

PFISTERER

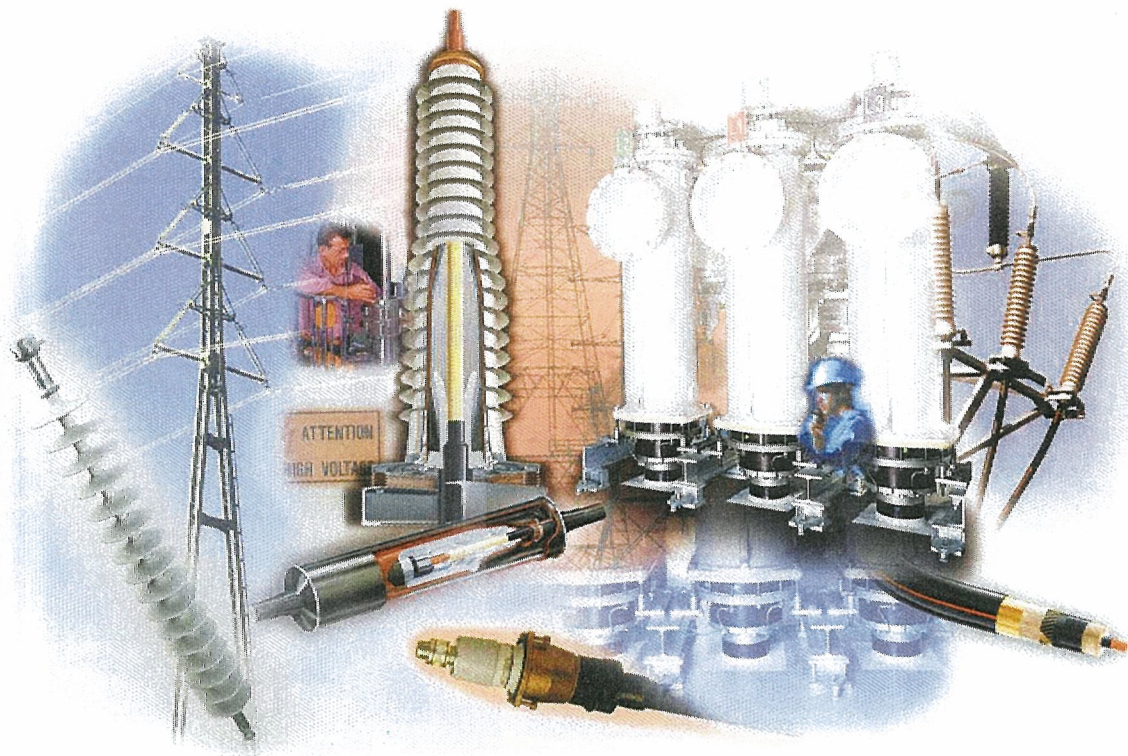
ixosil
SEFAG



SEFAG



Silikonkautschuk in der Elektrotechnik

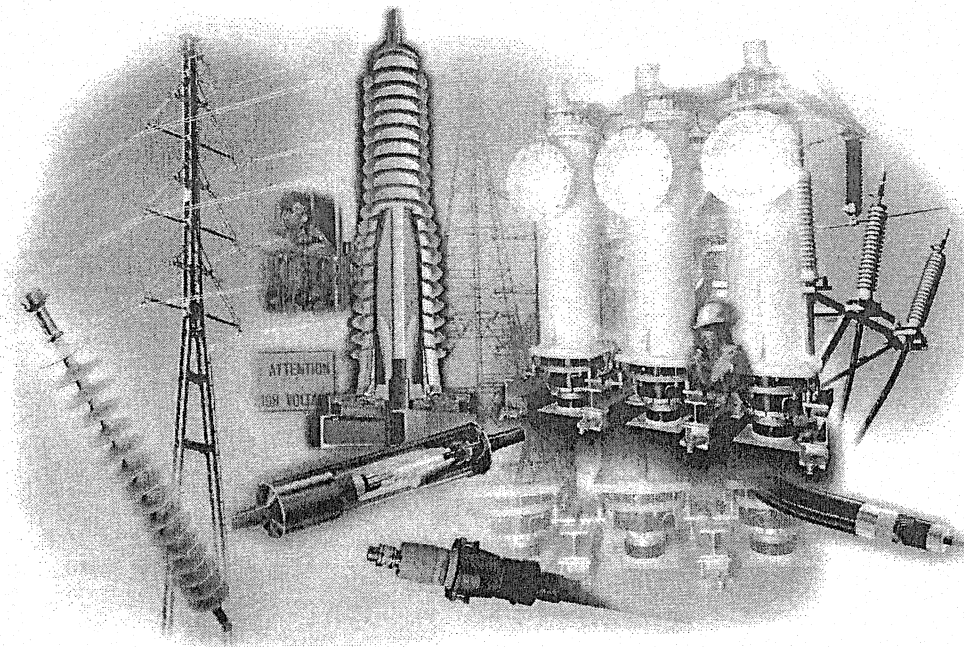


Verfahrenstechnik

A. Wermelinger
März 2001



Verfahrenstechnik



Die Herstellungskosten dieser Bauteile werden entscheidend beeinflusst durch:

- 1. das gewählte Design**
- 2. die benötigten Werkstoffmengen**
- 3. den Werkstoffpreis**
- 4. die Verfahrenstechnik**



Inhaltsverzeichnis

1. Die Komponenten

- 1.1 Armaturen, GFK-Rohre, GFK-Stäbe (Bild)
- 1.2 HTV-Rohkautschuk (Bild)
- 1.3 RTV-1-Kartuschen (Bild)
- 1.4 LSR-Gebinde (Bild)
- 1.5 RTV-2-Gebinde (Bild)

2. Die allerwichtigsten Produktionskriterien für Verbundisolatoren und Ueberspannungsableiter

- 2.1 Die einwandfreie Haftung (Bild)
- 2.2 Der porenfreie Isolierkörper (Bild)
- 2.3 Die perfekte Armierung (Bild)

3. RTV-1 Silikonkautschuk

- 3.1 RTV-1 Pumpaggregat für Fassgebände (Bild)
- 3.2 RTV-1 Pumpaggregat für Fassgebände (Bild)
- 3.3 Zylinderkopfdichtungen ohne Formwerkzeug (Bild)
- 3.4 RTV-1 Applikation aus Kartusche (Bild)

4. RTV-2 Silikonkautschuk

- 4.1 SilGel 612 als Armaturdichtverguss
- 4.2 RTV-2-Giessprinzip (Bild)
- 4.3 Anlieferungszustand von RTV-2 Silikonkautschuk (Bild)
- 4.4 Fertigprodukte aus RTV-2 Silikonkautschuk (Bild)
- 4.5 Funktionsdiagramm einer RTV-2-Giessanlage (Bild)
- 4.6 RTV-2-Pumpaggregat für Flüssigsilikon (Bild)

5. Flüssigsilikon (LSR)

- 5.1 Funktionsdiagramm einer vertikalen LSR-Anlage (Bild)
- 5.2 Funktionsdiagramm mit horizontaler Spritzeinheit (Bild)
- 5.3 Typische LSR-Teile (Bild)

6. HTV-Silikonkautschuk

- 6.1 HTV-Spritzmaschine mit Entnahmeeinrichtung (Bild)
- 6.2 HTV-Spritzeinheit nach dem Last In-First Out-Prinzip (Bild)
- 6.3 HTV-Spritzeinheit nach dem FIFO-Prinzip (Bild)
- 6.4 HTV-Spritzmaschinen (Bild)

7. Maschinen und Werkzeuge

- 7.1 Beschirmungsautomat für Modularbauweise (Bild)
- 7.2 Spritzpressen der Silikonschirme (Bild)
- 7.3 Automatisches Primern der GFK-Rohre (Bild)
- 7.4 Extrusionsbeschichtung der Rohre (Bild)
- 7.5 Armaturen crimpen (Bild)

8. Die Formgebungsverfahren

- 8.1 Aufspritzen eines Silikonmantels auf Porzellanisolatoren mit RTV-1-Silikon (Bild)
- 8.2 Ausgiessen der Dichtfuge mit RTV-1-Silikon (Bild)
- 8.3 Giessen von Verbundisolator mit RTV-2-Silikon (Bild)
- 8.4 Spritzen nach dem Heisskanalprinzip mit HTV- oder LSR-Silikon (Bild)
- 8.5 Spritzen nach dem Kaltkanalprinzip mit HTV- oder LSR-Silikon (Bild)
- 8.6 Gestaltung der Angusskanäle (Bild)
- 8.7 Hochgradige Vakuumierung durch Vakuumkammer (Bild)
- 8.8 Extrusion von Stäben und Rohren mit HTV-Silikon (Bild)
- 8.9 Compression-Moulding (Bild)
- 8.10 Transfer-Spritzpressen (Bild)
- 8.11 Mehrstufige Fertigung: Step-by-Step (Bild)
- 8.12 Symetrische Angusspinne beim Heisskanal (Bild)

9. Viskositätsangaben

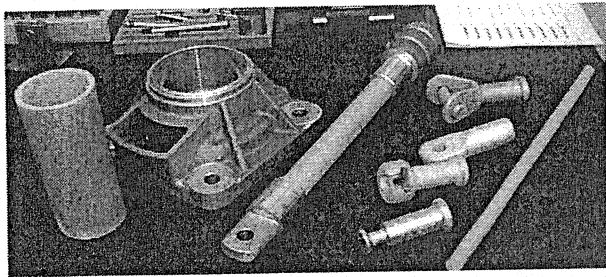
- 9.1 Die Mooney-Viskosität bei HTV-Typen
- 9.2 Viskositätsangaben bei Flüssigsilikon
- 9.3 Vulkanisationskurve (Bild)

10. Kriterien zu den Verfahrenskosten

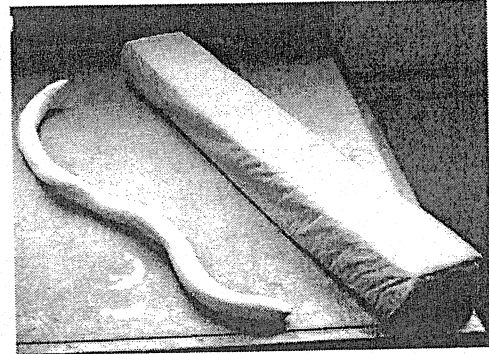
- 10.1 Verfahrenstechnische Kriterien bei der Auslegung eines neuen Produktes betreffend Formkosten

