

# adhäsion

**KLEBEN &  
DICHTEN**

DAS FACHMAGAZIN FÜR INDUSTRIELLE KLEB- UND DICHTTECHNIK

**SOLARKRAFTWERK:**

Geklebte Fresnel-Kollektoren auf dem Prüfstand

**PU-KLEBFILME:**

Latent reaktiv und lagerfähig

**MARKTÜBERSICHT:**

Die Hersteller von Reaktionsklebstoffen für die Elektronik

## Flüssiggastransport per Tanker

Wirtschaftlich und sicher dank Plasmavorbehandlung



KLEBTECHNIKEINSATZ IN GIGANTISCHEN FLÜSSIGGASTANKERN

# Sicherer LNG-Transport dank richtiger Vorbehandlung

Am Beispiel des Erdgastransportes per Tanker aus fernen Förderländern lässt sich einmal mehr eindrucksvoll verdeutlichen, welcher Nutzen – sowohl wirtschaftlich als auch sicherheitstechnisch – sich durch den Einsatz der modernen Klebtechnik erzielen lässt. Wenn die derzeit weltweit größten Flüssiggastanker auf den Weltmeeren kreuzen, haben sowohl atmosphärisches Plasma und Klebstoffe als auch eine sehr gute deutsch-französische Zusammenarbeit dazu einen entscheidenden Beitrag geleistet.



Bild 1: Verflüssigtes Erdgas LNG (liquified natural gas) wird heute zunehmend bei  $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$  drucklos mit speziellen Tankschiffen transportiert.

(Foto: Rolf Müller-Wondorf)

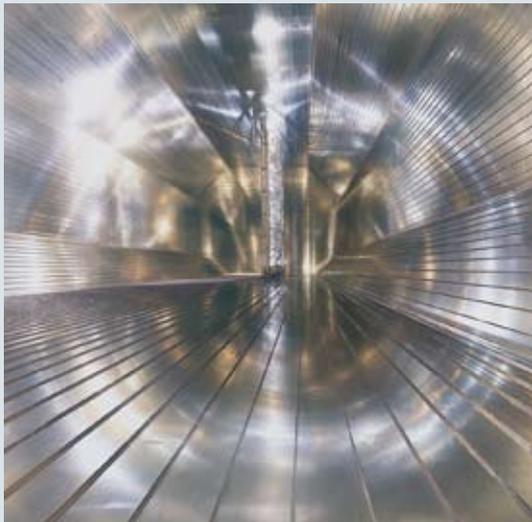
INÈS A. MELAMIES

**T**rotz vermehrten Einsatzes regenerativer Energien aus Sonne, Wind und Wasser wächst auch die wirtschaftliche Bedeutung von Erdgas für die Brennstoffnutzung in Haushaltungen, Industrie und Gewerbe. Erdgas gilt im Vergleich zu anderen fossilen Energieträgern aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften als relativ umweltfreundlich. Es bein-

haltet kaum schadstoffbildende Substanzen wie Schwefel, Fluor oder Chlor, und auch der Ausstoß bzw. die Freisetzung von Stickoxiden und Schwefeldioxid ist gering.

Der Transport von Erdgas aus den verschiedensten Förderländern erfolgt zum größten Teil unter einem Druck von 65 bis 70 bar weitläufig über Pipelines. Wenn aber aufgrund zu großer Entfernungen ein wirtschaftlicher Transport per Pipeline-Netz nicht mehr möglich

ist, werden spezielle Tankschiffe eingesetzt (Bild 1). Um Erdgas per Schiff transportieren zu können, wird dieser Energieträger in den weit entfernten Förderländern zunächst in Verflüssigungsanlagen auf minus  $163\text{ }^{\circ}\text{C}$  abgekühlt. Auf diese Weise lässt sich das Ursprungsvolumen auf 1/600 verkleinern. Am Ziel erfolgt dann die Regasifizierung des Flüssiggases und die Einspeisung in das Erdgasnetz des Verbraucherlandes.



**Bild 2:** Für die Tankerisolierung wurde erstmals die Isolationstechnik CS1 eingesetzt, die es ermöglicht, die Zusammensetzung der Isolierschichten und deren Dicke so zu reduzieren, dass sich die Tankerkapazität um 8000 m<sup>3</sup> erhöht.

