

# Vergleich von Materialeigenschaften von kalt verarbeiteten Polymerbändern

PVC – BITUMEN  
vs.  
PE – BUTYLKAUTSCHUK

5 - 30 sec  
10 - 60 sec



# Übersicht

---

1. Einleitung
2. PVC (**P**oly**v**inyl**chl**orid)
3. PE (**P**oly**e**thylen)
4. Bitumen – Komplexes Gemisch aus Kohlenwasserstoffen  
**P**olymer**m**odifiziertes **B**itumen (PMB)
5. Butylkautschuk
6. Schlussfolgerung



# 1. Einleitung

---

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

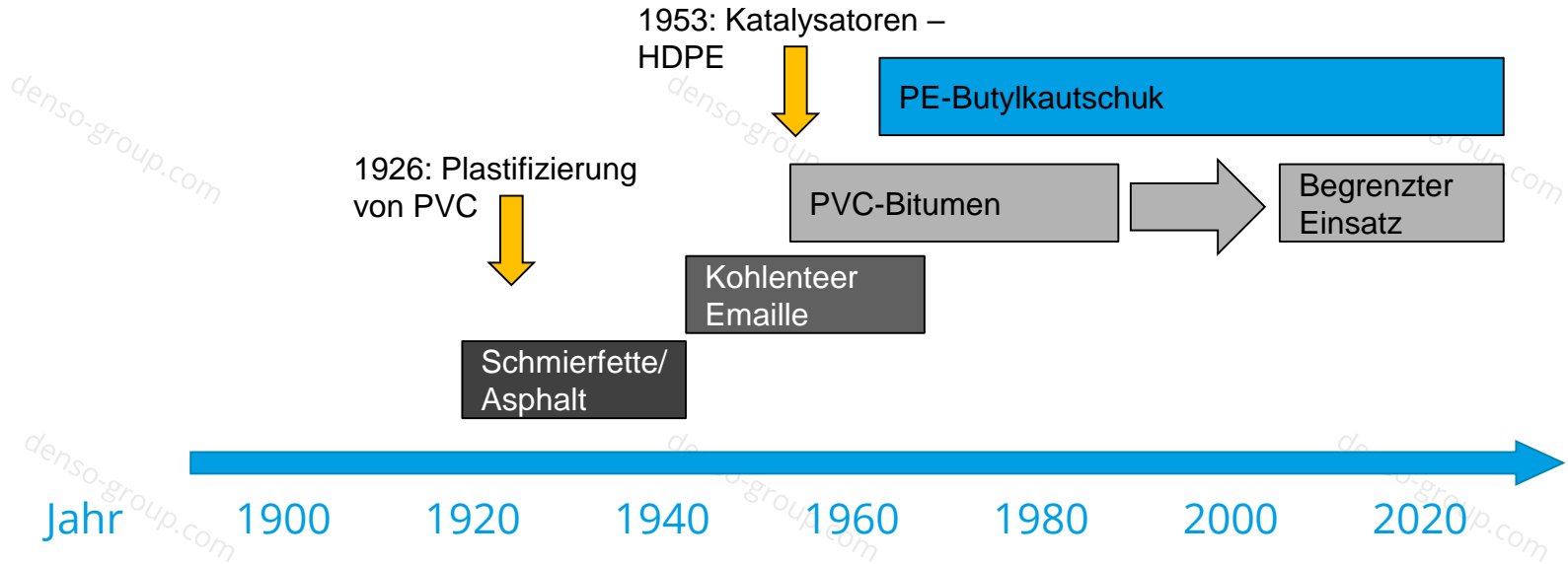
denso-group.com

denso-group.com

# Ziel dieser Präsentation

- Zum Verständnis und Vergleich der **chemischen und der Grundeigenschaften** der einzelnen Materialien:
  - PVC (**P**oly**v**inyl**ch**lorid)
  - PE (**P**oly**e**thylen)
  - Bitumen – Komplexes Gemisch aus Kohlenwasserstoffen/**P**olymer**m**odifiziertes **B**itumen (PMB)
  - Butylkautschuk
- Besonderer Fokus:  
**Eignung für den Einsatz in Korrosionsschutzbändern**

# Geschichte

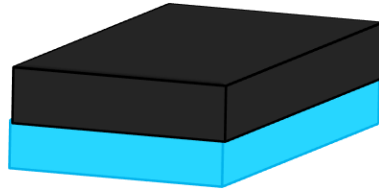


# Strukturen der Bänder

Kalt verarbeitete Polymerbänder: ISO 21809-3 – Umhüllung Typ 12

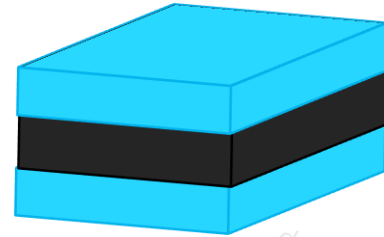
## Trägerfolie + Klebeschicht

- Trägerfolie: PVC *oder* Mesh *oder* PE
- Klebeschicht: Bitumen *oder* Butylkautschuk



