

Ein Überblick zur Technologie moderner Schlauchliner

Qualität und technischer Fortschritt haben Ihren Preis

**PROF. DR. REINHARD LORENZ,
FH MÜNSTER**

Zur Sanierung von Abwasserkanälen stehen dem Bauingenieur unterschiedliche Liner-Typen mit unterschiedlichen Harzen und Härtingsverfahren zur Verfügung. Man unterscheidet vor allem Liner auf der Basis von Synthesefaserfilzen (kurz „Filzliner“ genannt) und solche auf der Basis von Glasfasergelegen oder Glasfaserkomplexen (kurz GFK-Liner genannt). Als Matrixmaterialien werden ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze), Vinylesterharze (VE-Harze) und Epoxidharze (EP-Harze) eingesetzt. Die Härtung kann fotochemisch erfolgen („UV-Liner“) oder thermisch mit Dampf bzw. warmem Wasser.

Aus dieser stofflichen und methodischen Vielfalt ergibt sich nahezu zwangsläufig ein breites Angebot von Linertypen sowie -fabrikaten, die sich im Detail mehr oder minder stark unterscheiden. Es gilt, Liner und Härtingsverfahren den Anforderungen der jeweiligen Baustelle entsprechend technisch bestmöglich auszuwählen, ohne die Kosten aus den Augen zu verlieren. Oft ist auch der Zeitbedarf der Sanierung für die Auswahl eines Linertyps relevant, um Verkehr, Anwohner, Geschäfte oder Produktionsabläufe möglichst wenig zu beeinträchtigen.

Der Liner als Chemieprodukt und Verbundwerkstoff

Die auf dem Markt befindlichen Liner sind Chemieprodukte, da nahezu alle Einsatzstoffe bzw. Komponenten von der chemischen Industrie oder chemienahen Zulieferindustrien bereitgestellt werden. Zudem sind Liner sog. Verbundwerkstoffe, weil hier Fasern und Harze einen mechanischen und ggf. auch chemischen Verbund eingehen. Nach der Härtung bilden die Harze einen vernetzten Kunststoff: das Duro-

mer, das als Matrix die Fasern umschließt und schützt. Ganz besonders trifft dieser Verbundwerkstoffcharakter auf die Glasfaserverstärkten Liner (GFK-Liner) mit ihrem ausgeprägten Kraftschluss zwischen Faser und Matrix zu. Hier erreicht man die bestmöglichen mechanischen Eigenschaften durch sorgfältige Abstimmung von Faser und Matrix, da beide zusammen die Verhältnisse an der Grenzfläche bestimmen.

Eingesetzte Fasern und ihre textilen Vorprodukte

Beim Synthesefaserliner kommen Filze zum Einsatz, die aus Poly(ethylenterephthalat)-Fasern (Abkürzung PES- oder PET-Faser) hergestellt werden. Für die Filzherstellung werden sog. texturierte (d.h. gezielt gekräuselte) PET-Stapelfasern mit einer Schnittlänge von etwa 50 bis 80 mm eingesetzt. Diese Stapelfasern liegen als Monofilamente (Einzelfasern) mit Fadengewichten von etwa 6 bis etwa 28 dtex vor, d.h. sie wiegen 6 bis 28 g auf 10000 m Fadenlänge. Dies entspricht einem Fadendurchmesser von etwa 25 bis 50 µm (die Dichte des PET beträgt ca. 1,38 g/cm³).

In einem textilen Prozess werden hieraus Filze mit Raumgewichten von 0,1 bis 0,25 g/cm³ (entsprechend 100 bis 250 g/l) hergestellt. Ein wesentlicher Prozessschritt ist dabei die sog. Vernadelung der Filze. Diese Filze weisen im nicht komprimierten Zustand ein Porenvolumen von etwa 80 bis 90 Vol.-% auf – d.h., nur etwa 10 bis 20 % ihres Volumens wird von den PET-Fasern eingenommen. Das übrige Volumen steht nach der Imprägnierung dem Harz zur Verfügung.

