

ströme einer PBR-Anlage, einer konventionellen Biogasanlage und eines Blockheizkraftwerkes elegant in einem Kreislauf gekoppelt. Entstehende Abgase werden direkt wieder als Betriebsgas für den PBR genutzt; „Motor“ ist die Sonne.

- b) Direkte Nutzung von Mikroalgenkonzentraten als Futter in der Fischzucht.
- c) Düngemittelproduktion auf Basis von Mikroalgen.
- d) Effiziente Produktion von Feinchemikalien, Wirkstoffen, Nahrungsergänzungsmitteln sowie bestimmten Naturstoffen (z.B. Omega3-Fettsäuren, Beta-Carotin, Astaxanthin).
- e) Kopplung einer Algenfarm an großtechnische CO<sub>2</sub>-Erzeuger (z.B. Kraftwerke, Zementfabriken) zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in die Atmosphäre.
- f) Abwasserreinigung.
- g) Kombination der Algentechnologie mit der bereits existierenden Gewächshausindustrie zur besseren ganzjährigen Nutzung der vorhandenen Infrastruktur.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der kommerziell interessante Einsatz der Erzeugung von Biomasse auf der Basis von Mikroalgen gerade erst begonnen hat; hierbei sind viele the-

oretisch erkannte Bereiche der unterschiedlichen Wertschöpfungsketten noch nicht komplett entwickelt. Mit einer jetzt kommerziell verfügbaren Materialbasis eines speziell angepassten transparenten PVC und einem sehr Energie-effizienten Rohrreaktor-konzept neuester Generation öffnen sich jedoch die Türen ein ganz großes Stück für die Nutzung dieser Technik zur Ackerboden-unabhängigen Erzeugung von Biomasse. Ein wichtiger Beitrag zur zukünftigen Sicherung des globalen Energie- und Nahrungsbedarfs ist damit ganz sicher geliefert.

## 6. Literaturverweise

- 1) Pressemitteilung, Process Online 2 / 2011
- 2) R. Lisker; Project presentation SAG; July 2012; TH-Berlin Wildau
- 3) C. Posten, Eng. Life Sci., 2009, 9 (3), 165
- 4) R. Wijffels, „An outlook on microalgal biofuels“; Science, 329; 796; 2010
- 5) E. Roebroek, Presentation at HortiFair, Amsterdam; November 2011
- 6) M. Tredici, Presentation at Algae World Europe; Munich, May 201

## PE 100 –

### Das Material der Wahl für Rohre im längsten Eisenbahntunnel der Welt, dem Gotthard Basistunnel in der Schweiz

*Dipl.-Ing. Thomas Böhm, Basell Polyolefine GmbH, Frankfurt/M., Armin Streng, Streng Plastic AG, Niederhasli-Zürich, Dipl.-Ing. Jochen Henke, GERODUR MPM Kunststoffverarbeitung GmbH & Co.KG, Neustadt*

#### Einleitung

Seit mehr als 50 Jahren haben sich Rohrleitungssysteme aus Polyethylen in den Bereichen der Gas- und Wasserversorgung, dem Anlagenbau und der Abwasserentsorgung bewährt. Bei der Verlegung in schwierigem Gelände und dem Betrieb unter extremen klimatischen Verhältnissen sind Qualität und Sicherheit ganz entscheidende Erfolgsfaktoren. Die modernen multimodalen Rohrwerkstoffe der Leistungsklasse PE 100 dringen seit Jahren immer weiter in Anwendungsbereiche vor, in denen bisher Stahl- und Betonrohrleitungen zum Einsatz kamen [1].

Nachfolgend ein solches Beispiel aus der Schweiz, wo die Arbeitsgemeinschaft Gotthard Basis Tunnel Nord (AGN) in Zusammenarbeit

mit Rohrherstellern, Verlegefirmen, Landschaftsarchitekten und Umweltplanern für den nördlichsten Bauabschnitt des Gotthard Basistunnels Rohre aus PE-HD für die Entwässerung, die Versorgungsleitungen und die Gewölbedrainage auswählte. Im Auftrag der Alptransit Gotthard AG (ATG) wurden im Jahrhundertbauwerk auf einer Länge von ca. 18,2 km zwischen den Orten Erstfeld und Amsteg Rohre in den unterschiedlichsten Abmessungen aus multimodalem PE 100 Werkstoff der LyondellBasell verlegt.

