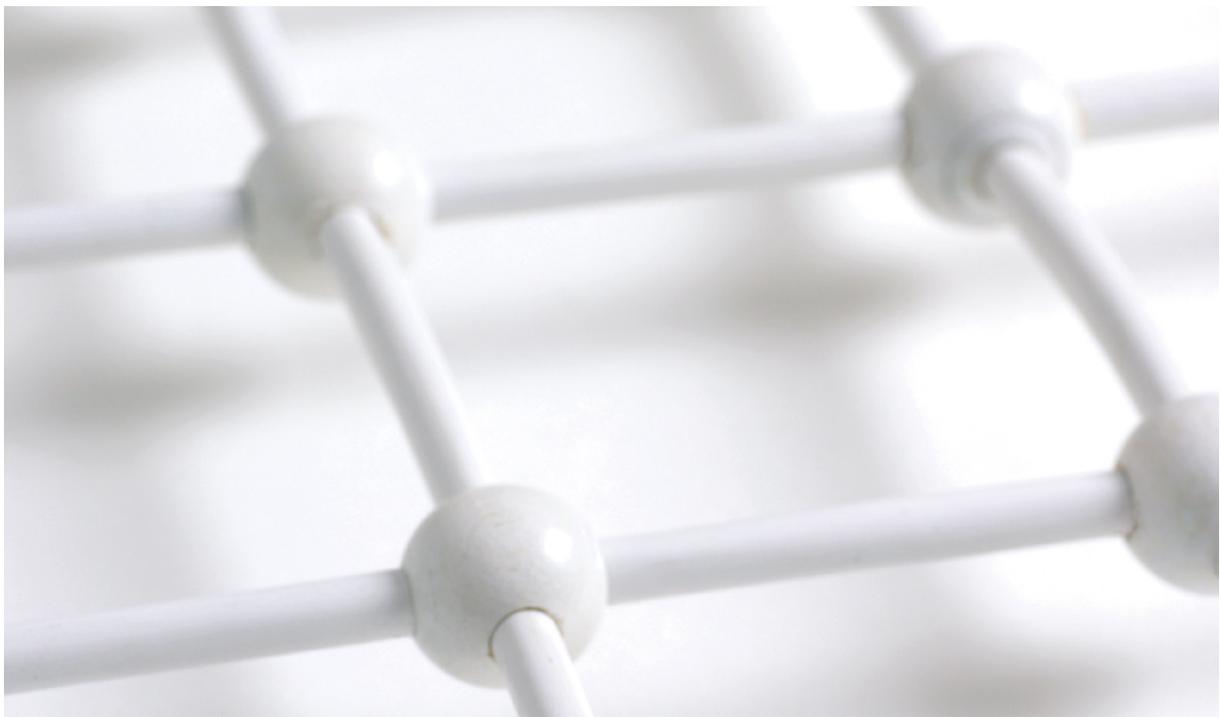


# Dynasylan® Silanvernetzung von Polyethylen



  
Dynasylan®

 **EVONIK**  
KRAFT FÜR NEUES



## Warum Polyethylen vernetzen?

Polyethylen (PE), ein thermoplastisches Polymer, ist schmelzbar und lässt sich bei erhöhten Temperaturen formen. Aus diesem Grund sind die Standardsorten des Polyethylens auf Anwendungen begrenzt, bei denen die maximale Betriebstemperatur signifikant unterhalb der Schmelztemperatur liegt. Ein temporärer Temperaturanstieg kann zu einem vollständigen Versagen des Produktes, wie zum Beispiel der Kabelisolierung, führen.

Mittels Vernetzung kann daher die thermomechanische Stabilität des Polyethylens (PEX) signifikant verbessert werden. Dies erlaubt den Einsatz von PEX-Produkten in Anwendungen mit höheren Temperaturanforderungen, die die Temperaturgrenzen normaler thermoplastischer Kunststoffsorten übersteigen.