(Foto: Yves Guillotin)

## LNG (Liquified Natural Gas)

- Erdgas stammt aus unterirdischen Erdgasvorkommen, die im Laufe von Jahrtausenden durch die Vergärung von Pflanzen und kleinsten Lebewesen entstanden sind.
- Erdgas ist leichter als Luft und brennt bei einem Gasanteil von 5 bis 15 Prozent in der Luft. Zur Zündung ist eine Temperatur von 650 °C nötig.
- Erdgas ist bis zu einer Temperatur von -162 °C gasförmig, bei tieferen Temperaturen wird es flüssig (LNG: Liquefield Natural Gas) und verringert sein Volumen um den Faktor 600.
- Verflüssigtes Erdgas LNG (liquified natural gas) wird heute zunehmend bei -163 °C drucklos mit speziellen Tankschiffen transportiert.
- Am Zielhafen erfolgt zunächst die Einlagerung des Flüssiggases in Speicherbehältern. Um es ins Leitungsnetz einspeisen zu können, wird es durch Erwärmung wieder in den gasförmigen Zustand versetzt.

## Der Auftrag

Die traditionsreiche Werft „Les Chantiers de l'Atlantique“ (heute umbenannt in „Aker Yards“) im französischen St. Nazaire, die berühmte Schiffe wie die „Ile de France“ und das größte Kreuzfahrtschiff der Welt, die „Queen Mary 2“, baute, erhielt Ende 2003 vom Energieriesen Gaz de France den Auftrag zum Bau von drei LNG (Liquified Natural Gas)-Membrantankern: die Energy sowie die beiden Schwesterschiffe Provalys und Gaselys, wobei die beiden letzteren – bei 300 m Länge, 42 m Breite und 50 m Höhe – die größten Flüssiggastanker der Welt werden sollten.

Die technischen Anforderungen sind hoch: So sollte zum einen möglichst wenig

Erdgas während des Transports verdampfen, zum anderen darf die Stahlstruktur des Schiffes nicht mit dem verflüssigten kalten Erdgas in Berührung kommen, um eine Versprödung und damit Zerstörung des aus normalem Baustahl bestehenden Schiffskörpers zu verhindern.

Damit dies nicht passieren kann, bedarf es einer mit Hilfe der Klebtechnik aufgetragenen speziellen Isolierung im Tankinneren, die zuverlässig dicht sein muss, d. h. auch bei den niedrigen Temperaturen von -163 °C nicht versagt.

## Die Aufgabe

Für die Tankerisolierung sollte erstmals die neue, von GTT (Gaztransport Techni-gaz) entwickelte Isolationstechnik CS1

eingesetzt werden, die es ermöglicht, die Zusammensetzung der Isolierschichten und deren Dicke so zu reduzieren, dass die Tankerkapazität um 8000 m<sup>3</sup> gesteigert werden kann (Bild 2).

Dabei galt es, eine absolute Dichtigkeit bei der Verklebung der neuen Isolations-Verbundplatten direkt auf die innere Schiffswandung zu gewährleisten.

Um nun allen gestellten Anforderungen gerecht zu werden, kaufte Aker Yards im Frühjahr 2005 – nach umfangreichen Tests anderer Systeme – für rund eine Million Euro zwanzig robotergesteuerte Atmosphärendruckplasma-Anlagen des Unternehmens Plasmatreat zur mikrofeinen Reinigung, Aktivierung und Beschichtung der Materialoberflächen.

Die Membrantanker Provalys und Gaselys besitzen vier einzelne Tanks mit einem Gesamtladevolumen von 153.500 m<sup>3</sup>. Die von GTT entwickelten Membransysteme sind nicht selbsttragend, die Doppelhülle des Schiffsrumpfes bildet die eigentlich tragende Tankstruktur. Die Ladetanks sind der Schiffsform weitgehend angepasst und in den Rumpf integriert. Zwei so genannte Barrieren (Membranschichten) dienen der Dichtigkeit und Sicherheit.