Am Produktionsstandort Wesseling am Rhein werden in einer mehrstufig arbeitenden Polymerisationsanlage nach dem ACP-Prozess verschiedene multimodale PE-HD-Werkstoffe als Rohrwerkstoff der dritten Generation hergestellt [2].

## Gotthard Basistunnel –

### Die wichtigste Bahnlinie im gesamten Alpenraum

Immer mehr Personen und Güter queren seit Jahrzehnten die Alpen. Sowohl der Straßentunnel als auch die Bahnstrecke können seit Beginn des neuen Jahrtausends das stetig wachsende Verkehrsaufkommen nicht mehr bewältigen. Das Problem der Bahn ist die Trassenführung zwischen den Orten Erstfeld und Biasca. Aufgrund der schwierigen Streckenführung kann aus Sicherheitsgründen die Taktfrequenz der Züge nicht mehr erhöht werden.

In Kombination mit dem Zimmerberg- und Ceneri-Basistunnel verkürzt sich durch den Bau des Gotthard-Basistunnels im Personenverkehr auf der Strecke Zürich – Gotthard - Mailand die Reisezeit um 1 h 40 min auf nur noch 2 h 40 min. Im Güterverkehr könnte das zulässige Gewicht der Züge von 2000 t auf 4000 t verdoppelt werden. Die Kapazität würde sich auf 200 Züge pro Tag erhöhen. Die schnellsten Güterzüge werden mit 160 km/h fahren, doppelt so schnell wie heute [3]. Bürger und Umweltverbände fordern zudem immer mehr eine Verlagerung des Schwerlastverkehrs von der Straße auf die Bahn. Mit dieser Maßnahme will die Schweiz auch ihren Beitrag zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in der Alpenregion leisten.

Um diese Ziele zu erreichen, begann man 1992 mit den Planungen für den Gotthard Basistunnel - der ein Teil der Neuen Eisenbahn-Alpentransversalen (NEAT) in der Schweiz ist [3].

### Mit Hochgeschwindigkeit in Richtung Europa [3]

Mit den Neuen Eisenbahn-Alpentransversalen (NEAT) hält der Hochgeschwindigkeitsverkehr Einzug in der Schweiz. Die wachsenden Wirtschaftszentren beidseits der Alpen rücken dank der zukunftsgerichteten Bahnverbindung näher zusammen – die Flachbahn am Gotthard schafft neue Perspektiven für den Bahnverkehr durch die Alpen. NEAT ist eines der 30 wichtigsten von

der EU geförderten Projekte zum Ausbau des transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-T). Die Projekte reichen von Skandinavien bis Portugal und von Griechenland bis Großbritannien. Ein Teil von ihnen ist bereits abgeschlossen, die Übrigen befinden sich in der Bau- oder der Planungsphase

Der Gedanke, einen Gotthard-Basistunnel zu bauen, ist nicht neu: Eine erste Idee wurde bereits 1947 vorgelegt. Im Jahr 1962 wurden erste Studien zum Tunnelbau erarbeitet. Die Annahme der Vorlagen zu den Neuen Eisenbahn-Alpentransversalen (NEAT) 1992 bildete die Planungsgrundlage. Dreißig Jahre nach den ersten Studien genehmigte 1995 der Bundesrat in Bern die Linienführung der 5 Teilstücke des Gotthard-Basistunnels für ein Tunnelsystem mit zwei Einspurröhren.

Die Röhren werden einen Durchmesser von 9 bis 10 m aufweisen und liegen rund 40 m weit auseinander. Sie sind durch so genannte Querschläge ca. alle 325 m miteinander verbunden. Durch zwei doppelte Spurwechsel können die Züge von einer Röhre in die andere wechseln – dies kann bei Erhaltungsarbeiten oder im Ereignisfall notwendig sein. Die Spurwechsel befinden sich in den Multifunktionsstellen Sedrun und Faido. Hier liegen auch Teile der Lüftungsinstallationen, die Technikräume mit den Sicherungs- und Schaltanlagen sowie zwei Nothaltestellen, welche über separate Stollen direkt miteinander verbunden sind. Die Bauarbeiten erstreckten sich in der Region von Erstfeld im Kanton Uri bis Pollegio (Biasca) im Tessin, einem Ort 10 km nördlich von Bellinzona.