## Inhalt

- 2 Warum Polyethylen vernetzen?
- 4 Methoden zur Vernetzung von Polyethylen
- 6 Technologie der Silanvernetzung – Pfpfung und Formgebung
- 7 Technologie der Silanvernetzung – Feuchtigkeitshärtung
- 8 Vernetzung von Kabeln bei Umgebungsbedingungen
- 9 Silanvernetzung von Rohren aus HDPE
- 10 Produktübersicht



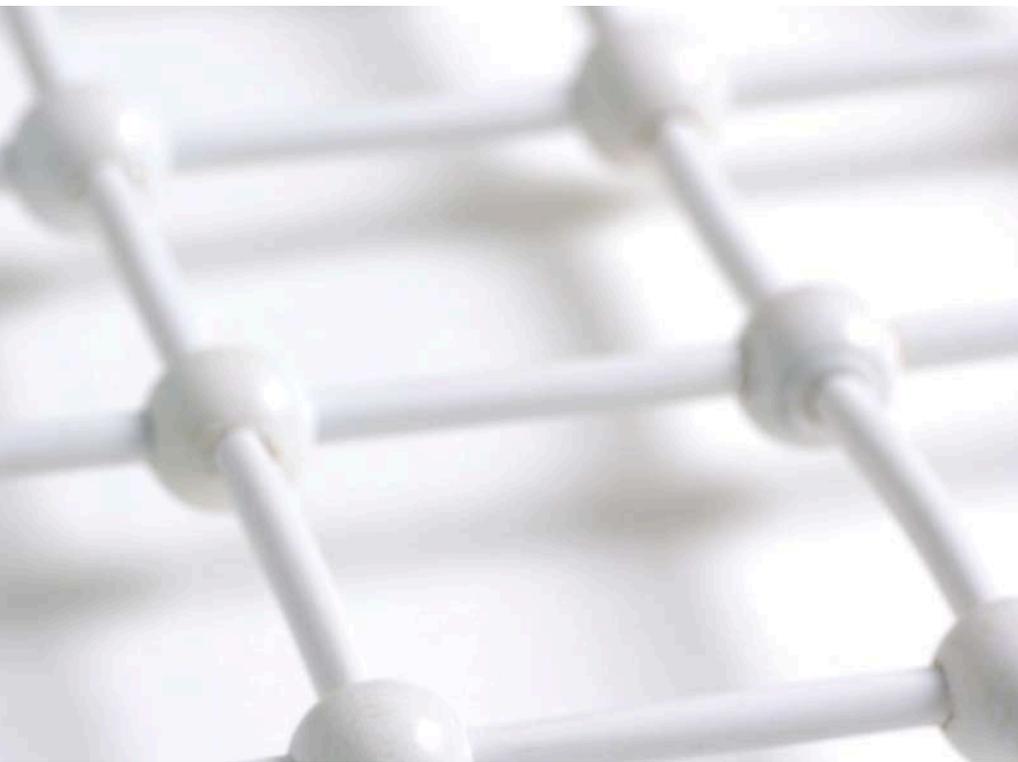
### Die Verwendung von Dynasytan® verbessert signifikant das Wärmedehnverhalten von Polyethylen

Bei erhöhten Temperaturen wird nicht vernetztes Polyethylen leicht verformt. Nicht vernetztes Polyethylen zeigt somit oft unzureichende mechanische Eigenschaften. Ein bedeutender Test ist die Wärmedehnungsprüfung bei einer Temperatur von 200°C. Mittels dieses Testes wird das Deformationsverhalten des Polyethylens bei erhöhten Temperaturen bewertet.



