

# Materialkunde Grundkenntnisse

**Folien:**

**Dipl.-Ing. Andreas Haacker / [www.siebert-testing.com](http://www.siebert-testing.com)**



## 1. Kunststoffe – Grundwissen

- Basiswissen (Historie, Definition, Klassifizierung / Herkunft)
- Molekulare Beschaffenheit und Eigenschaften
- Polymerisation

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

### Duroplaste

- Verbundwerkstoffe / Schlauchliner
  - Fasern
  - Harze / Eigenschaften, Typen, Normen
  - Härtingsverfahren
  - Zuschlagstoffe
- Hausanschluss-Sanierung und Reparaturverfahren

## 3. Qualitätssicherung

- Die wichtigsten Regelwerke im Schlauchlining / Prüfungen
- Probenentnahme und Probenbegleitscheine
- Besonderheiten der Hausanschlusssanierung
- Typische Fehler / Beispiele von der Baustelle

## 1. Kunststoffe – Grundwissen

- Basiswissen (Historie, Definition, Klassifizierung / Herkunft)
- Molekulare Beschaffenheit und Eigenschaften
- Polymerisation

- 1839: Der Amerikaner Charles Nelson Goodyear entdeckt durch Zufall die Vernetzbarkeit des Kautschuks: Beim Tüfteln fällt ihm eine Schwefel-Kautschuk-Mischung auf eine heiße Herdplatte - die Geburtsstunde des Gummis.



- 1842: Der britische Kutschenbauer Thomas Hancock entwickelt eine Kombination aus Gummi und Textilfasern. Sein Ziel: Passagiere auf seinen Kutschen vor Feuchtigkeit zu schützen.





- 1870: John W. Hyatt sucht nach einem preiswerten Ersatz für Billardkugeln aus Elfenbein und entwickelt den ersten kommerziell erfolgreichen Kunststoff auf Basis einer leicht entflammbaren Nitrocellulose-Campher-Mischung (Celluloid). Es gilt als das erste Thermoplast überhaupt.

# Kunststoff-Historie

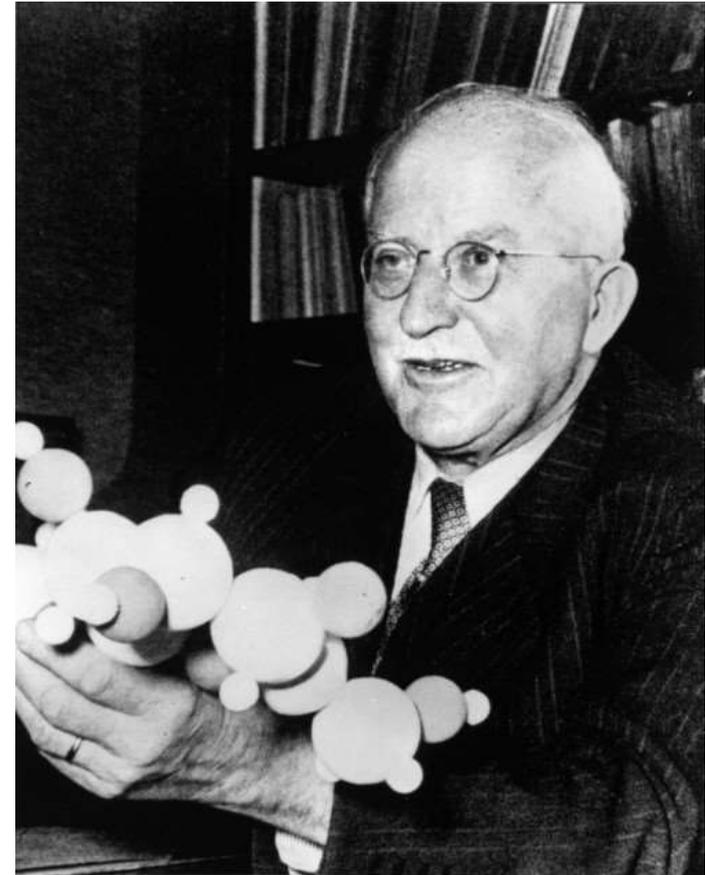
- Um 1900: Forscher untersuchen das Gas Vinylchlorid und entdecken, dass bei Sonnenlicht ein eierschalenfarbiger Stoff entsteht. Weil er schwer zu handhaben ist, kümmert man sich aber nicht weiter darum.
- Erst in den 1920er Jahren sucht der Wissenschaftler Waldo Semon nach einem günstigen Ersatz für Gummi. Bei seinen Versuchen entdeckt er PVC. Bis heute gibt es PVC in vielen Bereichen – in Bodenbelägen, Chipkarten und Kanalrohren.





- 1905: Der Belgier Leo Henrik Baekeland entwickelt Bakelit, ein Duroplast auf Basis von Phenol und Formaldehyd. Phenol war als Abfallprodukt der Steinkohlendestillation in großen Mengen verfügbar. Somit konnte Bakelit in großen Mengen hergestellt werden.

- 1922: Der Chemiker Hermann Staudinger findet heraus, dass Kunststoffe aus Ketten von tausenden miteinander verbundenen Molekülen bestehen. Er gilt als Begründer der Polymerchemie und erhält 1953 den Nobelpreis für Chemie.



- 1933: Die Amerikaner Eric Fawcett und Reginald Gibson untersuchen die Auswirkungen von Hochdruck auf chemische Reaktionen. Bei einem Experiment erhalten sie einen wachsartigen Stoff – erst später wird es als Polyethylen erkannt. Seit den 50ern wird PE großtechnisch hergestellt und begegnet uns als PE-LD in Einkaufstüten, oder als PE-HD in Behältern und Kanalrohren.



- 1935: Der Amerikaner Wallace Hume Carothers stellt das erste Polyamid 66 (PA66) her, das Nylon. Die ersten Nylonstrümpfe werden 1940 in den USA verkauft.



# Kunststoff-Historie

- 1957: Mit dem „fs 24 Phönix“ hebt das erste aus GFK gebaute Segelflugzeug ab. Einige Flugzeuge aus der Reihe fliegen noch heute. Mitte der 1960er Jahre beginnt der Siegeszug der Jollen und Yachten aus GFK – der Spott der Holzfans währte nur kurz. Viele GFK-Boote der ersten Stunde segeln noch heute.





- 1971: Der Brite Eric Wood entwickelt das Schlauchlining und saniert Kanäle in London. Das Produkt nennt er „Insitu form“ aus dem lateinischen „in situ“ (= vor Ort ) und dem englischen „form“ (= herstellen).

# Kunststoff-Historie

- Mitte der 1980er: In Hamburg werden erste Kanäle per Schlauchlining saniert. Seitdem werden in Deutschland pro Jahr 1200 Kilometer Kanäle auf diese Weise saniert.



## Definition

**Monomere:** Kleine organische Verbindungen, die mindestens bifunktionell, meistens tri- und multifunktionell sind.

Der Begriff **organisch** verweist auf die Basis aller Kunststoffe: das chemische Element Kohlenstoff.

Kunststoffe bestehen aus organischen, monomeren Molekülen, die sich zu polymeren Ketten verbunden haben. Die Herstellung kann synthetisch oder durch Abwandeln von Naturprodukten erfolgen.

Ein **Polymer** (oder auch Makromolekül) ist eine sich periodisch wiederholende Anordnung von meist gleichartigen Molekülbausteinen.

**Synthetisch:** Hinweis darauf, dass eine kontrollierte chemische Reaktion stattgefunden hat.

## Definition

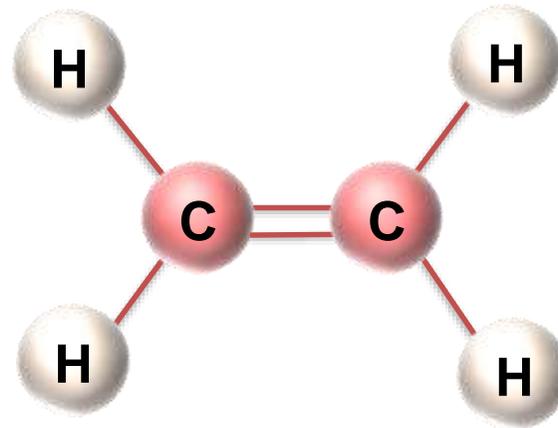
Beispiele für **Eigenschaften**:  
Formbarkeit, Härte, Elastizität,  
Bruchfestigkeit,  
Temperaturbeständigkeit,  
chemische Beständigkeit .

Die verschiedenen **Eigenschaften** des einzelnen Kunststoffes werden über die Kettenlänge, der Vernetzung der Ketten untereinander sowie der Morphologie bestimmt.

Die Eigenschaften werden durch die Auswahl des Ausgangsmaterials, des Herstellungsverfahrens und durch die Beimischung von Additiven bestimmt

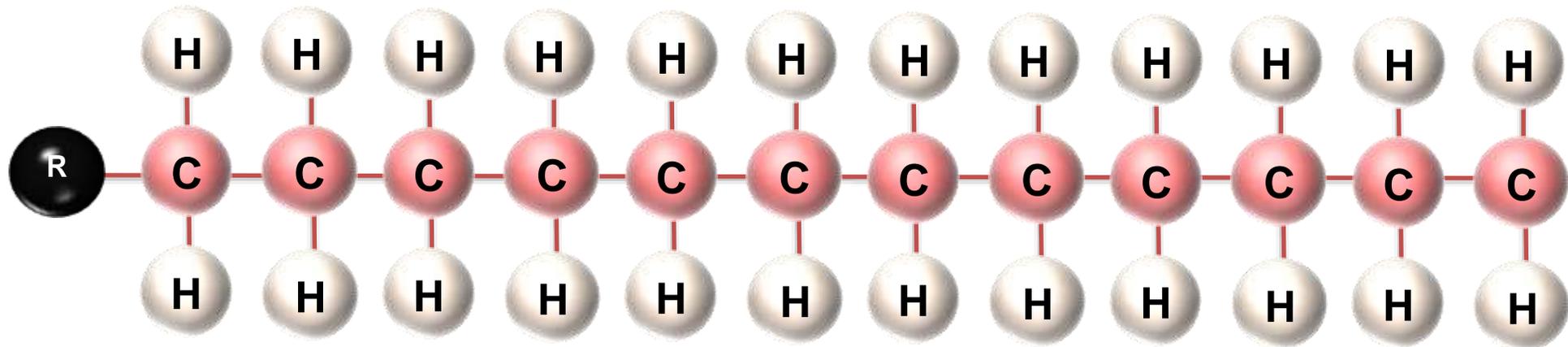
**Morphologie**: Anordnung der Moleküle

# Monomer

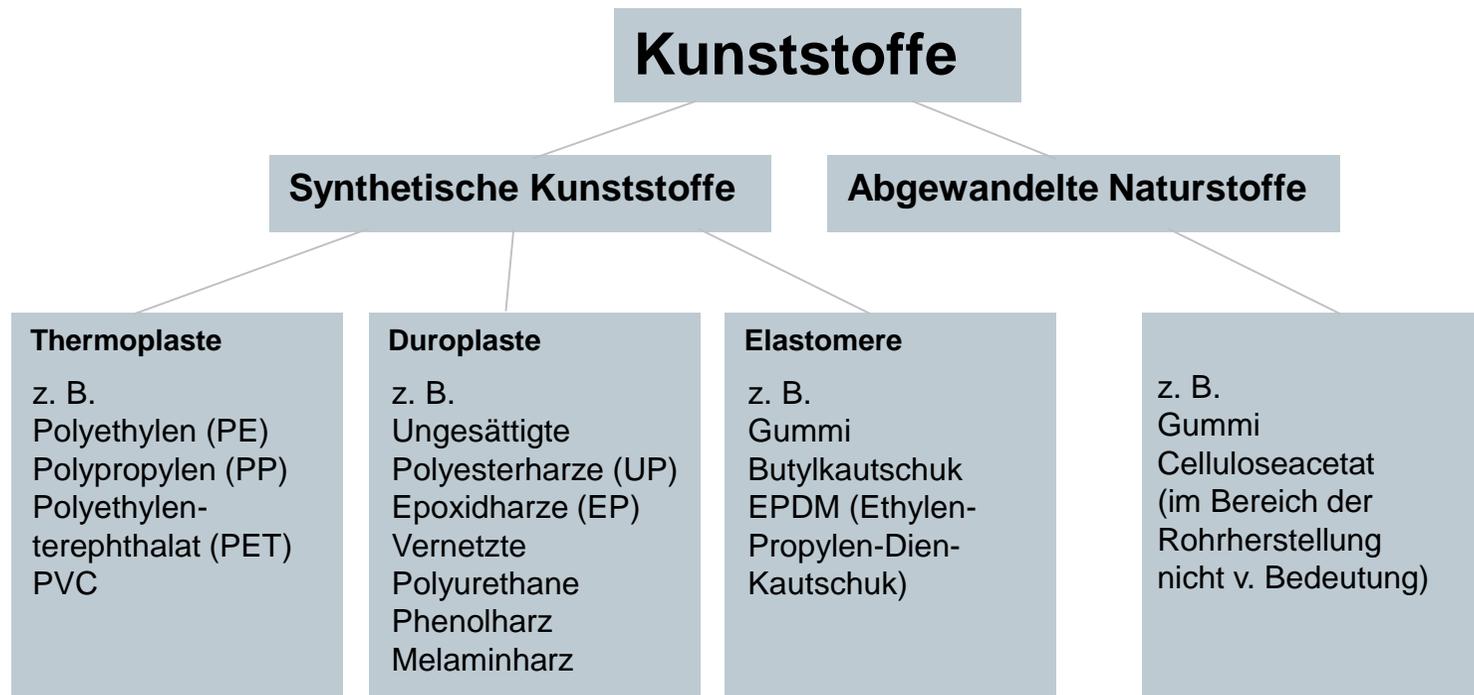


- Ethen (=Ethylen)-Monomerbaustein, der auf dem 4-wertigen C-Atom aufgebaut ist.

# Polymer



- Ein Beispiel für ein Polymer ist der Kunststoff Polyethylen. Entscheidend für die Entstehung ist das freie Radikal ( $R^{\cdot}$ ), das an der Reaktion teilnimmt und nach der Reaktion zum Rest (R) wird.

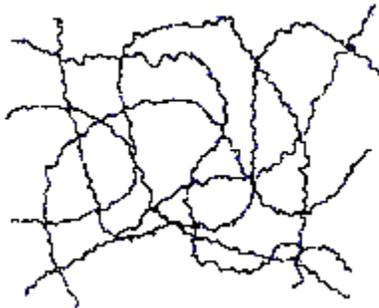


## 1. Kunststoffe – Grundwissen

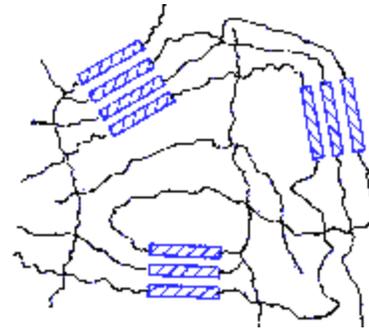
- Historie, Definition, Klassifizierung / Herkunft
- Molekulare Beschaffenheit und Eigenschaften
- Polymerisation

## Klassifizierung nach DIN 7724

- **Thermoplaste** sind unvernetzte Werkstoffe, die aufgrund ihres Schmelzbereichs (Fließbereichs) oberhalb des Gebrauchstemperaturbereichs wiederholt umform- und verarbeitbar sind.



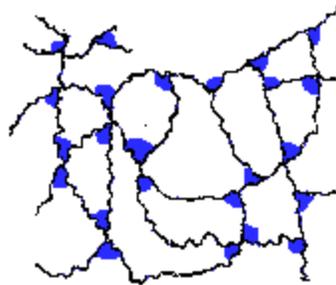
amorphe Thermoplaste



teilkristalline Thermoplaste

# Klassifizierung nach DIN 7724

- **Duroplaste** sind hochvernetzte Werkstoffe, die durch Wärme, Strahlung, katalysierte chemische Reaktionen oder andere Einwirkungen in einen unlöslichen und unschmelzbaren Zustand überführt worden sind.



Duroplaste

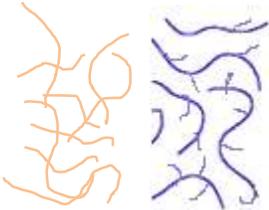
## Klassifizierung nach DIN 7724

- **Elastomere** (im Sprachgebrauch auch Vulkanisate oder Gummi, nicht jedoch Hartgummi), entstehen durch hauptvalenzmäßige Vernetzung von Kautschuken oder durch vernetzende Copolymerisation niedermolekularer Ausgangsprodukte. Das Netzwerk ist weitmaschig und weist überwiegend chemische Vernetzungsstellen auf. Elastomere sind im Wesentlichen unlöslich, aber quellbar.



