

# Prozessoptimierte integrierte Fabrikationsmethoden zur Herstellung von Kunststoff-Hohlisolatoren (KSI).

Rainer F. Röder (für Vogel moulds and machines AG/Schweiz)

## Kurzfassung

Es werden in diesem Papier die neuesten Verbesserungen der Prozesstechnik und der Maschinenteknik zur Herstellung von Kunststoff-Hohlisolatoren (KSI) vorgestellt. Der Markt der KSI hat sich in den letzten Jahren sehr positiv entwickelt, deshalb ist es mehr als notwendig, optimierte Fabrikationsmethoden zu implementieren. Diese Verbesserungen wurden hauptsächlich durch die Hersteller der KSI betrieben, jedoch haben auch Maschinenhersteller ihren Beitrag geleistet. Als Resultat dieser Anstrengungen wird das integrierte Herstellungssystem (IMS) von Vogel vorgestellt.

Dieses System basiert auf der Advanced Vulcanization Technology (AVT) der Firma Vogel, welche schon im letzten Jahr eingeführt wurde und dank der es zu Prozesszeitverbesserungen von 30% gekommen ist.

## 1. Geschichte der industriellen Kunststoff-Hohlisolatorfertigung

### 1.1. Anfänge

Die Basis, um KSI zu fertigen, liegt einige Jahrzehnte zurück. Die ersten kommerziell erfolgreich produzierten KSI wurden noch mit dem sehr niederviskosen Silikon (RTV-2) durch die Firma Brown Boveri AG in der Schweiz, hergestellt.

Selbst heute noch, werden die KSI von der Nachfolgefirma auf Schliessmaschinen der Firma Vogel hergestellt, die sie damals gebaut und geliefert hatte. Zwischenzeitlich ist diese Firma zu einem der grössten KSI-Hersteller geworden.

Basierend auf diesen ersten Schritten wurden die Verfahren entsprechend weiterentwickelt. Ein weiterer Meilenstein wurde mit der Einführung des 1:1- LSR mit niedriger Viskosität erreicht, was zu einer ersten erheblichen Verbesserung der Produktivität führte.

### 1.2. Fertigungstechnologien

Zu Beginn der KSI-Fertigung, wurden viele verschiedene Technologien entwickelt, die zur damaligen Zeit auch ihre Berechtigung hatten.

Diese unterschiedlichen Technologien wurden von den Entwicklern angewendet, da die verschiedenen elektrischen Apparate typspezifisch anderen Kriterien entsprechen mussten. Zu dieser Zeit war es eher notwendig, eine Fertigungsmethode zur Problemlösung zu haben als eine prozessoptimierte Herstellungsmethode.

### 1.3. Zukunft

Die Entwicklung der letzten Jahre hat gezeigt, dass sich die Fabrikation immer mehr auf zwei verschiedene Methoden konzentriert. Mit diesen zwei Methoden werden wohl auch künftig mehr als 90% der KSI produziert werden, dies ist durch die Kosten während der Produktionsprozesse gegeben. Daher ist es notwendig, dass von Seiten der Maschinen- und Materialhersteller die besten Produkte zur Herstel-

lung der KSI zur Verfügung gestellt werden.

An dieser Stelle möchte ich besonders darauf hinweisen, dass es für die Herstellung der KSI notwendig ist, die bekannten Industriestandards einzuhalten und nicht nur auf die Auswahl des Silikons und dessen Preis zu fokussieren. Es ist wichtig, den Gesamtherstellungsprozess im Auge zu behalten, um einen der Notwendigkeit entsprechenden KSI in all seinen Komponenten anzubieten.