Die neue CS1 Isolationsschicht ist aus den folgenden vier Ebenen aufgebaut (Bild 3):

- 1. Sperre: Die innere, undurchlässige Metallmembran bildet den eigentlichen Ladungsbehälter, steht also in direktem Kontakt mit dem Flüssiggas. Diese erste Sperre besteht aus einem 0,7 mm starken Invar-Stahl, einer Legierung mit einem sehr geringen Temperatur-Ausdehnungskoeffizienten.
- Dahinter liegt eine Isolierschicht aus Sperrholz und einem 10 cm dicken Polyurethan-Schaumstoff.
- 2. Sperre: Es folgt eine dünne „Triplex“-Platte – eine Besonderheit der CS1 Technologie, denn bisher wurde bei Membrantankern auch die zweite Sperre aus Invar-Stahl hergestellt. Die neue Platte besteht aus zwei äußeren Glasfaserkomponenten und einer dazwischen liegenden

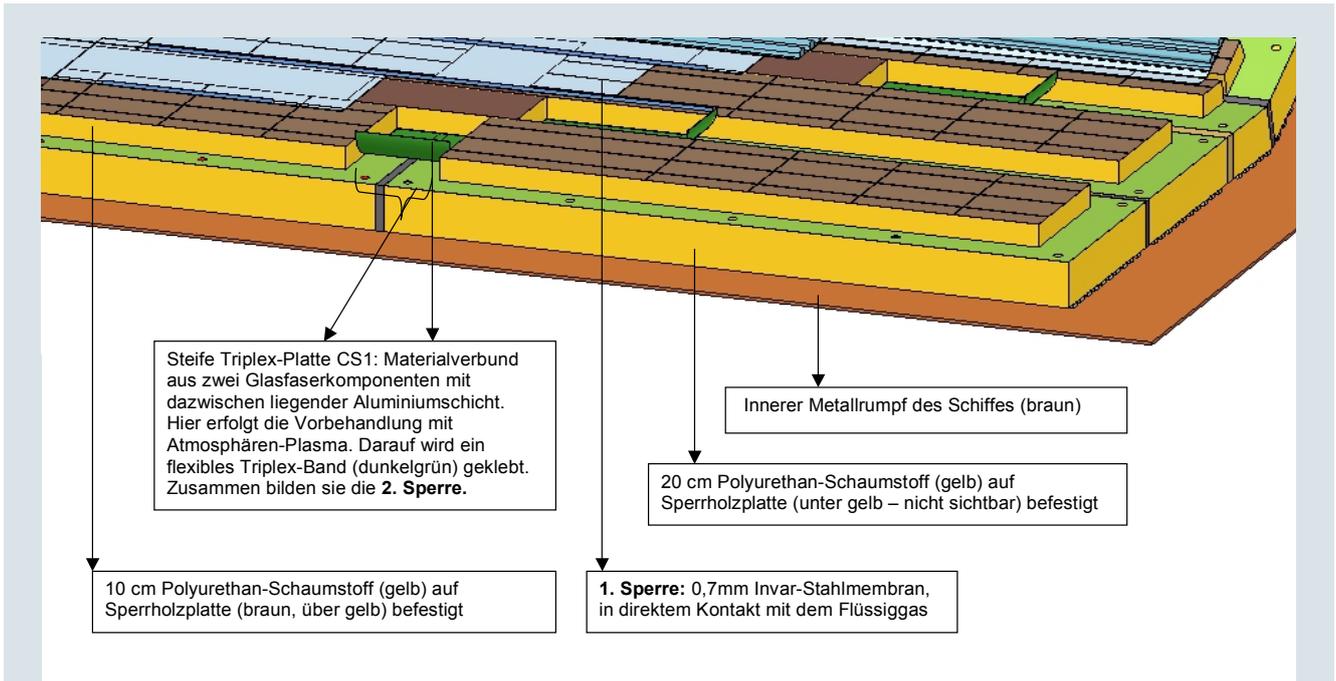


Bild 3: Die neue CS1 Isolationschicht ist aus vier Ebenen aufgebaut.

den Aluminiumschicht. Der Materialverbund bildet zusammen mit den später aufzubringenden flexiblen Triplex-Bändern die zweite wasserdichte Sperre.

- Zwischen der Triplex-Platte und dem inneren Metallrumpf des Schiffes liegt eine weitere 20 cm dicke Schicht aus geschäumtem Polyurethan.

Der isolierende Werkstoffverbund wird direkt auf die Innenseite der doppelten (Außen-)Metallhülle des Schiffes geklebt.

Beide Barrieren, insbesondere aber die Isolationschicht der zweiten Sperre, sollen verhindern, dass das extrem kalte Flüssiggas mit der Stahlwandung des Schiffsrumpfes in Verbindung tritt und diese durch die sehr niedrige Temperatur versprödet.

### Die Lösung

Die Oberflächenbehandlung mit Atmosphärendruck-Plasma erfolgt hier auf dem Niveau der zweiten Sperre. Es geht darum, den Klebprozess für tausende von flexiblen Triplex-Bändern vorzubereiten. Die Bänder haben eine Breite von 30 cm und eine Gesamtlänge von ca.

