysteme auf Silikonbasis bieten hier eine flexible und leistungsfähige Alternative. Als sogenannte FIPG-Systeme (Formed-In-Place Gasket) werden sie unmittelbar auf die abzudichtende Fläche aufgetragen, passen sich geometrischen Unebenheiten an und bilden nach dem Aushärten eine dauerhafte, elastische Dichtung.

Vorteile silikonbasierter Flüssigdichtsysteme

- Ausgezeichnete Temperaturbeständigkeit von -60 °C bis dauerhaft +200 °C, kurzzeitig bis +300 °C
- Hohe Elastizität und Rückstellung kompensieren Schwingungen und Montageungenauigkeiten
- Geringe Druckverformung (Compression Set) für langfristige Dichtwirkung
- Hervorragende elektrische Isolationseigenschaften (Durchschlagsfestigkeit > 20 kV/mm)
- Witterungs-, UV- und Ozonbeständigkeit – kein Verspröden unter Umwelteinflüssen
- Anpassungsfähigkeit an komplexe Geometrien und große Flächentoleranzen
- Lebensmitteltaugliche Varianten (FDA-konforme Formulierungen verfügbar)

Einschränkungen und Nachteile

- Geringe Beständigkeit gegenüber unpolaren Lösemitteln (Aliphaten, aromatischen Kohlenwasserstoffen)
- Schlechte Haftung auf verunreinigten, fettigen oder staubigen Oberflächen – Primer oder Plasmavorbehandlung oft erforderlich
- Höhere Materialkosten im Vergleich zu organischen Dichtstoffen
- Silikonkontamination kann Lackadhäsion bei späteren Beschichtungsschritten beeinträchtigen
- Feuchtigkeitsabhängige 1K-Systeme: Aushärtung in trockenen Klimata verlangsamt
- Recycling von ausgehärtetem Silikonmaterial

Anwendungsgebiete

Automobilindustrie

Die Automobilindustrie ist das größte Anwendungsfeld für silikonbasierte FIPG-Dichtmassen. Ölwannen, Ventildeckel, Getriebegehäuse und Wasserpumpen werden seit Jahrzehnten mit 1K-Silikondichtstoffen abgedichtet.

Die Systeme müssen beständig gegen Motoröle, Kühlmittel und Kraftstoffe sein sowie Temperaturen zwischen -40 °C und +175 °C standhalten.

Für Elektrofahrzeuge gewinnen silikonbasierte Verguss- und Abdichtmassen für Batteriepacks und Leistungselektronik zunehmend an Bedeutung. Hier sind hohe Wärmeleitfähigkeit, elektrische Isolation und Beständigkeit gegen Batteriesäuren gefordert.

Elektronikindustrie

Silikone sind in der Elektronik allgegenwärtig: als Vergussmassen für Leiterplatten, als Dichtmittel für Steckverbinder und als Potting-Material für Sensoren. Ihre elektrische Isolationsfähigkeit, kombiniert mit Temperaturstabilität und dem Fehlen ionischer Verunreinigungen, machen sie für Hochzuverlässigkeitsanwendungen (Aerospace, Automotive Electronics) unverzichtbar.

Maschinenbau und Anlagentechnik

Flanschdichtungen, Pumpengehäuse und Wärmetauscher werden mit Silikondichtstoffen abgedichtet, wenn extreme Temperaturen, Drücke oder Medienbelastungen auftreten. Besonders in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie sind FDA- und USP-konforme Silikonqualitäten gefragt, die keinerlei Schadstoffe in Prozessmedien abgeben.

Silikonverguss – Vergussmassen und Potting-Systeme

Definition und Abgrenzung

Während Flüssigdichtsysteme primär die Abdichtung von Bauteilen und Verbindungsstellen zum Ziel haben, erfüllen Silikonvergussmassen eine weiter gefasste Schutzfunktion: Sie umschließen Bauteile vollständig oder teilweise, schützen sie vor mechanischen, thermischen, chemischen und elektrischen Einwirkungen und verbessern gleichzeitig die Wärmeableitung aus dem Inneren.

Materialklassen und Formulierungen

Einkomponentige (1K) Silikonvergussmassen

1K Silikonvergussmassen härten feuchtigkeitsvernetzend aus (RTV-1). Sie sind einfach zu verarbeiten, erfordern kein Mischen und eignen sich für dünne Schichten von max. 8 – 10 mm. Sie sind auch sehr gut für einen partiellen Silikonverguss der Leiterplatte geeignet, vergleichbar mit einer Schutzbeschichtung (Conformal Coating)

Zweikomponentige (2K) Additionsvergussmassen

Der Standard für industrielle Vergussanwendungen sind 2K-Additionsvernetzende Silikone. Nach dem Mischen startet die Vernetzungsreaktion ohne das Abspaltprodukte entstehen. Die Aushärtung kann durch Temperatur gezielt beschleunigt werden: Bei Raumtemperatur typischerweise 4 – 24 Stunden, bei 80 °C ca. 30 Minuten, bei 120 °C unter 15 Minuten. Dies erlaubt eine Anpassung an Taktzeiten in der Serienproduktion.