### 2-Schicht

- |      |                  |
|------|------------------|
| PVC  | - Bitumen        |
| Mesh | - Bitumen        |
| PE   | - Butylkautschuk |



### 3-Schicht

- |    |                  |
|----|------------------|
| PE | - Butylkautschuk |
|----|------------------|



## 2. PVC (Polyvinylchlorid)

---

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

# PVC – Geschichte

- 1835 (Deutschland): *Henri Victor Regnault (F)* synthetisiert versehentlich Vinylchlorid. Durch UV-Strahlung entsteht ein weißer Feststoff (Pulver): Polyvinylchlorid. *(Regnault war sich seiner Entdeckung nicht bewusst).*
- 1912 (Deutschland): *Fritz Klatte (D)* synthetisiert Vinylchlorid aus Ethin und Chlorwasserstoff und schafft die Grundlage für die Produktion von PVC. *(Zu diesem Zeitpunkt wurden noch keine Produkte erfolgreich vermarktet).*
- Aufgrund der Rohstoffknappheit nach dem Ersten Weltkrieg wurde in den USA und Deutschland die PVC-Produktion aufgenommen.
- 1926 (USA): Plastifizierung von PVC durch Mischung mit verschiedenen Additiven – **Essenziell für den Einsatz von Bändern!**

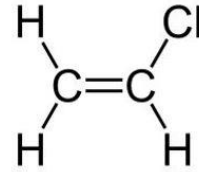
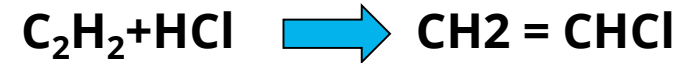


# PVC – Chemische Struktur

## Vinylchloridmonomer

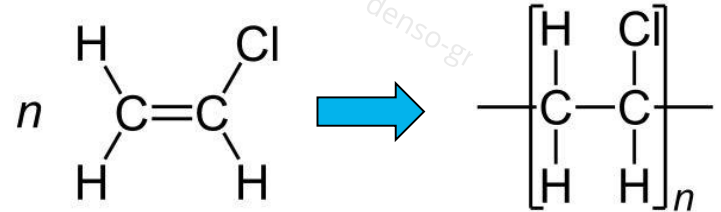
Acetylen + Chlorwasserstoff (Gas)

Einsatz von Quecksilberchlorid als Katalysator (für Menschen giftig)



## Polymerisation von Vinylchloridmonomer

Chemische Reaktion von Monomermolekülen, bei der eine Polymerkette entsteht (=PVC)



# PVC – Additive

---

## Verschiedene Verarbeitungshilfsstoffe sind erforderlich:

- Schlagzähmodifikatoren – thermische Modifikatoren
- Füllstoffe
- Biozide
- Pigmente
- **Weichmacher**
- **Wärmestabilisatoren** – UV-Stabilisatoren

# PVC – Probleme von Weichmachern

Weichmacher (bis zu **40 %** Anteil) machen PVC flexibel (bei  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  und höher)

## Ausschwitzungen:

Weichmacher sind nicht stabil und gelangen in:

- die Umwelt: **Grundwasserverschmutzung**
- Klebeschicht (Bitumen)
  - Versprödung des Trägers: **Rissbildung**
  - Plastifizierung von Klebeschicht: Gummi mit **geringer Zugscherfestigkeit**



Weichmacher stehen im Verdacht, **Krebs zu erregen**

# PVC – Probleme von Stabilisatoren (Instabilität bei Wärme)



PVC + Wärme (ab +70 °C) → Dehydrochlorierung

**Dehydrochlorierung:** Allylchloridstruktur + HCl

- Allylchloridstruktur: Thermisch instabil in Polymeren und giftig
- HCl + H<sub>2</sub>O (Dampf)      Salzsäure: **Korrosiv und giftig**

**Stabilisatoren:** zur Reduzierung des Verlusts von HCl

**Aber:** Dehydrochlorierung ist autokatalytisch („Selbstaflösung“):

→ Reaktionsprodukte sind Katalysatoren für dieselbe Reaktion – **Kettenreaktion**