1. Die Komponenten

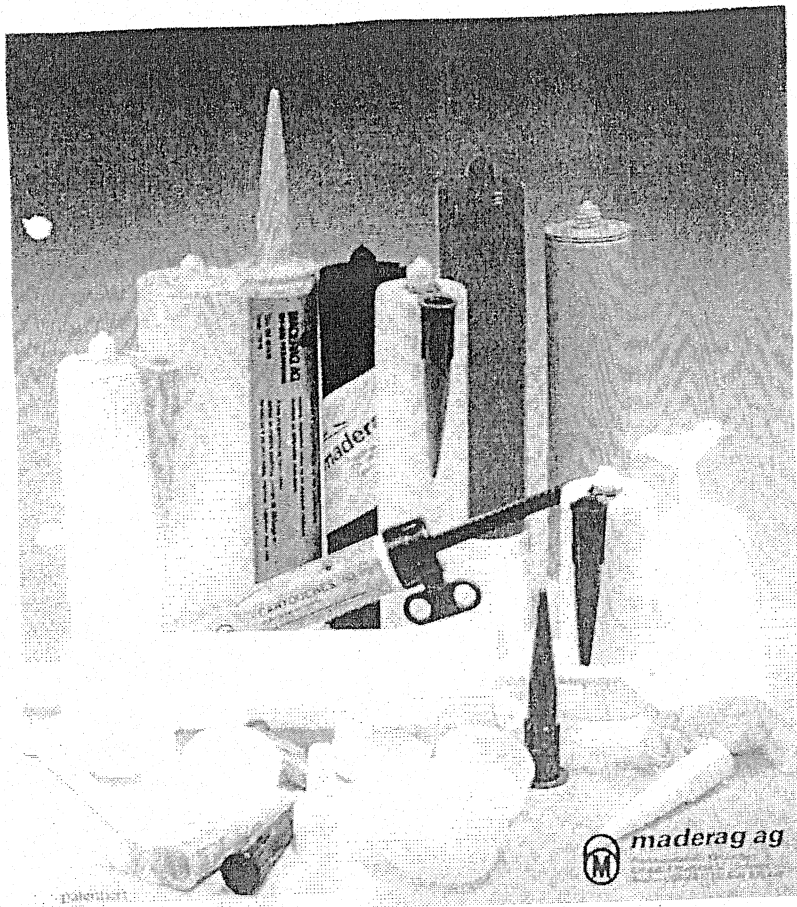
1.1 Armaturen, GFK-Rohre, GFK-Stäbe



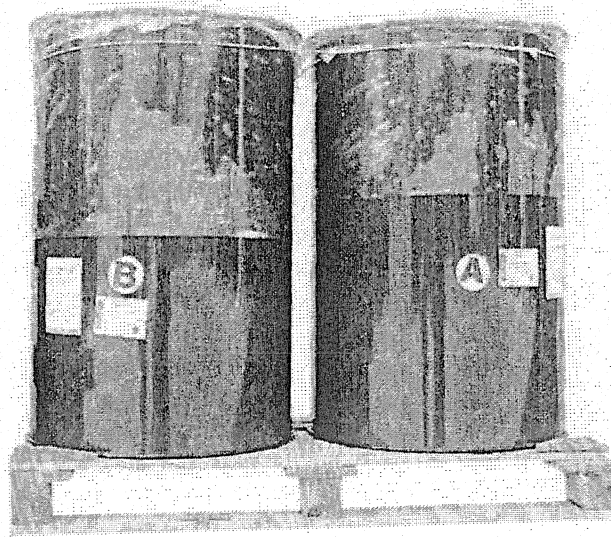
1.2 HTV-Rohkautschuk



1.3 RTV-1-Kartuschen



1.4 LSR-Gebinde

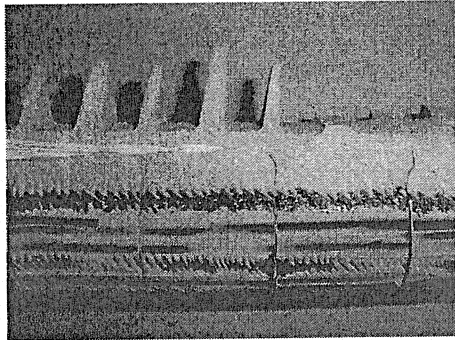


1.5 RTV-2-Gebinde



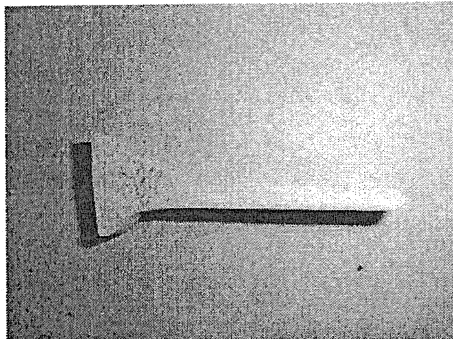
2. Die allerwichtigsten Produktionskriterien für Verbundisolatoren und Überspannungsableiter

2.1 Die einwandfreie Haftung



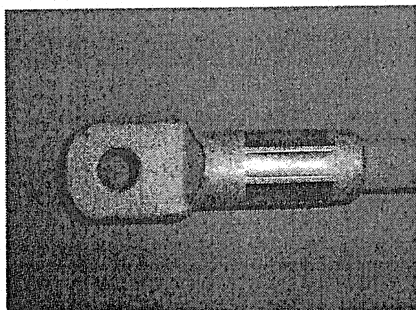
Beispiel hervorragender Haftung

2.2 Der porenfreie Isolierkörper



Schlechtes Beispiel mit Poren → TE. Bei den Einlegkörpern ist es enorm wichtig, dass die Einlegtemperatur 120°C nie unterschreitet, sonst können Poren entstehen.

2.3 Die perfekte Armierung



- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| - bei Überpressung | → Stabbruch |
| - bei Unterpressung | → Ausrutscher |
| - bei korrekter Verpressung | → hervorragende Verbindung |

3. RTV-1 Silikonkautschuk: Vulkanisation bei Raumtemperatur

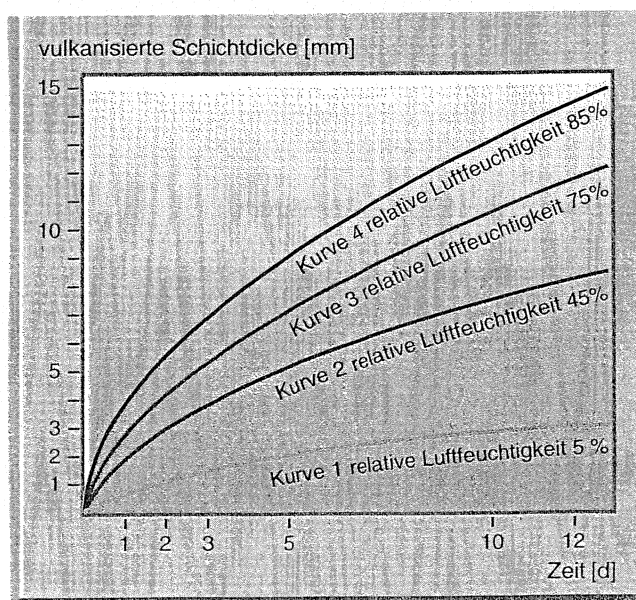
Unter RTV-1 Silikonkautschuk versteht man anwendungsfertige Einkomponentenmassen fließfähiger oder weichpastöser Konsistenz, die unter dem Einfluss der Luftfeuchtigkeit zu einem elastischen Silikongummi reagieren.

Eigenschaften

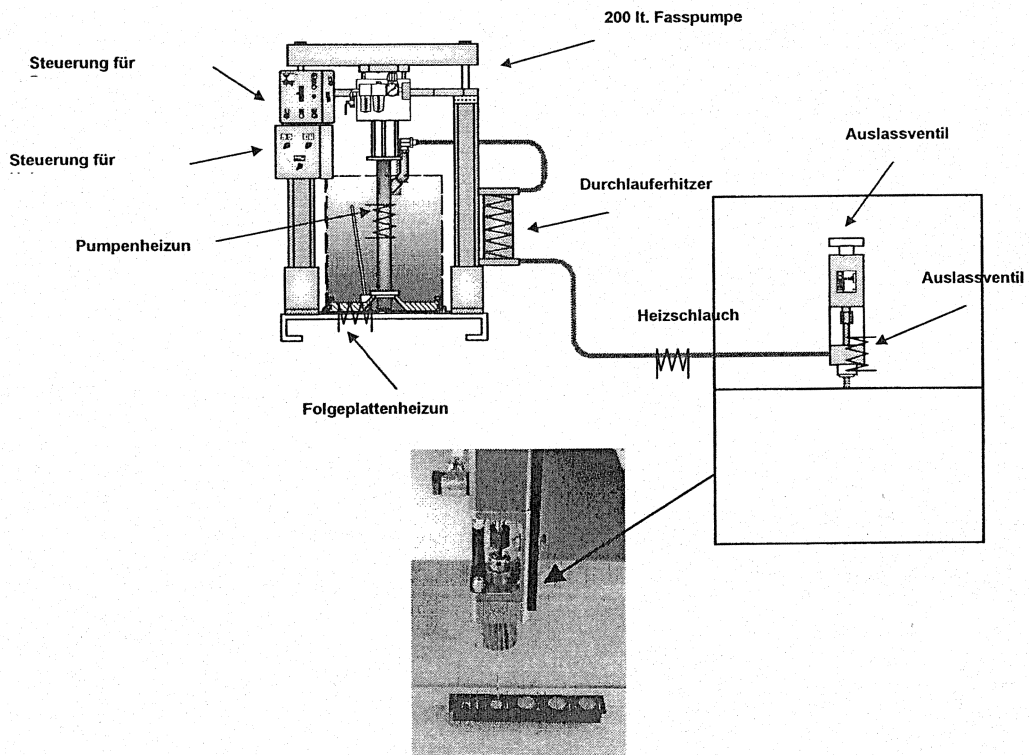
- leichte Verarbeitbarkeit
- gute Haftung auf den meisten Substraten
- hervorragende Witterungs- und Alterungsbeständigkeit
- mechanische Werte, die dem jeweiligen Anwendungsfall entsprechend eingestellt werden können
- gute chemische Beständigkeit
- Resistenz gegenüber UV- und γ -Strahlung
- hydrophobes Verhalten
- im Normalfall Isolatoren mit hervorragender Kriechstrombeständigkeit und Durchschlagsfestigkeit
- geringe Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstante und des Verlustfaktors von der Frequenz
- Beständigkeit bei hohen und tiefen Temperaturen