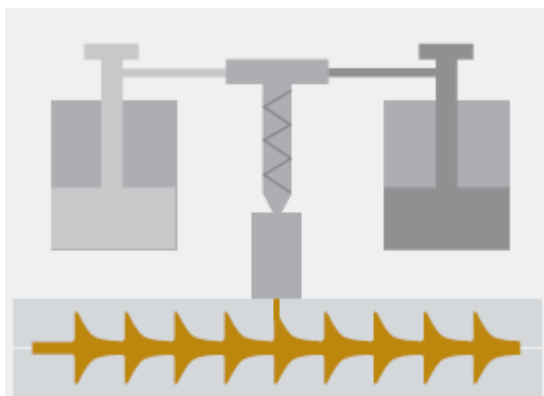
Alle Anbieter von KSI sollten ein Produkt liefern, das es den Apparatebauern ermöglicht, ein Endprodukt herzustellen, das den Weg für eine weitere Steigerung des Absatzes von KSI bei den EVU ebnet.

## 2. Bevorzugte Fertigungsmethode für KSI

Im Folgenden wird die Methode zur Herstellung von KSI gezeigt, die das verbreitete und anerkannte Injektion Moulding Verfahren unter Verwendung von LSR benutzen.

Soweit bekannt, kommt für alle neuen Projekte diese Methode zur Anwendung.

Diese Methode verwendet Misch- und Dosiereinrichtungen, um das Silikon für die Verwendung aufzubereiten und dann in die Form, die in einer Schliessmaschine eingebaut ist einzubringen.



Es sei angemerkt, dass auch alle anderen Methoden dazu befähigt sind, gute KSI herzustellen, doch hat der Bedarf an KSI der letzten Jahre gezeigt, dass die hier vorgestellte Methode im Hinblick auf Produktivität entscheidende Vorteile aufweist.

Die Apparatebauer sind immer mehr gewillt, ihre Konstruktionen auf die speziellen von den KSI-Herstellern bereit gestellten Durchmesser und Schirmformen abzustimmen. Die noch vor Jahren notwendige Flexibilität ist nicht mehr das entscheidende Kaufkriterium.

Viele der heute verwendeten Durchmesser wurden schon vor 10, 15 Jahren festgelegt und sind heute zu einer Richtlinie für KSI geworden.

## 3. Hauptkomponenten für den LSR-Produktionsprozess

Für den LSR-Produktionsprozess sind die Schliessmaschine sowie die Dosier- und Mischeinrichtung und die Form die bestimmenden Fabrikationskomponenten.



Die Zusammenstellung der einzelnen Komponenten ist den jeweiligen Kundenbedürfnissen angepasst.

### 3.1. Dosier- und Mischeinrichtung

Die notwendige Aufarbeitung des Silikons, welches in A- und B-Komponente von den Silikonherstellern angeboten wird, ist die Aufgabe der Dosier- und Mischeinrichtung, die in verschiedenen Ausführungen und Grössen angeboten wird.

Das Bild unten zeigt eine Einrichtung mit zwei Fasstationen pro Komponente, die ein kontinuierliches Fördern von Silikon auch bei der Umschaltung von einem Fass zum anderen automatisch gewährleistet.



Dieses Verfahren spart Prozesszeit und gewährleistet, dass die Gesamtmenge an Silikon, das in den Fässern ist, Verwendung finden kann.

### 3.2. Schliessmaschinen

Nach heutigem Stand der Technik werden die Schliessmaschinen nach den Anforderungen des Kunden entwickelt und gebaut.



Es zeigt sich jedoch mit aufkommenden Bedarf immer mehr, dass bestimmte Grössenklassen möglich sind.

Es gibt zwei wichtige Grössenklassen für KSI, welche auch die Grösse und Auslegung der Schliessmaschinen bestimmen:

- 170 kV in einem „Schuss“
- 230 kV in einem „Schuss“

Die grösseren Isolatoren werden dann in einem Zweischrittprozess hergestellt. Die Dimensionen der Aufspannplatte und die notwendigen Drücke sind den Notwendigkeiten angepasst.