Elastomere

# Eigenschaften / Übersicht

Hauptgruppe	Thermoplast	Duroplast	Elastomer
Schematische Darstellung der Kettenmoleküle			
Vernetzungsart der Kettenmoleküle	linear / verzweigt, nicht untereinander vernetzt	stark vernetzt	schwach vernetzt
Schmelzverhalten	schmelzbar	nicht schmelzbar	nicht schmelzbar
Verformbarkeit	oberhalb spezifischer Temperaturen verformbar	nicht ohne Zerstörung verformbar	flexibel / elastisch
Bei Erwärmung	plastisch	hart und spröde Zersetzung oberhalb bestimmter Temperaturen	Zersetzung oberhalb bestimmter Temperaturen
Beispiele	Polyethylen Polypropylen	Isophthalsäureharz Orthophthalsäureharz Epoxydharz Polyurethanharz Phenolharz	Fluorkautschuk Butylkautschuk Isopren EPDM Elastomere Polyurethane

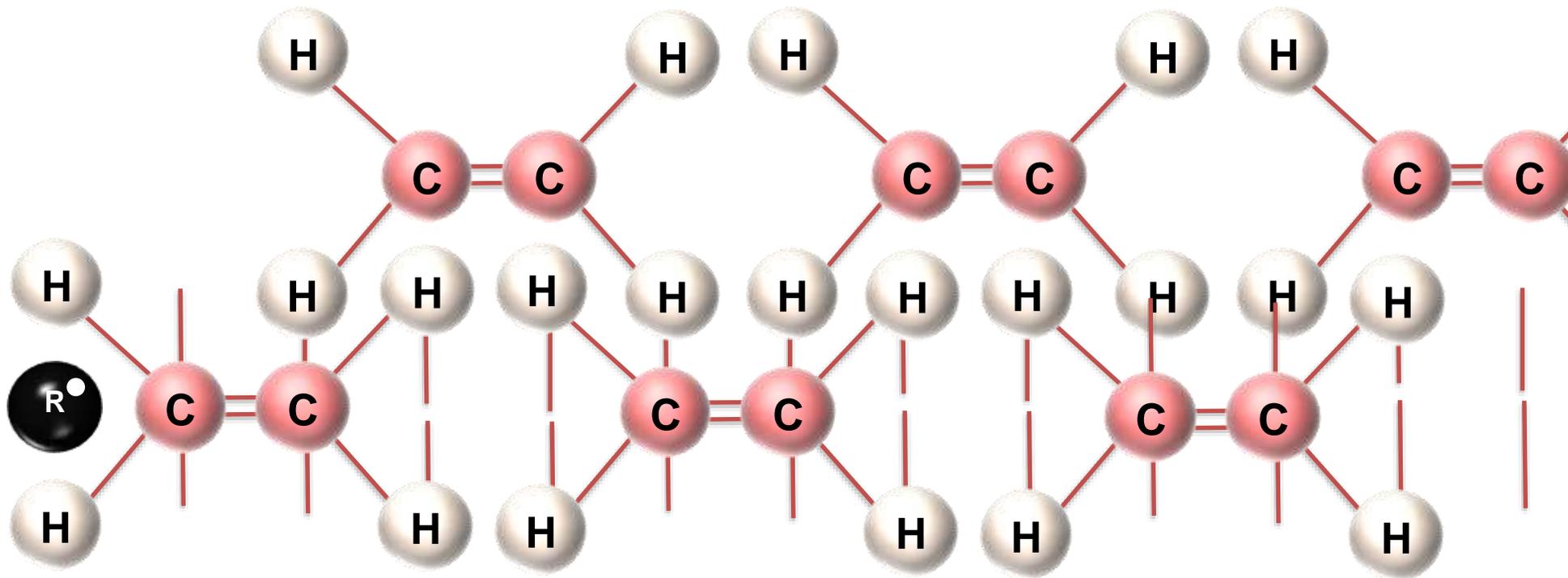
# Definition

- Als ***Polymerisation*** (Synthesereaktion) bezeichnet man die Bildung von langen, sich wiederholenden Molekülketten. Ausgangsstoffe sind zunächst niedermolekulare Verbindungen in Form von Monomeren. Durch Katalysatoren oder Reaktions-Initiatoren wird ein Prozess ausgelöst, der zur Aufspaltung von Doppel- bzw. Mehrfachbindungen und zur Kettenbildung führt.

## 1. **Kunststoffe – Grundwissen**

- Historie, Definition, Klassifizierung / Herkunft
- Molekulare Beschaffenheit und Eigenschaften
- Polymerisation

# Radikalische Kettenpolymerisation



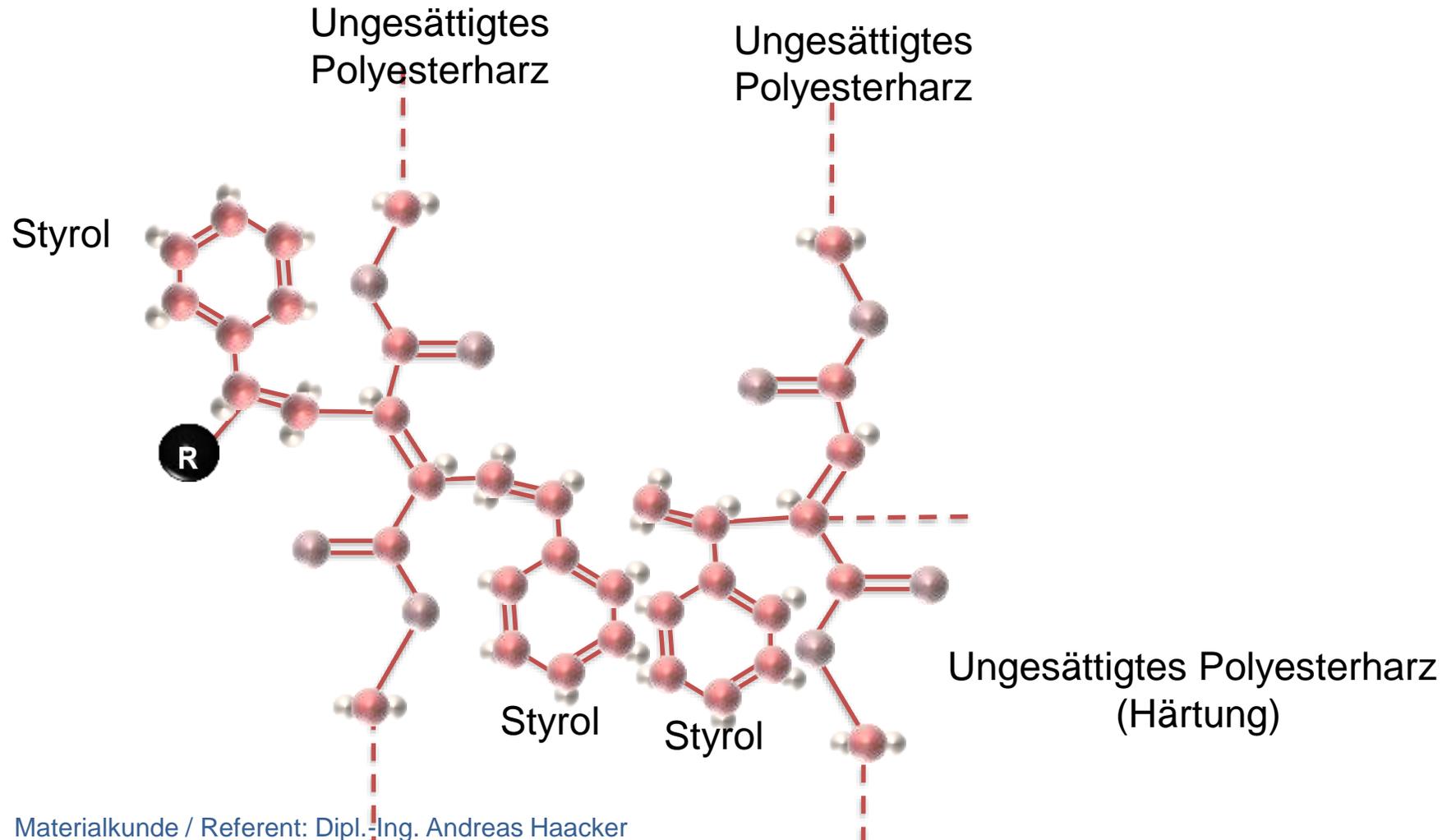
# Kettenpolymerisation

- Voraussetzung sind reaktionsfähige Monomere, die sich unter Aufbrechen einer Doppelbindung zu Makromolekülen / Polymermolekülen, aneinanderreihen. Dabei werden keine Nebenprodukte abgespalten.
- Die Polymerisation läuft in vier Schritten ab: Initiation, Wachstumsreaktion, Kettenübertragung, Kettenabbruch.
- Die radikalische Polymerisation wird durch reaktive Moleküle ausgelöst, die ein ungepaartes Elektron besitzen. Diese bezeichnet man als Radikale.
- Radikale können zum Beispiel durch Licht, Wärme oder chemisch erzeugt werden.

## Kettencopolymerisation

- Beispiel: Härtung von Polyesterharzen mit Styrol. Die dafür notwendigen reaktionsfähigen Doppelbindungen finden sich sowohl im ungesättigten Polyesterharz als auch im monomeren Styrol.
- Bei der Copolymerisation werden die Polyestersegmente durch Quervernetzung mit durchschnittlich zwei Styrolmonomeren je Querverbindung zu einem hochvernetzten Duromer umgesetzt. Erst der Reaktionsbeschleuniger aktiviert den Initiator – Radikale werden freigesetzt und die Kettenreaktion beginnt.

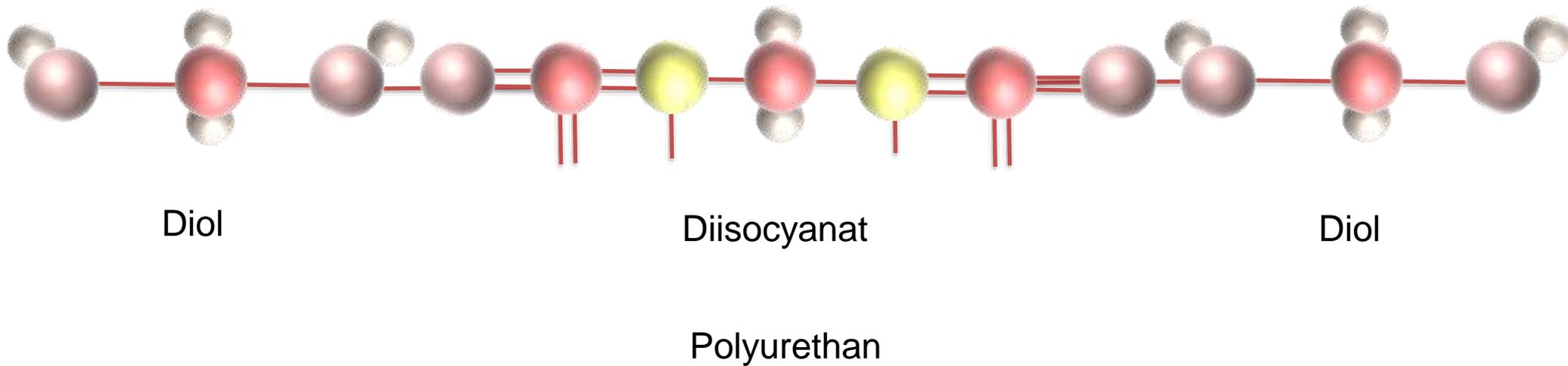
# Copolymerisation von UP-Harz / Styrol



## Polyaddition (Additionspolymerisation)

- Die Polyaddition zeichnet sich durch die intermolekulare Addition von unterschiedlichen Verbindungen mit reaktionsfähigen Gruppen aus, ohne dabei Moleküle abzuspalten. Stattdessen wandern meist Wasserstoffatome von einer Monomerart zur anderen. Die frei werdenden Valenzen führen zu einer Verknüpfung der Monomere.
- Eine typische Polyadditionsreaktion ist die Härtung von Epoxidharzen, wie sie auch in der Kanalsanierung – vor allem im Hausanschlussbereich - Verwendung finden.

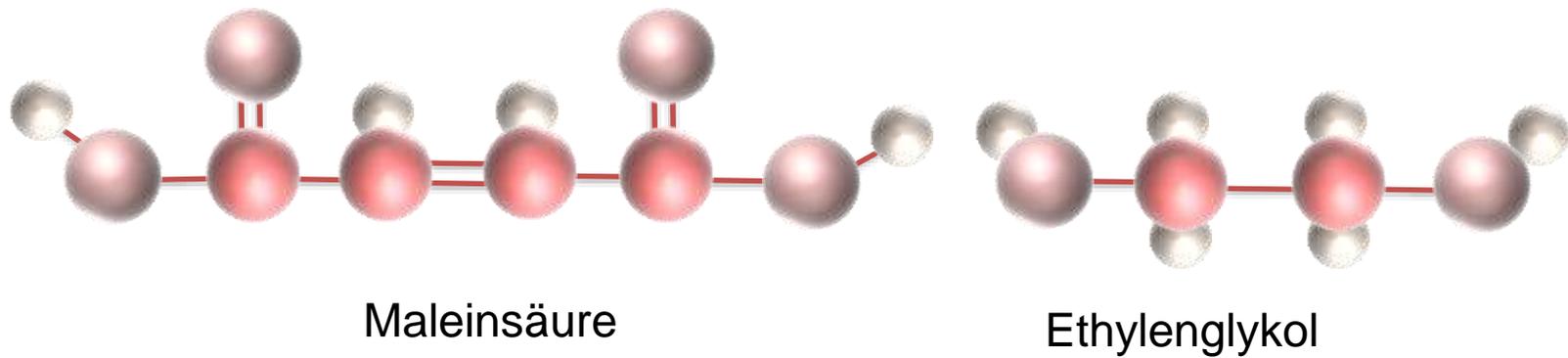
# Polyaddition (Additionspolymerisation)



# Polykondensation

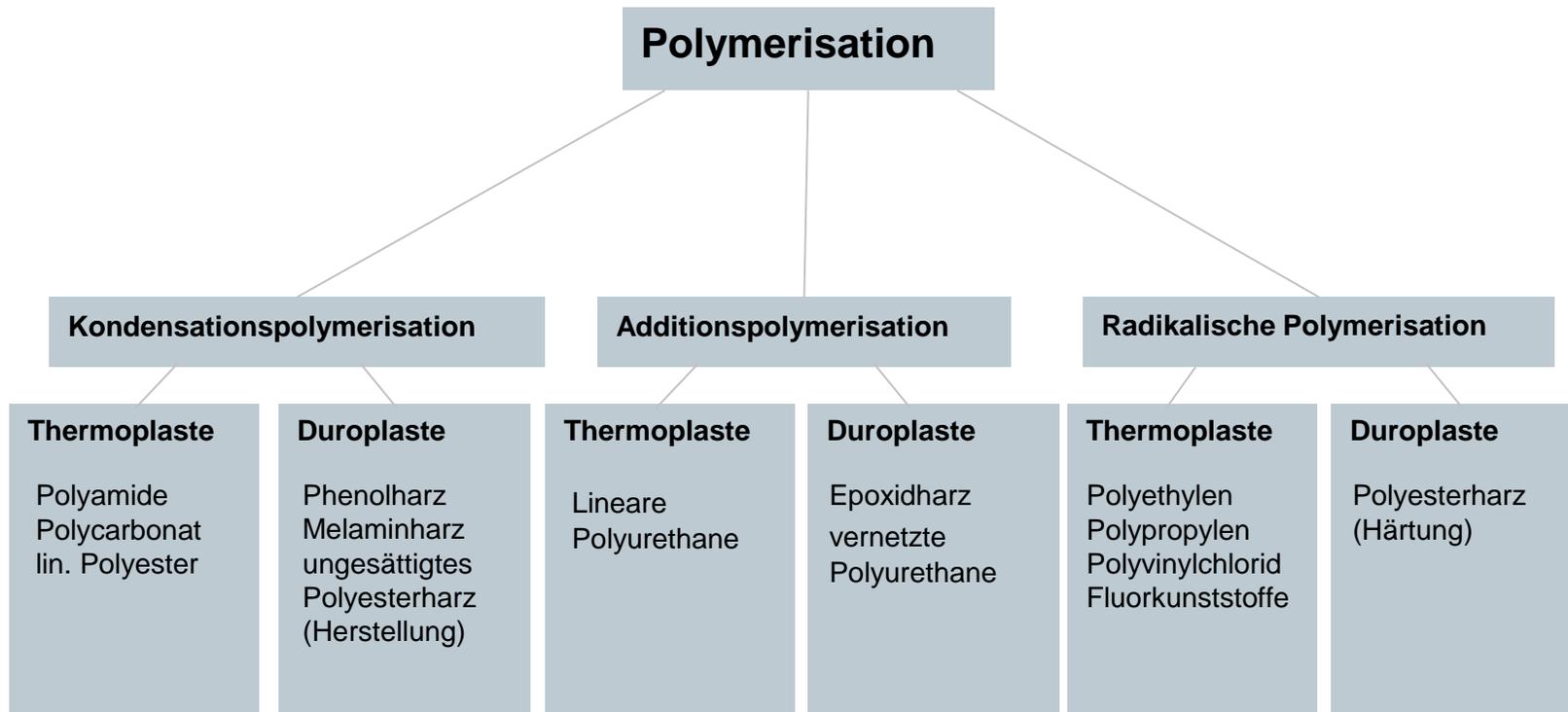
- Die Polykondensation verläuft als Sequenz vieler voneinander unabhängiger Einzelreaktionen. Es entstehen zunächst Dimere, die ihrerseits im weiteren Verlauf mit noch vorliegendem Monomer oder anderen Di- bzw. Oligomeren reagieren, so dass immer längere Polymere entstehen.
- Typisch für die Polykondensation: Bei jedem Reaktionsschritt wird eine niedermolekulare Verbindung (z.B. Wasser, Alkohol, Kohlendioxid, Halogenwasserstoffe) abgespalten.