Das Schweizer Volk hat am 29. November 1998 die Vorlage über den Bau und die Finanzierung der Infrastruktur des öffentlichen Bahnverkehrs angenommen. Das Modernisierungspaket umfasst ca. 30 Milliarden Franken, wovon rund die Hälfte auf Realisierung der neuen Alpentransversalen entfällt. Die Finanzierung der Projekte erfolgt über einen Fond, der aus Mitteln der Mineralölsteuer, der Schwerverkehrabgabe sowie einem Mehrwertsteuerpromille gespeist wird. Am 15. Oktober 2010 - fast 50 Jahre nach den ersten Projektstudien - erfolgte offiziell der Tunneldurchstich auf der Höhe von Sedrun. Im Jahr 2015 soll der mit 57 km längste Eisenbahntunnel der Welt seinen Betrieb aufnehmen.

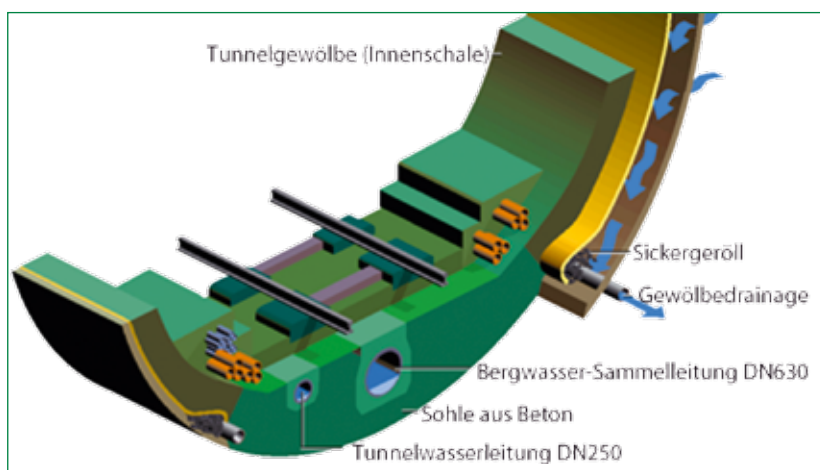


Abbildung 1: Wasserhaltungskonzept des Gotthard-Basistunnels

## Anforderungen an das Rohrleitungssystem im Gotthard-Basistunnel

Das Wasserhaltungskonzept beim Gotthard-Basistunnel sieht vor, das anfallende Bergwasser via Flächendrainage und **Gewölbedrainage** in die Bergwassersammelleitung einzuleiten sind, um so den direkten Bergwassereintritt in den Tunnel mit einer Abdichtungsfolie zu verhindern. Das dazu notwendige Leitungssystem wurde mit Rohren aus Polyethylen ausgeführt. Das System erfüllte die Nutzungsanforderungen der Tunnelingenieure und verhindert gleichzeitig den Aufbau eines Bergwasserdrucks. Zwischen der Ausbruchsicherung und der Abdichtungsfolie aus Kunststoff, die die Beton-Innenschale vor Wassereintrüben schützt, liegt die Gewölbedrainage. Diese Drainagerohre, hergestellt aus mehrfach geschlitzten Glattrohren sind wiederum über eine Querverbindung mit der Bergwassersammelleitung verbunden. Für die **Querverbindungen** wurden Kanalrohre in PE 100 Qualität verwendet. In der Mitte der Tunnelsohle befindet sich die **Bergwassersammelleitung**, die das anfallende Bergwasser aus der Gewölbedrainage sammelt und aus dem Tunnel befördert. Die **Tunnelwasserleitung** schließlich sammelt und entsorgt das im Tunnelinnern anfallende (Kondens-, Lösch-, übriges) Wasser, welches aus Umweltschutzüberlegungen nicht mit dem Bergwasser vermischt werden darf.