# 3. PE (Polyethylen)

---

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

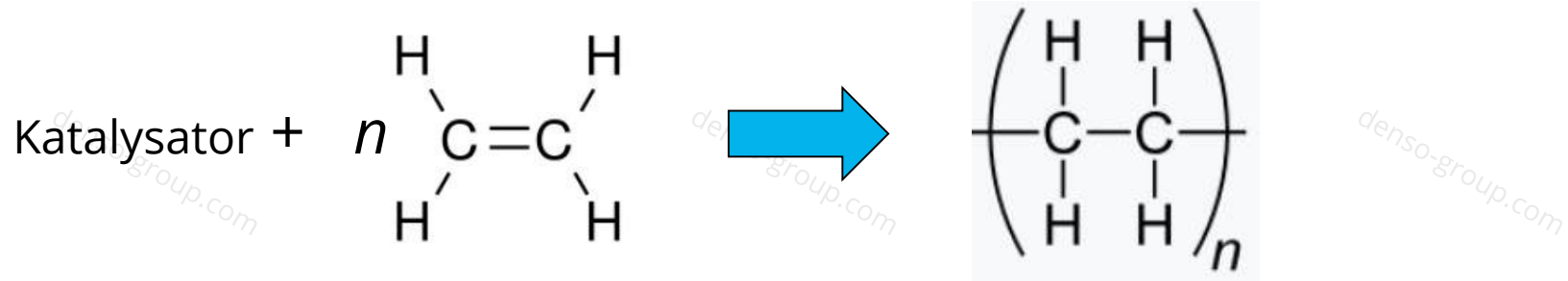
denso-group.com

denso-group.com

# PE – Geschichte

- 1898 (Deutschland): Eine weiße, wächserne Substanz wird versehentlich von *Hans von Pechmann (D)* synthetisiert. *(Keine praktische Anwendung zu diesem Zeitpunkt)*
- 1933 (GB): *Eric Fawcett (GB)* und *Reginald Gibson (GB)* synthetisieren „versehentlich“ auf industrielle Weise ein weißes, wächsernes Material. Später produziert *Michael Wilcox Perrin (UK)* mit Hochdrucksynthese Polyethylen. ➡ LDPE
- 1944 (USA): Bakelite Corp. und DuPont beginnen mit der kommerziellen Produktion.
- 1951 (USA) und 1953 (Deutschland):  
Meilenstein: Katalysator + mäßige Temperatur und Druck + Ethen
  - LDPE (**L**ow **D**ensity **PE**) und
  - HDPE (**H**igh **D**ensity **PE**).

# PE – Polymerisierung von Ehtylenmonomer



Chemische Reaktion: Katalysator + Monomermoleküle bilden Polyethylenketten

Monomermoleküle: Ethen (einfachstes Alken)

Ähnliche chemische Zusammensetzung wie **Kerzen oder Kaugummi**

# PE – grundlegende mechanische Eigenschaften



Steifigkeit/Flexibilität



Flexibel **ab -40 °C**  
**ohne Weichmacher**

Hohe Dehnbarkeit



Plastische Verformung  
vor Versagen

Hohe Schlagzähigkeit



Absorbiert Energie und  
verformt sich ohne Bruch



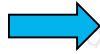
# PE – grundlegende mechanische Eigenschaften



Keine  
Dehydrochlorierung



Keine Wärmestabilisatoren



Gute thermische Stabilität

Schmelzpunkt (HDPE)



120–180 °C

*Schmelzpunkt (PVC)*



77–88 °C

# PE – Elektrischer Widerstand & Wasseraufnahme

## Elektrischer Widerstand (EN 12068)

PE	→	$10^{16} \Omega \text{ cm}$
PVC	→	$10^{11} \Omega \text{ cm}$

## Wasseraufnahme (ASTM D570)

PE	→	0,02–0,06 %
Weich-PVC	→	0,20–1,00 %

# PE – Grundlegende Eigenschaften (NACE CIP Level II)



- Temperaturbeständig bis nahezu +100 °C.
- Gute Flexibilität bei niedrigen Temperaturen.
- Herausragende Chemikalienbeständigkeit.
- Kriechbeständigkeit.
- Hohe Schlagzähigkeit.
- Herausragende Zugfestigkeit.

# PE – Grundlegende Eigenschaften (NACE CIP Level II)



- Hoher elektrischer Widerstand.
- Nicht lösbar in organischen Lösungsmitteln.
- Reißt nicht unter Spannung.

➔ **Ideal für Korrosionsschutzbänder**

*Hinweis: In den NACE\* Regelwerken werden keine PVC Materialien aufgeführt.*

\*NACE (National Association of Corrosion Engineers): weltweit führende Vereinigung zum Korrosionsschutz mit 37.000 Mitgliedern in 140 Staaten.