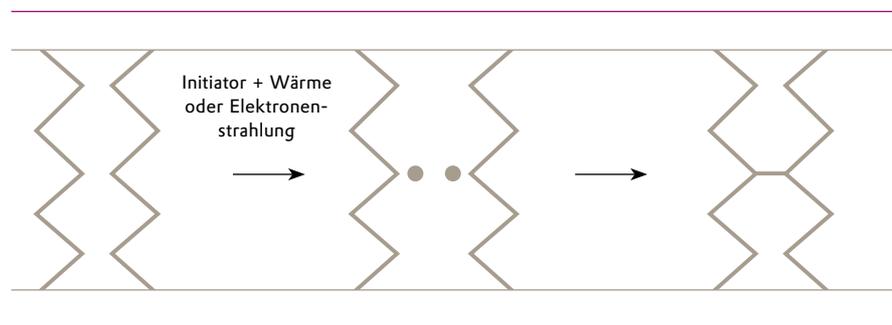
Wie die Abbildung zeigt, ist nicht vernetztes Polyethylen sehr leicht verformbar. Mittels Silanvernetzung behält das geschmolzene Polymer seine Dimensionsstabilität bei. Die Deformation des vernetzten Polyethylens ist minimal (siehe rechtes Testobjekt im Bild). Im Gegensatz dazu reißt das nicht vernetzte Polyethylen

Charakteristik der Wärmedehnung von Polyethylen bei 200°C nach DIN EN 60811-2-1



## Methoden zur Vernetzung von Polyethylen

### Peroxidvernetzung und Strahlenvernetzung



Vernetzung von Polyethylen durch einen Radikalprozess.

Die Technologie der peroxidischen Vernetzung ist der Vernetzungstechnologie mittels Elektronenstrahlen chemisch sehr ähnlich. Bei beiden Technologien werden Radikale gebildet, die unter Ausbildung einer chemischen Bindung rekombinieren. Diese neue chemische Bindung verbessert die mechanischen Eigenschaften des nun vernetzten Polyethylens (PEX).

Die Technologie der Vernetzung mittels Peroxid erfordert ein engbegrenztes Temperaturprofil während der Verarbeitung.

Es ist besonders wichtig, dass die Verarbeitungstemperatur nicht vorzeitig die Zersetzungstemperatur des Peroxids erreicht, da ansonsten das Polymer vernetzt wird, noch bevor das Produkt geformt ist.

Die Vernetzung mittels Elektronenstrahlen ist mit hohen Verarbeitungskosten verbunden, da diese Technologie eine spezielle Anlage mit hohen Investitionskosten erfordert.

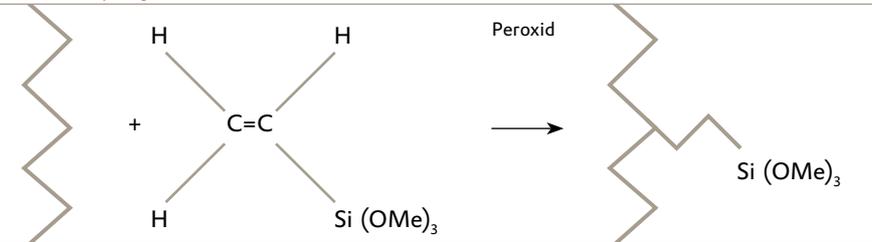
## Silanvernetzung

In den letzten 30 Jahren erwies sich die Silanvernetzung (PEX-b) als der wirtschaftlichste Weg zur Vernetzung von Polyethylen für Kabel- und Rohranwendungen. Gegenüber anderen Vernetzungstechniken wie zum Beispiel Peroxidvernetzung (PEX-a) oder Strahlungsvernetzung (PEX-c) weist die Vernetzung mittels organofunktionaler Silane folgende wesentliche Vorteile auf:

- Umweltfreundliche Technologie
- Vernetzung außerhalb des Extruders
- Niedrige Investitionskosten
- Hohe Flexibilität aufgrund eines breiteren Verarbeitungsfensters
- Hohe Durchsatzraten
- Geringe Mengen an Silan resultieren in exzellenten Eigenschaften