Anwendung

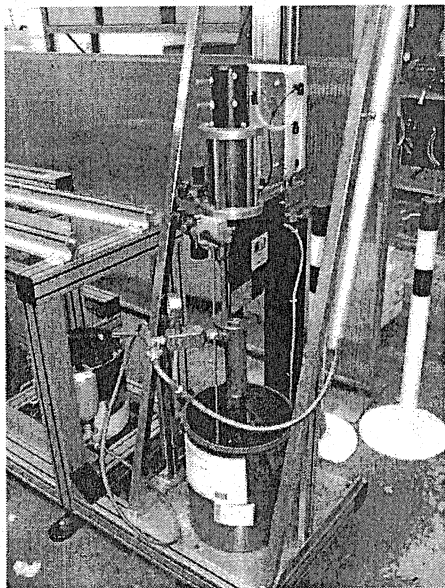
- Fugen-Verguss
- Kleber
- Fugenkitt
- Dilationsfugen



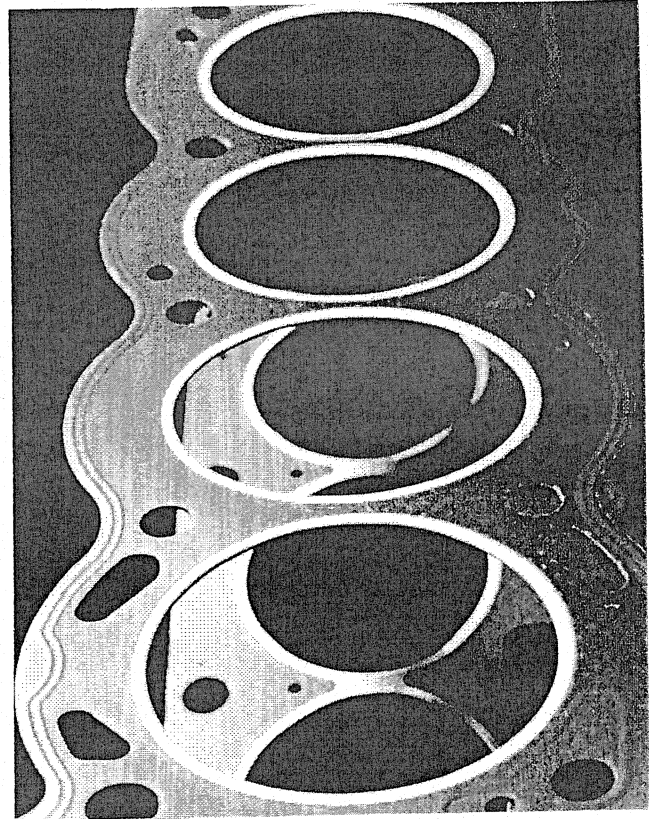
3.1 RTV-1 Pumpaggregat für Fassgebilde



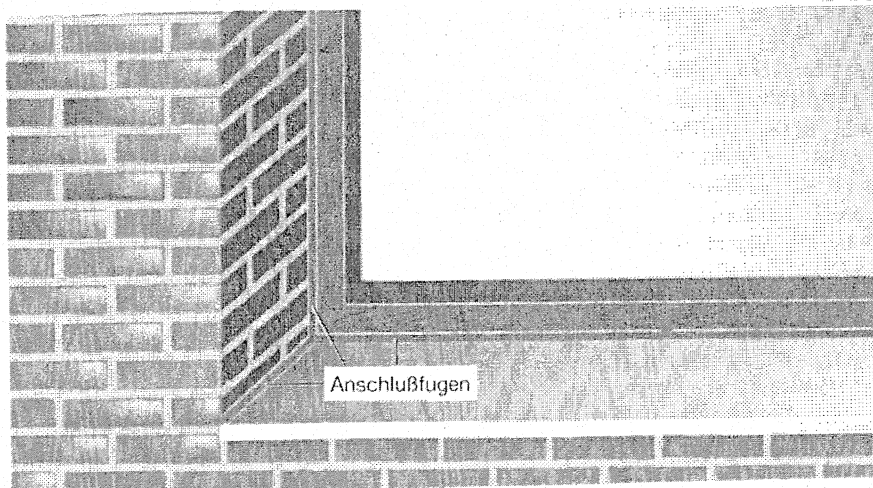
3.2 RTV-1 Pumpaggregat für Fassgebilde



3.3 Zylinderkopfdichtungen ohne Formwerkzeug



3.4 RTV-1 Applikation aus Kartusche



4. RTV-2 Silikonkautschuk: Vulkanisation bei Raumtemperatur an Luft oder unter Luftabschluss

RTV-2 Silikonkautschuk ist in unserem Anwendungsfall ein fliessfähiger, additionsvernetzter Zweikomponenten-Silikonkautschuk, der zu weichen Vulkanisaten mit hoher mechanischer Festigkeit und sehr guten elektrischen Eigenschaften aushärtet.

Eigenschaften

- gute Verarbeitbarkeit durch die sehr niedrige Viskosität
- hohe Kriechstromfestigkeit und Lichtbogenbeständigkeit
- hydrophobe Eigenschaften
- flexibel bis -55°C
- sehr gute Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse und Luftverschmutzung

Anwendung

- Kabelgarnituren (geeignete Shorehärte)
- Musterisolatoren
- Formverguss
- Rohrisolatoren

4.1 SilGel 612 als Armaturdichtverguss

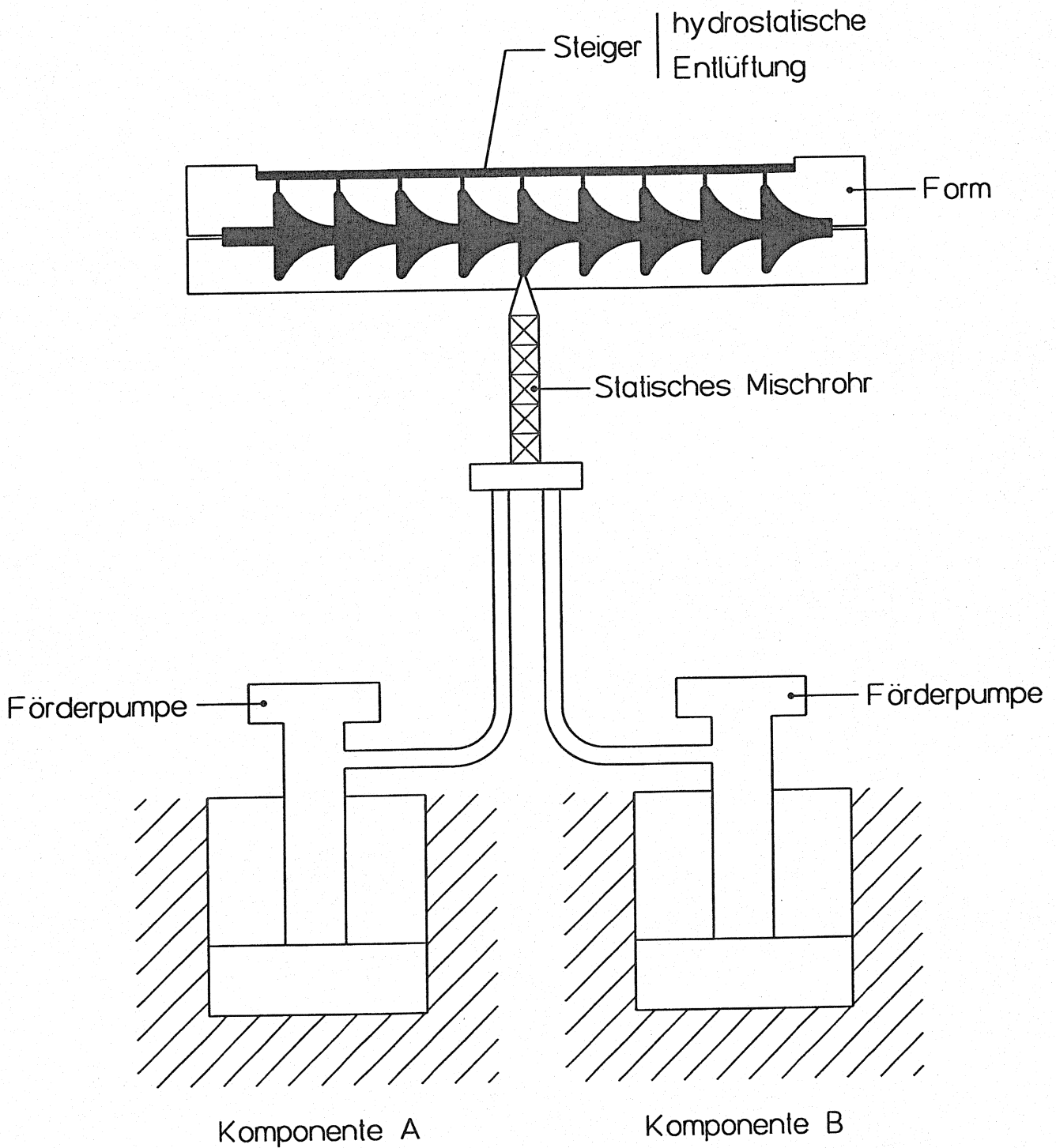
SilGel 612 ist ein bei Raumtemperatur vulkanisierender, additionsvernetzter 2-Komponenten-Silikonkautschuk mit

- hoher Fließfähigkeit
- extrem niedriger Vulkanisathärte (Silikon-Gel)
- hoher Transparenz
- ausgeprägter Eigenklebrigkeit

Im Gegensatz zu anderen RTV-2 Silikonkautschuken haftet SilGel 612 auch ohne Verwendung eines Primers aufgrund der ausgeprägten Eigenklebrigkeit auf fast allen Substraten. Diese Eigenklebrigkeit bleibt auch bei höheren Temperaturen erhalten.

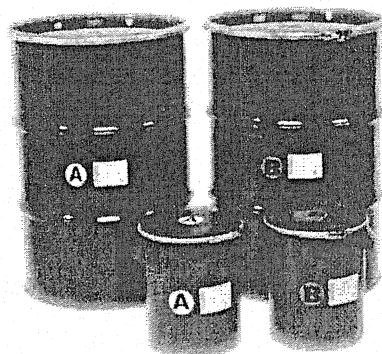
SilGel 612 ist selbstheilend, d.h. wenn man einen Stab in ein Vulkanisat steckt und wieder herauszieht, schliesst sich die entstandene Lücke wieder von selbst.