# 4. Bitumen

---

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

# Bitumen – Asphalt



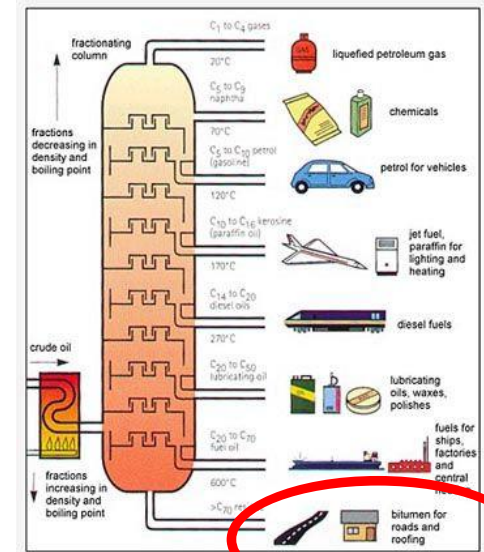
- Komplexe Mischung aus Kohlenwasserstoffen ( $C_nH_m$ )
- Natur Bitumen:



Natural bitumen from the Dead Sea

- Raffiniert: Rohödestillation

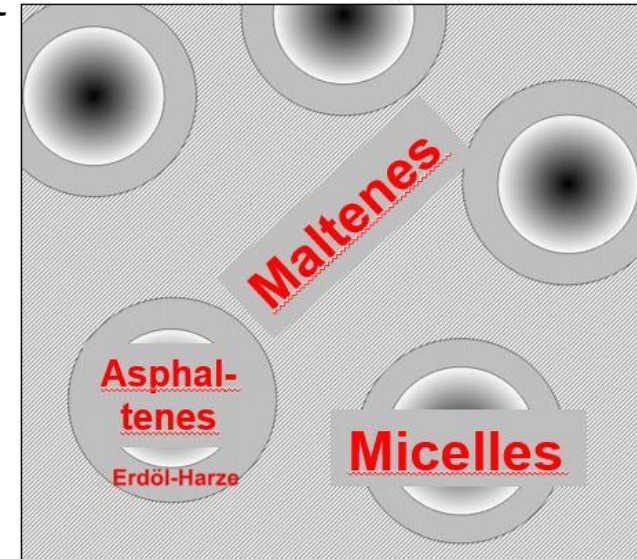
- *1500 Rohölsorten, aber:*
  - *nur 7 % eignen sich für qualitativ hochwertiges Bitumen*
  - Qualitätsproblem – Keine definierte Zusammensetzung



# Bitumen – Kolloidales Modell

## Dieses Modell erklärt das Alterungsverhalten von Bitumen

- Nichtlösliche feste **Asphaltene** – Radius in nm ( $10^{-9}$  m)
- Asphaltene sind mit löslichen Harzen beschichtet
- Asphaltene + Harze  
= Feste **Mizellen**
- Ölig-flüssige Phase:  
Temperaturempfindliche Maltene
- **Solartige Bitumene**  
Asphaltene Mizellen sind  
vollständig verteilt und interagieren nicht

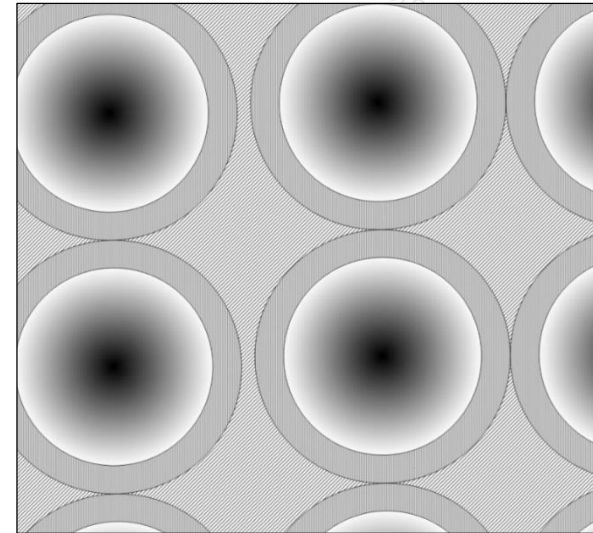


# Bitumen – Kolloidales Modell (Strukturelle Alterung)



## Wenn Bitumen altert:

- Asphaltene wachsen (Oxidation) – Mizellen wachsen
- Maltene verdampfen
- Mizellen verklumpen und bilden Kettenstrukturen
- **Gelartiges Bitumen**  
Verhältnis: Asphaltene/Maltene nehmen zu  
Bitumen wird **hart, spröde und porös!**