# Polykondensation (Kondensationspolymerisation)



Ungesättigter linearer Polyester (UP)

# Formen der Polymerisation



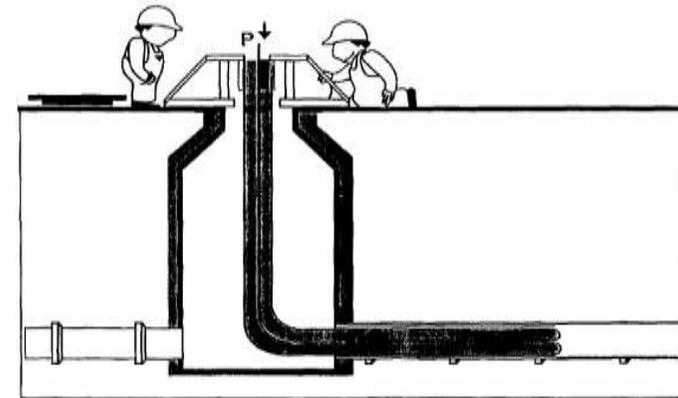
## 2. Werkstoffe in der Kanalsanierung

- Duroplaste (Eigenschaften, Fasern, Lining-Verfahren und Systeme)

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

- Thermoplaste (Eigenschaften, Herstellung, Anwendung)
- Duroplaste
  - **Verbundwerkstoffe / Schlauchliner**
    - Fasern
    - Harze / Eigenschaften, Typen (Normen)
    - Härtungsverfahren
    - Zuschlagstoffe
    - Vergleich der Systeme
  - HA-Sanierung
  - Reparaturverfahren

# Vor Ort härtendes Schlauchlining Definition



Lining mit einem flexiblen Schlauch, der mit einem aushärtbaren Harz imprägniert ist, wobei nach Aushärtung des Harzes ein statisch tragendes Rohr entsteht.

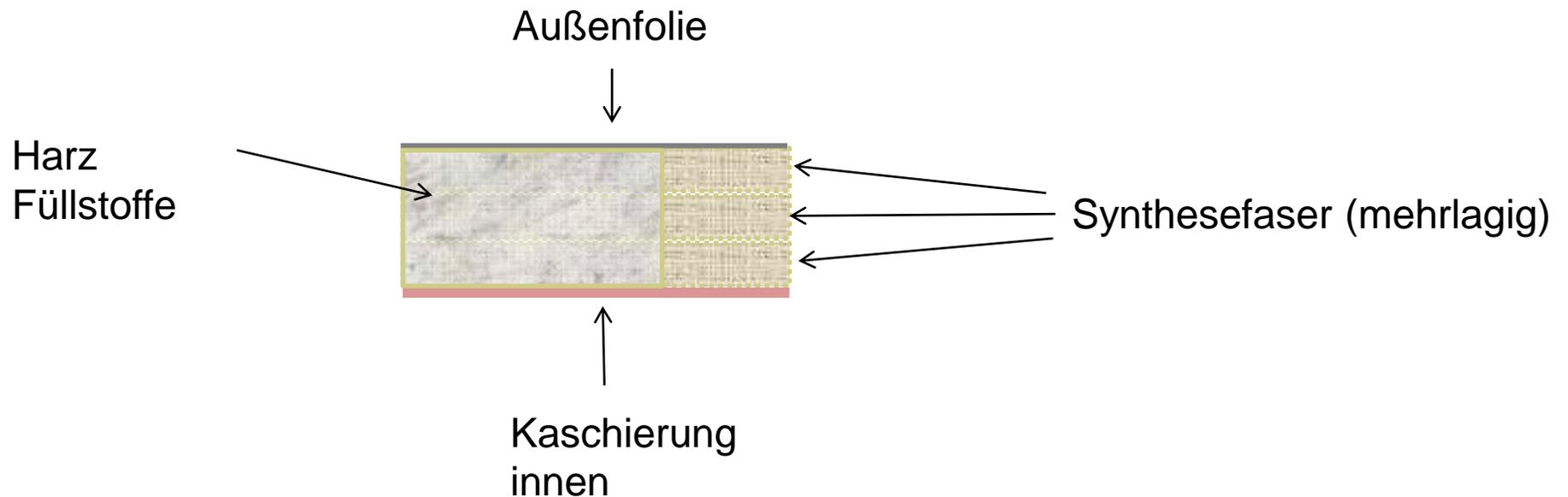
## Zwei große Gruppen von Linern

- Synthesefaserliner
- Glasfaser-verstärkte Liner (GFK-Liner)



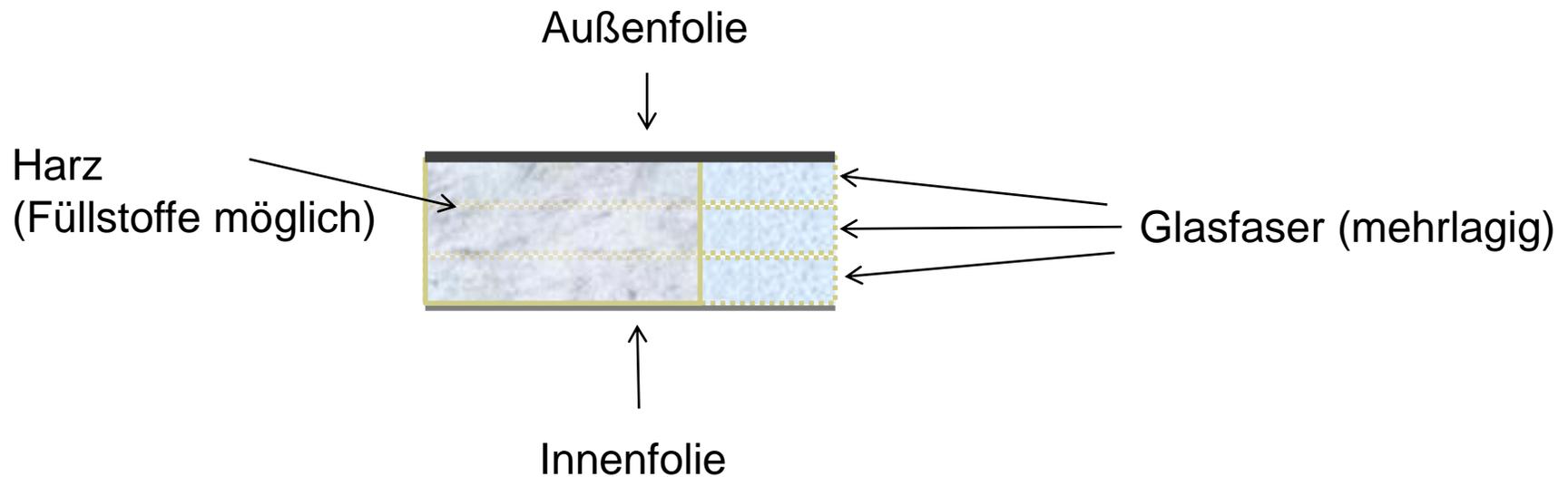
# Aufbau von Schlauchlinern

## Schematische Darstellung von Synthefaser-Linern



# Aufbau von Schlauchlinern

## Schematische Darstellung von GFK-Linern



## Einflussfaktoren beim Schlauchlining

- Bei den Synthesefasersystemen dient die Faser dem Harz als Träger – sie hat keine verstärkende Funktion.
- Bei Glasfasersystemen übernimmt das Glas die verstärkende Funktion. Dadurch unterscheiden sich die Systeme bei gleicher Anforderung in ihren Wanddicken.

Die Eigenschaften des Liners (Endprodukt: Rohr) werden beeinflusst durch

- die verwendeten Harze
- die Trägermaterialien und Zuschlagsstoffe
- die Verfahrenstechnik (Härtung, Einbauverfahren)

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

- Thermoplaste (Eigenschaften, Herstellung, Anwendung)
- Duroplaste
  - Verbundwerkstoffe / Schlauchliner

### Fasern

Harze / Eigenschaften, Typen (Normen)

Härtungsverfahren

Zuschlagstoffe

Vergleich der Systeme

- HA-Sanierung
- Reparaturverfahren

## Verstärkungs- / Trägermaterial

Glasfaser	Synthesefaser
Wirrfasermatten <sup>1</sup>	Nadelfilze <sup>1</sup>
Gewebematten	Gewebe <sup>1</sup>
Gelegematten	

<sup>1</sup> zum Teil mit zusätzlicher Verstärkung in Zugrichtung.

## Synthesefaser: Nadelfilze

Nadelfilze bestehen aus Poly(ethylterephthalat)-Fasern (PES-Fasern, PET-Fasern oder „Polyesterfasern“) und haben folgenden Eigenschaften:

- Fadengewichte der Einzelfäden (6 bis 53 g pro 10000 m Fadenlänge), Durchmesser von etwa 25 bis 70  $\mu\text{m}$
- Das Filzsystem ist dehnbar und komprimierbar
- Filze sind sehr aufnahmefähig für Harz und dienen als Harzträger (Faseranteil 10 bis 20 %), nicht als Verstärkungsmaterial

Herstellung:

- Vernadelung von texturierten Stapelfasern
- gekräuselte Fasern mit einer Schnittlänge von 50 bis 85 mm

Die innere Lage des Synthesefaserliners hat immer eine Kaschierung. Typischerweise werden verwendet:

- Niederdichtes Polyethylen (LDPE, LLDPE)
- Niederdichtes Polypropylen (LDPP)
- Polyurethane (PUR) bis 300 mm Durchmesser (Achtung: PUR ist flexibel, geringere Beständigkeit gegenüber physikalischen und chemischen Belastungen)

Typische Schichtdicken:

- 400 bis 600  $\mu\text{m}$  (Hausanschlüsse: 200 bis 400  $\mu\text{m}$ )

Beschichtungsverfahren: Extrusion mit Breitschlitzdüse, Schmelzwalzenkalandern, Aufkaschieren oder Kleben

Glasfaser-Verstärkung bei Kunststoffen:

Herstellung: Aus einer Glasschmelze werden bei Temperaturen von 1300 bis 1500°C dünne Textilglasfäden gezogen.

Eigenschaften:

- Fasern sind steif und fest
- Biegsamkeit ergibt sich aus dem Verhältnis der Faserdicke zum Biegeradius
- 400 bis 4000 Primärfilamente zu je 10 bis 25  $\mu\text{m}$  werden zu einem Roving (Fadenbündel, Faden) zusammengefasst (Bild)



# Inhaltsstoffe der Glasoberfläche (Schlichte)

- **Filmbildner** halten das Fadenbündel zusammen (styrollöslich bei UP-Harzen und VE-Harzen)
- **Silane** übernehmen die chemische Anbindung der Glasoberfläche mit dem Harz
- **Netzmittel** sorgen für eine gleichmäßige Verteilung der Bestandteile auf der Glasoberfläche
- Dank der **Gleitmittel** können die Fasern besser weiterverarbeitet werden
- **Antistatika** verhindern, dass sich die Fasern bei der Weiterverarbeitung elektrisch aufladen

## E-Glas

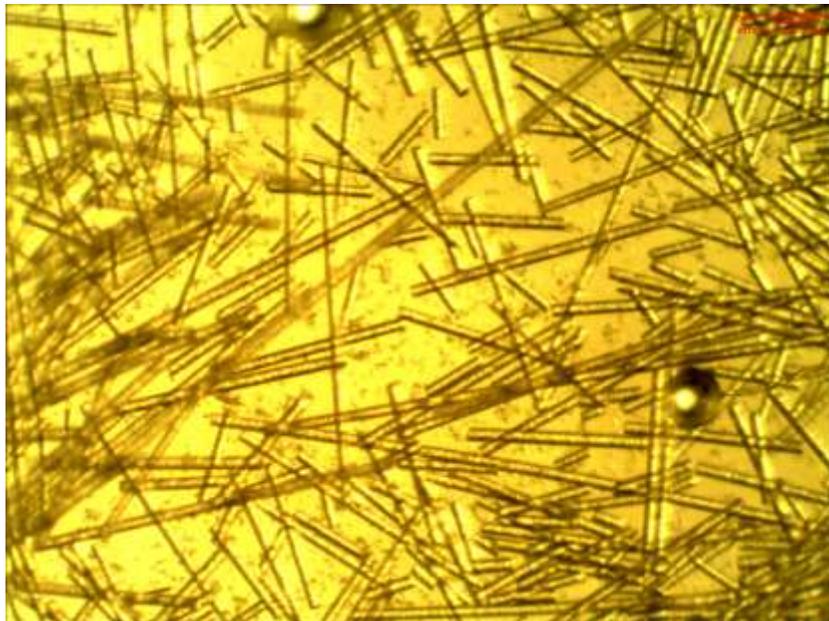
- Ist nicht korrosionsbeständig
- Einfachere Herstellung durch Zugabe von Bortrioxid  $B_2O_3$  (niedriger Schmelzpunkt)
- Sollte nur in Regenwasserleitungen eingesetzt werden

## E-CR-Glas

- Ist korrosionsbeständig (frei von Bortrioxid)
- Advantex<sup>®</sup> = E-CR-Glas (Marke der Firma OCF)
- Einsatz in Abwasser- und Mischwasserleitungen

## Unterschiede bei Glasfasern

- E-Glas und ECR-Glas haben ähnliche mechanische Eigenschaften
- ECR-Glas verfügt über eine höhere chemische Beständigkeit als E-Glas (besonders gegen Säure)



E-Glas nach  $H_2SO_4$ -Einlagerung



ECR-Glas nach  $H_2SO_4$ -Einlagerung

# Vergleich der Eigenschaften von E-Glas und ECR-Glas

	<b>E-Glas</b>	<b>ECR-Glas</b>
E-Modul / N/mm <sup>2</sup>	73.000	74.000
Bruchdehnung / %	4,5 - 4,9	4,6
Festigkeit / N/mm <sup>2</sup>	3100 - 3800	3100 - 3800
Dichte / g/cm <sup>3</sup>	2,52 - 2,62	2,62
Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient / 1/°C	5,4*10 <sup>-6</sup>	6*10 <sup>-6</sup>

# GFK-Liner: Aufbau und Anordnung der Fasern

Liner unterscheiden sich im Hinblick auf Glasfaser-Aufbau.

## Beispiele (Hersteller)

- Überlappende Anordnung, mehrlagiger Aufbau (Berolina, Impreg, Aarsleff)
- Wickelverfahren (Brandenburger, RelineEurope)
- Mehrlagiger Aufbau mit Innen- und Außenliner, teilweise vernähte Schläuche (Saertex multiCom)

## Folien - Arten

- Preliner
- Gleitfolien aus PE als Einbauhilfe
- Außenfolien für mechanischen Schutz, Lichtschutz und Styrolbarriere (im Allgemeinen mit Polyamid-Schichten)
- Innenfolien

## Folien und Kaschierungen

- **Glasliner** haben äußere und innere Folien als Einbauhilfen. Die inneren Folien werden nach dem Einbau entfernt.
- **Synthesefaserliner** haben äußere Folien, die nach dem Einbau verbleiben und innere Kaschierungen, die nach dem Einbau verbleiben. Sie sind entweder als Einbauhilfe oder als Bestandteil des Systems definiert. Sind sie Bestandteil des Systems, müssen sie der Standzeit des Systems entsprechen.
- Folien und Kaschierungen, die Einbauhilfen sind, gehören nicht zum wasserundurchlässigen und statisch tragenden Laminat
- Kaschierungen, die als Bestandteil des Liners definiert sind, gehören nicht zum statisch tragenden Laminat.