Die Filze für das Relining werden einseitig zum Zwecke des Verschleißschutzes mit Polyolefinen oder Polyurethanen (PUR) beschichtet. Typische Schichtdicken liegen bei 200 bis 500 µm. Bei den Polyolefinbeschichtungen handelt

es sich meist um einen LDPE-Typ (Low Density Polyethylene) oder einen LLDPE-Typ (Linear Low Density Polyethylene). Bei den Polyurethanen werden Produkte auf der Basis von Polyesterolen oder von Polyetherolen eingesetzt, wobei die Polyesterol-basierten PUR-Typen im Relining dominieren. Die Beschichtungen aus Polyolefinen oder Polyurethanen werden via Extrusion mit einer Breitschlitzdüse aufgebracht. Alternativ kann mit einem Schmelzwalzenkalander gearbeitet werden oder aber eine Folie direkt auf den Filz kalandriert werden. Bei kleineren Rohrdurchmessern dominieren die PUR-Beschichtungen, da sie weicher und biegsamer sind. Bei größeren Rohrdurchmessern verwendet man meist das chemisch und mechanisch robustere LDPE oder LLDPE.

Beim GFK-Liner wird die ausgeprägte mechanische Verstärkung mit Glasfasern erzielt: Ihre hohe Steifigkeit und Festigkeit kann effizient auf die vernetzte Kunststoffmatrix übertragen werden, da man mit sog. Silanen eine chemische Anbindung der Glasoberfläche an die duromere Kunststoffmatrix erreicht, die weit über die reine Benetzung hinausgeht.

Es stehen E-Glasfasern und ECR-Glasfasern zur Verfügung, die sich im chemischen Aufbau, der chemischen Beständigkeit und – graduell – im Preis unterscheiden. Die mechanischen Eigenschaften beider Glasstypen sind sehr ähnlich: Der E-Modul beträgt 73000-74000 N/mm², die Festigkeit 3100-3800 N/mm² und die Bruchdehnung etwa 4,5 %. Beide Fasertypen stellen bis zu einer Dehnung von 3 % vollständig elastisch zurück.

ECR-Glas ist bei Prüfung in den meisten Medien chemisch deutlich beständiger als E-Glas. Am stärksten ausgeprägt ist dieser Effekt bei der Säurebeständigkeit: Taucht man beide Fasertypen nach Entfernung der äußeren organischen Schichten für 24 h in 10%-ige Schwefelsäure bei 96 °C, so findet man bei E-Glas einen Gewichtsverlust von 24-41 % und bei

ECR-Glas lediglich 2 %. Daher wird das ECR-Glas bei modernen Linern bevorzugt.

Die Glasfasern werden in Form hoch optimierter Gelege und Komplexe eingesetzt – ihre „Konstruktion“ bestimmt die Dehnfähigkeit des Liners vor der Härtung und die mechanischen Eigenschaften nach der Härtung. Vor der Härtung ist hohe radiale Dehnfähigkeit erwünscht, damit sich der GFK-Liner bestmöglich an das oft korrodierte oder ausgeschlagene Alrohr anpasst. Die Dehnung in axialer Richtung soll dagegen möglichst gering sein, damit der Liner die Kräfte beim Einzug in das Alrohr möglichst ohne bleibende Verformung aufnehmen kann. Man spricht von anisotroper Dehnbarkeit. Die Mechanik des gehärteten GFK-Liners wird wesentlich von der chemischen Abstimmung von Faser und Harz, der Qualität der Imprägnierung sowie dem Massenanteil und der Ausrichtung des Glases bestimmt.

Bemerkt sei, dass auch GFK-Liner nicht ganz ohne Polyesterfäden und Polyester-basierte Textilien auskommen. So werden die Glasgelege und -komplexe i. Allg. mit Polyesterfäden vernäht. Zudem sind einige GFK-Liner innen mit einer Reinharzschicht ausgerüstet, die z.B. von einem Polyestervlies getragen wird und die u.a. die Widerstandsfähigkeit im Hochdruckpülversuch verbessert.

Verwendete Harze

Etwa 90 % der im Relining eingesetzten Harze sind UP-Harze; der Rest entfällt auf VE-Harze und EP-Harze.