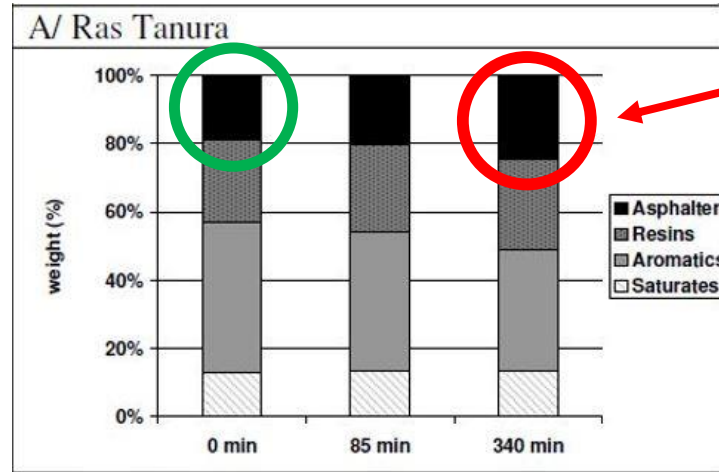


# Bitumen – wie wird Alterung gemessen?

## Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) – ASTM-D1754 & EN 12607

### Ausdehnungsrate Asphaltene:

- Hängt von Ursprung und Temperatur des Rohöls ab
- Ist linear zur Zeit



Der Anteil von Asphaltene wächst nach nur 340 Minuten erheblich.

# Bitumen – Kolloidales Modell (Strukturelle Alterung)



## **Strukturelle Alterung ist der Schwachpunkt von Bitumen!**

- Oxidation ist der einflussreichste Faktor.
- Alterung ist ein Prozess, der nicht aufgehalten, sondern nur verlangsamt werden kann.

Die Geschwindigkeit der Alterung hängt ab von:

- Ursprung und Temperatur des Rohöls
- Bitumengemisch (**Polymere** können die Alterungsgeschwindigkeit nur verringern).

Ergebnis der Alterung:

Bitumen wird **hart, spröde und porös!**



# Bitumen – Rohrleitungsbeschichtungen (Alterungsproblem)



Bitumen wird  
**hart, spröde und porös**



# Bitumen – Rohrleitungsbeschichtungen

## Polymermodifiziertes Bitumen (PMB)

Polymere (Beispiele: SBS, SBE, EVA, EBA) werden hinzugefügt:

- ...um das Gemisch klebrig zu machen (Haftverhalten).
- ...um den Bereich der Plastizitätsfenstertemperaturen zu vergrößern (brechen/weichmachen).

### ABER:

- Billige Polymere reduzieren die Alterungsgeschwindigkeit nicht.
- Nichthomogene Mischung  
(Polymerketten werden beim Mischen nicht aufgespalten).
- Beispiel: Probleme mit **Lagerungsbedingungen!**

# Bitumen – Rohrleitungsbeschichtungen (Lagerungsprobleme)



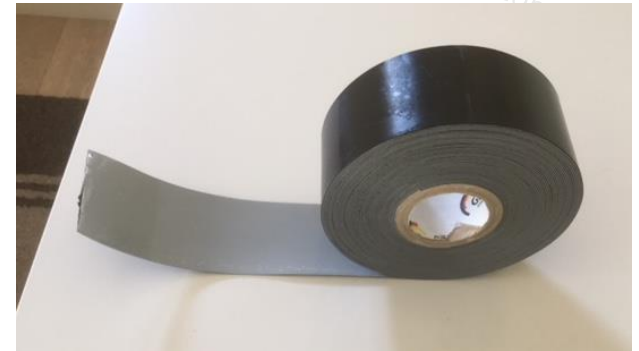
Lagerung bei **Raumtemperatur** (+23 °C) für 5  
Monate:

## PVC-Bitumen:



**Kann nicht mehr  
verwendet werden**

## PE-Butylkautschuk (dreilagig koextrudiert):



**Immer noch in  
perfektem Zustand**

# Bitumen – Rohrleitungsbeschichtungen (Alterungstests)



## 100 Tage $b(T_{\max}+20\text{ °C})$ Alterungstests – EN 12068 und ISO 21809-3:

Erforderliche Schälfestigkeit auf Stahloberfläche:  $A_{100}/A_o \geq 0,75$

- Mesh-Bitumen-Band (zweilagig laminiert):  $A_{100}/A_o \pm 0,60$
- PE-Butylkautschuk-Band (dreilagig koextrudiert):  $A_{100}/A_o \geq 0,90$

# Bitumen – Rohrleitungsbeschichtungen (Alterungstests)



## Hot Water Immersion (HWI) Tests – ISO 21809-3:

Erforderliche Schälfestigkeit auf Stahloberfläche:  $\geq 1 \text{ N/mm}$

Erforderliche Schälfestigkeit auf Stahloberfläche nach 28 Tagen HWI:  $\geq 0,4 \text{ N/mm}$