Die heutigen Schliessmaschinen haben ein integriertes Kransystem, das es dem KSI-Hersteller ermöglicht, die doch sehr schweren Formen auf einfache Weise einzubauen. Des Weiteren ermöglicht ein zweites Kransystem die Einbringung des vorbereiteten GFK-Rohres inkl. Flansch. Zur Sicherstellung einer kurzen Zykluszeit ist in die Schliessmaschine eine Flanschheizung integriert, die die notwendige Energie zur Silikonvulkanisierung am Flansch einbringt.

### 3.3. Formen

Getrieben von den verschiedensten Anforderungen der Apparatebauer hat sich in den letzten Jahren die Formenbauweise entwickelt.



Mit immer grösser werdendem Bedarf an KSI und kundenspezifischen Lösungen war es notwendig, ein einfach zu modifizierendes System an Formen respektive Formblöcken zu gestalten.

Mit der Einführung von Blöcken, die vier grosse und vier kleine Schirme enthielten, konnte sehr viel Umrüstzeit gespart werden. Selbst Hinterschnitte an den Schirmen sind heute realisierbar.



Die individuellen Blöcke sind in einem 4:2:1-System verfügbar, so dass alle notwendigen Längen der Form realisierbar sind.



In den letzten Jahren wurde daran gearbeitet, auch das Entformen der KSI nach dem Silikonisieren zu automatisieren. Heute sind Methoden verfü-

bar, die zusammen mit der Form ein einfaches Entnehmen von fertig gestellten Isolatoren ermöglichen.



Das obige Bild zeigt eine Form zur Herstellung von 230kV-KSI, welche mit einem automatisch betriebenen An-gussystem ausgerüstet ist.

#### 3.4. Heizung

Heute werden vor allem zwei verschiedene Heizsysteme eingesetzt. Das wohl effizienteste System ist die Wasserheizung, die auch ein Kühlen während des Prozesses zulässt. Dies ist aber auch die teuerste Variante.



Deshalb werden bis zu einer bestimmten Formengröße vor allem elektrische Heizungen verwendet.

#### 4. Prozessverbesserungen

Aufgrund der immer größer werdenden Nachfrage nach KSI und des damit verbundenen Kostendrucks, wurde viel Energie in die Prozessoptimierung gesteckt.

Vogel, als ein Mitglied der Hedrich Gruppe, hat den entscheidenden Vorteil, auch auf Patente, die von Hedrich eingeführt wurden, zurückgreifen zu können. Das „Ultra Fast Curing“ (UFC) wurde zuerst für die Herstellung von Epoxybauteilen verwendet. Es wurde nun an den Einsatz für die LSR-Verarbeitung angepasst.

In der ersten Phase wurde es vor allem für die Produktion von grossen LSR-Bauteilen (Füllmenge 50 Liter und mehr) für die Komponentenfertigung von Kabelgarnituren eingesetzt.

Die Ergebnisse waren so vielversprechend, dass es im Folgenden auch für die Produktion von 170kV-KSI Verwendung gefunden hat. Für diese Anwendung haben wir eine Füllmenge von 10 bis 12 Litern Silikon. Entgegen allen Mutmassungen zeigte diese Methode auch ihre Brauchbarkeit für die Herstellung von KSI. Die Resultate zeigten eine Zeitersparnis von 30%.



Das obige Bild zeigt Versuche bei einem Hersteller von Ableitern, der diese Methode auch im Direktumguss der Aktivteile eingesetzt hat. Die AVT kann, wie auch hier gezeigt, mit Maschinen von Fremdherstellern eingesetzt werden.

Die Testresultate, die bei Direktumguss erzielt wurden, waren mehr als erfreulich, es konnten Gesamtzykluszeitreduktionen von bis zu 40% erreicht werden. Unter diesen Voraussetzungen ist die Amortisationszeit der AVT geringer als ein Jahr.