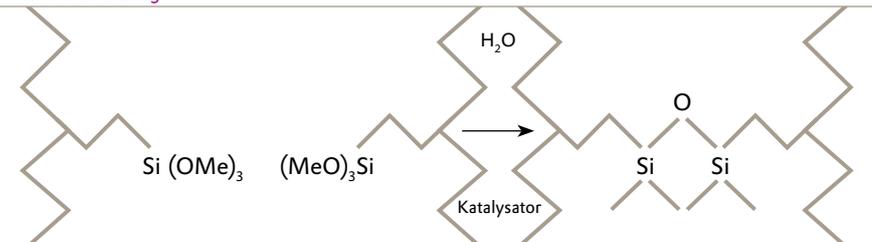
Der entscheidende Unterschied zwischen der Silan-Technologie und dem Peroxid- oder Elektronenstrahlprozess besteht darin, dass das Polymer in der ersten Stufe chemisch modifiziert wird. Im Allgemeinen wird diese Reaktion durch Pfropfung von Vinylsilanen auf eine Polymerkette mit geringen Mengen an Peroxid durchgeführt. Nach der Pfropfung ist das Polymer immer noch wärmeresistent und vielseitig einsetzbar. Die Vernetzung als solche findet immer außerhalb des Extruders statt und wird anschließend mittels Wasser, zum Beispiel im Wasserbad, in der Dampfkammer oder bei Umgebungsbedingungen initiiert. Die Silan-Technologie ist der wirtschaftlichste Weg zur Vernetzung von Polyethylen.

### Teil A Pfropfung



Ein Vinylsilan wird mittels peroxidischer Pfropfung auf das Polymergerüst gepfropft.

### Teil B Vernetzung



Vernetzung durch Kondensation von Silanmolekülen.



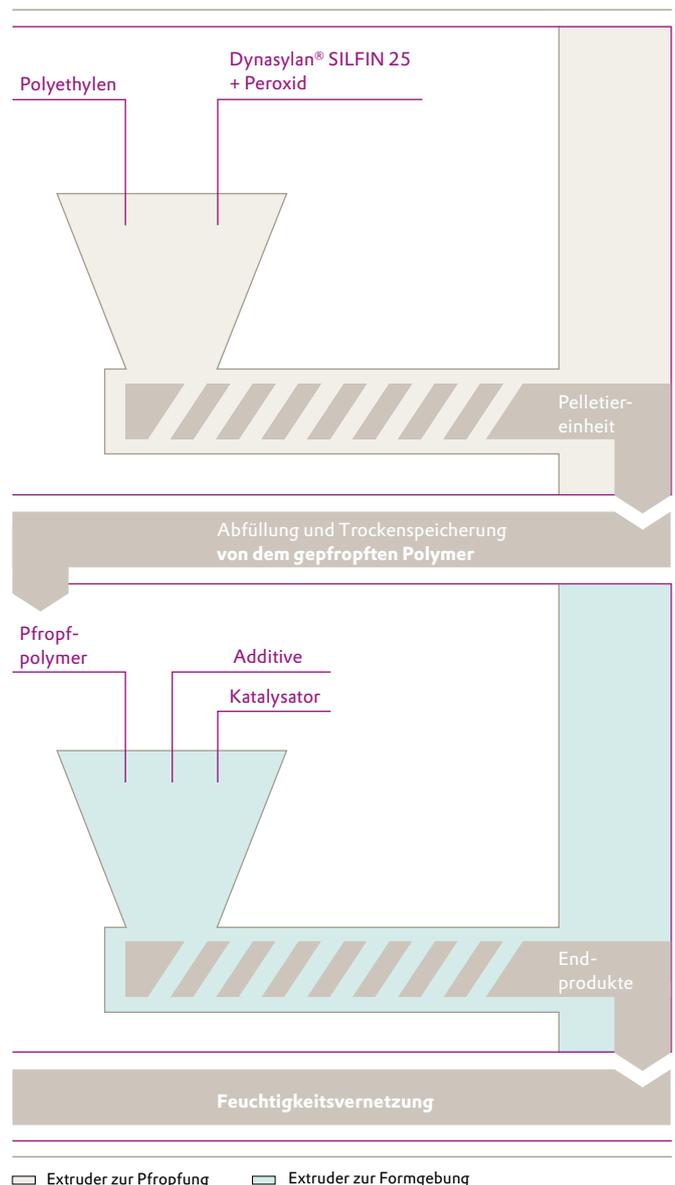
# Technologie der Silanvernetzung – Pffropfung und Formgebung