4.2 RTV-2-Giessprinzip

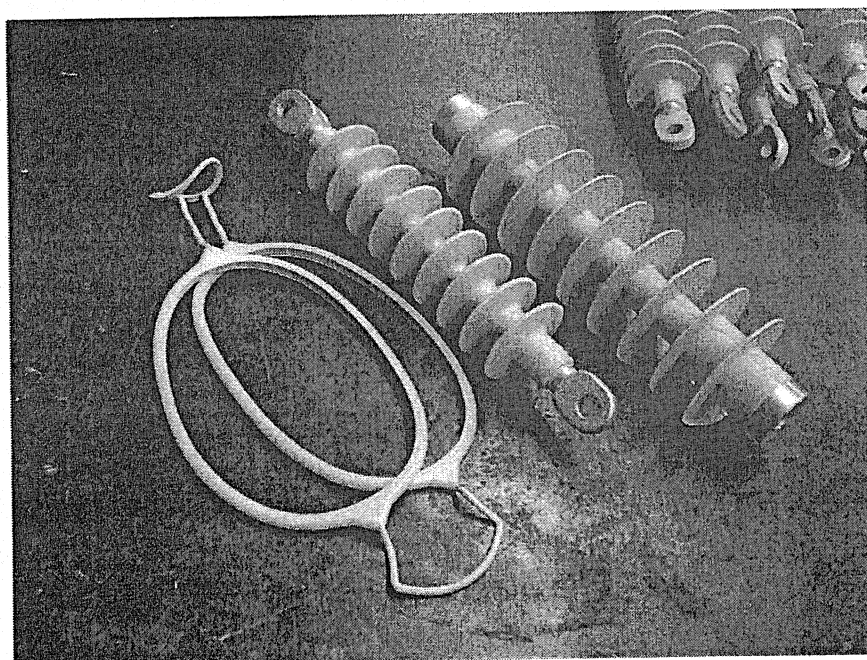




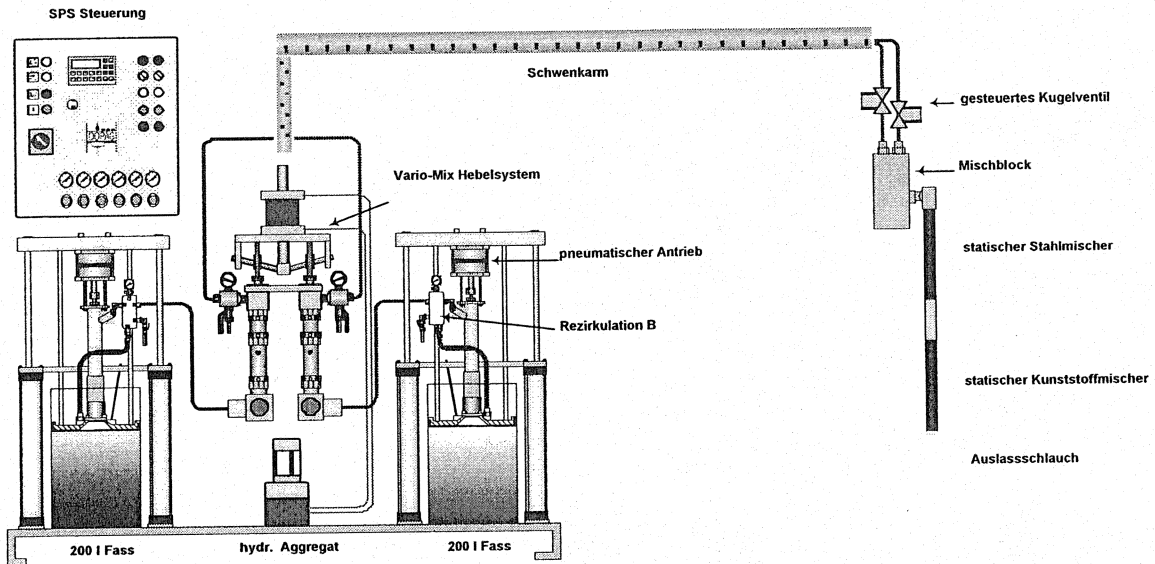
4.3 Anlieferungszustand von RTV-2 Silikonkautschuk



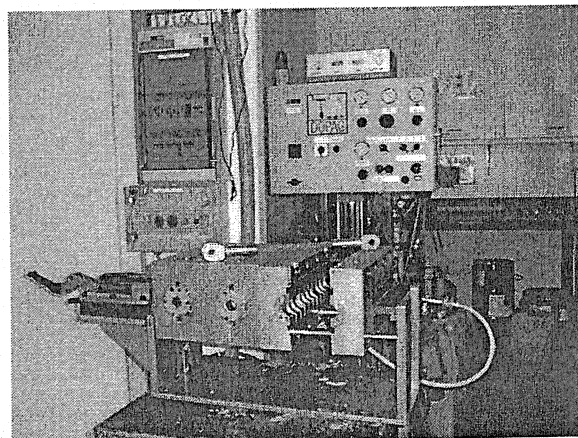
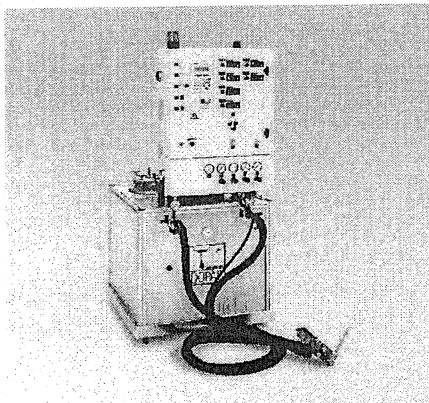
4.4 Fertigprodukte aus RTV-2 Silikonkautschuk



4.5 Funktionsdiagramm einer RTV-2-Giessanlage



4.6 RTV-2-Pumpaggregat für Flüssigsilikon



5. Flüssigsilikon (LSR): Vulkanisation bei erhöhten Temperaturen

Flüssigsilikon oder Liquid Silicone Rubber (LSR) ist ein Werkstoff, der in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen hat. Es handelt sich um ein Material, welches aus zwei Komponenten besteht und durch Additionsvernetzung zu einem elastischen Werkstoff vulkanisiert.

Die beiden Komponenten werden als zähflüssige Masse (vergleichbar mit Honig) von den Rohstoffherstellern angeboten. Das Mischungsverhältnis ist normalerweise 1:1. Die Transportgebilde haben standardmässig ein Volumen von 20 oder 200 Liter.

Eigenschaften

- enorme Kostenreduktion durch sehr kurze Zykluszeiten im Vergleich zu RTV-2 Flüssigkautschuk
- Kostenreduktion durch weitgehende Nachbearbeitungsfreiheit
- Kostenreduktion durch weitgehend vollautomatische Produktion
- niedrige Vulkanisationstemperaturen
- weniger Spaltprodukte bei der Vulkanisation
- bessere Transparenz und Einfärbbarkeit
- komplexe Geometrien mit langen Fließwegen

Verarbeitungsanlagen

Die Anlagen zur Verarbeitung von Flüssigsilikon sind ähnlich wie die Anlagen für die Elastomerverarbeitung. Wie bei HTV-Silikon wird eine spezielle Materialzuführung benötigt. Die Temperierung der Spritzeinheit geschieht allerdings auf deutlich tieferem Niveau.

Anwendung

Kabelgarnituren und Rohrisolatoren; kurz gesagt dort, wo schnelle Vernetzung gefordert wird und das Steuerteil bzw. das Rohr während dem Giessvorgang nicht deformiert werden darf.

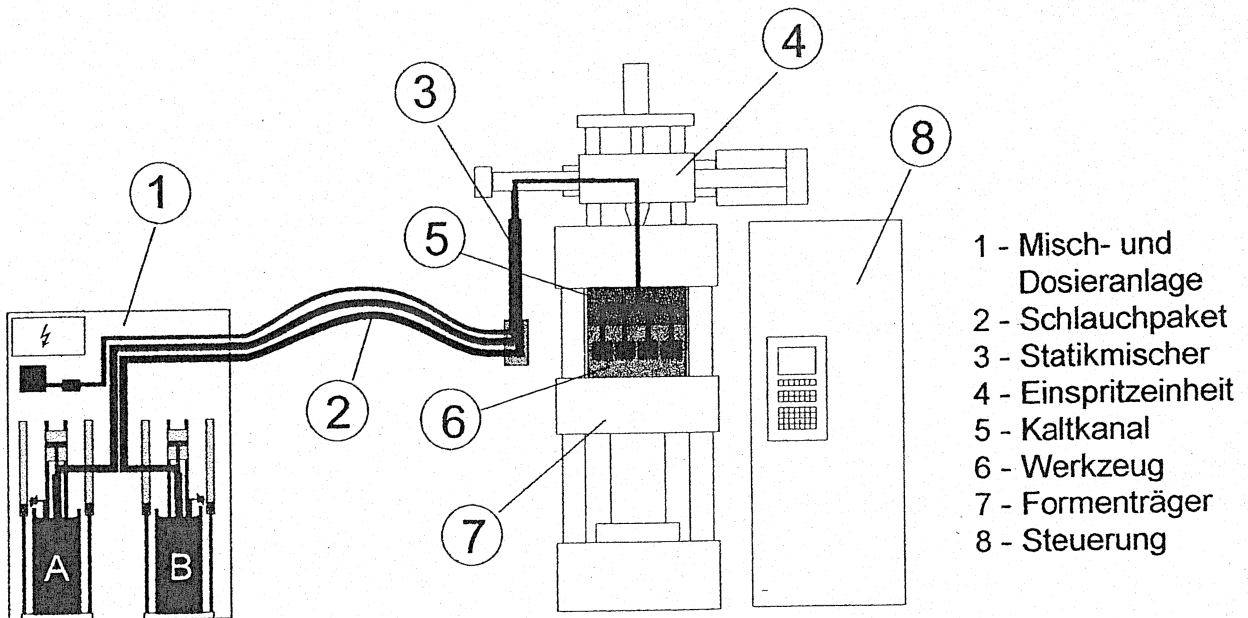
Maschinentechnik

Die flüssigtemperierten Einspritzeinheiten für LSR müssen mit einer offenen temperierten Düse oder einer Nadelverschlussdüse ausgestattet sein. Die Nadelverschlussdüse muss unbedingt pneumatisch oder hydraulisch betätigt sein. Federbetätigte Düsen sind nicht geeignet.

Bei LSR-Maschinen kann auf die Stopfeinrichtung verzichtet werden, weil diese Funktion von der Dosier-Pump-Station übernommen wird.