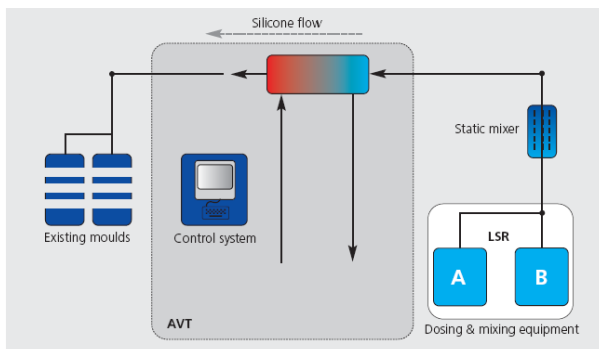
#### 4.1. Advanced Vulcanization Technology (AVT)



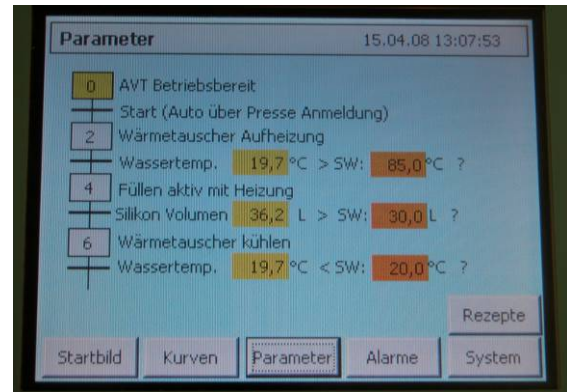
Diese Methode basiert auf der UFC-Methode.

Das Silikon wird nach dem Mischvorgang mittels eines speziellen Wärmetauschers aufgeheizt, siehe Schema unten.

Das Silikon, welches für die Herstellung von KSI verwendet wird, ist speziell „eingestelltes“ Powersil 630 von Wacker und wird auf eine Temperatur von ca. 70°C aufgeheizt.



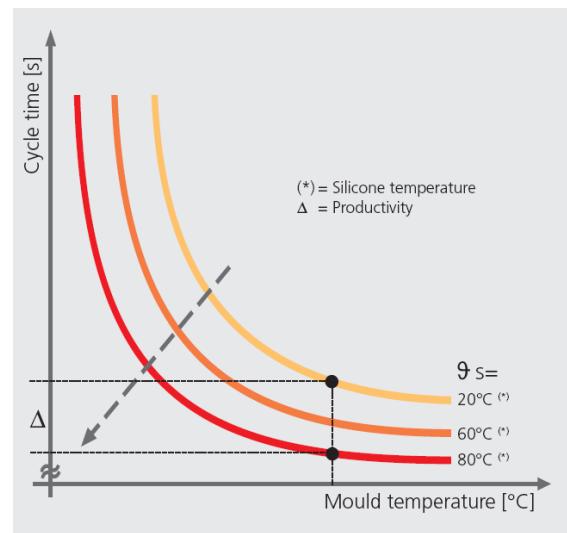
Die AVT selbst ist mit allen notwendigen Steuerungssystemen ausgestattet.



Die AVT sollte für die Implementierung, sprich der Wärmetauscher, sehr nah an den Einspritzpunkt in die Form platziert werden.

Das System liefert die besten Resultate an bestehenden Einrichtungen, die an ihrer Kapazitätsgrenze arbeiten, da hier die Zeitersparnis direkt ausgenutzt werden kann.

Im Folgenden ist das Arbeitsprinzip dargestellt.



Die Zeitersparnis bei einer gegebenen Formtemperatur und der Erhöhung der Silikontemperatur am Formeinspritzpunkt ist im Diagramm direkt ersichtlich.

Die Einführung der AVT hat dann in logischer Konsequenz direkt die Einführung des IMS (Integrated Manufacturing System) beeinflusst, welches im Folgenden beschrieben ist.