## Sioplas® Prozess

Der Sioplas® Prozess wurde im Jahre 1968 von Midland Silicones entwickelt. Der wichtigste Schritt ist die mit Peroxid aktivierte Pffropfung des Vinylsilans auf Polymerketten. Dieser Prozessschritt wird üblicherweise in Mischeinheiten, wie zum Beispiel in Doppelschneckenextrudern, durchgeführt. Die Silan-Peroxid-Mischung wird mittels einer Membran- oder Kolbenpumpe zur Polymerschmelze dosiert, woraus ein gepffropftes Granulat entsteht. Die gepffropfte Verbindung kann mittels eines konventionellen Extruders geformt werden. In dieser Prozessstufe muss ein Katalysator-Masterbatch zugefügt werden, um die Vernetzungsgeschwindigkeit zu erhöhen.

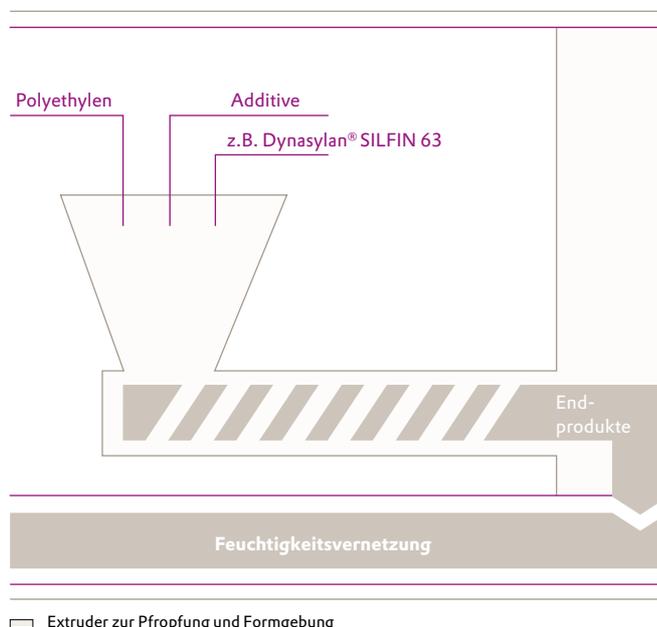
## Silan Copolymerie

Vernetzbare Polymere können ebenso durch Copolymerisation von Ethylen und Vinyltrimethoxysilan erhalten werden. Solche Polymersorten werden direkt von Polymerherstellern angeboten. Die Formgebung als letzte Verarbeitungsstufe wird in einer ähnlichen Art und Weise ausgeführt wie beim Sioplas® Prozess mit einem Standardextruder. Entscheidend ist die Zugabe eines Katalysators und weiterer Additive wie zum Beispiel Stabilisatoren in der Formgebungsstufe.



## Monosil® Prozess

Der Monosil® Prozess wurde im Jahre 1974 von BICC und Maillefer entwickelt. Dieser Prozess vereint die Pffropfung, die Zugabe des Katalysators und die Formgebung in einem Prozessschritt. Diese herausfordernde Prozesskombination erfordert eine spezielle Extruder-ausstattung. Entscheidende Aspekte hierbei sind die Konstruktion der Schnecken und die Art der Einspeisung der Additive.



## Technologie der Silanvernetzung – Feuchtigkeitshärtung

Wasser ist im abschließenden Vernetzungsschritt essentiell. Wasser muss in das Polymer eindringen und die Hydrolysereaktion initiieren. Der Hydrolyse schließt sich eine Kondensationsreaktion der resultierenden Silanole an. Eine sehr große Menge an Wasser auf der Oberfläche des Polymers sowie hohe Temperaturen sind optimal für die Penetration des Wassers und für die Vernetzungsreaktion. Daraus ergibt sich logischerweise, dass die Verwendung eines Wasserbades bei erhöhten Temperaturen (80 – 90 °C bei Umgebungsdruck) der effektivste und schnellste Weg ist. Weiterhin kann die Härtung signifikant durch hohen Druck beschleunigt werden. Diese Methode erfordert jedoch weitere Investitionen.