5.1 Funktionsdiagramm einer vertikalen LSR-Anlage

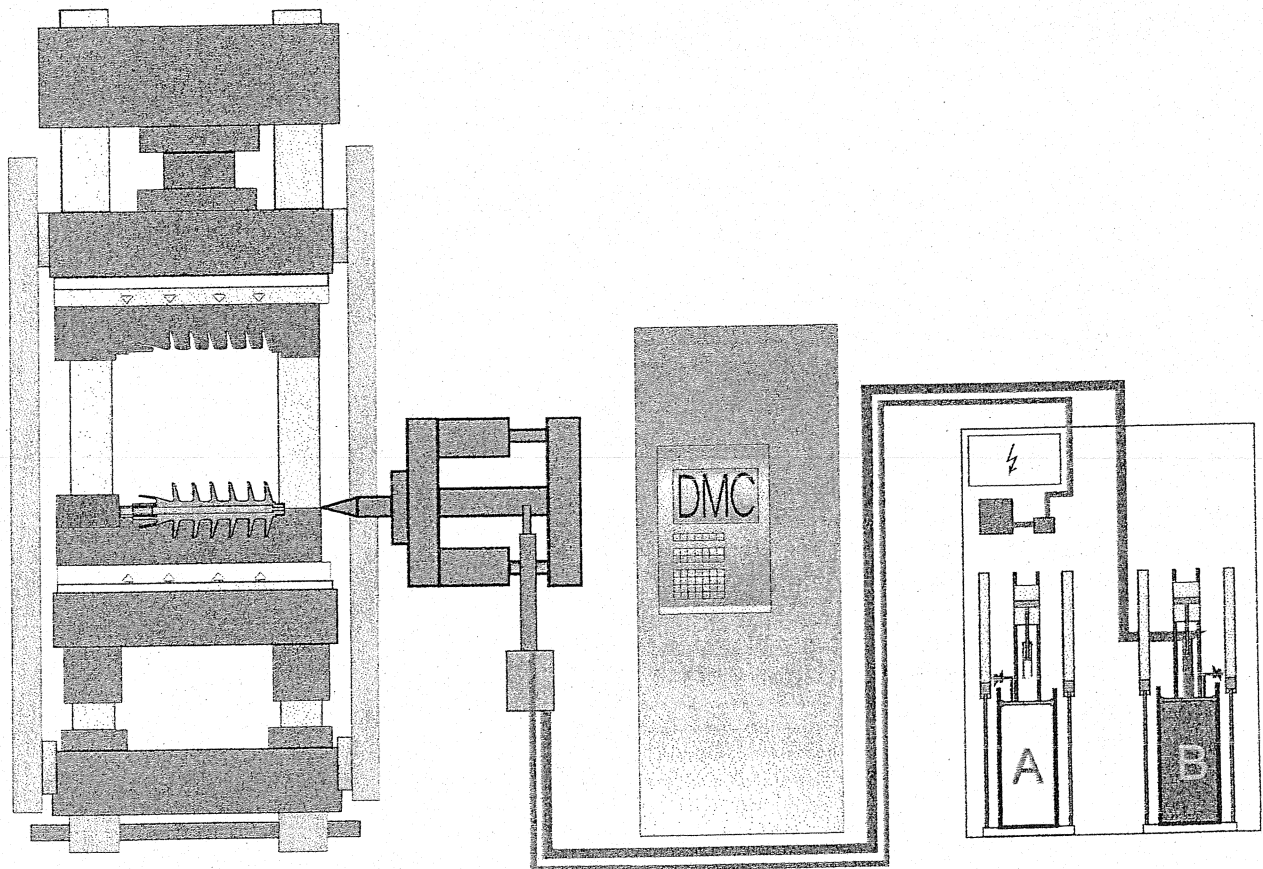
Das Mischungsverhältnis der Komponenten A und B ist normalerweise 1:1. Bei manchen Dosieranlagen ist das Mischungsverhältnis einstellbar. Die Farbdosierung ist einstellbar.



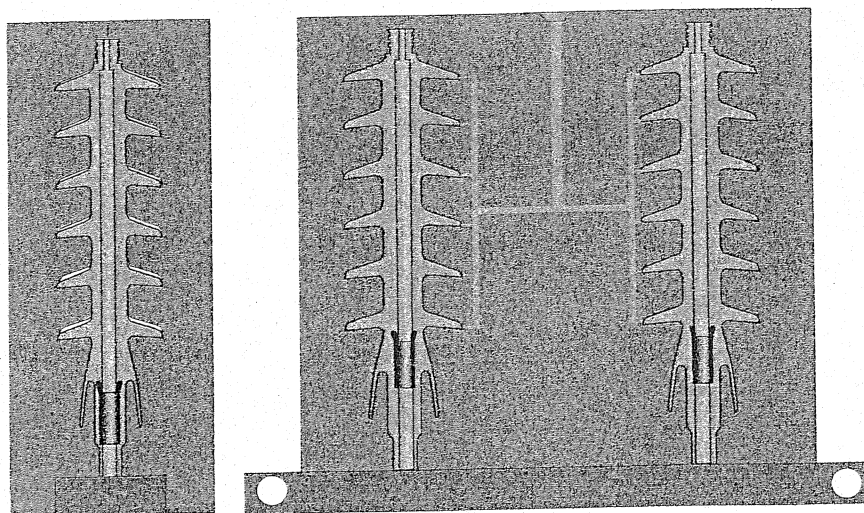


5.2 Funktionsdiagramm mit horizontaler Spritzeinheit

Zur Produktion von Isolatoren oder Muffen und Steckerteilen wird eine LSR Misch- und Dosiereinrichtung an die Einspritzeinheit angebaut. Der Schneckenzyylinder wird gegen den LSR-Adapter ausgetauscht.

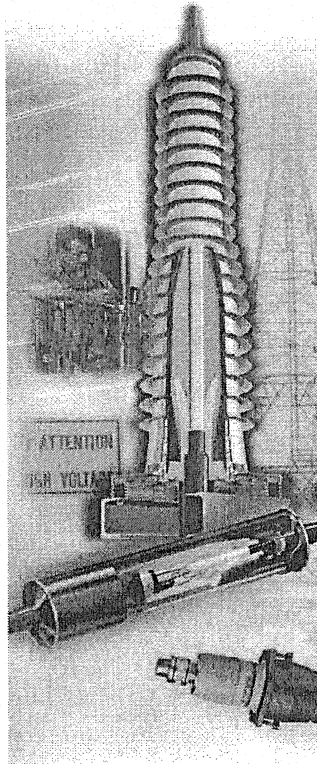


Einspritzeinheit mit LSR Misch- und Dosieranlage



Werkzeugaufbau Aussenraumendverschluss

5.3 Typische LSR-Teile mit niedriger Shorehärte, geringem Form-Fülldruck und schneller Vulkanisationszeit



6. HTV-Silikonkautschuk

HTV-Silikonkautschuk ist peroxidisch oder additionsvernetzender fester Silikonkautschuk, der zu einem Elastomer hoher Stärke vulkanisiert. Die Verarbeitung von Silikonkautschuk erfolgt mit den in der Gummiindustrie üblichen Maschinen wie Pressen, Spritzgiessautomaten, Extrudern etc. Die Vernetzung erfolgt durch energiereiche Strahlung, auch unter UV-Licht, Heissluft oder Mikrowellen.

Eigenschaften

- schnelle Vernetzung
- verhältnismässig preisgünstig
- je nach Vernetzer unter Druck oder drucklos vernetzt
- hohe Spritzdrücke

Anwendung

- Stabisolatoren (weniger für Hohlkörper)
- Schirme
- Formteile
- Extrusionsmaterial

Verfahrenstechnik

Zur Erzielung kurzer Zykluszeiten können die Vulkanisations-Temperaturen relativ hoch gewählt werden. Die Werkzeugtemperaturen können je nach Wanddicke zwischen 150 und 180°C betragen.

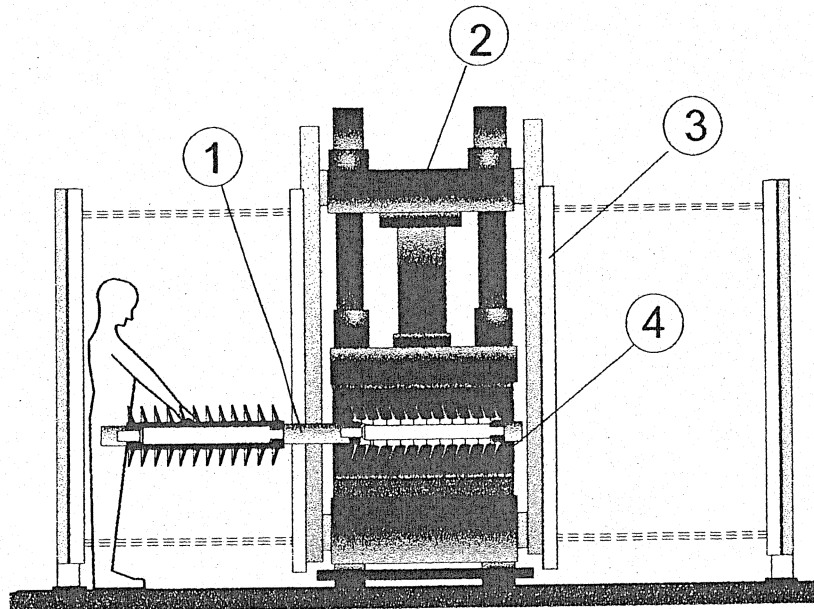
Bei dickwandigen Teilen kann es bei hohen Temperaturen zu Rissen im Bereich der Trennebene kommen. Dies geschieht durch den hohen Expansionsdruck während der Vulkanisation. In diesem Fall muss die Formentemperatur gesenkt werden.

Die Temperatur der Einspritzeinheit ist auf 60°C eingestellt.

Die Füllung der Kavitäten kann schnell erfolgen. Lediglich zur Vermeidung von Luftpfehlüssen oder Verschiebung von Einlegeteilen muss die Einspritzgeschwindigkeit reduziert werden.

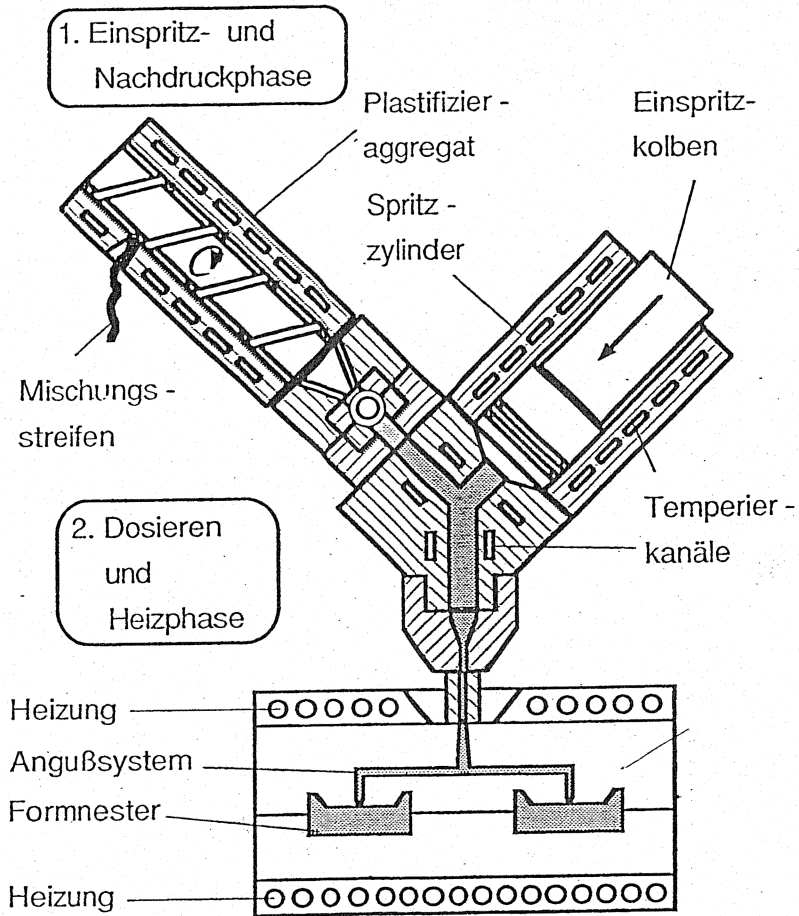
Der Nachdruck muss relativ kurz und niedrig eingestellt werden. Zu hohe oder zu lange Nachdrücke führen zu Einsparungen im Bereich der Anschnitte.