# Faserverbundwerkstoffe / Begriffsdefinitionen

- **Laminate** sind schichtenweise aufgebaute Verbundwerkstoffe einschließlich der Oberflächenschichten. Zum **tragenden Laminat** werden die Oberflächenschichten nicht gerechnet.
- **Reaktionsmittel** sind flüssige, pastöse oder körnige Chemikalien, die Härtingsreaktionen initiieren, beschleunigen, bzw. verzögern
- **Wirrfaserlaminat** sind Laminate, bei denen das Textilglas in der Ebene ausgerichtet ist. Es hat in der Ebene keine bevorzugte Ausrichtung.
- **Mischlaminat** sind Wirrfaserschichten, die sich mit gerichteten Glasfaserschichten (Glasgelege, Glasgewebe) abwechseln

# Faserverbundwerkstoffe / Begriffsdefinitionen

- **Wickellamine:** Gewickelte Lagen aus Wirrfasern oder Gelegen zwischen gewickelten Schichten aus Textilglas-Rovingsträngen
- **Oberflächenschichten** dienen zum Schutz des tragenden Laminats: Feinschicht (Gelcoat, Topcoat), Vliesschicht, Chemieschutzschicht, thermoplastische Auskleidung

# Inhalt

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

- Thermoplaste (Eigenschaften, Herstellung, Anwendung)
- Duroplaste
  - Verbundwerkstoffe / Schlauchliner
    - Fasern
    - Harze / Eigenschaften, Typen (Normen)
    - Härtungsverfahren
    - Zuschlagstoffe
    - Vergleich der Systeme
  - GFK-Rohre
  - Montageverfahren
  - HA-Sanierung
  - Reparaturverfahren

## Duroplaste - Definitionen

- Reaktionsharze (Matrix) = flüssige oder schmelzbare Harze
- Reaktionsharzmassen = verarbeitungsfertige Mischungen aus Reaktionsharz, Füllstoffen, Härter und ggf. Beschleuniger
- Reaktionsharzformstoffe = gehärtete Reaktionsharzmassen

# Reaktionsharze im Schlauchlining

<b>Reaktionsharze</b>	<b>Abkürzung</b>
Ungesättigte Polyesterharze	UP-Harze
Vinylesterharze	VE-Harze
Epoxidharze	EP-Harze
Polyurethanharze	PUR-Harze

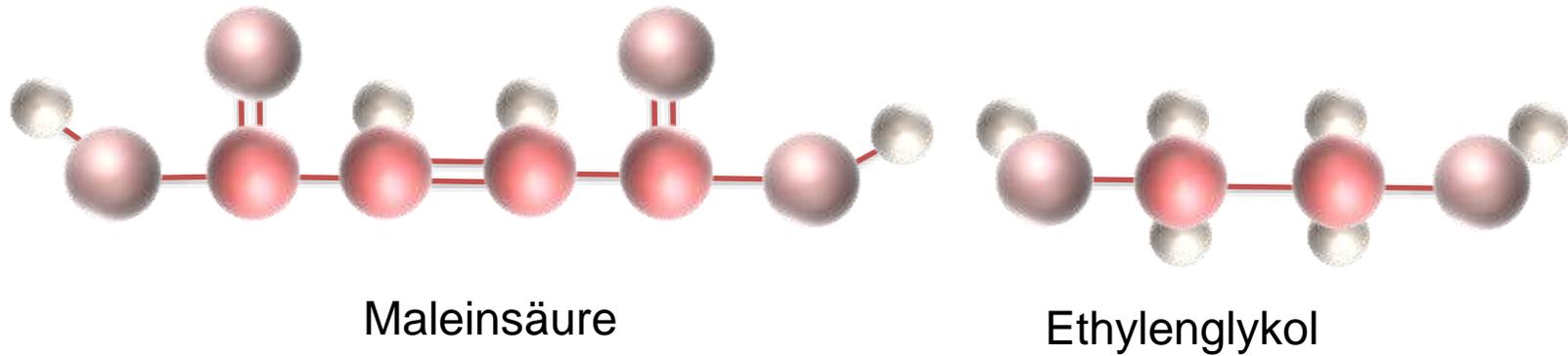
# Einsatz von Ungesättigten Polyesterharzsystemen (UP)

UP-Harzsysteme im öffentlichen Bereich in der haltungsweisen Sanierung vorwiegend eingesetzt (Anteil über 90 %):

## **Der Grund:**

- Industrielle Herstellung, werksseitige Tränkung
- Gute Lagerstabilität der Schläuche
- Gute Verarbeitbarkeit auf der Baustelle

# Polykondensation (Kondensationspolymerisation)



Ungesättigter Polyester (UP)

## Einsatz von Epoxidharzsystemen (EP)

EP-Harzsysteme werden in folgenden Bereichen vorwiegend eingesetzt:

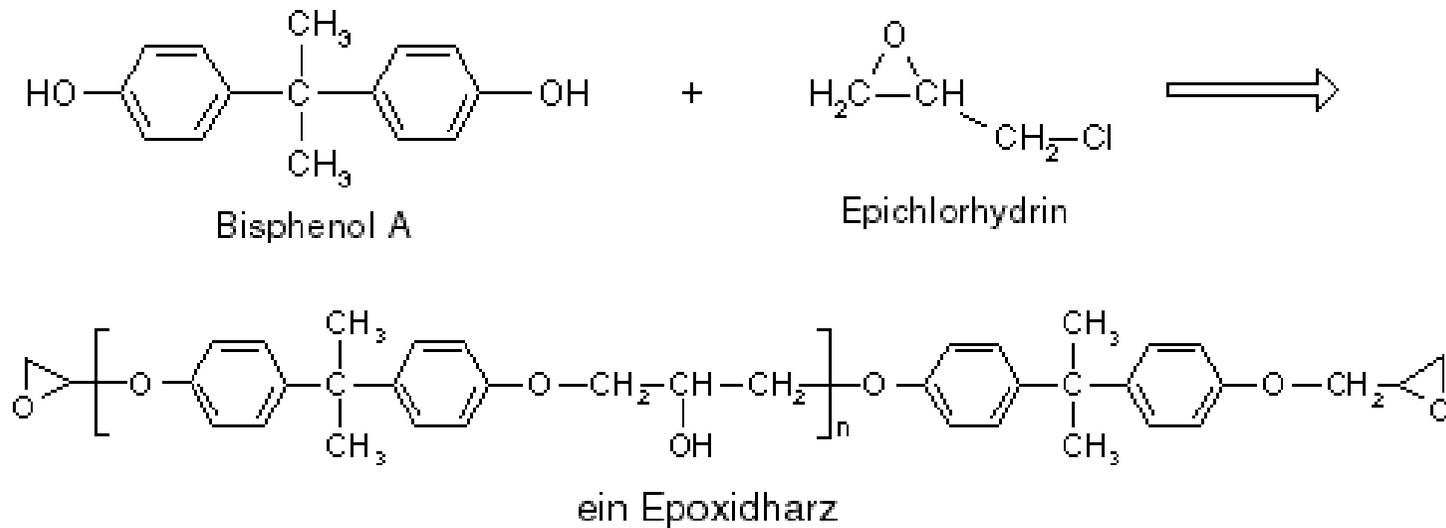
- Hausanschlussliner (ca. 90 %)
- Kurzliner
- Reaktionsharzmörtel (gefüllte Reaktionsharzformstoffe)

### **Der Grund:**

Gute Verklebbarkeit

Gute Einstellbarkeit der Topfzeiten

# EP-Harze (Aufbau)



# Einsatz von Vinylesterharzsystemen (VE)

VE-Harzsysteme werden in folgenden Bereichen eingesetzt:

- Bereiche starker chemischer und thermischer Belastung, industrielle Abwässer, z. B. Brauereien, Molkereien, Raffinerien

## **Der Grund:**

VE-Harze sind in Bezug auf ihre thermische und chemische Tauglichkeit höherwertig als UP-Harze (Gruppe 5, DIN 18820 Teil 1), sie haben gemäß DIN 16946, Teil 2 mindestens den Anforderungen des Typ 1310 und 1330 zu genügen.

## Styrol im UP-Harz

- Ungesättigter Polyester wird in Styrol gelöst
- Funktion des Styrols:
  - Lösungsmittel für den ungesättigten Polyester (Anteil ca. 30-50 %)
  - Reaktionspartner für die ungesättigten Strukturen (radikalische Copolymerisation des Styrols mit den Doppelbindungen des ungesättigten Polyesters), siehe Folie 33
- Styrol senkt die Viskosität des Harzsystems

## Iso-NPG-Harz und Ortho-NPG-Harz

In Schlauchlinern kommen 2 Arten ungesättigter Polyesterharze zum Einsatz:

<b>Iso-NPG-Harz</b>	<b>Ortho-NPG-Harz</b>
UP-Harz auf Basis von Isophthalsäure und Neopentylglykol	UP-Harz auf Basis von Orthophthalsäure und Neopentylglykol
Aufgrund der Reaktionscharakteristik vorteilhaft beim Abbau innerer Spannungen	Reaktiver, besser einzudicken

Entsprechend DIN 18820 gehören beide Harze der Gruppe 3 an und sind im normativen Sinne als gleichwertig zu bewerten. Sie erfüllen beide die Anforderungen gemäß DIN 16946 Teil 2 Typ1130 oder 1140.

# Harze im Vergleich

EP-Harze	UP-Harze
Hohe Beständigkeit gegenüber Alkalien	Hohe Beständigkeit gegenüber Säuren
Hervorragende Haftung auf fast allen Materialien	Verklebungen mit anderen Materialien möglich, Grenzflächenspannungen können bei kurzen Reaktionszeiten zur Ablösung führen
Tränkung üblicherweise auf der Baustelle erforderlich (kurze Lagerstabilität).	Werkseitige Herstellung des ungehärteten Vorproduktes
Stöchiometrische Mischung (genaue Einhaltung des Harz-/Härter-Verhältnisses) erforderlich	Weniger Fehlermöglichkeiten bei der Dosierung der Reaktionsmittel
Geruchsarm, aber Auslöser von allergischen Reaktionen bei der Verarbeitung	früh wahrnehmbarer Geruch, weniger toxisch bei der Verarbeitung
Keine UV-Härtung möglich	UV-Härtung möglich (kurze Härtingszeiten)
Niedrigere Schwindung, die schon bei der Gelierung einsetzt, kein Spannungsaufbau durch Reaktionsschrumpf im gehärteten System	Schrumpfung bei der Aushärtung ca. 7 bis 8% (Volumen-% bezogen auf die reine Harzmatrix)

## Topfzeiten

- Auf Baustellen sind Topfzeiten zu berücksichtigen. Als Topfzeit bezeichnet man die Phase, in der das mit Härter versetzte Harzsystem sich verarbeiten lässt. Diese Zeit ist abhängig von der Temperatur und kann über das Härterssystem den Anforderungen entsprechend eingestellt werden. Die Angaben des Herstellers sind zu beachten.
- Epoxid-Amin-Mischungen haben kurze Topfzeiten von wenigen Stunden – der EP-Liner muss daher vor Ort imprägniert werden

# Normen und ihre Inhalte

- **DIN 18820**
  - Einteilung von UP-Harzen und VE-Harze in 6 Gruppen einschließlich Typeneinteilung nach DIN 16946-2
  - Chemischer Aufbau
  - Chemische Beständigkeit
  - Mechanische und thermische Eigenschaften
- **DIN EN 13121-1**
  - Geltungsbereich für Tanks und Behälter, Anwendung aber auch auf Liner
- **DIN 16946-2**
  - Einteilung der Harze in Typen
  - Kenngrößen u. a. aus Zug- und Biegeversuchen, Glasübergangstemperatur, Wärmeformbeständigkeit

## Harze und Normen

- Harzgruppen sind über ihre Zusammensetzung und Typeneinteilung in den jeweiligen Normen festgelegt (Gruppierung: DIN 18820, Typeneinteilung: DIN 16946-2).
- Die Gruppierung bezieht sich nur auf GF-UP und VE-UP-Harze, die Typeneinteilung bezieht sich auf alle Harzsysteme

Achtung: DIN EN 13121 und DIN 18820 haben unterschiedliche Gruppeneinteilungen

- UP-NPG-Harze: Gruppe 3 DIN 18820 = Gruppe 4 DIN EN 13121
- VE-Harze: Gruppe 5 DIN 18820 = Gruppe 7a/b, 8 DIN EN 13121

Tabelle 1. Einteilung der Reaktionsharze

Gruppe <sup>1)</sup>	Reaktionsharzart	Glykole (Diöle)	Säuren	Maximaler Styrol-Massenanteil
0	UP	Standardglykole <sup>2)</sup>	Orthophthalsäure Ethylendicarbonsäuren	45 %
1	UP	Standardglykole <sup>2)</sup>	Orthophthalsäure Ethylendicarbonsäuren	45 %
2	UP	Standardglykole <sup>2)</sup>	ausschließlich Isophthalsäure und/oder Terephthalsäure Ethylendicarbonsäuren	50 %
3	UP	Neopentylglykol (mindestens 80 % molarer Anteil), maximal 20 % molarer Anteil <sup>3)</sup> eines Diols mit mindestens einer sekundären OH-Gruppe	ausschließlich entweder Orthophthalsäure oder Isophthalsäure und Terephthalsäure und HET-Säure Ethylendicarbonsäuren	50 %
4	UP	Bis(hydroxymethyl)-tricyclodecan	Orthophthalsäure Ethylendicarbonsäure	50 %
5	PHA	Bisphenol A-bis (1,2 dihydroxypropyl)-ether Novolack	Acryl- und Methacrylsäure <sup>4)</sup>	50 %
6	UP	Perhydrobisphenol A Diethoxybisphenol A Dipropoxybisphenol A (mindestens 90 % molarer Anteil)	Ethylendicarbonsäuren	55 %

<sup>1)</sup> Harze der Gruppen 1 bis 4 und 6 müssen vom Typ 1130 oder 1140 nach DIN 16946 Teil 2 sein. Harze der Gruppe 0 müssen mindestens vom Typ 1110 nach DIN 16946 Teil 2 sein. Harze der Gruppe 5 müssen vom Typ 1310 und 1330 nach DIN 16946 Teil 2 sein.  
<sup>2)</sup> Dazu gehören: Ethylen-, 1,2-Propylen-, Diethylen- und Dipropylenglykol, Butandiol 1,3 und Butandiol 1,4.  
<sup>3)</sup> Bezogen auf die Summe der Diolkomponenten  
<sup>4)</sup> Sogenannte Vinylesterharze

Tabelle 2 — Klassifikationsschema für UP- und VE-Harze

Harzgruppe	Harzart	Glykoltyp	Säuretyp	Massenanteil an Styrol % max.	$T_g$ °C min.	HDT °C min.	$\sigma_t$ MPa min.	$\epsilon_t$ % min.	$\sigma_t$ MPa min.
1A	UP	Standardglykol <sup>a, b</sup>	Orthophthalsäure, Ethylendikarbonsäure	45	85	60	60	2,0	90
1B	UP	Standardglykol <sup>a, b</sup>	Orthophthalsäure, Ethylendikarbonsäure	45	120	90	50	1,5	75
2A	UP	Standardglykol <sup>a, b</sup>	Isophthalsäure, HET-Säure, Ethylendikarbonsäure	50	85	60	60	2,0	90
2B	UP	Standardglykol <sup>a, b</sup>	Isophthalsäure, HET-Säure, Ethylendikarbonsäure	50	120	90	50	1,5	75
3	UP	Standardglykol <sup>a</sup>	Terephthalsäure, Ethylendikarbonsäure	50	140	110	75	3,0	120
4	UP	Neopentylglykol und halogeniertes Neopentylglykol (Stoffmengenanteil min. 80 %)° und ein Diol mit min. einer sekundären OH-Gruppe (Stoffmengenanteil max. 20 %)°	Isophthalsäure, Orthophthalsäure, Ethylendikarbonsäure	55	120	90	65	3,0	110
5	UP	Bis-(hydroxylmethyl)-tricyclodecan	Orthophthalsäure, Ethylendikarbonsäure	45	120	90	50	1,5	100
6	UP	Dipropoxy-Bisphenol A und halogeniertes Bisphenol A (Stoffmengenanteil min. 90 %)	Ethylendikarbonsäure	55	130	110	60	2,0	110
7A	VE	Epoxidiertes Bisphenol A und halogeniertes Bisphenol A	Methacryl-/Acrylsäure	55	110	90	75	4,0	130
7B	VEU	Dialkoxy-Bisphenol A und halogeniertes Bisphenol A (Stoffmengenanteil min. 90 %) Alkoxy (meth) acrylat	Ethylendikarbonsäure	50	120	105	75	3,5	130
8	VE	Epoxidiertes Novolak	Methacryl-/Acrylsäure	50	150	120	75	2,5	130

<sup>a</sup> Ethylen-, 1,2-Propylen-, Diethylen-, Dipropylen-, Neopentylglykol, 1,3-Butandiol, 1,4-Butandiol und entsprechende halogeniertes Glykole  
<sup>b</sup> Dürfen auch zyklische ungesättigte Kohlenwasserstoffe enthalten  
<sup>c</sup> Bezogen auf die Summe der Diol-Anteile

# Inhalt

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

- Thermoplaste (Eigenschaften, Herstellung, Anwendung)
- Duroplaste
  - Verbundwerkstoffe / Schlauchliner
    - Fasern
    - Harze / Eigenschaften, Typen (Normen)
    - Härtungsverfahren
    - Zuschlagstoffe
    - Vergleich der Systeme
  - GFK-Rohre
  - Montageverfahren
  - HA-Sanierung
  - Reparaturverfahren

# Härtungsverfahren Schlauchliner

- Aushärtung mit Warmwasser (Warmhärtung)
- Aushärtung mit Dampf (Warmhärtung)
- Aushärtung mit UV-Licht
- Kombination aus UV-Licht und Warmhärtung
- Aushärtung bei Umgebungstemperatur (Kalthärtung)

**Die Härtung gilt im technischen Sinne als erfolgreich, wenn der Reststyrolgehalt im Harz kleiner als 2 % ist.**

## Verfahren in der Praxis

- **Synthesefaserliner** werden in der Praxis mit Warmwasser oder Dampf gehärtet
- **GFK-Liner** werden meist mit UV-Licht gehärtet (Dampfhärtung ist zeitaufwändiger und wird deshalb wenig genutzt).
- **Thermische Härtung** empfiehlt sich, wenn ein sehr niedriger Reststyrolgehalt (weniger als 0,5 % Gew.-%) – z. B. in Trinkwasserschutz-zonen – gefordert wird
- **UV-Härtung** ist ein schnelles Verfahren das auch im Bereich von Ober- und Unterbögen gut einzusetzen ist

# UV-Härtungsverfahren



Quelle: ARKIL INPIPE GmbH / Berolina

# UV-Härtung

- Schnelles Verfahren, gut geeignet für kleine und mittlere Wanddicken
- Geringe Gefahr von Spannungsrissen während der Härtung
- Keine Beeinträchtigung durch Ober- und Unterbögen
- Integrierte Kamera der UV-Lichterkette erlaubt Prozesskontrolle
- Kein Abwasser bzw. Kondensat während der Härtung
- Vor der Härtung lange Lagerstabilität bei Raumtemperatur
- Kühlung in der Regel nur bei Kombinationshärtung notwendig