Eine weitere Option ist die Verwendung von Dampf. Jedoch verläuft diese Art der Vernetzung langsamer als die Vernetzung unter Verwendung eines Wasserbades. Eine Vernetzung unter Umgebungsbedingungen ist zwar die günstigste Methode, erfordert jedoch im Allgemeinen längere Reaktionszeiten.

# Vernetzung von Kabeln bei Umgebungsbedingungen

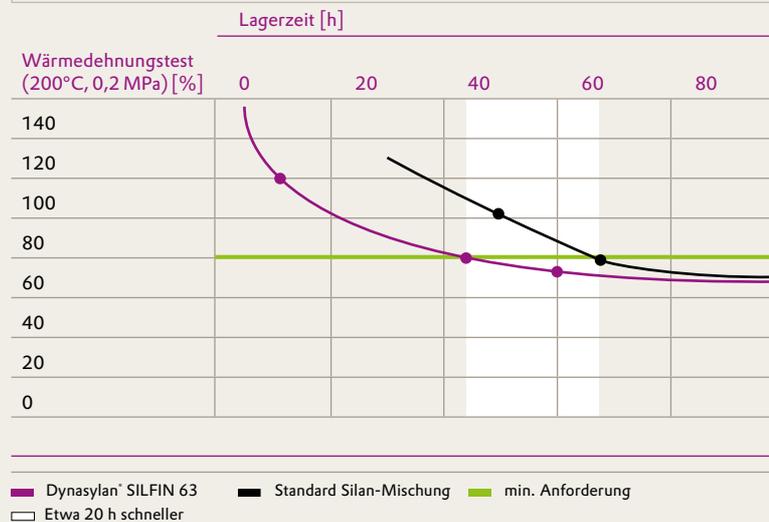
Die Geschwindigkeit der Silanvernetzung von Polyethylen wird beeinflusst durch:

- Art des Silans
- Anzahl der vorhandenen Wassermoleküle
- Temperatur
- Druck
- Effizienz der Pfropfung
- Menge an Katalysator
- Größe des zu vernetzenden Teils

Bei einer Vernetzung bei Umgebungsbedingungen besteht die Herausforderung darin, dass die Menge des verfügbaren Wassers begrenzt ist und die Reaktionstemperatur sehr niedrig im Vergleich zu der Standardvernetzungstemperatur ist. Dennoch muss eine Vernetzung stattfinden. Die Herausforderung besteht somit darin, ein Silan zu finden, das die Vernetzungsgeschwindigkeit bei niedrigen Temperaturen und niedriger Feuchtigkeit während der Extrusion erhöht.

Im Vergleich zu standardisierten Systemen erhöht Dynasytan® SILFIN 63 signifikant die Vernetzungsgeschwindigkeit der Isolierungen von PEX-Kabeln bei Umgebungsbedingungen (siehe Abbildung).

## Verbesserte Eigenschaft durch Dynasytan® SILFIN 63



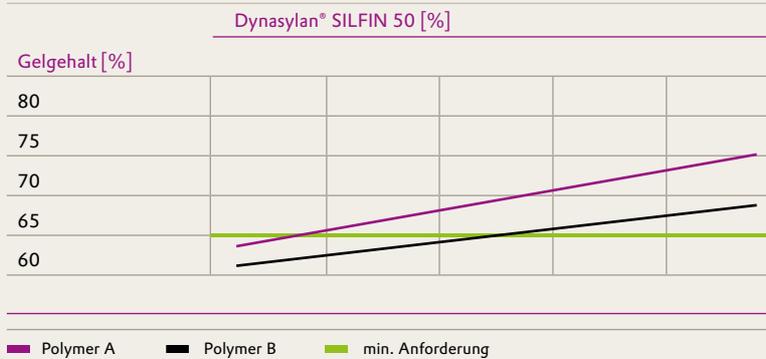
Durch die hohe Vernetzungsgeschwindigkeit erreicht ein mit Dynasytan® SILFIN 63 versetztes PE die minimale Anforderung bezüglich des Wärmedehnungsverhaltens signifikant schneller.