Folgendes Anforderungsprofil lag für die Rohrleitungssysteme vor:

- ▶ Die Nennweiten der Rohre sind so zu bemessen, dass die Ableitung des Wassers aus dem Berg gewährleistet wird und die Schienen nicht überflutet werden
- ▶ Die unterirdischen Rohrleitungen beinhalten Sonderbauteile wie Abzweigungen, Wandeinbindungen und Reduktionen
- ▶ Betriebstemperaturen: 20 bis 50 °C
- ▶ Zulässiger Betriebsdruck/Systemdruck: max. 1,5 bar
- ▶ Nutzungsdauer: 100 Jahre
- ▶ Ablagerungen von Materialien durch das Bergwasser werden mit Kettenschleudern und/oder mit Hochdruck gereinigt, max. 180 bar.

Hinzu kommt, dass die Rohrleitungen das Ableiten des aggressiven Bergwassers gewährleisten müssen und nicht versintern dürfen. Unter aggressivem Bergwasser versteht man chlorid- oder sulfathaltiges Wasser, welches die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit der eingesetzten Baumaterialien vermindern kann.

Die Versinterung der Rohrleitung erfolgt, wenn sich ein im Wasser gelöster Stoff (bei Drainageleitungen ist es in der Regel der Kalk) durch chemisches Ausfällen absetzt und Mineralien bildet, die sich an der Rohrwand ablagern. Durch diese Versinterung nimmt der Querschnitt mit der Zeit ab: Eine Verstopfung der Eintrittsöffnungen der Drainagen und/oder der Rohrleitung ist die Folge.

## Kunststoff-Schweißtechnik

Vertrauen Sie auf Erfahrung die Ihresgleichen sucht!



Moderne Kunststoffschweißmaschinen und Trenntechnik zum rationellen Verschweißen und Trennen von Rohren bis DA 2500 mm, sowie Tafeln und Formteilen. Sonderschweißmaschinen für Serienteile aus Polyolefinen auf Kundenwunsch.



Kunststoffschweißtechnik

Wir stellen aus  
Wasser Berlin  
Halle 3.2 Stand 113



SEIT  
1946

**Qualität**

**Innovation**

**Service weltweit**

WIDOS  
Wilhelm Dommer Söhne GmbH  
Einsteinstraße 5  
D-71254 Ditzingen-Heimerdingen  
Telefon +49 (0) 71 52 / 99 39-0  
Telefax +49 (0) 71 52 / 99 39 40  
www.widos.de · info@widos.de

## Auswahl des Rohrwerkstoffes

Ursprünglich sah die Planung für die Gewölbedrainage, die Bergwassersammelleitung und die Tunnelwasserleitung als Rohrwerkstoff Beton und Steinzeug vor. Die wirtschaftlichen und technischen Vorzüge von Rohrsystemen aus PE 100 im Versorgungsbereich waren der Alptransit Gotthard AG als Erbauerin der Tunnelanlage und den beteiligten Ingenieurbüros bekannt. So wurde das Kunststoffrohr in der Ausschreibung neben Beton und Steinzeug als Grundposition aufgenommen.

## PE 100 - Idealer Werkstoff für dieses Projekt

Die im Vorfeld geleistete anwendungstechnische Unterstützung durch die beiden Rohrhersteller GERODUR MPM Kunststoffverarbeitung GmbH und Streng Plastic AG sowie die vsa/SVGW-Zulassung des Werkstoffes für die Schweiz im Bereich der Ver- und Entsorgung waren maßgebliche Gründe, bei diesem Projekt Rohre und Formteile aus Hostalen CRP 100 black einzusetzen.

Berücksichtigung fand bei der Materialauswahl auch das vom Auftraggeber vorgegebene, strengere Anforderungsprofil (z.B. die Temperaturbelastung) an die Rohrleitungen. Überwachungsprüfungen in Zusammenarbeit mit der MPA Leipzig an den Kanalrohren gemäß den Vorgaben des Auftraggebers führten beim Rohr- und Fittinghersteller zur Entscheidung, PE 100-Materialien der neuesten Generation einzusetzen. Kontrollprüfungen jeder Lieferung durch das Süddeutsche Kunststoffzentrum Würzburg bestätigten ohne Ausnahme die hervorragende Qualität der gelieferten Kanalrohre.