Silikongele

Eine besondere Unterklasse der Silikonvergussmassen stellen Silikongele dar. Im Gegensatz zu vollständig vernetzten Elastomeren besitzen Gele eine sehr geringe Shore-Härte (< 5 Shore OO) oder sind sogar überhaupt nicht messbar fest – sie fließen unter geringer Last und kehren nach Entlastung in ihre Ausgangsform zurück (thixotropes, viskoelastisches Verhalten).

Eigenschaften und Vorteile

- Extrem geringe Shore-Härte: Keine mechanischen Spannungen auf empfindliche Bauteile (z. B. Drucksensoren, MEMS)
- Selbstheilend: Mikrorisse schließen sich durch Oberflächenwanderung der freien Silikanketten
- Rework-fähig: Gele können in vielen Fällen ohne Werkzeug wieder entfernt werden – Vorteil gegenüber harten Vergussmassen
- Vibrationsdämpfung: Hohe innere Dämpfung schützt Bauteile vor Schock und Vibration
- Dielektrisch stabil: Relative Permittivität ca. 2,7; Durchschlagsfestigkeit > 15 kV/mm
- Breiter Temperaturbereich: -60 °C bis +200 °C, in Spezialformulierungen bis +250 °C

Typische Anwendungen

Silikongele finden sich überall dort, wo mechanische Entkopplung und chemischer Schutz gleichzeitig gefordert sind:

in Hochvoltisolatoren, Leistungsmodulen (IGBT-Modulen), Drucksensoren, Airbag-Steuergeräten sowie in der HF-Technik.

Die Rework-Fähigkeit ist besonders in der Qualitätssicherung wertvoll: Fehlerhafte Bauteile lassen sich ohne Zerstörung des Vergusses austauschen.

Verguss vs. Dichtung – Systemvergleich

Kriterium	Flüssigdichtung (FIPG)	Silikonverguss (Potting)	Silikongel
Primärfunktion	Abdichten von Fugen	Schutz / Einbettung	Schutz / Entkopplung
Shore-Härte (typisch)	30 - 70 Shore A	10 - 60 Shore A	< 5 Shore OO
Schichtdicke	0,1 - 2 mm	3 - 50 mm	3 - 100 mm
Reworkability	Nicht möglich	Sehr schwer	Einfach bis mittel
Wärmeableitung	Gering	Mittel-hoch (gefüllt)	Mittel (gefüllt)
Typische Aushärtung	Feuchtigkeit (1K)	Addition 2K / UV	Addition 2K / UV
Hauptanwendung	Automotive, Maschinen	Elektronik, EV-Batterie	Leistungselektronik, MEMS

Thermisch Ableitender Silikonverguss (TIM/TCM)

Hintergrund und Motivation

Mit zunehmender Leistungsdichte in der Elektronik – getrieben durch Miniaturisierung, E-Mobilität und Hochleistungsrechner – steigt der Bedarf an effizienter Wärmeabführung exponentiell. Klassische Silikone mit ihrer inhärenten Wärmeleitfähigkeit von $\lambda \approx 0,17\text{--}0,25 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ sind für diese Anforderungen unzureichend. Durch gezielte Einarbeitung thermisch leitfähiger Füllstoffe lässt sich die Wärmeleitfähigkeit um das 10- bis 30-fache steigern, ohne die chemische Beständigkeit und Flexibilität des Silikons zu opfern.



DICHTEN & KLEBEN

Füllstoffe und Wärmeleitfähigkeit

Füllstoff	λ intrinsisch [W/m·K]	λ Verguss (typisch)	Elektrisch	Besonderheit
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	~30	1,5–3,5 W/(m·K)	Isolierend	Kostengünstig, weit verbreitet
Bornitrid (h-BN)	~300 (in-plane)	3–8 W/(m·K)	Isolierend	Anisotrop, hohe Leistung
Aluminiumnitrid (AlN)	160–200	3–6 W/(m·K)	Isolierend	Hydrolyseempfindlich
Siliziumkarbid (SiC)	~120	2–5 W/(m·K)	Halbleitend	EV-kompatibel
Silber (Ag)	~430	10–20 W/(m·K)	Leitfähig	Teuer, Spezialanwendung
Graphen / CNT	500–3000	2–10 W/(m·K)	Leitfähig	Neuartig, F&E-Stadium