Die eingesetzten UP-Harze zeichnen sich durch ein exzellentes Preis-Leistungs-Verhältnis aus. Sie erlauben die Herstellung Fabrik-imprägnierter lagerstabiler Liner für alle Härtungsverfahren, so dass die problematische Vorort-Imprägnierung auf der Baustelle vermieden wird. Die heute in Deutschland eingesetzten Isophthalsäure-Neopentylglykol-Harze („Iso-Neo-Harze“, Typ a) und die ortho-Phthalsäure-Neopentylglykol-Harze („ortho-Neo-Harze“, Typ b) zeichnen sich durch eine hohe Beständigkeit gegenüber den meist sauren kommunalen Abwässern aus. Bemerkt sei, dass in den USA Isophthalsäure-Propylenglykol-Harze in großem Umfang eingesetzt werden. Man verzichtet dort auf das relativ kostspielige Neopentylglykol und nimmt gewisse Abstriche bei der Chemikalienbeständigkeit und der Hydrolysebeständigkeit in Kauf.

Ursache für den sauren Charakter ist vor allem die bakterielle Bildung von Schwefelsäure im Kanal („biogene Schwefelsäure“). Vor diesem Hintergrund sind die UP-Harze zu den „Arbeitspferden“ des Schlauchlinings geworden. Die Iso-Neo-Harze und ortho-Neo-Harze sind in Bezug auf ihre Chemikalienbeständigkeit gleichwertig; sie unterscheiden sich allerdings im Detail:

- Das Iso-Neo Harz ist graduell zäher, d.h. besser zum Spannungsabbau befähigt. Es hat im Zugversuch eine graduell höhere Dehnung und Zugfestigkeit. Da dieses Harz seit etwa 45 Jahren für Gelcoats (z.B. im Bootsbau) und für den chemischen Behälterbau verwendet wird, liegen sehr umfangreiche praktische Erfahrungen vor.

- Das ortho-Neo-Harz ist graduell reaktiver (d.h., schneller härtend) und geringfügig kostengünstiger. In jüngerer Zeit wird es vermehrt im Relining verwendet.

EP-Harze sind – verglichen mit den Styrol-haltigen UP- und VE-Harzen – relativ geruchsarm. Sie zeichnen sich durch eine exzellente chemische Beständigkeit und durch ebenso exzellente Klebeeigenschaften auf einer Vielzahl unterschiedlicher Substrate aus. Sie sind deshalb z.B. für die Einbindung von Hausanschlüssen unverzichtbar. Allerdings weisen die erforderlichen Epoxidharz-Amin-Mischungen nur kurze Topzeiten von wenigen Stunden auf, so dass die Herstellung der Harzmischung und die Imprägnierung vor Ort erfolgen müssen. Eine weitere Schwäche der EP-Harze sei noch angesprochen: Zahlreiche Menschen entwickeln nach längerem Umgang mit Epoxiden massive Allergien.

VE-Harze sind strukturchemisch Zwitter aus ungesättigten Polyestern und Epoxiden. Ihre chemische Beständigkeit übertrifft die der UP-Harze sehr deutlich – sie erreichen mindestens das Niveau der EP-Harze. Dies gilt insbesondere gegenüber alkalischen Medien, gegenüber heißen Abwässern, gegenüber Bleichlauge sowie aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen.

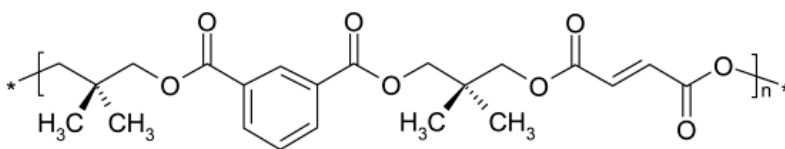
Bei all diesen Einwirkungen neigen sie weniger zur Quellung und weisen geringere Einbußen bei Steifigkeit und Festigkeit auf. Daher kommen VE-Harze vor allem in der Industriekanalisation und ganz besonders im Bereich der Raffinerien zum Einsatz. Ihre hohe Risszähigkeit, z.B. bei der Einwirkung von Dauervibrationen etwa durch Schwermaschinen, spricht zusätzlich für eine Verwendung in der Industrie. VE-Harze benötigen als Reaktivverdünner Styrol; sie härten radikalisch nach allen Verfahren, die auch bei UP-Harzen zur Anwendung kommen – wenn auch in einigen Fällen mit graduell geringerer Reaktivität.

Wie die UP-Harze erlauben sie die Herstellung lagerstabiler Liner und ermöglichen eine Werksimprägnierung.