Die wirtschaftlichen und technischen Vorzüge von PE-HD-Rohren zum Transport von Wasser und Medien haben beide Rohrhersteller, den Generalunternehmer und die Bauherrschaft des Tunnels überzeugt. Hinzu kommt eine über 35 jährige Erfahrung der Rohrhersteller mit PE-HD-Rohrwerkstoffen.

## Wirtschaftlichkeit und technische Aspekte von PE 100

Druckrohre und Formteile aus PE 100 bieten durch ihr relativ niedriges spezifisches Gewicht von  $0,959 \text{ g/cm}^3$  deutliche Vorteile in der Handhabung und Verlegung vor Ort. Dies wirkt sich positiv auf die anfallenden Einbaukosten aus. Extrudierte Rohre in verschiedenen Nennweiten sind durch ein flexibles Produktionsverfahren kostengünstig herstellbar. Um die Installationskosten vor Ort zu verringern, hatten die Rohrstangen der Dimension 630 mm eine Länge von 12 Metern. Jeweils 12 Rohre werden auf einem Tief-lader an die Baustelle in der Nähe des Tunnelleingangs gebracht.



Bild 2: Rohrstangen aus PE 100, Durchmesser 630 x 19,3 mm auf dem Lagerplatz in Amsteg, Hersteller GERODUR MPM, Neustadt, Tochterunternehmen der HakaGerodur AG, Gossau/Benken (CH)

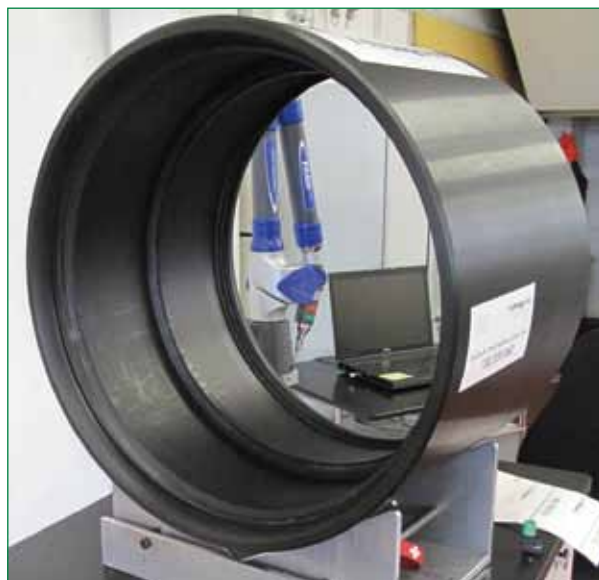


Bild 3: Muffe aus PE 100, Durchmesser 630 mm, im Prüflabor; Hersteller Streng Plastic, Niederhasli (CH)

Das Gesamtgewicht der in diesem Projektabschnitt verlegten Rohre wird sich auf ca. 600 t Tonnen belaufen. Die insgesamt in den Gotthard-Basistunnel verbaute Menge von PE-Rohre dürfte sich einschließlich der übrigen Rohrtypen in der Größe von 12.000 Tonnen bewegen.

Technische Vorteile von Rohrsystemen aus PE 100 sind im Besonderen die gute chemische Widerstandsfähigkeit, die hohe Betriebssicherheit, die geringe Neigung zu Verkrustungen und Spannungsrissen, das deutlich günstigere Abriebverhalten im Vergleich zu metallischen Rohrwerkstoffen (nach dem Darmstädter Verfahren) sowie die Schweißbarkeit, die eine dauerhafte Dichtigkeit des Systems gewährleistet. Unter Umweltgesichtspunkten ist die geringe

benötigte Energiemenge zur Herstellung von Rohren aus PE 100 sowie die Möglichkeit des Recycling zu nennen [1].

### Nachweis der Langzeitfestigkeit

Rohrsysteme aus PE 80 und PE 100 haben sich durch ihre Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit für den Transport von Gas, Wasser, Abwasser und grundwassergefährdenden Medien seit Jahrzehnten bewährt.

Inzwischen steht mit der ISO 9080 eine internationale Norm für thermoplastische Kunststoffe zur Verfügung, die ein Extrapolationsverfahren beschreibt, mit dessen Hilfe wissenschaftlich fundierte Aussagen zur Langzeitfestigkeit von thermoplastischen Rohrwerkstoffen gemacht werden können. Dieses Extrapolationsverfahren hat im Herbst 2006 eine überzeugende Bestätigung erfahren. Im Oktober 1956 eingebaute Rohrproben aus Labormengen der früheren Hoechst AG in Frankfurt haben bei 20 °C dem Innendruck bis heute standgehalten und damit die Richtigkeit des Arrhenius-Ansatzes bestätigt [4].