## Beachten: UV-Härtung

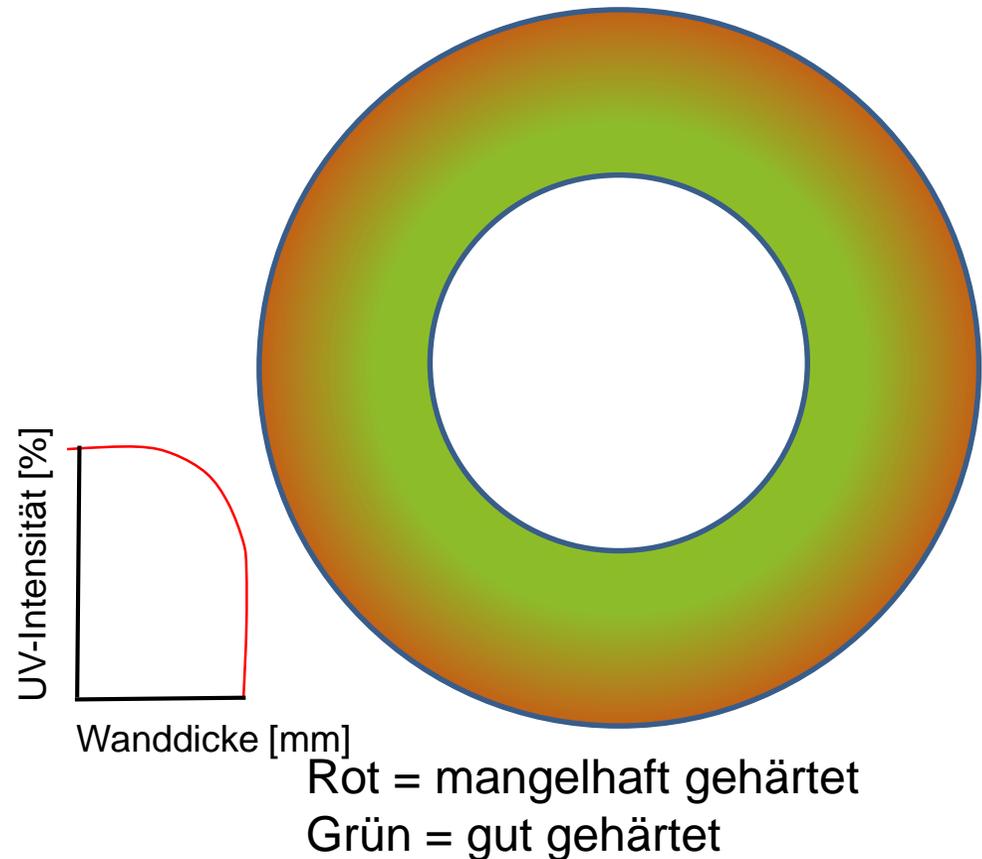
- Wenn bei der Aushärtung eine Lampe ausfällt muss darauf geachtet werden, dass der Aushärtevorgang vollständig beendet und nach der Instandsetzung des Lampenzuges wiederholt werden muss. Hierbei kann es zu örtlichen Imperfektionen kommen.
- EP-Harze lassen sich mit UV-Härtung zurzeit großtechnisch nicht aushärten

## Beachten: UV-Härtung

- Bei größeren Wanddicken ( $s \geq 8$  mm) darf die UV-Härtung nur in Verbindung mit einer anderen unterstützenden Härtungsmethode angewendet werden.
- Bei dickwandigen GFK-Schlauchlinern kann es zu einer unvollständigen Aushärtung der zum Altrohr gelegenen Wandung führen. Dies ist dann auf die Veränderung des Lichtbrechungsindex zurückzuführen.
- Alternative: Kombination von UV- und Warmhärtung

# UV-Härtung: Reststyrolgehalt / Korrelation zur Wanddicke

- Die UV-Intensität nimmt im logarithmischen Verhältnis zur Wanddicke ab
- Insbesondere Randzonen können eine mangelhafte Härtung mit teilweise sehr hohen Reststyrolgehalten aufweisen und können ungehärtet bleiben, obwohl die statischen Anforderungen bereits erfüllt werden



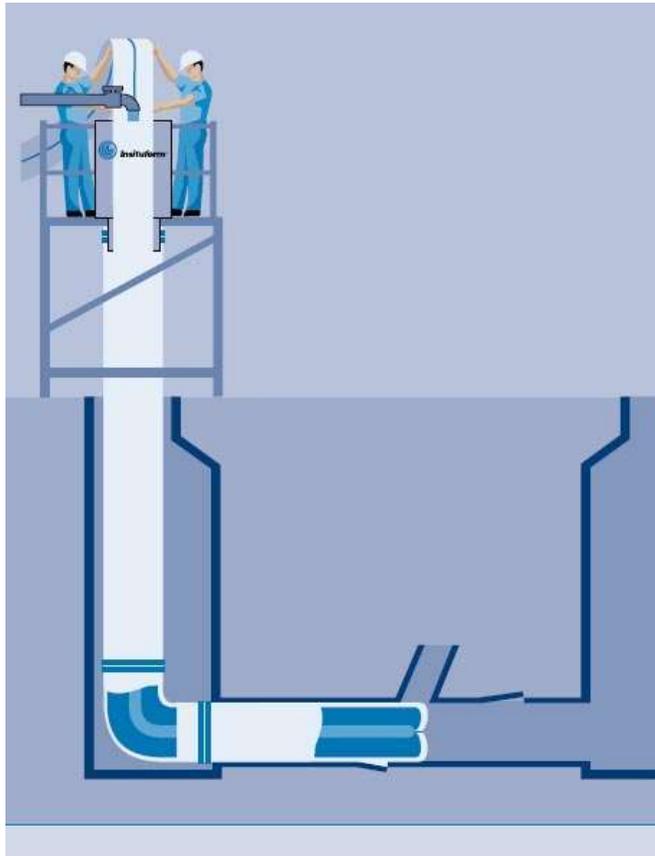
Nicht ausgehärtet...



Beachten:

Der Einfluss von Wasser führt zu Härtingsdefiziten. Ursache kann zum Beispiel eine mangelhafte Wasserhaltung sein. Preliner und äußere Folien stellen keinen sicheren Schutz vor Wassereintritt dar (gilt für alle Härtingsverfahren)

# Warmhärtungsverfahren mit Wasser



Quelle: Insituform

Beachten:

- Der Einbauer muss die ausreichende Wärmeerzeugung der angeschlossenen Heizanlagen sicherstellen.

# Warmhärtungsverfahren mit Dampf



Quelle: Insituform

Beachten:

- Aushärtung mit Dampf ist bei Sanierungsstrecken mit Unterbögen nur bedingt möglich – Kondenswasseransammlungen in Unterbögen führen zu Härtungsdefiziten

# Spannungsrisse...



Beachten:

Zu schnelles Härten und zu schnelles Abkühlen kann zu Spannungsrissen im Laminat führen

Dringen die Spannungsrisse in die Tragstruktur, werden die Anforderungen an Biegefestigkeit und E-Modul – trotz vermeintlich guter Härtung – nicht mehr erfüllt

# Ursachen für Spannungen bei der Härtung

- Bei thermischen Verfahren erfolgt die Härtung über die Länge des Liners. Dies führt gleichzeitig zu einem axialen Spannungsaufbau
- Zusätzlich treten durch den Volumenschwund des Harzes während der Aushärtung Spannungen auf
- Bei Filzlinern können Spannungen bei zu schneller Härtung oder Abkühlung zu Mikrorissen führen. Die Fasern wirken nicht verstärkend und können Schwundspannungen nicht aufnehmen.
- Bei GFK-Linern fangen die Glasfasern Schwundspannungen in Längsrichtung und Umfangsrichtung weitgehend ab.
- Bei UV-Härtung von GFK-Linern werden in axialer Richtung entstehende Spannungen im Bereich des Übergangs zwischen gehärtetem und ungehärtetem Harz kompensiert. Rissbildungen sind nur in ausgeprägten Reinharzschichten zu erwarten.

## Baustellenprotokolle

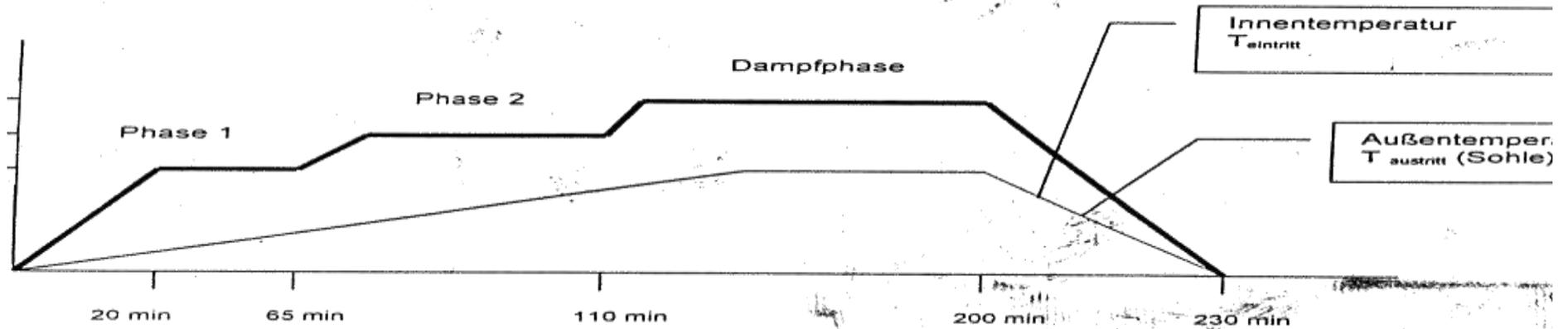
- Mängel bei der Aushärtung sind nicht selten auf Nicht-Beachtung der **Vorgaben des Verfahrenshandbuchs** zurückzuführen

### Empfehlung:

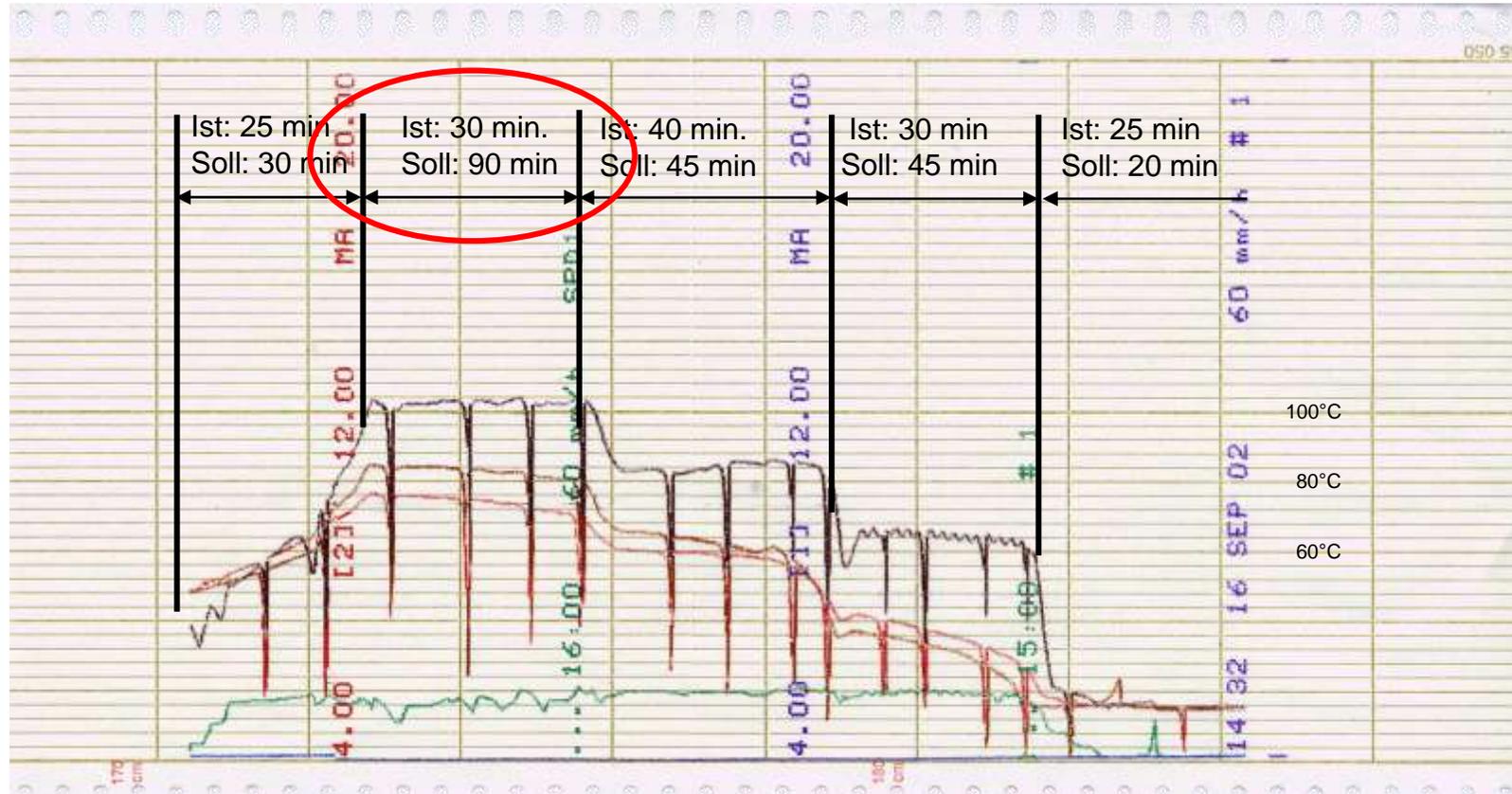
- Im Fehlerfall die Baustellenprotokolle des Einbauers mit den Sollvorgaben gemäß Verfahrenshandbuch vergleichen
- Bereits in der Ausschreibung das **Führen eines Baustellenprotokolls** einfordern

# Baustellenprotokoll: Vorgabe gem. Handbuch

Diagramm zur Aushärtung



# Baustellenaufzeichnung



**Verfahrenshandbuch wurde nicht berücksichtigt. Hauptphase der Härtung wurde um 66 % gekürzt. Folge: Neubau des Liners erforderlich.**

# Härtungsverfahren im Vergleich (Übersicht)

Härtung mit	Stärken	Schwächen
Warmwasser	<ul style="list-style-type: none"><li>• Moderiert die chemische Härtingsreaktion (Wasser heizt und kühlt)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Energiebedarf</li><li>• Zeitaufwand</li><li>• Ggf Wasserbehandlung</li><li>• Bei Oberbögen können Härtingsdefizite auftreten</li></ul>
Dampf	<ul style="list-style-type: none"><li>• Schnell</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• In Unterbögen könnten Härtingsdefizite auftreten</li></ul>
UV-Licht	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sehr schnell</li><li>• Ober- und Unterbögen unkritisch</li><li>• Spannungsarme Härtung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Typisch sind 1 bis 2 % Reststyrolgehalt</li><li>• Im Außenbereich des Liners können Härtingsdefizite auftreten</li></ul>

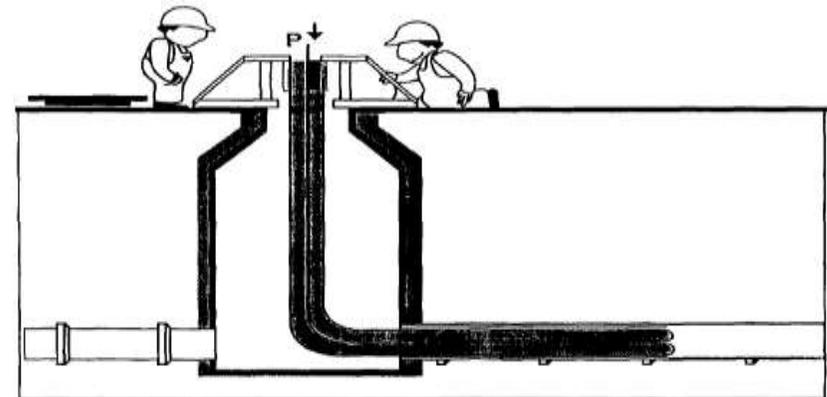
## Beachten: Härtung HA- und Kurzliner

- Systeme zur Sanierung von Hausanschlüssen/Kurzliner müssen über einen Nachweis der Aushärtung bei Temperaturen  $\leq 15^{\circ}\text{C}$  verfügen. Dies gilt einschließlich des zu erwartenden Härtungsverlaufes über einen Zeitraum von 30 Tagen.
- Anders als bei haltungsweiser Sanierung ist die Kalthärtung zulässig

# Einbauverfahren für vor Ort hergestellte Schlauchliner

Folgende Einbauverfahren gibt es:

- Inversionsverfahren
- Einzugsverfahren
- Kombination aus Einzugs- und Inversionsverfahren



# Einzugsverfahren

- Beim Einzugsverfahren unbedingt Schleppfolie und Winde mit Kraftbegrenzung verwenden

Zu beachten:

- Geringe Belastung des Schlauches beim Inversions- / Umstülpverfahren.
- Platzen des Kopfendes möglich. In der Folge fällt der Verdichtungsdruck (Anpressdruck) des Liners an das Altrohr ab und es ist unter Umständen nicht mehr möglich, den dann nötigen Verdichtungsdruck aufzubauen.