Anwendungsfelder thermisch leitfähiger Silikon Vergussmassen

Elektromobilität und Batteriesysteme

Hochvolt-Batteriepacks für Elektrofahrzeuge (400 V bis 800 V) stellen die anspruchsvollsten thermischen Anforderungen an Vergussmassen. Die Zellen müssen gleichmäßig temperiert werden (Zielbereich 20–40 °C), Wärmespitzen aus einzelnen Zellen müssen schnell abgeleitet werden, und die Vergussmasse muss gleichzeitig als mechanische Dämpfung und elektrische Isolation dienen.

Silikonbasierte Gap-Filler und Potting-Materialien mit $\lambda = 2\text{--}4\text{ W/(m·K)}$ sind hier der Industrie Standard. Besonderes Augenmerk liegt auf der Flammwidrigkeit (UL 94 V-0) und der Beständigkeit gegenüber Batterieelektrolyten (NMC, LFP). Thermisch leitfähige Silikone übernehmen in modernen BMS-Designs (Battery Management Systemen) oft auch die Funktion der Zell-zu-Zell-Isolation und des Brand-Retardation Layers.

Leistungselektronik und Umrichter

IGBT-Module, SiC-MOSFETs und GaN-Halbleiter in Umrichtern, Wechselrichtern und Motorsteuerungen dissipieren hohe Verlustleistungen auf kleiner Fläche. Thermisch leitfähige Silikongelege ($\lambda = 1\text{--}3\text{ W/(m·K)}$) werden als Verguss über den Chips eingesetzt, weil sie die mechanischen Spannungen bei Thermozyklen ($\Delta T > 150\text{ K}$ in Automobilanwendungen) durch ihre Niedrigmoduligkeit absorbieren.

LED-Beleuchtung und Displays

High-Power-LEDs erzeugen Verlustleistungen von mehreren Watt auf Chip-Flächen im Quadratmillimeterbereich. Thermisch leitfähige Silikon Vergüsse leiten die Wärme zum Metallkern-PCB oder zum Kühlkörper ab. Gleichzeitig schützt der Verguss die empfindlichen Bonddrähte vor Vibration und korrosiven Gasen. Optisch klare Varianten (ohne Füllstoff) werden für das optische Element eingesetzt, gefüllte Systeme für den thermischen Pfad darunter.

Fazit

Silikonbasierte Systeme – ob als Flüssigdichtung, Vergussmasse, Gel oder thermisch leitfähiges Interface-Material – sind aus der modernen Industrie nicht wegzudenken. Die vorliegenden Kapitel zeigen die Bandbreite von der klassischen Fugenabdichtung bis zum thermisch optimierten Hochleistungsverguss für EV-Batteriepacks und Leistungselektronik.

Die chemischen Grundlagen der Polysiloxanchemie bilden dabei das Fundament: Die Si-O-Hauptkette verleiht allen Systemen ihre charakteristische Temperaturstabilität, Flexibilität und elektrische Isolation. Aushärtungsmechanismus, Füllstoffzusammensetzung und Viskosität werden gezielt an die jeweilige Anwendung angepasst – von der hochelastischen 1K-Dichtraupe im Motorraum bis zur BN-gefüllten, vakuumtrogenden 2K-Vergussmasse im Hochvoltmodul.

Silikongelege stellen mit ihrer einzigartigen Rework-Fähigkeit und vibrationsdämpfenden Eigenschaften eine Brücke zwischen Verguss und Dichtung dar und sind unersetzlich für druckempfindliche Sensorik und Hochvoltisolation. Thermisch leitfähige Silikon Vergüsse wiederum adressieren eine der drängendsten Herausforderungen der Elektronikindustrie: die effiziente Wärmeabfuhr aus immer dichter gepackten, leistungsstarken Baugruppen. Die Grenzen des Materials bleiben bekannt: Sensibilität gegenüber unpolaren Lösemitteln, Silikonkontaminationsrisiko in Lackierprozessen und der vergleichsweise hohe Materialpreis. Doch die rasante Entwicklung hin zu wärmeleitfähigen, selbstheilenden und nachhaltigen Formulierungen – kombiniert mit den Anforderungen der Energiewende und Elektromobilität – sichert silikonbasierten Werkstoffen eine wachsende Schlüsselrolle in der Zukunft des Ingenieurwesens.

Markus Falter
Business Development Manager



DICHTEN & KLEBEN