6.1 HTV-Spritzmaschine mit Entnahmeeinrichtung

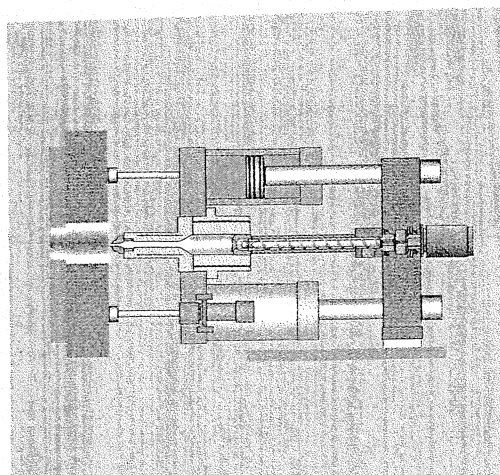


- (1) Entnahme
- (2) Schliesseinheit
- (3) Lichtschutzraum
- (4) Werkzeug

6.2 HTV-Spritzeinheit nach dem Last In-First Out-Prinzip



6.3 HTV-Spritzeinheit nach dem FIFO-Prinzip (First In-First Out-Prinzip)

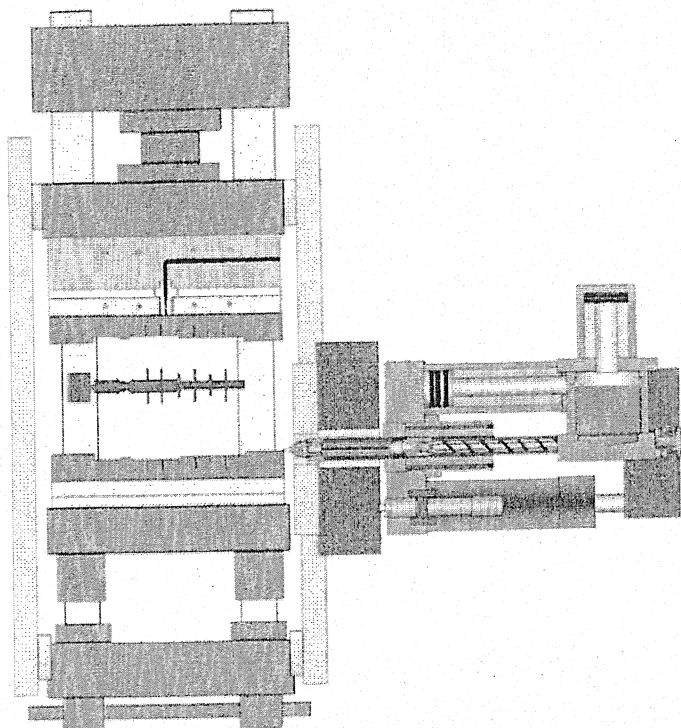


Vertikalmaschinen mit seitlicher Einspritzung in die Trennebene (T-Version) und Horizontalmaschinen mit Zentraleinspritzung (Z-Version) werden mit dem FIFO-System B ausgestattet.

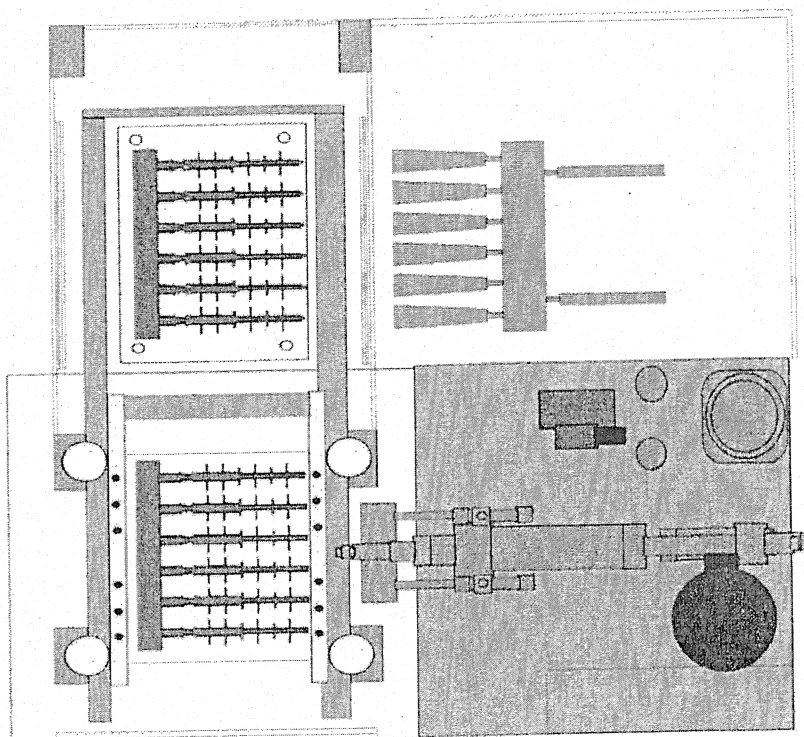


6.4 HTV-Spritzmaschine mit

a) Entformstation bei Überspannungsableitern

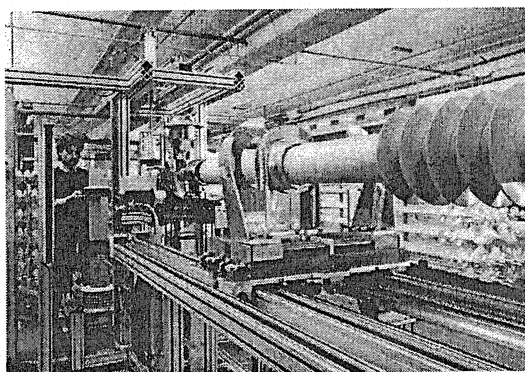


b) Schiebetisch zur Verkürzung der Taktzeit

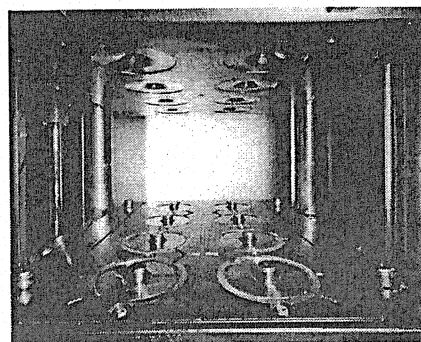


7. Maschinen und Werkzeuge

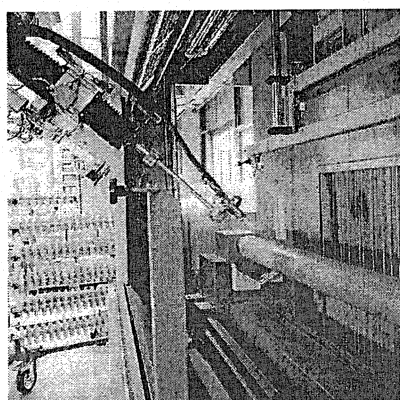
7.1 Beschirmungsautomat für Modularbauweise



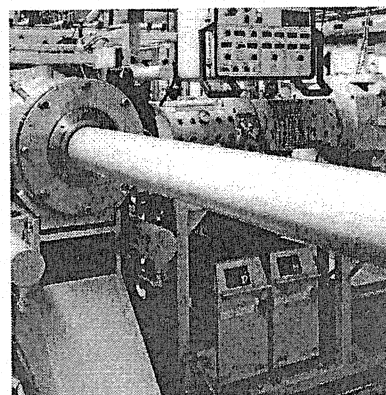
7.2 Spritzpressen der Silikon-schirme



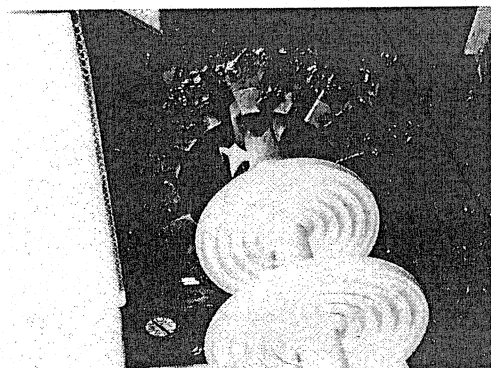
7.3 Automatisches Primern der GfK-Rohre



7.4 Extrusionsbeschichtung der Rohre

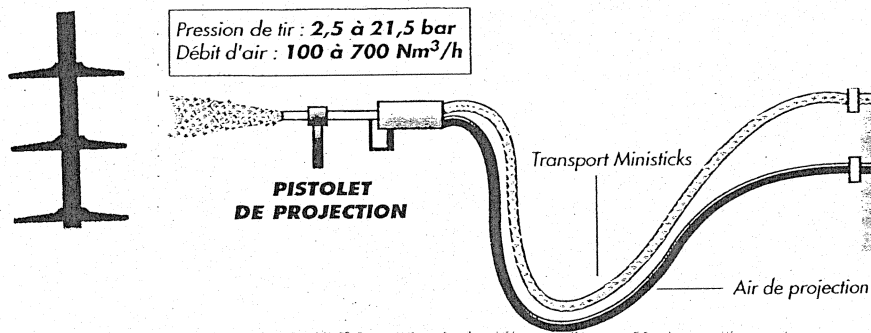


7.5 Armaturen crimpen

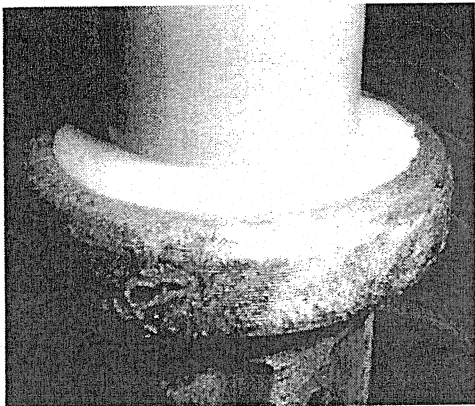


8. Die Formgebungsverfahren

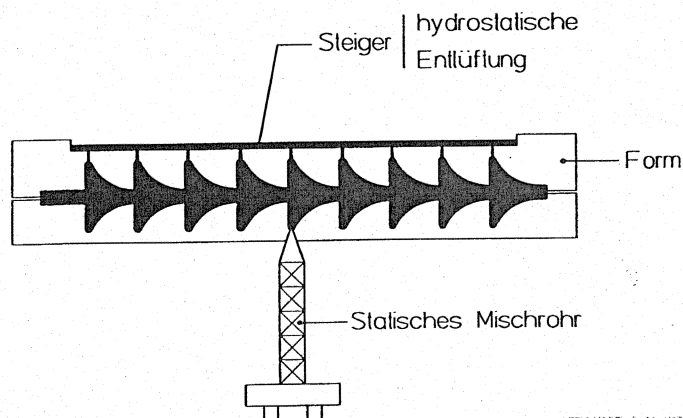
8.1 Aufspritzen eines Silikonmantels auf Porzellanisolatoren mit RTV-1-Silikon