## Beachten: Schlauchlining

- Die Verwendung eines Preliners (Außenfolie / -beschichtung) ist vorgeschrieben
- Reversible Folien sind vor der Dichtheitsprüfung zu entfernen
- Mindestwanddicke = 3 mm
- Liner auf Basis von Synthefaser-Trägern dürfen grundsätzlich nur mit gefüllten Reaktionsharzmassen eingebaut werden

# Inhalt

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

- Thermoplaste (Eigenschaften, Herstellung, Anwendung)
- Duroplaste
  - Verbundwerkstoffe / Schlauchliner
    - Fasern
    - Harze / Eigenschaften, Typen (Normen)
    - Härtungsverfahren
    - Zuschlagstoffe
    - Vergleich der Systeme
  - GFK-Rohre
  - Montageverfahren
  - HA-Sanierung
  - Reparaturverfahren

# Initiatoren, Füllstoffe und Additive bei UP-Harzlinern

Typische Harzmischung für die Imprägnierung eines Filzliners oder GFK-Liners:

100	Gew.-Teile	UP-Harz oder VE-Harz
< 0,02	Gew.-Teile	Inhibitoren
< 2,5 bzw. < 1,0	Gew.-Teile	Thermische Initiatoren (thermische Härtung) bzw. Fotoinitiatoren (UV-Härtung)
< 25	Gew.-Teile	chemisch beständige Füllstoffe
< 1,5	Gew.-Teile	Additive

# Inhibitoren

- Inhibitoren sind Radikalfänger und sichern so die Lagerstabilität von UP- und VE-Harzen
- Sie fungieren als Reaktionsbremser: Sie verhindern, dass das Reaktionsharz in seiner Lieferform in die Härtung geht
- Harzhersteller geben sie bereits zum Harz dazu
- Man unterscheidet zwischen Kalt-, Warm-, und UV- bzw. Fotoinitiatoren

## Thermische Initiatoren (Härter)

- **Warmwasserhärtung:** Initiatoren erzeugen Radikale im Temperaturbereich von 50°C bis 85°C
- **Dampfhärtung:** Initiatoren erzeugen Radikale im Temperaturbereich von typischerweise 40°C bis 115°C
- Möglich ist auch eine **Kombination** aus Hochtemperatur-Initiatoren, um über den gesamten Temperaturbereich möglichst gleichmäßig Radikale zu erzeugen
- Je tiefer die Starttemperatur der Radikalerzeugung, um so begrenzter ist die Lagerstabilität des Liners
- Eine gute Abstimmung von Harz, Härtingsbedingungen und Initiator-Mischung begünstigt eine vollständige Durchhärtung

# Initiatoren

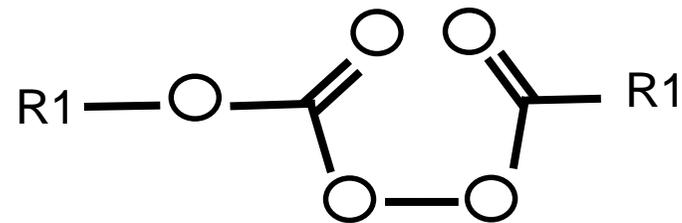
Die häufigsten Peroxide:

Thermisch:

- Percarbonate
- Perester
- Perketale
- Acylperoxide

Kalt:

- Benzoylperoxid



Wirkung von Acylperoxid (Bild)

## Füllstoffe - Eigenschaften

- wirken verstärkend und füllend
- Verwendet werden dürfen nur inerte (=chemisch beständige) Zuschlagstoffe
- Aluminiumhydroxid wird vorwiegend im Schlauchlining eingesetzt
- Quarzsand findet z. B. Anwendung bei der Herstellung von GFK-Rohren, Quarzkies wird bei der Herstellung von Polymerbeton verwendet
- Der Einsatz von karbonathaltigen Zuschlägen wie Kalziumkarbonat ist im sauren Milieu (Abwasser) nicht geeignet.

### Anforderungen:

- Hohe chemische Beständigkeit (wie Harz und Faser)
- Partikel-Durchmesser der Füllstoffteilchen für Schlauchliner:  $< 50 \mu\text{m}$

# Inhalt

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

- Thermoplaste (Eigenschaften, Herstellung, Anwendung)
- Duroplaste
  - Verbundwerkstoffe / Schlauchliner
    - Fasern
    - Harze / Eigenschaften, Typen (Normen)
    - Härtungsverfahren
    - Zuschlagstoffe
    - Vergleich der Systeme
  - HA-Sanierung
  - Reparaturverfahren

# Inhalt

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

- Thermoplaste (Eigenschaften, Herstellung, Anwendung)
- Duroplaste
  - Verbundwerkstoffe / Schlauchliner
    - Fasern
    - Harze / Eigenschaften, Typen (Normen)
    - Härtungsverfahren
    - Zuschlagstoffe
    - Vergleich der Systeme
  - HA-Sanierung
  - Reparaturverfahren

# Inhalt

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

- Thermoplaste (Eigenschaften, Herstellung, Anwendung)
- Duroplaste
  - Verbundwerkstoffe / Schlauchliner
    - Fasern
    - Harze / Eigenschaften, Typen (Normen)
    - Härtungsverfahren
    - Zuschlagstoffe
    - Vergleich der Systeme
  - GFK-Rohre
  - Montageverfahren
  - HA-Sanierung
  - Reparaturverfahren

## Hausanschlusssanierung

- Im Bereich der HA-Sanierung werden vorwiegend EP-Harze eingesetzt
- Seltener werden organomineralische Harze, Silikatharze und Mehtacrylatharze eingesetzt
- Bei den genannten Harzsystemen ist keine UV-Härtung möglich
- UP-Harze werden zu einem kleinen Teil eingesetzt, bei den verwendeten Linersystemen findet keine UV-Härtung statt
- Alle Systeme sind kalthärtende Systeme, eine Härtingsunterstützung mit Wärme ist möglich und wird von vielen Herstellern empfohlen

UV-härtende Hausanschluss-Systeme sind in Zukunft zu erwarten  
(dann Härtung mit LED-Systemen)

# Inhalt

## 2. Materialien in der Kanalsanierung

- Thermoplaste (Eigenschaften, Herstellung, Anwendung)
- Duroplaste
  - Verbundwerkstoffe / Schlauchliner
    - Fasern
    - Harze / Eigenschaften, Typen (Normen)
    - Härtungsverfahren
    - Zuschlagstoffe
    - Vergleich der Systeme
  - GFK-Rohre
  - Montageverfahren
  - HA-Sanierung
  - **Reparaturverfahren**

# Reparaturverfahren

- Roboterverfahren (Spachtelverfahren, Injektionsverfahren)
- Vorabdichtung mit Injektionen auf Basis Polyurethanharz in begehbaren Kanälen
- Kurzliner

## Reparaturverfahren / Beachten:

- Untergrundhaftung berücksichtigen:  
Hafteneigenschaften STG/Bet./FZ/PVC/PE-HD, GGG, GFK
- Druckbeaufschlagung des Packers ist rohr- und schadensabhängig zu begrenzen
- Qualitätssicherung auf der Baustelle:  
Dokumentation aller prozessrelevanten Arbeitsschritte auf Video und/oder Papierform
- Vorabdichtung in begehbaren Kanälen mit PUR: Im Einflussbereich von Verkehrswegen Einsturzgefahr mit Folgen

# Reparaturverfahren: Kurzliner

In Teilen vergleichbar in den Forderungen mit Schlauchlining, jedoch ist auf Preliner zu verzichten und auf notwendige Vorarbeiten hinzuweisen.

Kurzliner dürfen **keine** Innenbeschichtung / -folie aufweisen.

# Roboterverfahren

- Eignungsnachweis / Erstprüfung  
Tabellarische Zusammenstellung notwendiger Nachweise
- Baustellendokumentation  
Tabellarische Zusammenstellung der zu erbringenden Dokumentation

Zu beachten:

- Materialien  
Haftigenschaften STG/Bet./FZ/PVC/PE-HD, GGG, GFK
- Ausführung  
Druckbeaufschlagung des Packers ist rohr- und schadensabhängig zu begrenzen
- Qualitätssicherung auf der Baustelle  
Dokumentation aller prozessrelevanten Arbeitsschritte auf Video und/oder Papierform

# Injektionsverfahren

- Eignungsnachweis / Erstprüfung  
Tabellarische Zusammenstellung notwendiger Nachweise
- Baustellendokumentation  
Tabellarische Zusammenstellung der zu erbringenden Dokumentation

## Vorabdichtung in begehbaren Kanälen mit PUR

- Sinngemäß gelten die zuvor genannten Forderungen (Injektionsverfahren), jedoch wird als Besonderheit die Eignung gemäß Bundesanstalt für Straßenwesen aufgestellt.
- Grund: begehbare Kanäle liegen im Einflussbereich von Verkehrswegen.
- Einsturzgefahr!

# Kurzliner

- In Teilen vergleichbar in den Forderungen mit Schlauchlining, jedoch ist auf Preliner zu verzichten und auf notwendige Vorarbeiten hinzuweisen.
- Kurzliner dürfen **keine** Innenbeschichtung / -folie aufweisen.

## Einbaumangel Kurzliner

- PE-Folie zwischen den Laminatlagen vergessen?
- Häufige Einbaumängel bei Kurzlinersystemen führen zu mangelnder Akzeptanz am Markt
- Qualitätskontrolle: Videodokumentation der Vorarbeiten und des Endproduktes erforderlich



## Auf der Baustelle: Reparaturverfahren

- Anschluss eines Linersystems an den Schacht mit Handlaminat
- Schwierige Baustellenverhältnisse führen nicht selten zur Missachtung von Sicherheitsvorschriften



## Auf der Baustelle: Reparaturverfahren

- Fragwürdiges Belüftungssystem...



Vorsicht vor pauschalen Urteilen:

- Ein Materialkennwert ist nicht gut oder schlecht – ein Materialkennwert ist charakteristisch.
- Entscheidend ist, welche Materialkennwerte in der DIBt-Zulassung für das jeweilige System definiert wurden.
- Materialkennwerte des eingebauten Schlauchliners geben entscheidende Hinweise auf die Qualität des Produkts, das immer ein „Einzelbauwerk“ ist.
- Die DIBt-Zulassung ist auf kommunalem Grund nicht vorgeschrieben. Im Allgemeinen wird die DIBt-Zulassung in den Ausschreibungen jedoch gefordert, denn durch die Vorgabe der „Sollwerte“ ist die Bewertung der „Istwerte“ erst möglich.

Die Abweichung von Materialkennwerten vom Vorgabewert (Erstzulassung) gibt Hinweise auf Fehler. Beispiele

- Geringe Wanddicke = falsche Konfektionierung des Schlauches
- Zu geringer E-Modul = mangelhafte Aushärtung, mangelhafte Tränkung, nicht hinreichende Verdichtung, Fehler im Glas-/Harzverhältnis, Mischungsfehler Harz/Härter (Epoxide) Die gleichen Ursachen wirken sich auch auf die Biegefestigkeit aus.
- Undichtheit = mangelhafte Tränkung, lokale Harzverdrängung (z. B. durch Löcher in der Innenfolie)

Treten bei ersten Prüfungen Auffälligkeiten auf, kann die Ursache über weitere Charakteristiken der Materialkennwerte spezifiziert werden.

## Mittelwert – Quantilwert

- In der DIBt-Zulassung werden in der Regel Mindestwerte angegeben, die so genannten Quantilwerte. Diese liegen in der Regel für Laminat um ca. 20 % unter den Mittelwerten.
- Für Werte, die unter dem Quantilwert liegen, zeigt das Produkt ein nicht charakteristisches Verhalten - die Zulassungsanforderungen werden nicht erfüllt.

- Möglichkeiten bei „durchgefallenen“ Materialkennwerten: Wiederholung der Sanierung oder weitere Bewertung durch Gutachter (evtl. statische Nachberechnung mit angepasstem Abminderungsfaktor)
- Achtung: Eine Unterschreitung der Kennwerte kann durch mangelhafte Aushärtung oder fehlerhaften Laminataufbau entstehen. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes – üblicherweise auf 50 Jahre ausgelegt – ist dann nicht mehr sichergestellt. (Beispiele: Herabsetzung der chemischen Beständigkeit durch Untervernetzung der Harzmatrix, Herabsetzung der Hochdruckspülbeständigkeit durch „weiche Oberflächen“ oder Poren und Lunker in der Oberfläche)
- Deshalb bei statischer Nachberechnung immer vorher prüfen, ob die Anforderungen durch den Abwasserbetrieb sicher erfüllt werden

## **3. Qualitätssicherung**

- Typische Fehler / Beispiele von der Baustelle

# Beispiele



Faltenbildung aufgrund von  
Druckabfall während der  
Inversion

(Fehler beim Einbau)

# Beispiele



## **Mängel bei der Wasserhaltung**

Außenfolie ist vom Hersteller nicht als wasserdicht definiert

Wasser kann eindringen z. B. bei Verschweißungsmängeln in der Verbindungszone oder durch kleine Beschädigungen beim Einbau des Schlauchliners.

**Eine sichere Wasserhaltung oder Vorabdichtung ist unabdingbar**

# Beispiele



Links: ausgewaschenes,  
filziges Laminat

Rechts: Probestück  
fehlerfrei

Beide Probestücke  
entstammen einer  
Probennahme – lokal  
beschränkte Mängel sind  
möglich.

Achtung: Maßgeblich für  
die Bewertung ist die  
schwächere Probe, weil sie  
die Dauerhaftigkeit des  
Bauwerks bestimmt

# Beispiele



Ablösung von Laminatschichten  
im Sohlbereich, Wassereinfluss  
während der Härtung führt zu  
Härtungsdefiziten

Zu beachten:  
**Wasser ist ein  
Reaktionsinhibitor für Harze**

## Beispiel: Fehlerhaftes GFK-Laminat



- Ausgeprägte äußere Reinharzschichten, interlaminaire Lufteinschlüsse, undichte Probe
- Ursache: Falsche Kalibrierung oder Fehlkonfektionierung, Einbaumängel

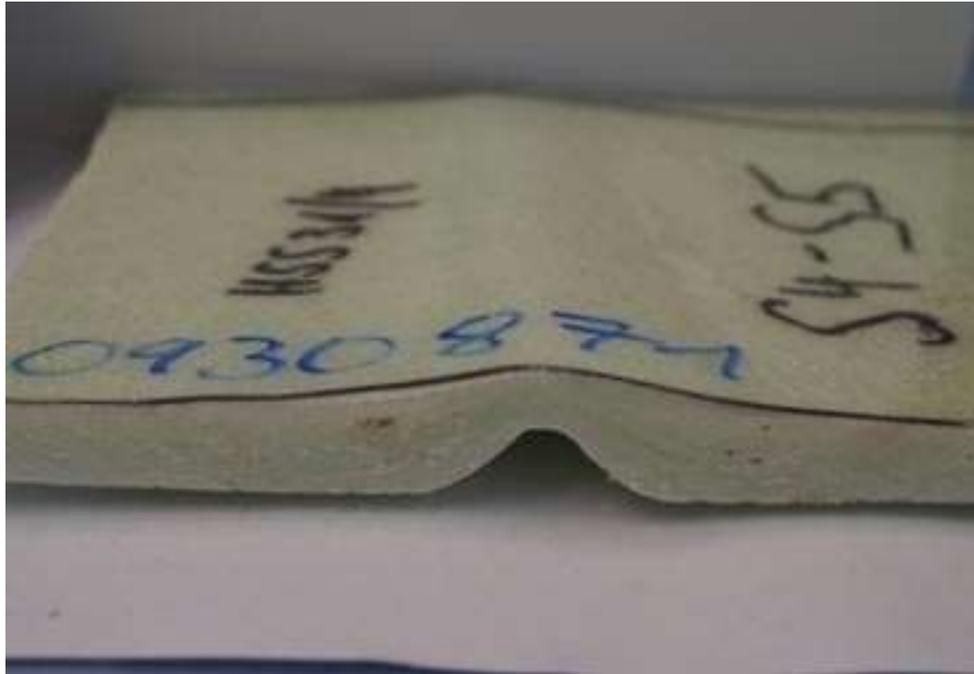
## Beispiel: GFK-Laminat,



Probe an der Außenseite nicht  
ausgehärtet

Zu hohe  
Durchzugsgeschwindigkeit der  
Lichterkette

# Beispiele



Ausgeprägte lokale  
Verdichtung des Laminates  
durch Mangel in der  
Untergrundvorbereitung  
(Schleifen)

# Beispiele



Hochdruckspülschäden sind oft auf Einbaumängel zurückzuführen

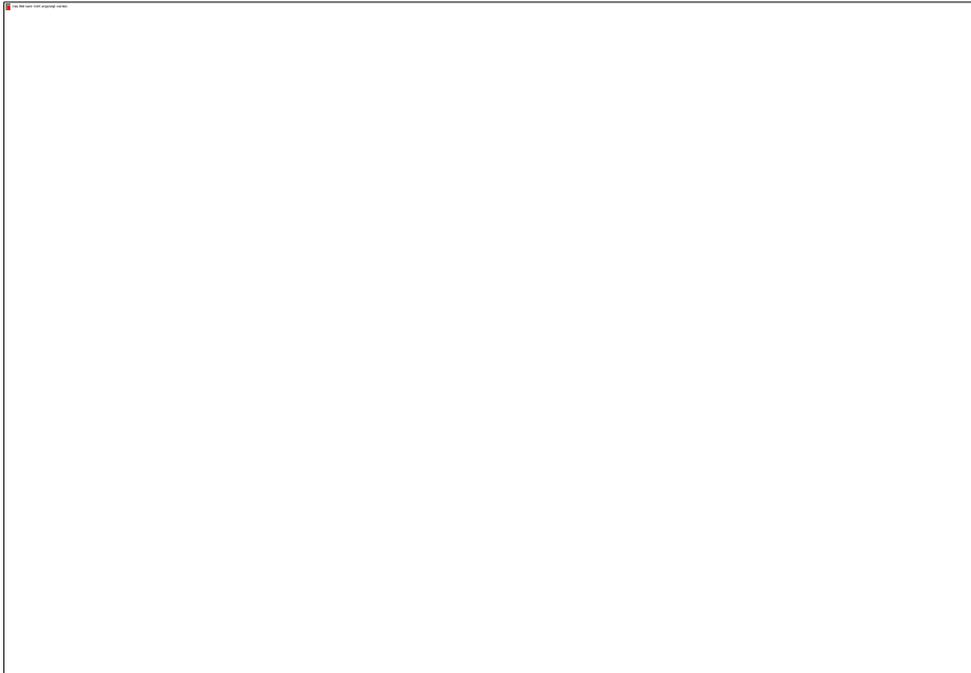
Sie treten nicht selten mit erheblicher Zeitverzögerung auf

# Beispiele



Sternrisse in einem GFK-Rohr  
verursacht durch Punktlasten  
z. B. durch Baggerschaufel  
oder Steine bei der  
Verdichtung

# Beispiele



Undichtes Laminate aufgrund  
von Verdichtungsdefiziten im  
Einbau

# Beispiele



Undefiniertes Widerlager des  
Altrohres

Weiß verfärbte Harze deuten  
auf Wassereinfluss während  
der Härtung hin.