#### 4.2. Integrated Manufacturing System (IMS)



Das IMS gibt dem Hersteller von 170kV- KSI die Möglichkeit, den LSR-Prozess zu sehr günstigen Kosten zu realisieren. Dieses System bietet die Möglichkeit, tausende von Isolatoren innerhalb eines Jahres zu produzieren, abhängig von dem eingesetzten Silikon und dem verwendeten Formenkonzept.

Das Zusammenfügen von vorhandenen Prozesstechnologien von zwei führenden Herstellern auf dem Gebiet der Fertigungstechnologie für Silikon- und Epoxyprodukte hat die Entwicklung des IMS massgebend beeinflusst.

Das IMS ist auf eine Grundplatte montiert, welche alle notwendigen Komponenten des Fertigungssystems miteinander verbindet:

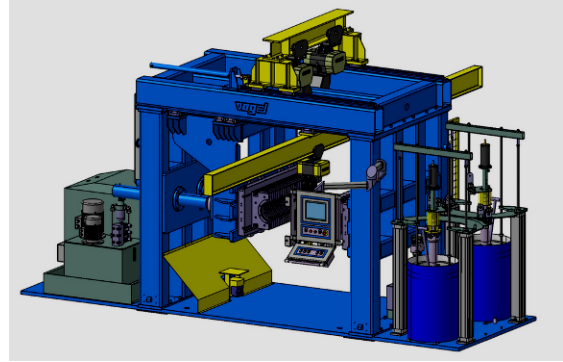
- Dosier- & Mischsystem
- Formenträger
- Formen (elektrisch)
- Handhabungssystem
- Steuerung
- AVT (wo notwendig)

Das IMS ist so aufgebaut, dass es im Herstellerwerk komplett aufgebaut und getestet werden kann. Die Inbetriebnahme ist dann zeitsparend beim Anwender möglich.

Die grosse Anzahl an KSI wird in der Spannungsklasse 170kV benötigt und auch produziert. Daher hat sich die Firma Vogel entschieden, für diesen Produktbereich ein entsprechendes System zu konzipieren.

#### 4.3. IMS für die 170kV-KSI-Herstellung

Im Folgenden ist die 3D-CAD-Zeichnung des 170kV-IMS gezeigt, die auch ein AVT-System beinhaltet.



Das komplette Testen und Einfahren der Anlage wird im Herstellerwerk gemacht. Für den Transport kann das IMS in einem 20-Fuss-Container verschifft werden, was eine kurze Aufbauzeit beim Kunden und ein voll arbeitsfähiges System garantiert.

#### 5. Ausblick

Vogel sieht auf dem Markt immer mehr Apparatebauer, die die Fertigungstiefe erhöhen wollen und an diesen Projekten intensiv arbeiten; für diese Anwender stellt das IMS eine ausgezeichnete Methode dar, den steigenden Bedarf an KSI mit einem kundenoptimierten System zu befriedigen.

#### 6. Zusammenfassung

Viele Jahre wurden von den Herstellern von Schliessmaschinen speziell adaptierte Fabrikationseinheiten angeboten und auch geliefert. Es scheint jetzt die Zeit gekommen zu sein, in der auch standardisierte Systeme vermehrt Einzug halten, das IMS ist dafür eine gute Alternative.

Es sollte an dieser Stelle aber nicht vergessen werden darauf hinzuweisen, dass der LSR-Prozess nur ein Teilschritt zu einem guten KSI ist, es sind die relevanten Normen und Standards nach IEC einzuhalten.

#### 7. Literatur

<sup>1</sup> *Moderne Produktionsprozesse für die Produktion von Hohlisolatoren aus LSR für den Einsatz bei elektrischen Apparaten in der Hochspannungstechnik; Rainer F. Röder; 1. BIK, Burghausen 2007*

<sup>2</sup> *Equipment Manufacturer Aims to Boost Productivity of Insulator Molding Cycle; INMR Q2/2008*