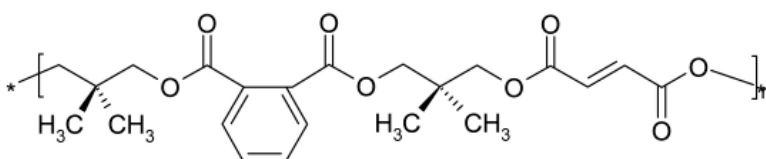
Initiatoren, Füllstoffe und Additive

Eine typische Harzmischung, wie sie zur Imprägnierung von Filzen und Glasfasergelegen verwendet wird, hat etwa folgenden Aufbau:

100 Gew.-Teile	UP-Harz oder VE-Harz
0,005 bis 0,02 Gew.-Teile	Inhibitoren
0,8 bis 2,5 Gew.-Teile	thermische Initiatoren und / oder



Ungesättigter Polyester auf Basis von Isophthalsäure und Neopentylglykol (a)



Ungesättigter Polyester auf Basis von Phthalsäure und Neopentylglykol (b)

Abbildung 1: Chemischer Aufbau der wichtigsten UP-Harze für das Relining

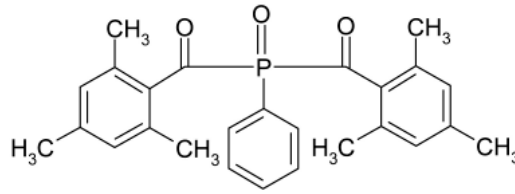
0,3 bis 1 Gew.-Teile	Fotoinitiatoren
15 bis 50 Gew.-Teile	chemisch beständige Füllstoffe (stets bei thermischer Härtung verwendet)
0,4 bis 1,2 Gew.-Teile	Prozessadditive
0 bis 1 Gew.-Teile	sonstige Additive

Die Inhibitoren haben die Aufgabe, dem Harz vor und nach der Imprägnierung eine hinreichende Lagerstabilität zu verleihen, so dass keine unerwünschte Gelierung vor der thermischen oder fotochemischen Härtung des Liners auftritt. Hier kommen vor allem Derivate des Hydrochinons und para-Benzochinons in geringer Menge zum Einsatz. Als sog. Radikalfänger sind die Inhibitoren die Gegenspieler der Initiatoren, die thermisch oder fotochemisch Radikale erzeugen. Zur Erläuterung: Radikale sind hochreaktive, kurzlebige chemische Spezies mit einem ungepaarten Elektron, die für die Vernetzung (= Härtung) der UP- und VE-Harze zwingend erforderlich sind. Sie treten übrigens auch in der Natur auf, z.B. als OH-Radikale in der Luft.

Als thermische Initiatoren kommen sog. Peroxide zum Einsatz, oft aus den Stoffklassen der Perester, Percarbonate, Perketale und Acylperoxide. Meist werden zwei chemisch unterschiedliche Peroxide eingesetzt, um sicherzustellen, dass über den gesamten Temperaturbereich der Härtung – etwa von 55 bis 85 °C bei der Warmwasserhärtung und von 55 bis 115 °C bei der Dampfhärtung – möglichst gleichmäßig härtungsaktive Radikale erzeugt werden. Zudem sollten noch Radikale im Verlauf der Nachhärtung, die während der Haltezeit bei Maximaltemperatur erfolgt, gebildet werden können, um möglichst geringe Reststyrolgehalte zu erzielen. Man erreicht dies mit einem Peroxid, das bei tiefen Temperaturen „anspringt“ und einem Zweiten, das bei höheren Prozesstemperaturen arbeitet.

Die Fotoinitiatoren dienen der Härtung mit UV-Licht. Auch hier kommen in der Regel zwei Produkte zum Einsatz: Ein sog. Acylphosphinoxid, das im Wellenlängenbereich 370 bis 420 nm Radikale erzeugt, und ein zweiter Fotoinitiator, der im Bereich 330 bis 370 nm arbeitet. Eine gängige Kombination besteht z.B. aus Irgacure 819 (BASF / Ciba) und Irgacure 651 (BASF / Ciba). Eine Herausforderung besteht darin, die Fotoinitiatoren bezüglich ihrer Einsatzmenge so abzustimmen, dass sich auch dickere Liner problemlos härten lassen.