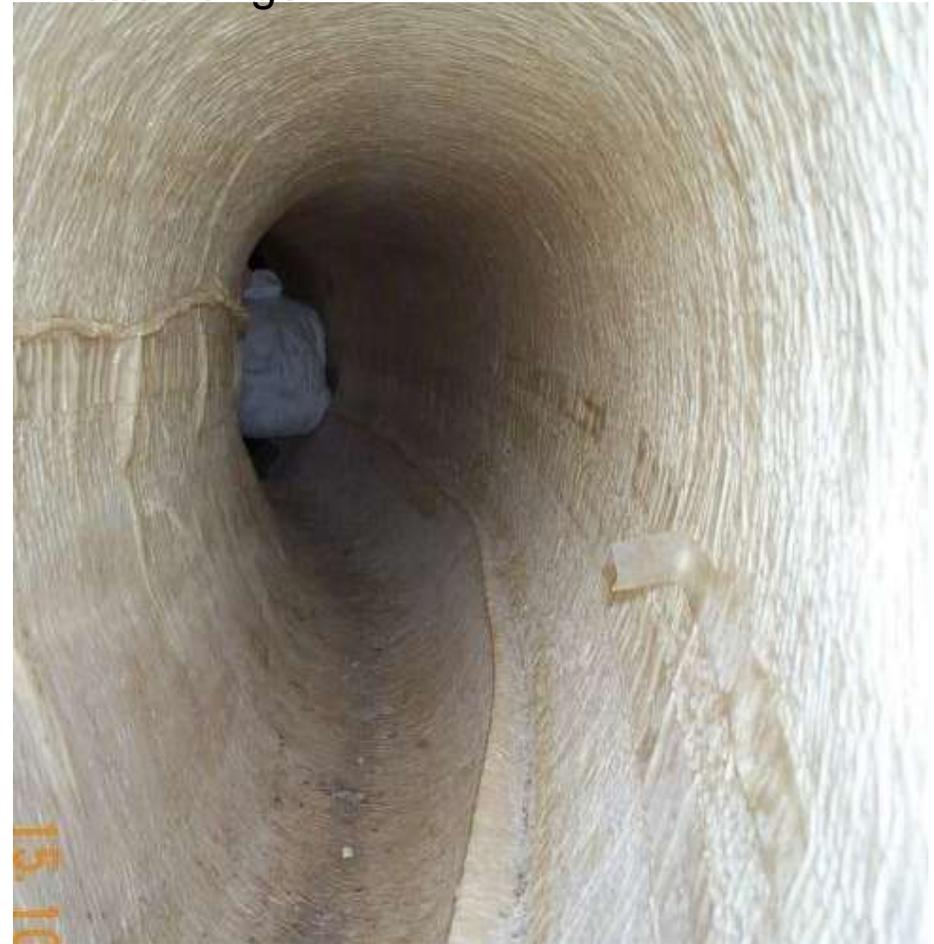
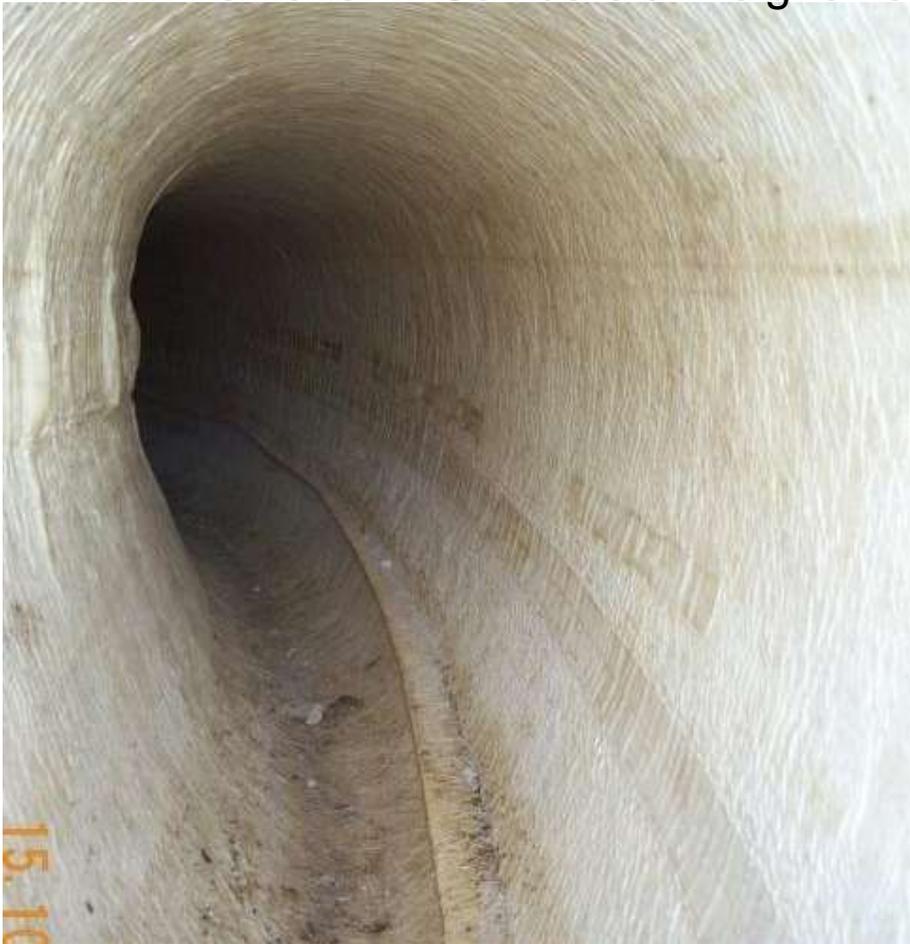
# Beispiele



Spülschaden im Sohlbereich

# Beispiele

Die Falte im Sohlbereich zeigt einen Einbaumangel



## Beispiele

Beim Einbau ist darauf zu achten, dass die Schutzfolie des Schlauchliners nicht verletzt wird. Folge: Nichterreichen der Kennwerte durch Wassereinfluss



# Beispiele

Links: Faltenbildung in Krümmungsbereichen



## Beispiele

Ohne Vorabdichtung reparierter Sohlbereich eines Liners. Das Laminat weist erhebliche Mängel auf und ist undicht



# Beispiele

## Schadhafter Sohlbereich



# Beispiele

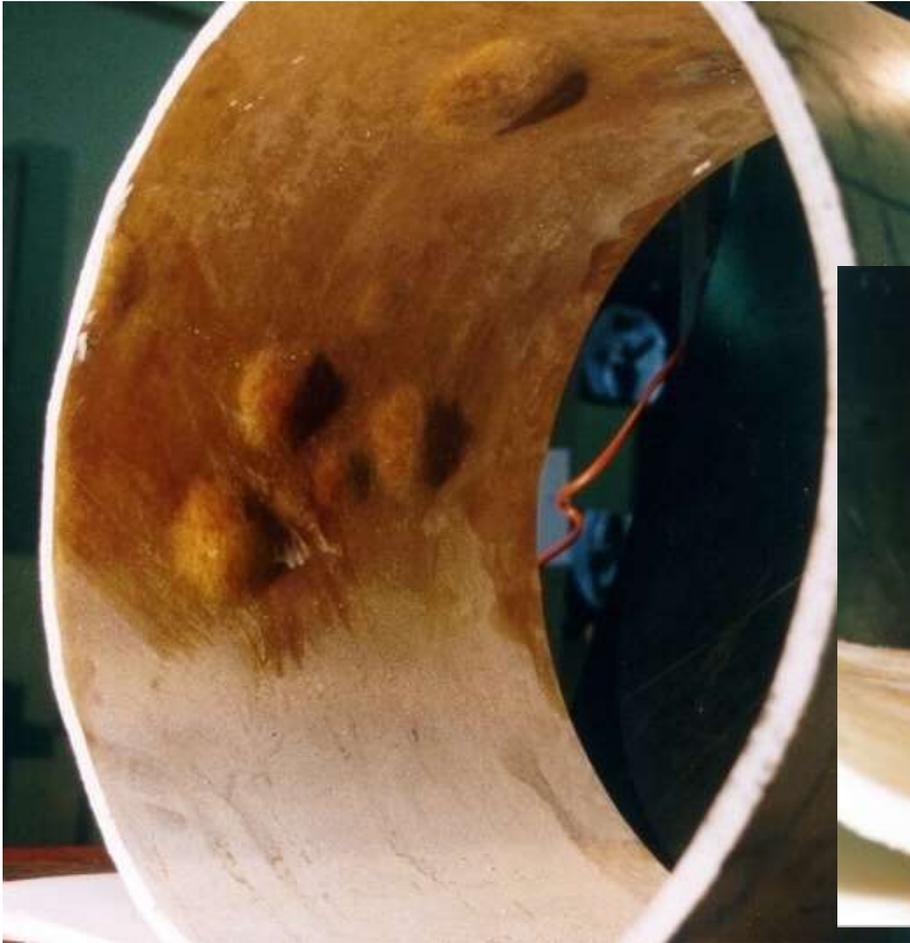


Links: Schadhafter  
Sohlbereich



Rechts: Fachmännisch  
getätigte Reparaturen,  
allerdings ist das  
Ursprungsprodukt  
fehlerhaft  
(Reparaturen sind nur  
empfehlenswert, wenn  
der Reparaturumfang  
überschaubar ist und die  
Qualität nicht leidet)

# Beispiele



Osmose an einem GFK-Rohr  
Ursache: Herstellbedingungen,  
Medieneinfluss, Werkstoffauswahl



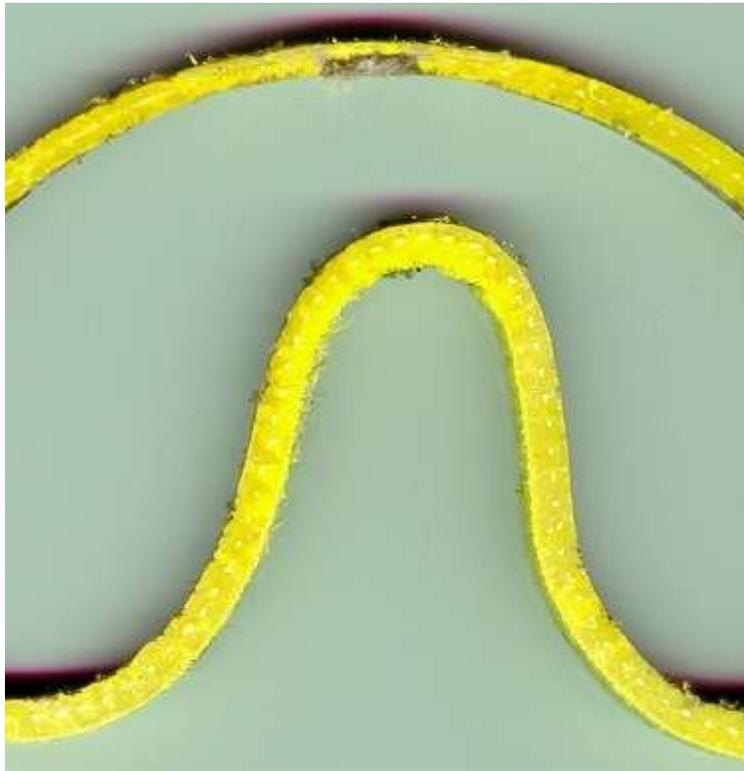
## Beispiele

Osioseblasen im Querschnitt: Angegriffen wird die erste Glasfaserlage. Reparaturen sind nur bei begehbaren Rohren möglich



# Beispiele

Bei Epoxdmischungen ist die Stöchiometrie und die Mischung wichtig. Automatische Mischanlagen sichern geringe Qualitätsschwankungen



# Beispiele

Polyurethanharzsystem mit erheblichen Lufteinschlüssen. Ursache: Kohlendioxidbildung aufgrund von Kontakt mit Wasser beim Einbau



# Beispiele

Querschnitt der Probe mit erheblichen  
Lufteinschlüssen



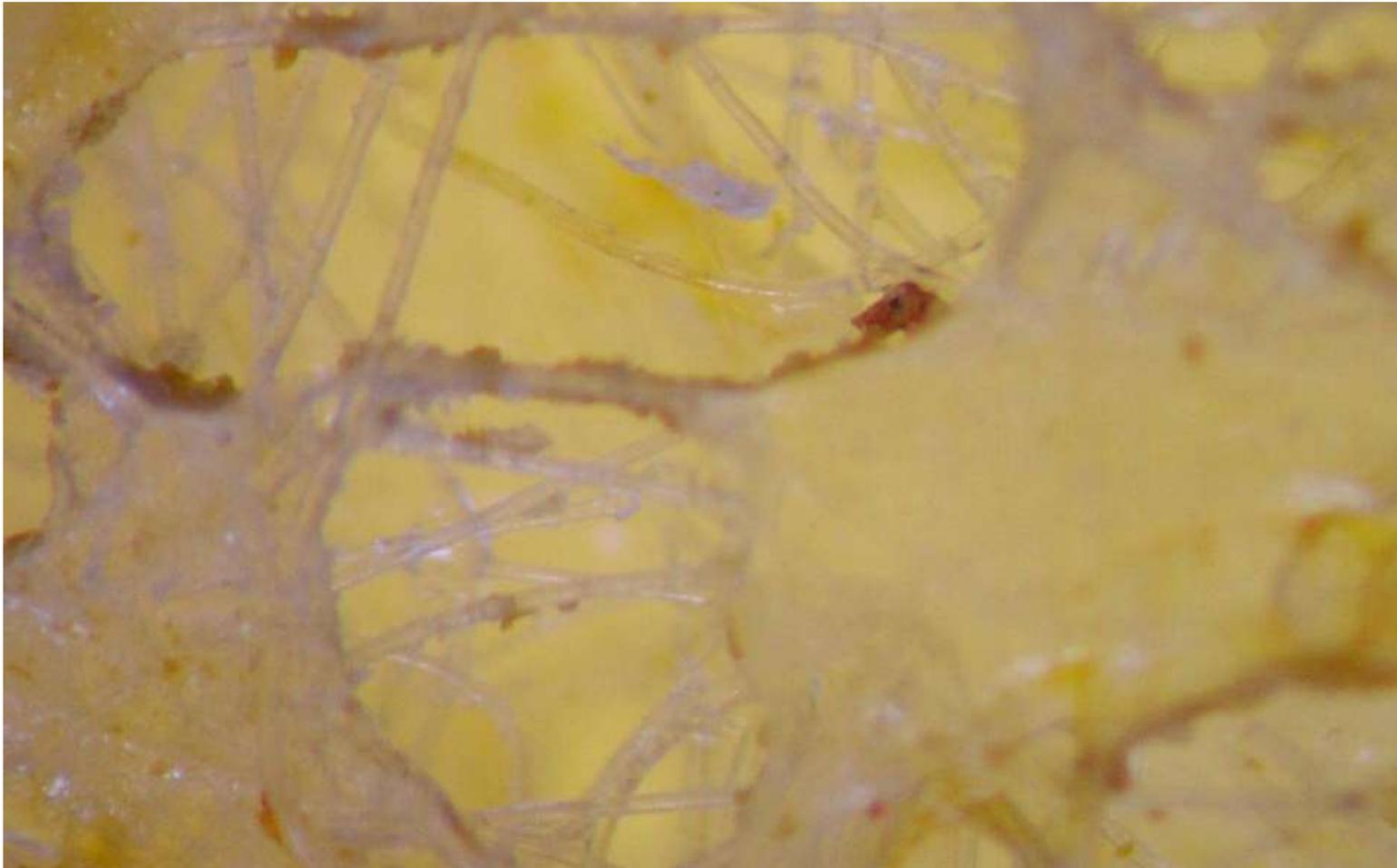
## Beispiele

Interlaminare Lagentrennung eines GFK-Laminats nach Prüfung der Beständigkeit gegen Säure. Eignung im Abwasserbereich nicht gegeben.