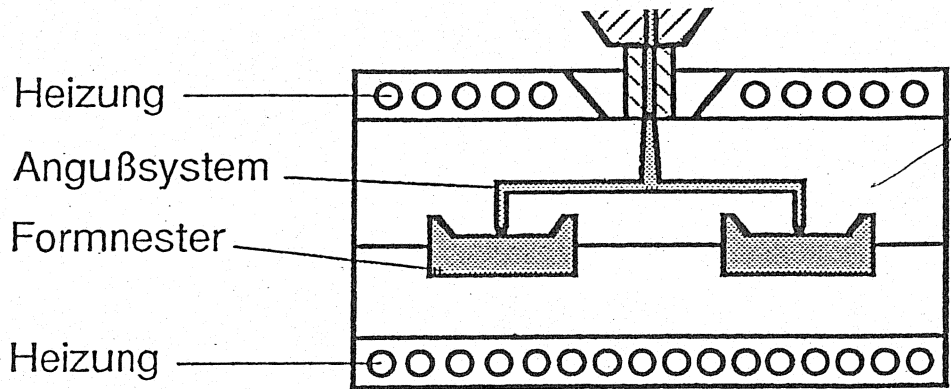
8.2 Ausgießen der Dichtfuge mit RTV-1-Silikon



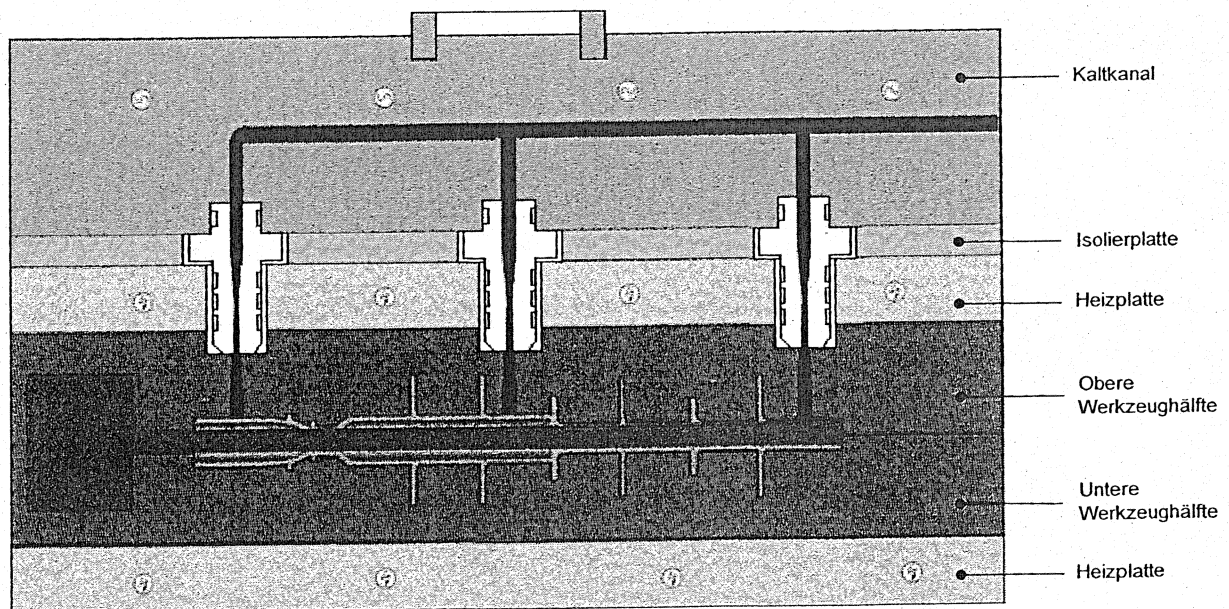
8.3 Giessen von Verbundisolator mit RTV-2-Silikon



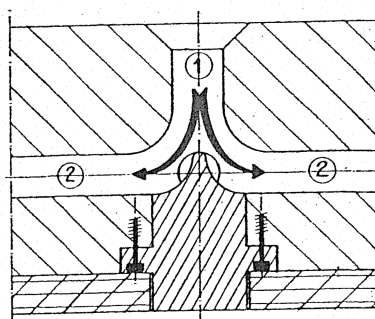
8.4 Spritzen nach dem Heisskanalprinzip mit HTV- oder LSR-Silikon



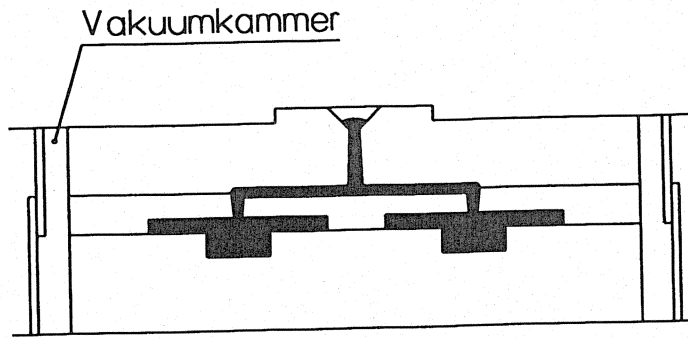
8.5 Spritzen nach dem Kaltkanalprinzip mit HTV- oder LSR-Silikon



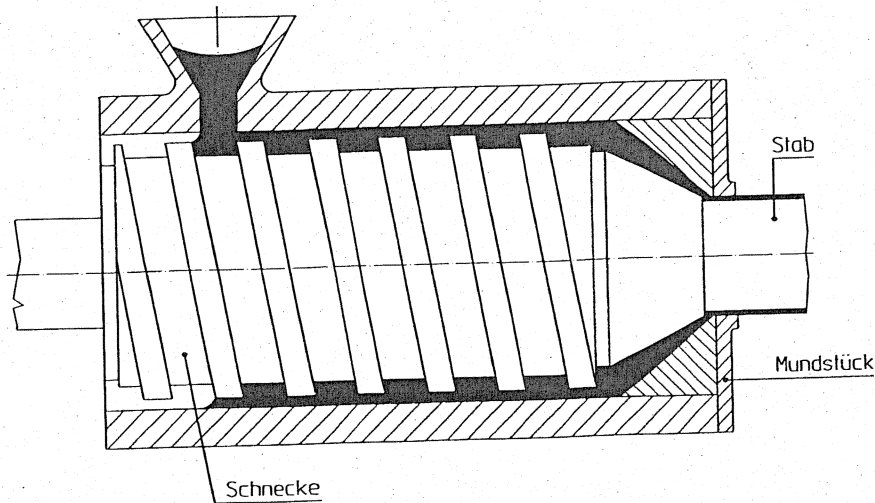
8.6 Gestaltung der Angusskanäle



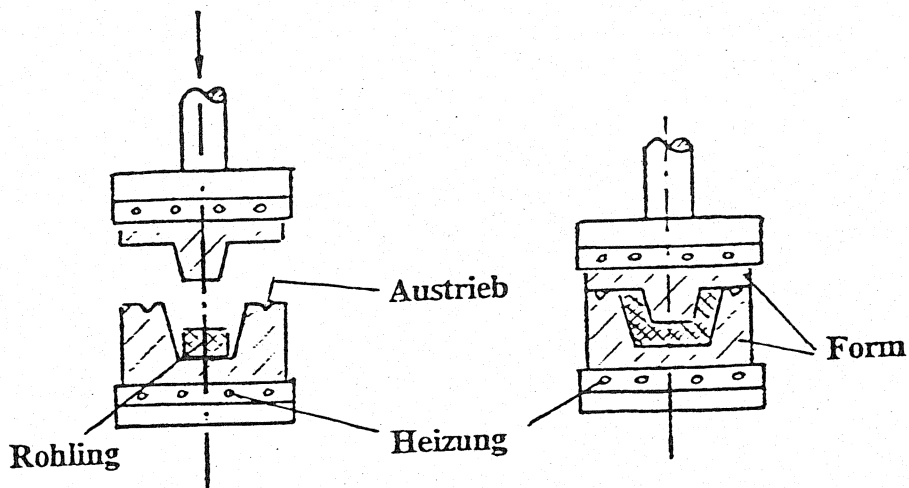
8.7 Hochgradige Vakuumierung durch Vakuumkammer



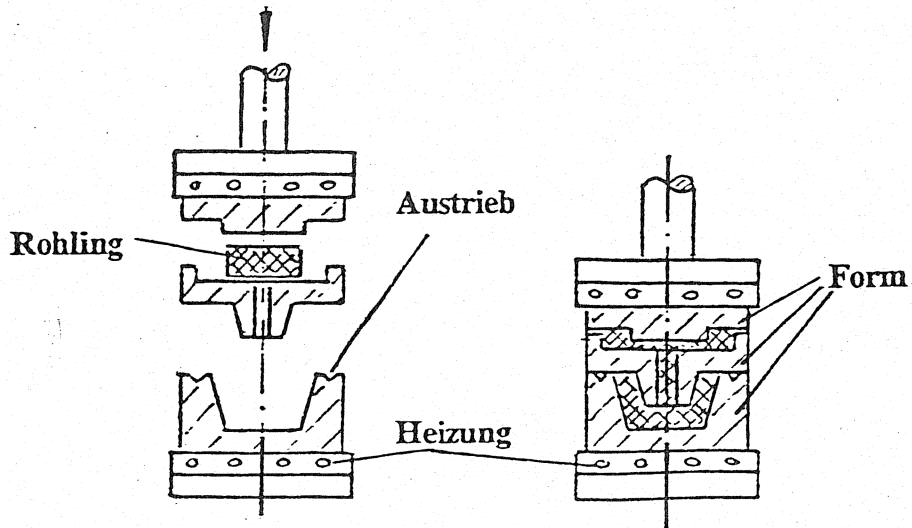
8.8 Extrusion von Stäben und Rohren mit HTV-Silikon