	<u>Anfänglich</u>		<u>Nach HWI</u>
■ Mesh-Bitumen-Band (zweilagig laminiert):	$> 1,0 \text{ N/mm}$	–	<b>0,2–0,4</b> $\text{N/mm}$
■ PE-Butylkautschuk-Band (dreilagig koextrudiert):	$> 3,0 \text{ N/mm}$	–	$> 3,0 \text{ N/mm}$

# Bitumen – Rohrleitungsbeschichtungen (Porositätsproblem)



**Hohe Porosität = hoher Strombedarf für den Kathodenschutz**

**ISO 15589 - 1:2015** – Kathodischer Korrosionsschutz für  
Rohrleitungssysteme § 8.4. Strombedarf für  
Kathodenschutz

§ 8.4.2 – Faktoren für die Zersetzung von Beschichtungen (Coating Breakdown Factor) ( $f_f$ )

$$I_{\text{tot}} = \pi D \times L \times k \times j \times f_f$$

$I_{\text{tot}}$ : Gesamter Strombedarf

$k$ : Sicherheitszuschlag – nichteinheitliche Verteilung ( $\geq 1,25$ )

$j$ : Auslegungsstromdichte (100 mA/m<sup>2</sup>–1 A/m<sup>2</sup>)

$f_f$ : Hoher Faktor für die Zersetzung von Beschichtungen = Hoher Strombedarf für den Kathodenschutz



# Bitumen – Rohrleitungsbeschichtungen (Porositätsproblem)



$$f_f = f_i + (\Delta f \times t_{dl})$$

$f_i$ : Anfänglicher  $f_f$

$\Delta f$ : Durchschnittliche jährliche Zunahme von  $f_f$

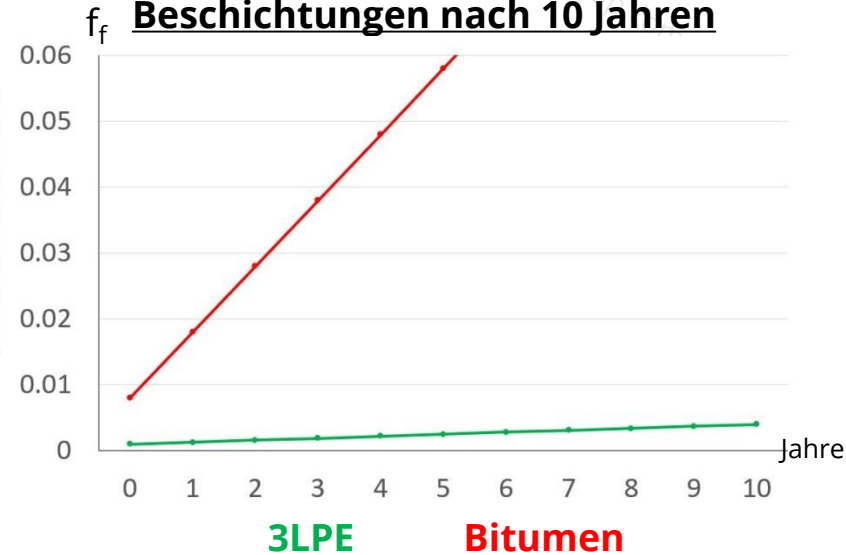
$t_{dl}$ : Auslegungslbensdauer (Jahre)

Table 2 — Typical design coating breakdown factors

Pipeline coating	$f_i$	$\Delta f$
FBE	0,005	0,002
3LPE	0,001	0,000 3
3LPP	0,001	0,000 3
Liquid epoxy	0,008	0,01
Coal tar urethane	0,008	0,01

Kohlenteerpech und Bitumen sind sehr ähnliche Materialien mit vergleichbaren Eigenschaften

**Faktor für die Zersetzung von Beschichtungen nach 10 Jahren**



# Bitumen – Rohrleitungsbeschichtungen (Porositätsproblem)



## § 8.4.3 – Stromdichte

$$I_{\text{tot}} = \pi D \times L \times k \times j_c \times J_c$$

k: Sicherheitszuschlag – nichteinheitliche Verteilung ( $\geq 1,25$ )

$j_c$ : Auslegungsstromdichte (Tabelle 3)

Table 3 — Typical design current density values for coated pipeline

Type of coating	Current density for optimized design mA/m <sup>2</sup>	Current density for conservative design mA/m <sup>2</sup>
3LPE or 3LPP	0,001 to 0,02	0,05 to 0,2
FBE	0,02 to 0,2	0,4 to 0,7
Coal tar or bituminous coating	0,2 to 0,3	0,3 to 0,8

NOTE These values are given for pipelines built with respect to standards mentioned in [7.5.2](#) and [7.5.3](#).