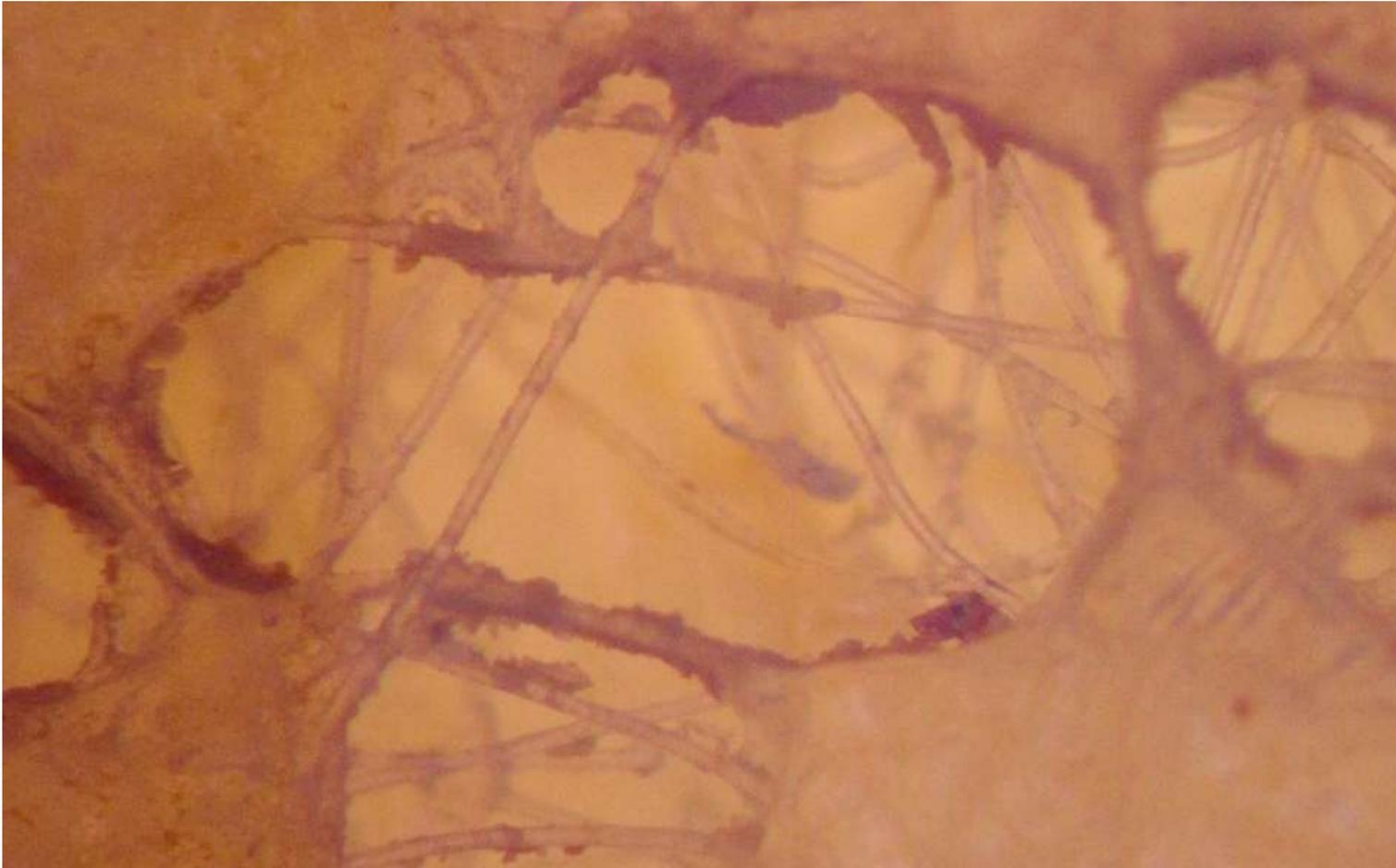
## Beispiele

Mikroskopische Aufnahme von Undichtheiten an einem Synthesefaserliner.

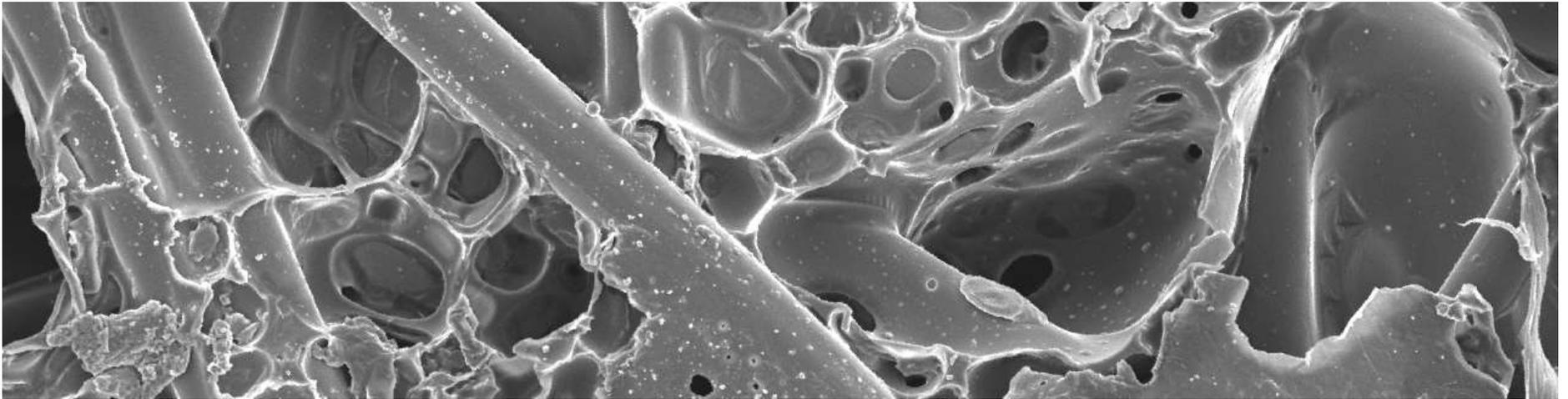


## Beispiele

Mikroskopische Aufnahme von Undichtheiten an einem Synthesefaserliner.

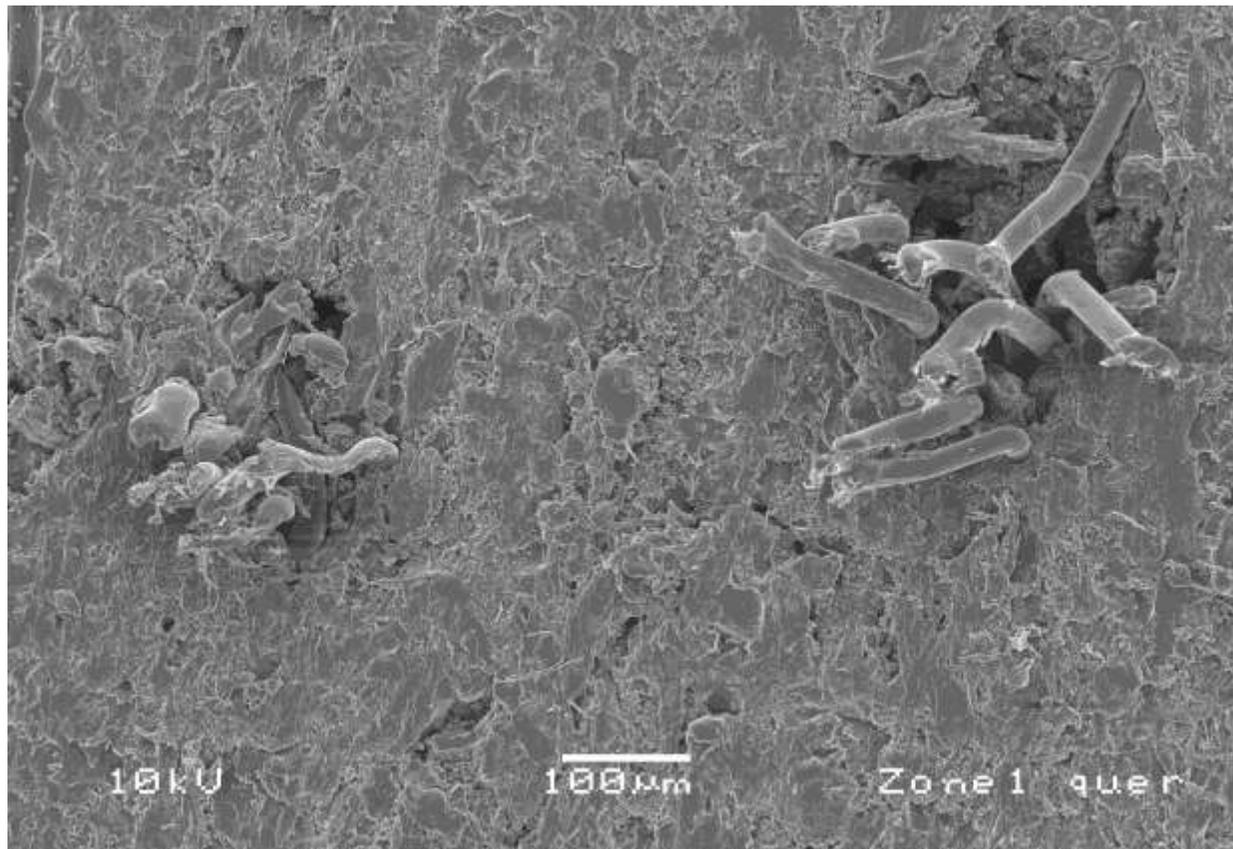


# Beispiele



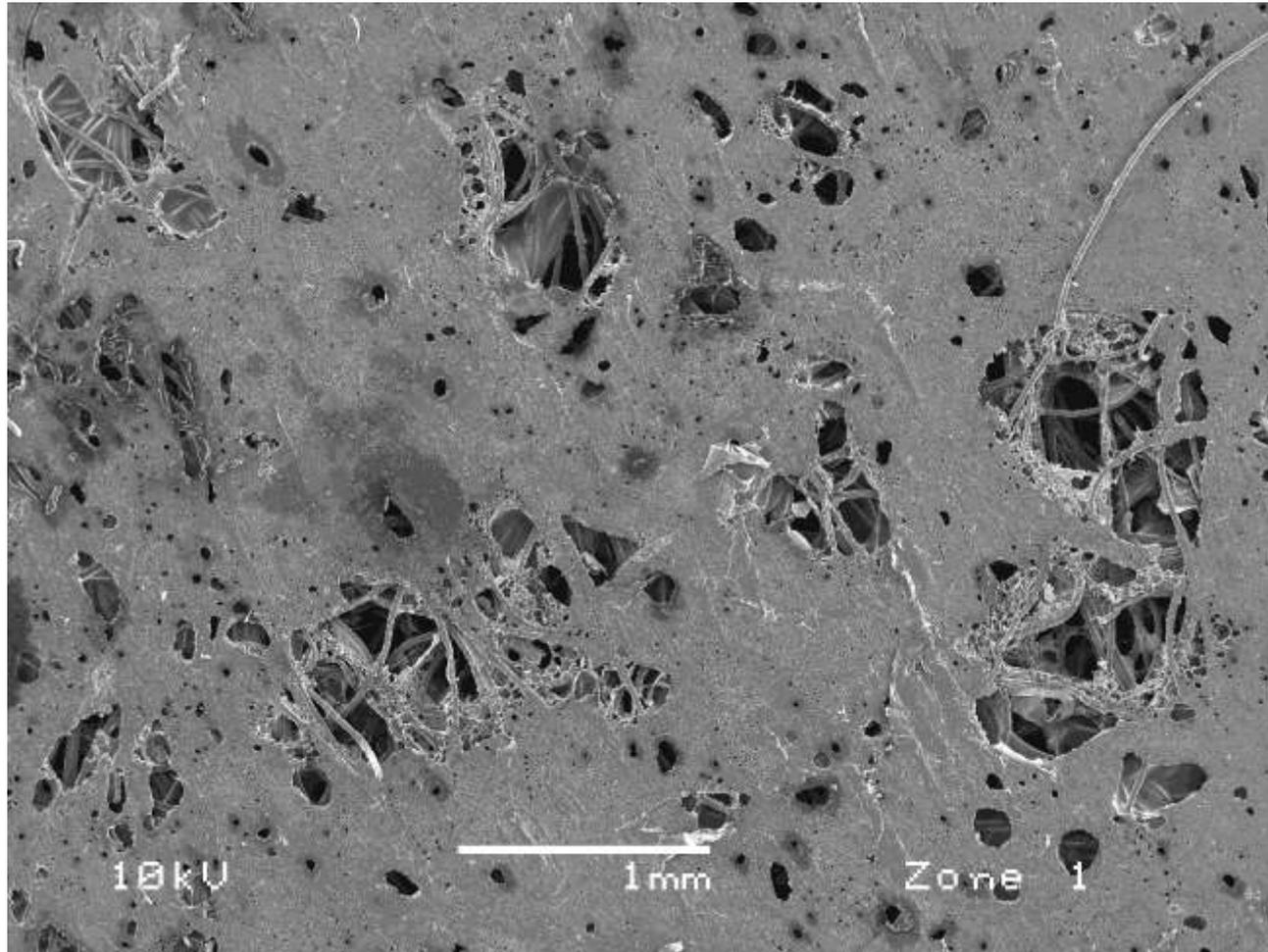
REM-Aufnahme:  
Lufteinschlüsse im  
GFK-Laminat

# Beispiele



REM-Aufnahme:  
Probe mit  
Verdichtungsdefi-  
ziten (undicht).  
Teilweise treten  
Fasern aus dem  
Laminat hervor.

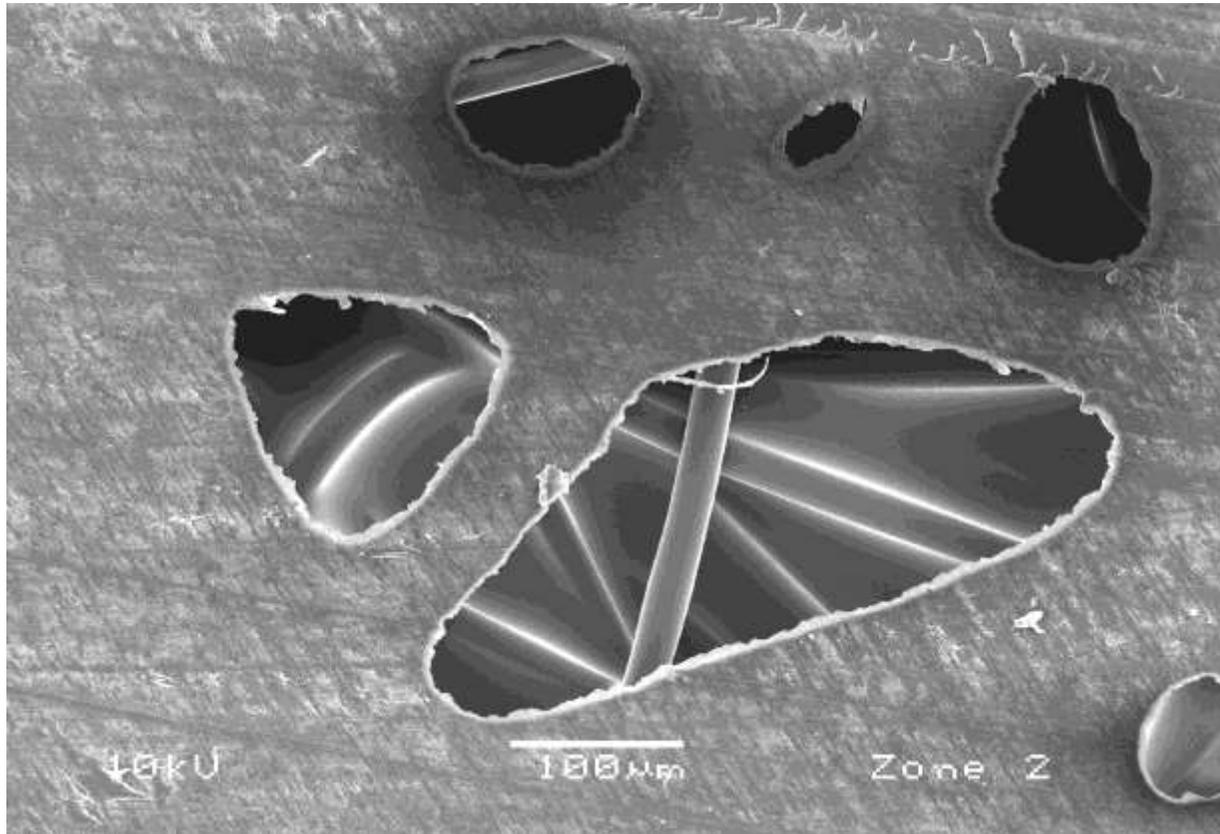
# Beispiele



Undichtigkeiten  
im Synthese-  
faserlaminat. Bei  
hohem Anteil von  
Luft einschläüssen  
reduzieren sich  
auch die  
mechanischen  
Kennwerte

# Beispiele

Lufteinschlüsse  
in einem Laminat.



Trotz all dieser Bilder:

Ca. 95 Prozent aller Liner sind mängelfrei.

Gute Arbeit hat mit Erfahrung zu tun



Achten Sie auf dieses Zeichen



## Kriterien des Siegels

- Vergabe an ausführende Unternehmen
- Mindestanzahl der Baustellenproben, die bei Siebert + Knipschild in einem Kalenderjahr geprüft wurden, je ausführendem Unternehmen und verwendetem Produkt: 20
- Alle Proben müssen dabei aus mindestens vier unterschiedlichen Baumaßnahmen stammen.
- Das Siegel wird ab einer Quote von 95 Prozent jener Proben vergeben, die den Anforderungen entsprechen.
- Die Kennwerte beziehen sich auf die Anforderungen gemäß der jeweils gültigen Zulassung bei E-Modul, Biegefestigkeit und Wasserdichtheit. Bei der Wanddicke wird geprüft, ob die Anforderungen gemäß Auftrag erfüllt werden.
- [www.siebert-testing.com/siegel](http://www.siebert-testing.com/siegel)