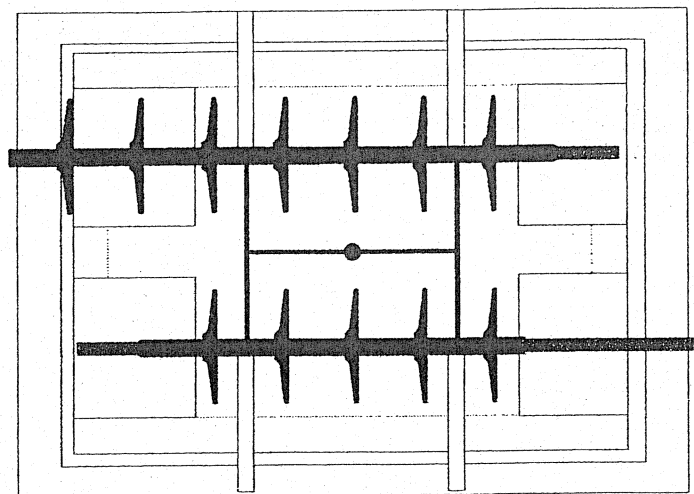
8.9 Compression-Moulding



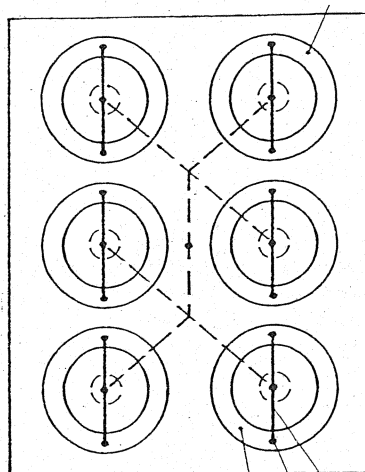
8.10 Transfer-Spritzpressen



8.11 Mehrstufige Fertigung: Step-by-Step



8.12 Symmetrische Angusspinne beim Heisskanal





9. Viskositätsangaben

9.1 Die Mooney-Viskosität bei HTV-Typen

Mooney war ein amerikanischer Physiker, der richtungsweisende Arbeiten zur Kautschukphysik durchführte. Er entwickelte das nach ihm genannte Scherscheiben-Viskosimeter und schlug als erster eine mathematische Funktion zur Erfassung des elastischen Verhaltens bei hohen Dehnungen vor (Mooney-Rivlin-Gleichung). Die detaillierte mathematische Abhandlung findet man im Buch JSBN 3-7785-1893-3.

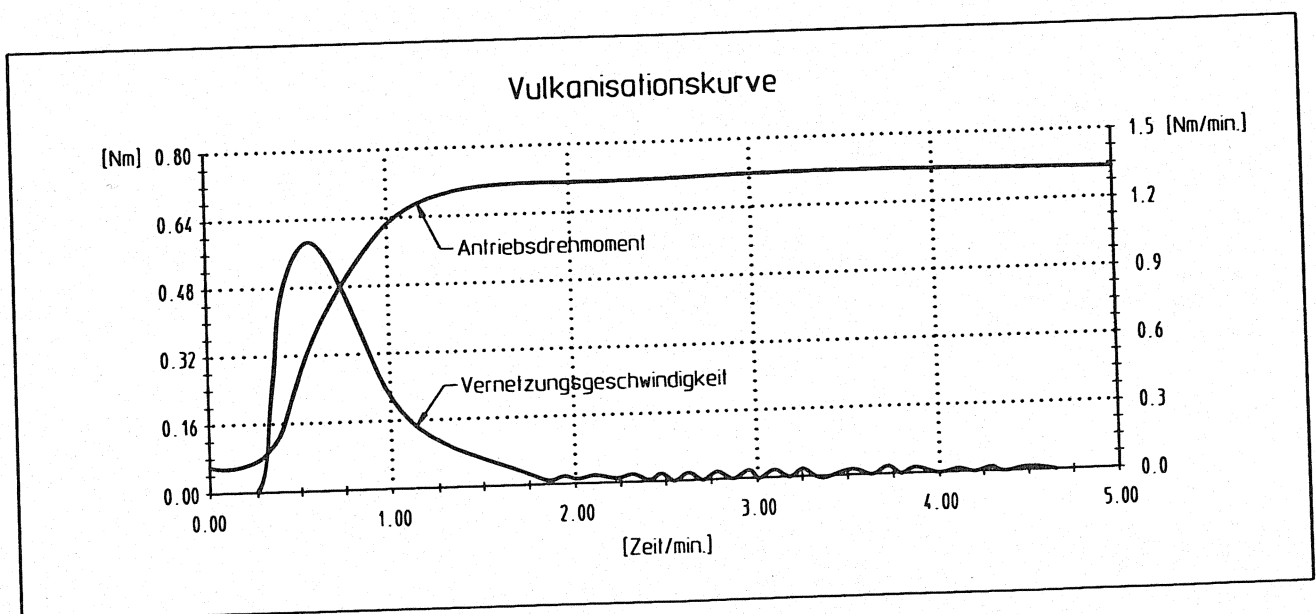
In der Verarbeitung von unvulkanisiertem Kautschuk ist der Mooney-Wert ein wichtiger Hinweis über die Elastizität der Rohmischung.

Wir bevorzugen eine Mooney-Viskosität von 25 bis 40, um den System-Spritzdruck im allgemeinen und die Kraft auf die Einlegteile im speziellen günstig zu beeinflussen.

9.2 Viskositätsangaben bei Flüssigsilikon

Die Viskosität bei RTV-1, RTV-2 und LSR wird in mPa s angegeben. Bei den RTV-2-Typen ist Viskosität als Voraussetzung für die hydrostatische Entlüftung von entscheidender Bedeutung. RTV-1-Typen und LSR-Typen liegen im selbstnivillierenden bis standfesten Bereich.

9.3 Vulkanisationskurve





10. Kriterien zu den Verfahrenskosten

- interessanter Literpreis (nicht kg-Preis) des Rohkautschuks
- kostengünstige Formen ohne Schieber; mehrnestig/mehrstöckig
- Schieber müssen sehr genau eingepasst werden = aufwendig/problemanfällig
- standardisierte Isolierkörper; Spritzwerkzeuge sind teuer
- Schirme wechselseitig über Kaltkanal anspritzen, um auf Schieber verzichten zu können
- abfallarme Anspritztechnik
- robuste Formen
- hydrostatische Entlüftung von RTV-2-Typen, ohne Vakuumierung, jedoch mit Anguss am tiefsten Punkt und mit Steiger am höchsten Punkt (evtl. Formen zyklisch heizen/kühlen)
- geeignete Oberflächenbehandlung, ohne Kantenbrüche
- Bedienungsfreundlichkeit, schnelle Einleg- und Entnahmetechnik
- schnelle Entgratung, Überlaufrille mit abreissbarer Anbindung
- Abdichtung auf Einlegteile
- gratfreie Trennebene; Prinzip wird noch gesucht (Grat macht Probleme bei Typenprüfung)
- schnelle Werkzeugreinigung; kratzfeste Oberflächen
- kurze Vulkanisationszeiten (additionsvernetzend)
- definierte Entlüftung bzw. Vakuumierung a) über Umlaufrille, b) Kanal mit Schieber
c) Kammer über Werkzeug
- leichtes Lösen von der Formoberfläche in Abhängigkeit der Oberflächenenergie des Werkzeuges (Aluminium wäre hervorragend geeignet); geeignete Trennmittel dem Rohstoff begeben
- Kautschuk auf gute Formabtrennung vergleichen
- könnte der Schwund grösser sein als die Wärmeausdehnung
- Schirmabreisser nach Pausen: warum?
- bei heiklen Einlegteilen darf die Vernetzung nicht zu schnell ablaufen, damit man durch Verlangsamung des Einspritzvorganges die Systemkräfte reduziert (peroxidvernetzend)
- verfahrenstechnische Unterstützung vom Silikonlieferanten; Know-how-Transfer
- geringe Chargenabweichungen; Spritzcharakteristik
- Haftvermittlersysteme, die den Kochtest bestehen vom Kautschuklieferanten als Systemanbieter für Silikon auf a) Silikon, b) GFK, c) Metall
- Die ideale Mooney-Viskosität liegt zwischen 30 und 40
- Chargenabweichungen bei Extrusionskautschuk verursachen Schnecken-Förderprobleme
- Der Unterdruck im Vakuumsystem ist mit dem Unterdruck in den Kavitäten nicht vergleichbar
- Besonders wichtig ist die richtige Gestaltung der Entlüftungen. Lufteinschlüsse bewirken bei HTV-Silikon sofort klebrige Stellen am Artikel und Werkzeugverschmutzung.
- Die Vakuumierung der Kavitäten ist sinnvoll. Das Vakuum sollte nicht über 80 % betragen, weil Silikonkautschuk dann ins schäumen kommen kann. Die Vakuumverbindung erfolgt über die Überlaufrille, bei heiklen Teilen kann das Werkzeug in einer Vakuumkammer plaziert werden.
- Der Primer ist an den Einspritzstellen abrasiv (Haftung)
- Flusstudien nach
 - a) existierenden Software-Programmen
 - b) Erfahrung ist ein guter Ratgeber

10.1 Verfahrenstechnische Kriterien bei der Auslegung eines neuen Produktes betreffend Formkosten

<i>System/ Kriterium</i>	<i>RTV-1 o</i>	<i>RTV-2 +</i>	<i>LSR ++</i>	<i>HTV einteilig +++</i>	<i>HTV modular ++</i>	<i>Step ++++</i>	<i>Extrusion +</i>
Musterteile		x			x		x
Fugen	x						
Langstäbe					x	x	x
Rohrbeschirmung		x	x		x		x
Steuerteile		x	x	x			
Isolierte Steuerteile		x	x				

- o = keine Formkosten
- + = geringe Formkosten
- ++ = mittelmässige Formkosten
- +++ = hohe Formkosten
- ++++ = sehr hohe Formkosten

Bemerkung: Positive Auswirkungen sind gleichmässig dünne Wandstärken. Dickwandige Partien benötigen Material und viel Vulkanisationszeit. Zudem können unterschiedliche Gefügetemperaturen die Anhäufung von Vernetzungsgasen begünstigen bzw. Poren produzieren.