# 5. Butylkautschuk

---

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

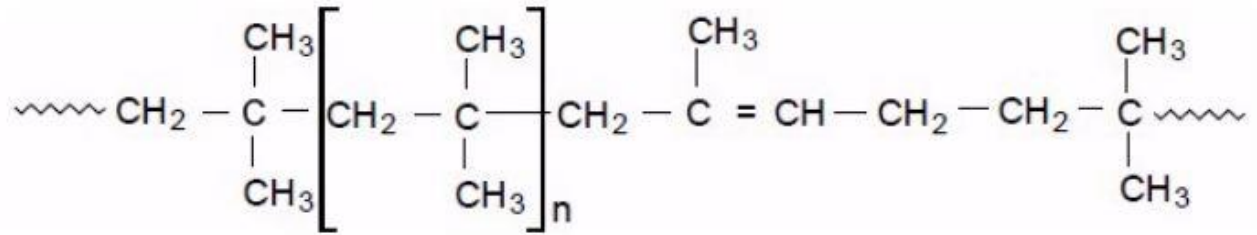
# Butylkautschuk – Geschichte

- 1825 (GB): *Michael Faraday* (besser bekannt für die Entdeckung der elektromagnetischen Induktion, des Diamagnetismus und der Elektrolyse) entdeckt Isobutylen.
- 1931 (Deutschland): BASF entwickelt Polyisobutylen (PIB), das unter der Handelsbezeichnung *Oppanol B* verkauft wurde.
- 1937 (USA): Entwicklung von Butylkautschuk durch das Labor von Standard Oil.
- Der Großteil des Butylkautschuks auf dem Weltmarkt wird heute produziert von:
  - **ExxonMobil** (USA), eines der Unternehmen, das aus Standard Oil (USA) hervorging.
  - **LANXESS AG** (Deutschland), Bayer AG hat Polysar Rubber (Kanada) 1990 aufgekauft.

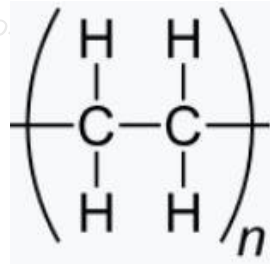
# Butylkautschuk

Isobuten-Isopren-Kautschuk (IIR) ist die Polymerisierung von:

- 98 % **Polyisobutylene (PIB)**
- 2 % Isopren



Chemische Struktur ähnelt der von PE



# Isobuten-Isopren-Kautschuk (IIR)

## Grundlegende Eigenschaften

- Geringe Durchlässigkeit gegenüber Luft, Gasen und Feuchtigkeit (Reifenprofil und Leitungen).
- Glasübergangstemperatur:  $-67\text{ °C}$ .
- Maximale Temperatur:  $+100\text{ °C}$  ( $+150\text{ °C}$  bei Vulkanisation mit Schwefel).
- Alterungs- und verwitterungsbeständig (stabil).
- Härte- und Zugfestigkeitseigenschaften.
- Geringer Füllstoffgehalt.
- Sicher („Kaugummieffekt“).

 **Ideal für Korrosionsschutzbänder**

# Butylkautschuk (NACE CIP Level II)

- Temperaturbeständig bis nahezu +100 °C.
- Biegbares und formbares Material.
- Typische Anwendungen: Kitt, Klebemittel, Dichtstoffe.
- Herausragende Säurebeständigkeit.

 **Ideal für Korrosionsschutzbänder**

*Hinweis: In den NACE\* Regelwerken werden keine Bitumenmaterialien aufgeführt.*

\*NACE (National Association of Corrosion Engineers): weltweit führende Vereinigung zum Korrosionsschutz mit 37.000 Mitgliedern in 140 Staaten.

# Butylkautschuk: Eigenschaften sind über die Zeit stabil



PE-Butylkautschuk-Band **nach 40 Jahren im Einsatz**  
Übertrifft die Anforderungen aktueller Regelwerke.







# 6. Schlussfolgerung

---

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

# PVC-Bitumen gegenüber PE-Butylkautschuk

Eigenschaften	PVC	Bitumen	PE	Butylkautschuk
Geringe Temperatur	-18 °C	-50 °C	-40 °C	-67 °C
Schmelzpunkt	+77 °C	+80 °C	+120 °C	+100 °C
Elektrischer Widerstand	10 <sup>11</sup> Ω cm		10 <sup>16</sup> Ω cm	
Wasseraufnahme	0,20–1,00 %		0,02–0,06 %	
Alterung	<b>Schlecht</b>	<b>Schlecht</b>	<b>Stabil</b>	<b>Stabil</b>
	<b>Risse</b>	<b>Porös</b>	<b>HWI- und Alterungstests</b>	



# PVC-Bitumen gegenüber PE-Butylkautschuk



## PVC-Bitumen

**Aufgrund ihrer intrinsischen Materialeigenschaften** sind PVC und Bitumen als Basismaterial für Polymerbänder **ungeeignet**.