### Wahl der Rohrabmessungen

Umfangreiche Berechnungen führten zur Wahl folgender Rohrdimensionen:

- ▶ Bergwassersammelleitung:  
PE 100; DN 630, SDR 33  
Das Rohrende wurde zur Reduzierung der Ovalität mit einem Stopfen verschlossen.
- ▶ Tunnelwasserleitung:  
PE 100; DN 250 mm, SDR 33
- ▶ Gewölbedrainage:  
PE 100; DN 200, SDR 33

Dazu kommt eine Reihe von Kabelschutzrohren, Antennenrohren, Chemikalienrohren, um alle Notwendigkeiten des Tunnelsystems abzudecken.

Bis zum Abschluss des Projekts werden für die Bergwasserleitung im genannten Bauabschnitt Rohre von insgesamt 15.000 Meter mit einem Durchmesser von 630 x 19,3 mm und circa 2.500 Muffen der Dimension 630 hergestellt.

### Rohrverbindungstechnik

Die Bergwasserleitung (DN 630 x 19,3 mm) und die Gewölbedrainage wurden als Stecksystem realisiert. Die Rohre der Tunnelwasserleitung sollten mit Doppelsteckmuffen miteinander verbunden

werden. Die Muffen für die Bergwassersammelleitung wurden spannend aus größeren Rohren hergestellt, die der Gewölbedrainage im Spritzgussverfahren. Für beide Rohrsysteme erfolgte zur Erhöhung der Verlegegeschwindigkeit im Tunnel schon im Rohrwerk die Montage von Rohr und Muffe.

### Verlegen der Rohre am Beispiel der Bergwasser-Sammelleitung

Die Kanalrohre wurden auf Paletten außerhalb des Tunnels zwischengelagert und später mit einer extra dafür aufgebauten Tunnelbahn in das Bauwerk eingebracht. Die Wagons waren mit einer speziellen Hebeteknik ausgerüstet, um die 12 Meter langen Rohrstangen kostengünstig verlegen zu können. Die Besonderheit der Bergwassersammelleitung ist, dass jedes Rohr im Scheitel alle 50 cm mit einer Bohrung versehen ist. Diese Löcher gewährleisteten auch den Abfluss von dem Wasser, das sich durch den Bergwasserdruck in den Hohlräumen zwischen den Kunststoffrohren und dem Beton ansammeln kann. Wären die Rohre geschlossen, so würde der Außendruck das Rohr unweigerlich einbeulen. Entsprechende (schlechte) Erfahrungen in anderen Alpentunnels können mit dieser einfachen Methode vermieden werden.

### Ausblick

Rohre und Formteile aus PE 100 haben sich bei der Entwässerung von Tunnelbauwerken seit Jahren bewährt. Das Gotthardprojekt zeigt eindeutig, dass Technik, Preis und Umweltgedanke mit gutem Engineering in Einklang zu bringen sind. Aufgrund der positiven Erfahrung, die der Tunnelbetreiber bei diesem Projekt mit allen Beteiligten machte, sollen Rohre aus PE 100 bei den noch ausstehenden Tunnelprojekten in der Schweiz zum Einsatz kommen.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich recht herzlich bei den beteiligten Firmen für die Bereitstellung von Photos, Abbildungen und Informationen.

### Literaturhinweise

- [1] Merry, Böhm: Großrohre aus PE 100 für die Trinkwasserversorgung der schottischen Metropole Glasgow, PE 100 Buch, 3. Auflage, 2009.
- [3] Schulte: Optimiced Properties, PE-HD for pipe extrusion, Kunststoffe International 1/2006
- [3] AlpTransit Gotthard AG: [www.alptransit.ch](http://www.alptransit.ch), Info Broschüre „Die neue Gotthard Bahn“
- [4] Vaarala, Böhm: Seawater for the heat-pump plant, KWH LyondellBasell, Project Report, 2008.