Bei thermisch gehärteten Linern sind chemische beständige Füllstoffe unverzichtbar. Sie dienen insbesondere der Herabsetzung



Irgacure 819

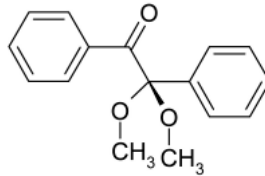
Benzildimethylketal
Handelsname: Irgacure 651

Abbildung 2: Gängige Fotoinitiatoren in UV-Linern. Irgacure 819 wurde 1998 von Ciba in den Markt eingeführt, Irgacure 651 im Jahr 1977.

der Maximaltemperatur bei der Härtung. Hintergrund: Bei der thermischen Härtung können durch die Selbsterwärmung bei der Härtungsreaktion Temperaturspitzen über 230 °C auftreten, die mit thermischer Schädigung des Duromers (z.B. in Form von Rissbildung) einhergehen. Man vermeidet dies durch Füllstoffzugabe in begrenzter Menge (bis max. 50 Teile), weil das Füllstoffvolumen nicht nur nicht zu Selbsterwärmung beiträgt, sondern als Fremdstoff vom härtenden Harz erwärmt werden muss.

Zudem erreicht man mit Füllstoffen vorteilhafte Zusatzeffekte:

- Füllstoffe mit kleiner Korngröße erhöhen in Mengen bis etwa 30 Teile die Risszähigkeit des gehärteten Werkstoffs graduell, weil die vereinzelt Füllstoffkörner als „Rissstopper“ wirken.
- Mit ausgewählten Füllstoffen lässt sich der Modul des Duromers graduell anheben – dies ist bei Synthesefaserlinern von Bedeutung, weil diese durch die Polyesterfaser nicht mechanisch verstärkt werden.
- Füllstoffe verringern den Härtungsschwund und die damit verbundenen inneren Spannungen im Liner. Da der Volumenanteil der Füllstoffe i. Allg. bei 8 bis max. etwa 20 Vol.-% liegt, ist dieser Effekt nur begrenzt. D.h.: Der Härtungsschwund wird von etwa 8 bis 10 Vol.-% (beim reinen UP-Harz) wird auf etwa 6 bis 9 Vol.-% verringert.
- Füllstoffe verringern die Rezepturkosten proportional zu ihrem Volumenanteil. Da der Volumenanteil nicht hoch ist (siehe

oben) und da (wegen der Forderung nach hoher chemischer Beständigkeit) relativ hochpreisige Füllstoffe eingesetzt werden müssen, handelt es sich um einen sehr begrenzten Beitrag. Zudem erschweren und verlangsamen Füllstoffe die Imprägnierung der Filze und Glasfasergelege, so dass der Rohstoffkostensparnis verfahrenstechnische Nachteile bzw. Mehrkosten entgegenstehen.

In der Praxis werden folgende Füllstoffe eingesetzt: Aluminiumsilikate, Quarzmehl und vor allem Aluminiumoxidhydrat (ATH). Die sehr kostengünstige und in kleinen Korngrößen verfügbare Kreide (Calciumcarbonat) scheidet wegen mangelnder chemischer Beständigkeit aus.

Bei den Prozessadditiven handelt es sich um grenzflächenaktive, polymere Substanzen, die die Benetzung von Glasfasern, Synthesefasern und Füllstoffen verbessern (sog. Benetzungsadditive), und um solche, die die Verdrängung der Luft aus den textilen Gelegen und Filzen erleichtern und beschleunigen (sog. Entlüftungsadditive).

Die Gruppe der sonstigen Additive umfasst z.B.:

- Thixotropiermittel zur Einstellung der Viskosität des ruhenden Harzes.
- Beschleuniger zur Anhebung der Reaktivität thermischer Initiatoren bei tieferen Temperaturen.
- Kleine Zugaben von Styrol, die dem Harz

zur Viskositätssenkung (Erleichterung der Imprägnierung) zusätzlich zugegeben werden.

- Eindickmittel wie MgO oder Mg(OH)₂ überführen flüssige UP-Harze (über eine langsame Säure-Base-Reaktion) in ein lederartiges Material. Viele Hersteller von UV-Linern nutzen diese Technik, um die Handhabung des Liners auf der Baustelle zu verbessern.