- PVC **benötigt Weichmacher und Stabilisatoren**, die bei der Alterung verdunsten.
- Bitumen weist eine **strukturelle Alterung** auf: es wird **hart, spröde und porös**.



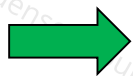
***Das Langzeitverhalten von PVC-Bitumen-Bändern ist daher als schwach einzustufen.***



## PE-Butylkautschuk

**Gemäß ihrer Materialeigenschaften** sind Polyethylen (PE) und Butylkautschuk **gut geeignet** für Polymerbänder

- Polyethylen benötigt keine Weichmacher oder Stabilisatoren: **herausragende thermische Stabilität.**
- Butylkautschuk: **stabiler und fester** Dichtungskleber.



***Die Qualität von PE-Butylkautschuk-Bändern ist im Langzeitverhalten herausragend.***



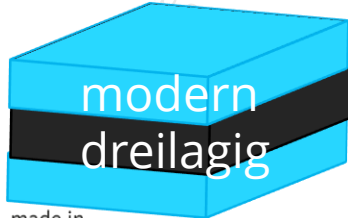
*Am besten als dreilagige, tatsächlich koextrudierte Bänder*

# PVC-Bitumen gegenüber PE-Butylkautschuk

**PVC-Bitumen:** veraltete Technologie mit einigen Lagerungsproblemen und erheblichen **langfristigen Risiken**



**PE-Butylkautschuk:** Moderne Technologie ermöglicht ein modernes Produktdesign (dreilagig) mit bewährter herausragender Leistung und einzigartiger Erfolgsbilanz.





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Bei weiteren Fragen kontaktieren Sie uns!



**Kontakt:**

Dr. Carsten Fischer

Leiter Vertrieb D-A-CH & BeNeLux

Tel.: +49 214 2602 305

Mobil: +49 171 8630680

Mail: [carsten.fischer@denso-group.com](mailto:carsten.fischer@denso-group.com)

[denso-group.com](https://www.denso-group.com)



# ANHANG

---

denso-group.com

denso-group.com

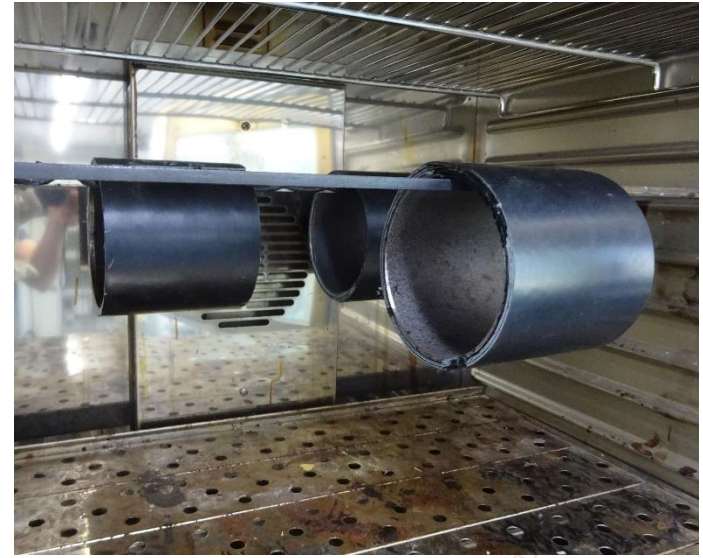
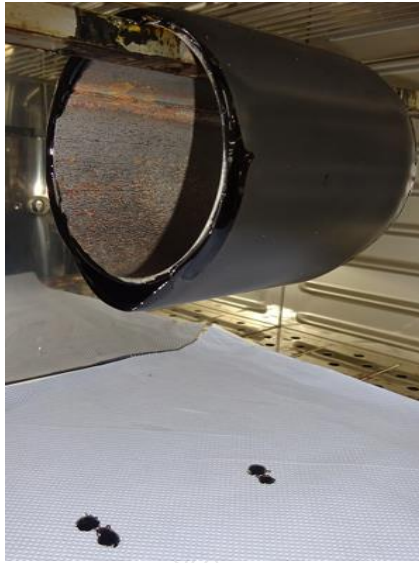
denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

denso-group.com

# PVC-Bitumen gegenüber PE-Butylkautschuk (Alterung)



24 Stunden bei 75 °C    36 Stunden bei 75 °C

**PVC-Bitumen-Band**



100 Tage bei 70 °C

**PE-Butylkautschuk-Bänder**



Schälfestigkeit  $\geq 2,75$  N/mm