# Silanvernetzung von Rohren aus HDPE

Rohre aus silanvernetztem HDPE (High Density Polyethylene) zeigen ein deutlich besseres Temperaturkriechverhalten als Rohre aus nicht-vernetztem HDPE. Dies ermöglicht einen Langzeiteinsatz der Rohre bei einer Temperatur von 90 °C. Weitere entscheidende Vorteile von vernetztem HDPE bei Rohren sind:

- Verbesserte chemische Beständigkeit und Korrosionsbeständigkeit
- Signifikante Gewichtsreduktion
- Signifikante Reduktion der Verlegungskosten
- Höhere Verschleißbeständigkeit
- Höhere Wärmebeständigkeit
- Höhere Ausdehnungsbeständigkeit
- Erhöhte Sicherheit gegenüber Rissbildung
- Überlegene Beständigkeit gegenüber schneller Rissfortpflanzung (RCP – Rapid Crack Propagation)
- Keine Korrosion in Metallen

## Rohre aus HDPE können effizient mit Dynasylan® SILFIN 50 vernetzt werden



Je nach Art des HDPEs muss die Menge an Dynasylan® SILFIN 50 variiert werden, um einen Gelgehalt von 65 % zu erreichen.

Bei der Produktion von Polyethylen-Rohren zur Trinkwasserversorgung ist Dynasylan® VTMO ein ideales Vernetzungsmittel. In vielen Ländern erlangte Dynasylan® VTMO bereits einen Genehmigungsnachweis durch die Aufsichtsbehörden für diese Anwendung.

Bei spezifischen Anfragen schauen Sie bitte unter den am häufigsten gestellten Fragen auf unserer Internetseite [www.dynasylan.com](http://www.dynasylan.com) nach oder kontaktieren Sie unsere lokalen Vertriebspartner.

## Produktübersicht

Produktname	Beschreibung	Anwendungen			Vernetzung		Haftvermittlung							
		Kabel	Rohre	Gefüllte Kunststoffe	1-Schrittverfahren (Monosil®)	2-Schrittverfahren (Sioplas®)	Polyethylen	EVA/Polyethylen	Polypropylen	Gummi	Acrylharze	Epoxidharze	Ungesättigte Polyester	Sonstige
<b>Multifunctional Silane Systems™</b>														
Dynasylan® SILFIN 06	Standardprodukt für Kabel	●			●									
Dynasylan® SILFIN 13	Standardprodukt für Kabel	●				●								
Dynasylan® SILFIN 22	Standardprodukt für Kabel	●			●									
Dynasylan® SILFIN 25	Multifunctional Silane System™, ermöglicht höheren Durchsatz	●	●		●	●								
Dynasylan® SILFIN 50	Multifunctional Silane System™ für Rohre		●		●									
Dynasylan® SILFIN 53	Multifunctional Silane System™ für Kabel, LLDPE	●			●									
Dynasylan® SILFIN 63	Multifunctional Silane System™ für Kabel, Härten bei Umgebungstemperatur	●			●									
Dynasylan® SILFIN 70	High-performance Multifunctional Silane System™ zum Vernetzen von HFFR Kabeln			●	●									
Dynasylan® SILFIN 71	High-performance Multifunctional Silane System™ zum Vernetzen von HFFR Kabeln			●	●									
Dynasylan® SILFIN 75	High-performance Multifunctional Silane System™ zum Vernetzen von Kabeln	●			●									
Dynasylan® SILFIN 80	All-in-one Multifunctional Silane System™ für Kabel	●			●									
<b>Aminosilane</b>														
Dynasylan® AMEO	Haftvermittler für polare Compounds			●				●	●					
Dynasylan® SIVO 214	High-performance Multifunctional Silane System™ für polare Compounds			●				●	●					
Dynasylan® SIVO 210	High-performance Multifunctional Silane System™ für polare Compounds			●				●	●					
Dynasylan® 1189	High-performance Silan für polare Compounds			●				●	●					