Das moderne Relining ist ohne geeignete Folien und Folienschläuche nicht denkbar. Diese Folien haben die verschiedensten Aufgaben: Sie dienen als Preliner, als Einzugschiffen und Einzugschutz in beschädigte Altröhre, vor allem aber als Innen- und Außenfolien der Liner selbst. Überall dort, wo die Folien in direkten Kontakt mit dem UP-Harz bzw. dem VE-Harz kommen, werden heutzutage Polyamid-Polyethylen-Folien oder Polyethylen-Polyamid-Polyethylen-Folien verwendet. Die typischen Schichtdicken dieser Folien liegen bei 80 bis 250 µm. Alternativ zum Polyamid kann in der Folie auch ein Polyurethan als Sperrschicht gegen Styrol verwendet werden. Oft sind GFK-Liner mit zwei Außenfolien ausgestattet: Einer Polyamid-Polyethylenfolie und einer weiteren, mechanisch stärkeren Schutzfolie, die bei UV-Linern zusätzlich dem Lichtschutz dient und die ggf. noch eine Reflexschicht tragen kann.

Somit liegt ein erheblicher Teil des Know Hows der Linerhersteller in der Materialauswahl, den Rezepturen und der Verfahrenstechnik. Die wichtigsten Aspekte betreffen:

- Auswahl und Abstimmung der Initiatoren.
- Auswahl und Abstimmung der sonstigen Rezepturbestandteile,
- Aufbau und Auswahl der Glasgelege,
- Auswahl der verschiedenen Folien sowie
- Technologie der Imprägnierung und Linerfertigung.
- Optimierung des Liners bzgl. Bogengängigkeit, Härtungsgeschwindigkeiten, Dichtigkeit, Handling auf der Baustelle usw.
- Ausarbeitung der Installationsvorgaben für die Baustelle

Härtungsverfahren

Nadelfilzliner sind fast immer mit thermischen Initiatoren ausgerüstet. In der Vergangenheit wurde nahezu ausschließlich mit warmem Wasser gehärtet, das auf etwa 80-85 °C aufgeheizt wurde. Das Wasser dient zunächst als Heizmedium und nach Einsetzen der exothermen Härtung auch als Kühlmedium – es moderierte somit die Härtungsreaktion. In den letz-

ten Jahren erfolgte die Härtung der Filzliner zunehmend mit Dampf (maximale Dampftemperatur etwa 110 bis 115 °C). Hierzu wurden die Initiatorrezepturen angepasst. Ziel dieser Maßnahmen war die Verkürzung der Härtungszeiten – sie betragen mit Warmwasser mehr als 24 Stunden und lassen sich mit Dampf auf einige Stunden reduzieren.

Zur Härtung mit UV-Licht verwendet man in der heutigen Praxis (noch) ausschließlich Quecksilberdampflampen (meist mit Eisen- oder Gallium dotiert, um die emittierten Banden länger wellig zu verschieben). Meist haben die Einzellampen eine Leistung von 400 W oder 1000 W. Neuere Systeme zur Lampensteuerung erlauben es zudem, die Lampenleistung gezielt für den jeweiligen Liner einzustellen.

Seit einigen Jahren erfolgen umfangreiche Entwicklungen mit UV-LEDs, z.B. mit den Emissionwellenlängen 365 nm oder 395 nm. Vorteilhaft ist u.a., dass diese Systeme kaltes UV-Licht liefern und somit die thermische Belastung der Innenfolie wie auch den Energiebedarf der Stromversorgungsanlage verringern. Zudem lassen sich aus LEDs maßgeschneiderte Beleuchtungsmodule aufbauen. Mit dem Markteintritt dieser Systeme ist in näherer Zukunft in solchen Anwendungen zu rechnen, bei denen hohe und höchste Strahlungsleistungen nicht erforderlich sind, denn diese werden den Quecksilberdampflampen noch längere Zeit vorbehalten bleiben.

Die Härtung mit UV-Licht weist eine Reihe von Vorteilen im Vergleich zu den thermischen Verfahren auf:

- Hohe Härtungsgeschwindigkeiten insbesondere bei kleinen und mittleren Wandstärken, so dass die Baustellen speziell bei kurzen Haltungen rasch abgewickelt werden können. So wurde z.B. die Kanalisation des Düsseldorfer Flughafens mit UV-Linern unter Nutzung der Nachtflugpause saniert.
- Spannungsarme Härtung des Liners. Die Härtung erfolgt von einem Ende zum anderen – daher kann ein erheblicher Teil des axialen Härtungsschwundes (in Längsrichtung des Liners) durch Dehnung bzw. „Heranziehen“ des noch nicht gehärteten Linerabschnitts ausgeglichen werden. Dies ist bei den thermischen Verfahren nicht möglich, da hier die Härtung an verschiedenen Stellen nahezu gleichzeitig beginnt.
- Relativ wenig Störung der Härtung durch sog. Unterbögen und Oberbögen. Bei der Warmwasserhärtung kann sich Luft in den sog. Oberbögen sammeln (Stellen an denen ein Rohr oder ein Rohrteil höher liegt als der Rest der Rohre) und dort die Wärmeübertra-

gung und damit die Härtung stören. Bei der Dampfhärtung gilt gleiches für Unterbögen, in denen sich kondensiertes Wasser sammelt, abkühlt und die Härtung behindert. Zu bemerken ist allerdings, dass die erfahrenen Installationsunternehmen im Bereich der thermischen Härtung eine Reihe von Arbeitstechniken entwickelt haben, mit denen sich die Problematik der Unter- bzw. Oberbögen meist entschärfen lässt.

- Die Baustellenabwicklung erfolgt im Wesentlichen mit einem LKW (sog. UV-Fahrzeug), auf dem die sog. UV-Anlage zur Stromversorgung und Lampensteuerung installiert ist.
- Bei der UV-Härtung rüstet man die Lampenkette regelmäßig mit einer Kamera aus, die man vor der Härtung durch den aufgestellten Liner zieht. Man prüft damit z.B. auf Faltenbildung und nimmt ggf. noch Korrekturen vor.
- Bei der UV-Härtung fallen keine Abwässer an, da man kein Medium für den Wärmetransport benötigt.
- Der mit Harz imprägnierte „reine“ UV-Liner ist vor der Installation bei Temperaturen bis etwa 30 °C mehrere Monate lagerstabil. Dies erleichtert u. a. den Export nach Übersee und die dortige Lagerhaltung. Demgegenüber sind die thermisch gehärteten Liner vor der Installation auf eine durchgehende Kühlkette (bei 0 bis 15 °C) angewiesen und im Regelfall nicht mehr als 3 Wochen lagerfähig.

Vor dem Hintergrund all dieser Fakten ist die UV-Licht-Härtung in den letzten Jahren zum bevorzugten Verfahren geworden; sie weist eine höhere Wachstumsrate als die übrigen Härtungstechnologien auf.

Resultierende Werkstoffeigenschaften

Ein kurzer Blick auf die mechanischen Eigenschaften: Synthesefaserliner erreichen – je nach Füllstoff und Füllstoffgehalt – E-Moduln von 3500-4000 N/mm², wobei der Quantilwert bei 2800 N/mm² liegt; der Abminderungsfaktor beträgt etwa 2. Die Biegefestigkeit liegt üblicherweise bei etwa 36-38 N/mm², die Kriechneigung nach 24 h bei 8-12 %.

Bei GFK-Linern können die mechanischen Werte verschiedener Hersteller nur verglichen werden, wenn die Werte für den Glasgehalt hinreichend ähnlich sind:

- GFK-Liner mit etwa 35 Gew.-% Glas erreichen E-Moduln von mindestens 7000 N/mm² bei einem Abminderungsfaktor von

etwa 1,8; die Biegefestigkeit liegt bei mindestens 60 N/mm², die Kriechneigung nach 24 h bei 6-7 %.

- GFK-Liner mit etwa 48 Gew.-% Glas erreichen E-Moduln von mindestens 12000 N/mm² bei einem Abminderungsfaktor von 1,35; die Biegefestigkeit beträgt bei Radialverstärkung mindestens 250 N/mm², die Kriechneigung nach 24 h etwa 4,4 %.

Qualitätssicherung

Modernes Relining wird von umfangreicher Qualitätssicherung auf allen Stufen begleitet, und zwar

- bei den Rohstoffen des Liners (Glasfasern oder Gelege, Harze, Füllstoffe, Folien, Vliese und Hilfsstoffe),
- während Fabrikation (Eindickung, Flächengewichte, Glasgehalte, ...)
- sowie am fertigen Liner (Linerlänge, Wandstärke, Flächengewichte, Härungsverhalten, Ringsteifigkeit, E-Modul, Barcolhärte, Dichtigkeit, visuelle Beurteilung, ...).

Hinzu kommen die branchenüblichen Prüfungen nach der Installation.