40 km pro Tanker. Mit ihnen werden die Kanten-Nahtstellen der 1 x 3 m großen Isolierplatten mittels eines 2K-Epoxid-Klebstoffes zum Zwecke der vollständigen Dichtigkeit überklebt.

Die Installation aufwändiger Ventilationssysteme und Klimaanlage im Inneren der Tanks war die eine Voraussetzung für einwandfreie Klebprozesse; der noch entscheidendere Faktor war jedoch die präzise Vorbehandlung der Klebstellen-Oberflächen.

Aker Yards testete unterschiedliche Methoden, doch weder chemische Verfahren, noch eine Beflammung der Oberflächen brachten den gewünschten Erfolg. Erst der Einsatz der in Deutschland entwickelten Atmosphärendruck-Plasma-Technik erfüllte sämtliche Umwelt-, Sicherheits- und Effizienzbedingungen.

Ihre Wirkungsweise beruht auf dem Plasma, das auch als der „Vierte Aggregatzustand“ bezeichnet wird. Dabei handelt es sich um eine Materie auf hohem instabilen Energieniveau. Der Energieeintrag erfolgt über die Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig stets als Wärmeeintrag. Die Plasmatechnik hört bei dem gasförmigen Zustand der

Materie nicht auf: Wird mittels elektrischer Entladung zusätzlich Energie in die Materie eingekoppelt, so erhalten die Elektronen eine höhere kinetische Energie und verlassen die Schale. Es entstehen freie Elektronen, Ionen und Molekülfragmente. Dieser Zustand ist jedoch unter Normaldruck aufgrund seiner Instabilität kaum zu verwenden. Erst durch die Entwicklung eines speziellen Atmosphärendruckplasma-Verfahrens gelang es, neue Möglichkeiten der industriellen Anwendung zu schaffen.

### Elektrisch neutraler Strahl

Die auf einem Düsenprinzip basierenden Systeme arbeiten bei Atmosphärendruck und erzeugen mit Hilfe eines in der Düse gezündeten Lichtbogens und des Arbeitsgases Luft ein Plasma, das potenzialfrei auf das zu behandelnde Produkt strömt. Es besitzt ausreichend angeregte Teilchen, um gezielte Oxidationsprozesse auf der Oberfläche einzuleiten.

Als besonderes Merkmal ist der austretende Plasmastrahl elektrisch neutral, wodurch sich die Anwendbarkeit stark erweitert und vereinfacht. Seine

Intensität ist so hoch, dass Bearbeitungsgeschwindigkeiten von mehreren 100 m/min erreicht werden können. Die typischen Erwärmungen der Kunststoffoberflächen während der Behandlung betragen hier  $\Delta T < 20^\circ\text{C}$ . Das sogenannte „Openair“-System ist durch eine dreifache Wirkung gekennzeichnet: Es aktiviert die Oberfläche durch gezielte Oxidationsprozesse, entlädt erstere gleichzeitig und bewirkt eine mikrofeine Reinigung. Die verwendeten Düsensysteme können inline in eine neue oder bereits bestehende Fertigungslinie integriert werden.

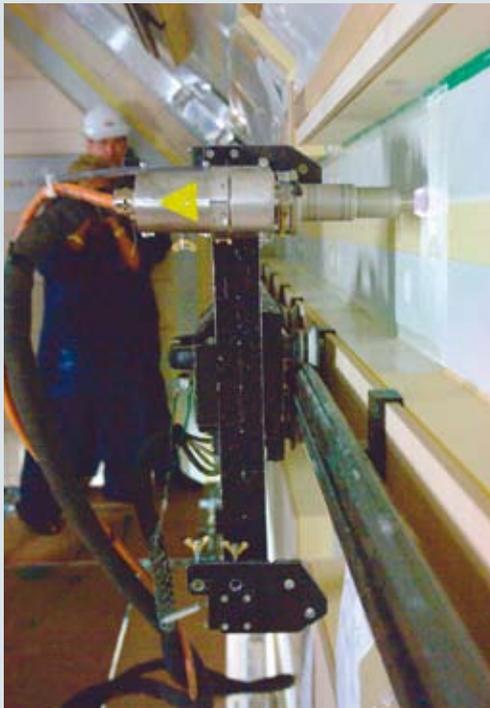
Im Prozess der Entladung von Oberflächen bietet dieses System Reinigungseffekte, die konventionelle Systeme bei weitem übertreffen. Der Anwender macht sich hier die hohe elektrostatische Entladungswirkung eines freien Plasmastrahls zu Nutze. Dieser Effekt wird zusätzlich positiv durch die sehr hohe Ausströmungsgeschwindigkeit des Plasmas beeinflusst, wodurch anhaftende Partikel gelöst werden.