## Produktübersicht

Produktname	Beschreibung	Anwendungen			Vernetzung		Haftvermittlung							
		Kabel	Rohre	Gefüllte Kunststoffe	1-Schrittverfahren (Monosil®)	2-Schrittverfahren (Sioplas®)	Polyethylen	EVA/Polyethylen	Polypropylen	Gummi	Acrylharze	Epoxidharze	Ungesättigte Polyester	Sonstige
<b>Vinylsilane</b>														
Dynasylan® VTMO	Vinylsilan	●	●	●	●	●								
Dynasylan® VTEO	Vinylsilan		●	●	●	●								
Dynasylan® VTMOEO	Vinylsilan			●	●	●	●	●		●				
Dynasylan® 6490	High-performance Multifunctional Silane System™ für unpolare Compounds			●	●	●	●	●		●				
Dynasylan® 6498	High-performance Multifunctional Silane System™ für unpolare Compounds			●	●	●	●	●		●				
Dynasylan® 6598	High-performance Multifunctional Silane System™ für unpolare Compounds			●	●	●	●	●		●				
<b>Alkylsilane</b>														
Dynasylan® 9896	Hydrophobierungsmittel			●										●
Dynasylan® OCTEO	Hydrophobierungsmittel			●										●
Dynasylan® IBTEO	Hydrophobierungsmittel			●										●
<b>Phenylsilane</b>														
Dynasylan® 9165	High-performance Silan für hochtemperaturbeständige Kunststoffe			●										●
Dynasylan® 9265	High-performance Silan für hochtemperaturbeständige Kunststoffe			●										●
<b>Fluorsilane</b>														
Dynasylan® F 8261	Hochleistungssilan für fluorierte Kunststoffe			●				●	●					●
<b>Andere funktionelle Silane</b>														
Dynasylan® MEMO	Haftvermittler für ungesättigte Compounds									●	●	●	●	●
Dynasylan® GLYMO	Haftvermittler für polare Compounds									●	●	●	●	●
Dynasylan® 4144	Hochleistungssilan für hydrophile Anwendungsbedingungen									●	●		●	●

#### **EVONIK RESOURCE EFFICIENCY GMBH**

Business Line Silanes  
Rodenbacher Chaussee 4  
63457 Hanau  
Germany

**[dynasytan@evonik.com](mailto:dynasytan@evonik.com)**

[https://www.dynasytan.com/product/  
dynasytan/de/kontakt/](https://www.dynasytan.com/product/dynasytan/de/kontakt/)

Unsere Informationen entsprechen unseren heutigen Kenntnissen und Erfahrungen nach unserem besten Wissen. Wir geben sie jedoch ohne Verbindlichkeit weiter. Unsere Informationen beschreiben weder die Beschaffenheit unserer Produkte und Leistungen noch stellen sie Garantien dar. Dies gilt auch hinsichtlich der Wahrung von Schutzrechten Dritter. Änderungen im Rahmen des technischen Fortschritts und der betrieblichen Weiterentwicklung bleiben vorbehalten. Der Abnehmer ist von einer sorgfältigen Prüfung der Funktionen bzw. Anwendungsmöglichkeiten der Produkte durch dafür qualifiziertes Personal nicht befreit. Die Erwähnung von Handelsnamen anderer Unternehmen ist keine Empfehlung und schließt die Verwendung anderer gleichartiger Produkte nicht aus.

Dynasytan® und SIVO® sind geschützte Marken der Evonik Industries AG oder ihrer Tochterunternehmen.

RE-213-DEC18TMC