Aktuelle Aspekte bei Forschung und Entwicklung

Die Anstrengungen bei F&E dienen in allen Unternehmen überwiegend der laufenden Detailverbesserung von Produkt und Verfahren. Dazu gehören (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) folgende Punkte:

- Erhöhung der Härtungsgeschwindigkeiten und Beschleunigung der Baustellenabwicklung,
- Verbesserung der Handhabung auf der Baustelle und Erleichterung des Einbaus,

- Verbesserung der Dichtigkeit der Liner,
- Verbesserung der Zuverlässigkeit der verwendeten Folien und
- Steigerung des Preis-Leistungs-Verhältnisses.

Darüber hinaus gibt es aus Sicht des Autors mehrere strategische F&E-Aufgaben, die auf Grund ihrer Komplexität nur langfristig lösbar sind und die sich ggf. für die industrielle Gemeinschaftsforschung – also unternehmensübergreifend – eignen könnten. Hier seien (ebenfalls ohne Anspruch auf Vollständigkeit) folgende Themen und Herausforderungen genannt:

- Beim Synthesefaserliner weist das tragende Laminat i. Allg. eine Vielzahl von Haarrissen auf, was Folge der axialen Spannungen bei der Härtung und der fehlenden Verstärkungswirkung des Filzes ist. Nach der Einführung der Dampfhärtung trat dieses Problem zunächst verstärkt auf; es konnte jedoch durch Rezeptur- und Prozessoptimierung wieder deutlich entschärft werden.
- Die UV-gehärteten Liner werden innen und in der Mitte des Laminates technisch einwandfrei gehärtet, nicht aber an ihrer äußeren Oberfläche. Denn dort kommt wenig Licht an, dort wirkt das Altrohr kühlend und dort kann Luftsauerstoff auf die radikalische Härtung inhibierend wirken, wenn Luft über eine Falte in der Außenfolie zutritt.
- Für die Einbindung der Hausanschlüsse sind EP-Harze wegen ihrer exzellenten Klebeeigenschaften unverzichtbar. Zwei Systemchwächen wurden aber noch nicht überwunden: die bereits angesprochene Allergieproblematik sowie die Tatsache, dass die Lebensdauer bzw. die Haltbarkeit dieser Einbindungen im Allgemeinen deutlich geringer ist als die der installierten Liner.

Aufwand, Nutzen, Kosten und Preise

Moderne Liner sind hoch entwickelte, reife Bauprodukte! Die Linerbranche trägt seit 35 Jahren maßgeblich zur Vereinfachung, zur Zeitersparnis und zur Kostensenkung im Bereich der Kanalsanierung bei.

Die Branche konnte in dieser Zeit zahlreiche Innovationen aus eigener Kraft realisieren. Zudem griff die Branche eine Reihe von Innovationen aus Zulieferindustrien sehr frühzeitig auf und setzte sie in neuen marktfähigen Linern ein: Dazu zählten u.a. die Acylphosphinoxid-Fotoinitiatoren sowie die anisotrop dehnbaren Glasgelege.

Vor diesem Hintergrund sollte allen Beteiligten – Auftraggebern, Ingenieurbüros, Auftragnehmern, Linerherstellern und Vorlieferanten – bewusst sein, dass es Qualität, Produkt- und Verfahrensoptimierung sowie Innovation von Seiten ihrer (jeweiligen) Lieferanten nicht umsonst geben kann! Wer zu Schleuderpreisen einkaufen will bzw. seinen Lieferanten nur Minimargen zugestehen will, kann auf Dauer weder Qualität, noch Optimierung oder gar Innovation erwarten. Denn: Mit den Erlösen bzw. Margen von Heute müssen die Fortschritte für Morgen finanziert werden!!

Betrachtet man die gesamte Lieferkette in Bezug auf Marge, so sind es sicherlich die installierenden Bauunternehmen am Ende dieser Kette, die mit dem stärksten Wettbewerbsdruck konfrontiert werden. Sie haben daher oft Mühe, jene Margen zu erzielen, die erforderlich sind, um hinreichende Vorleistungen für neue Geräte und Ausrüstung, für Qualität und Optimierung sowie für Mitarbeiterschulung zu erbringen ... dabei bestimmt die Leistung auf der Baustelle die resultierende Qualität ganz entscheidend! ■