### Großflächiger Einsatz im LNG-Tanker

Die Vorbehandlungslösung bestand aus dem erstmals großflächigen Einsatz einer in die Roboter integrierten rotierenden Düse, die ohne jegliches Überhitzungsrisiko Plasma erzeugt.

Zunächst fixierten die Mitarbeiter für den Roboter vor der Arbeitsfläche eine drei Meter lange Hilfschiene (Bild 4). Nachdem Start- und Endpunkt programmiert waren, steuerte der Roboter den exakten Arbeitsablauf der Düse und führte sie vollautomatisch mit einer Geschwindigkeit von 6 m/min und einem Abstand (Düsenkopf/Oberfläche) von 10 mm über die zu behandelnde Oberfläche.

Das Plasma übt auf das Triplex Polymer eine doppelte Wirkung aus. Zum einen bewirkt die Mikroreinigung die Zerstörung sämtlicher organischer Substanzen auf der Oberfläche, denn der Plasmastrahl trifft auf die Oberfläche



**Bild 4:** Die Vorbehandlungslösung bestand aus dem erstmals großflächigen Einsatz einer roboterintegrierten rotierenden Düse. (Foto: Yves Guillotin)

mit einer Geschwindigkeit von 200 m/s. Zum anderen aktiviert die Behandlung die Spannung der behandelten Oberflächen auf über 72 mN/m.

Am Ende des Vorgangs wurde die Hilfschiene abmontiert und an der nächsten zu behandelnden Fläche neu aufgebaut.

In einem zweiten Schritt wurde von einem anderen Arbeitsteam der eigentliche Klebprozess durchgeführt, d. h. die mit Plasma behandelte Oberfläche wurde nun mit Triplex-Band überklebt.

Der von der Werft betriebene Aufwand lässt sich auch an der eingesetzten Manpower ablesen: Dreihundert speziell für die Herstellung dieser Isolationsschicht geschulte Mitarbeiter arbeiteten in drei mal acht Stundenschichten rund um die Uhr und fertigten in einer Woche bis zu 3,5 km Bandverklebung.

### Fazit

Seit seiner Entdeckung im Jahre 1995 erschließt sich die atmosphärische Plasmatechnik in der Industrie eine Vielzahl neuer Anwendungen – insbesondere bei

der Reinigung, Aktivierung und Beschichtung. Einsparungen an Material- und Prozesskosten sowie die Möglichkeit, umweltfreundliche Verbunde zu realisieren, stehen dabei als Ziele im Vordergrund. Diese Technik verdankt dabei ihre in nur wenigen Jahren erfolgte weltweite Expansion nicht zuletzt einer Besonderheit: Die verwendeten Düsensysteme werden vom Anwender immer inline, also direkt in der Montagelinie, eingesetzt.

Das schichtweise Entfernen organischer Layer, das Entlacken oder partielle Entfernen von Metallisierungen vor der Verklebung, die Herstellung von Autoscheinwerfern wie auch die Behandlung von Reflektoren sind nur einige Beispiele für den erfolgreichen Inline-Einsatz dieses Verfahrens.

Bei Verklebungen von Aluminiumoberflächen realisiert das Plasma die zuverlässige Verklebung verschiedenster Aluminiumlegierungen und ersetzt voll-

ständig die kostenaufwändigen und ökologisch bedenklichen chemischen Nassverfahren.

Die präzise Vorbehandlung der Klebflächen über Plasmadüsen ermöglicht gleichermaßen den Einsatz moderner Lösungsmittelfreier UV-Klebstoffe wie auch den von natürlichen, wasserbasierenden Systemen. ■

### Die Autorin

Inès A. Melamies  
(Tel.: +49(0)2 34-8 90 61 90,  
info@bluerondo.de) ist  
Inhaberin der Unternehmensberatung  
Blue Rondo International e. K.,  
D-44805 Bochum.

Weitere Infos zur Atmosphärendruck-  
plasma-Technik: Plasmateat GmbH,  
D-33803 Steinhagen,  
Tel.: +49(0)52 04 99 60-0,  
E-mail@plasmateat.de