

Pipelines – Adern der Wirtschaft

Von A. FEIZLMAYR und S. GOESTL*

1 Allgemeines zur Bedeutung der Pipelines für die Weltwirtschaft

Ein treffender Titel wäre wohl »Pipelines – die *geheimen* Adern der Wirtschaft«. Denn man hört von ihnen in der Öffentlichkeit nur dann, wenn es in der Projektentwicklung, bei der Genehmigung, bei der Finanzierung, beim Bau oder beim Betrieb irgendwelche Probleme gibt. Besonders präsent sind zur Zeit die Projekte der Nord Stream und der Nabucco-Pipeline.

Der geringe Bekanntheitsgrad der Pipelines soll aber nicht darüber hinweg täuschen, dass die Weltwirtschaft in der heutigen Form ohne sie schlechtweg nicht funktionieren kann.

Pipelines sind als Massentransportmittel über Land konkurrenzlos günstig. Ihre Stärke liegt vor allem darin, dass im Unterschied zur Konkurrenz (Bahn, Schiff, LKW) der Transportbehälter nicht bewegt wird, sondern nur das zu transportierende Medium.

Abbildung 1 zeigt die Transportkosten der verschiedenen Massentransportmittel im Vergleich. Auffallend ist im Gegensatz zum Schifftransport die starke Abhängigkeit der Pipelinetransportkosten vom Durchsatz und damit vom Durchmesser der Leitung. Dies erklärt sich daraus, dass die Investitionskosten einer Pipeline mit dem Durchmesser etwa linear zunehmen, während die Kapazität exponentiell ansteigt.

Das Pipelinenetz für Mineralöl (Rohöl und Produkte), Erdgas, Wasser und andere flüssige und gasförmige Medien weist weltweit eine Gesamtlänge von rund 2 Mio. km auf. Das entspricht der 5-fachen Entfernung zwischen Erde und Mond. Oder dem 50-fachen Umfang der Erde am Äquator. Dabei sind hier nur die Hauptstränge erfasst, nicht also die Leitungen im Feld, um die Produkte zu einem Hauptstrang zu bringen und auch nicht die Leitungen um die Produkte am Ende eines Hauptstrangs zu verteilen.

Hauptsächlich transportiert man in Pipelines die verschiedenen Formen der Mineralöle vom Rohöl bis zu den Fertigprodukten einschließlich LPG, Erdgas sowie die verschiedenen Arten des Wassers von Rohwasser aus Flüssen und Seen, Trinkwasser, Meerwasser und Sole bis zum Abwasser.

Daneben gibt es Pipelines für technische Gase wie Äthylen, CO₂ (im Zusammenhang mit CCS = Carbon Capture and Storage), Stickstoff und Sauerstoff, für den Feststofftransport von Sand, Kohle und Erz in Form einer Schlamm (Slurry Pipelines) als auch

*Adolf Feizlmayr, Stefan Goestl, ILF Beratende Ingenieure, München (E-mail: Stefan.Goestl@ilf.com).

0179-3187/11/2
© 2011 URBAN-VERLAG Hamburg/Wien GmbH

Sonderformen wie Pipelines zum Transport von flüssigem Schwefel.

Um die Leistungsfähigkeit von Pipelines zu verdeutlichen, erscheint folgender Vergleich angebracht.

Eine Pipeline mit einem Durchmesser von 40" (1 m) kann etwa 160.000 m³ (1 Mio. Barrel)

Rohöl pro Tag

transportieren. Das entspricht einer Transportkapazität von 1,85 m³/s. Wollte man diese Menge mit der Eisenbahn befördern, wären 1.060 8-Achs- oder 1.770 4-Achs-Kesselwagen notwendig. Das entspricht einer Gesamtlänge der Züge von 20 km und das zweimal, weil die leeren Kesselwagen zur Beladestelle zurückfahren müssen.

Die Kapazität der großen Wasserpipelines liegt bei 10 m³/s (RWTS) bis 20 m³/s (Great Man Made River) und damit bei der Wasserführung eines kleineren Flusses.

2 Zur Geschichte der Pipelines

Die ersten Bauwerke, die wir heute als Pipelines bezeichnen würden, haben die Römer gebaut, um Städte mit Wasser zu versorgen. Ihre Aquädukte sind weltberühmte Denkmäler der Ingenieurskunst. Es waren



Abb. 2 Pont du Gard, Frankreich

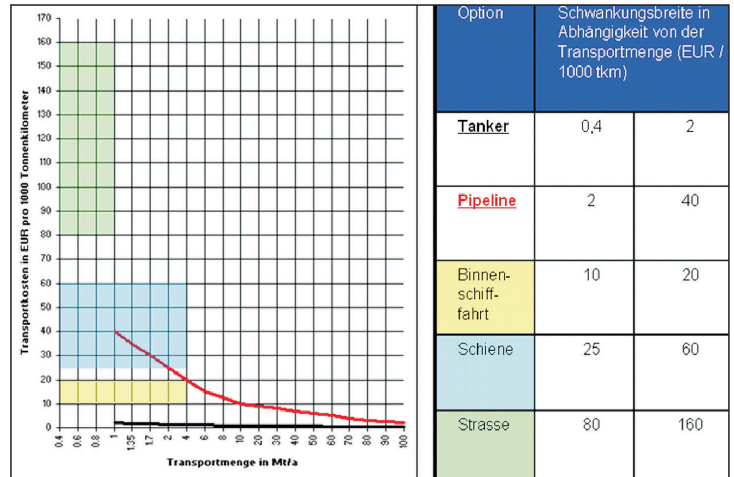


Abb. 1 Transportkostenvergleich verschiedener Massentransportmittel

jene Schwerkraftleitungen, die ein höher gelegenes Quellgebiet mit einem tiefer gelegenen Versorgungsgebiet verbinden. Das Baumaterial war Stein (Abb. 2).

Bekannt sind auch die Ganale, jene unterirdischen Stollen, die in Wüstengebieten zur Verteilung von Grundwasser genutzt wurden sowie die Leitungen aus Holz, welche Sole von den Salzbergwerken zu den Sudpfannen transportierten.

Die Geschichte der Pipelines für die Öl- und Gasindustrie beginnt 1879 in Pennsylvania. Die 110 Meilen lange Tidewater Pipeline wurde gebaut, um das Rockefeller-Monopol beim Vertrieb von Rohöl zu brechen. So weist bereits die erste Pipeline jene Merkmale auf, die für viele zukünftige Pipelines der Öl- und Gasindustrie typisch sind – sie haben einen strategischen oder geopolitischen Ursprung und die Entscheidungsträger sind meist keine

Techniker, gehen aber stets voll Vertrauen davon aus, dass die Ingenieure, die mit dem Projekt verbundenen technische Probleme lösen werden.

Die ersten großen Pipelines des 20. Jahrhunderts wurden in den USA gebaut. Von dort kam auch das Pipeline-Know-how nach Westeuropa. Ein typisches Beispiel dafür ist die Transalpine Ölleitung (TAL), die in den 60er Jah-

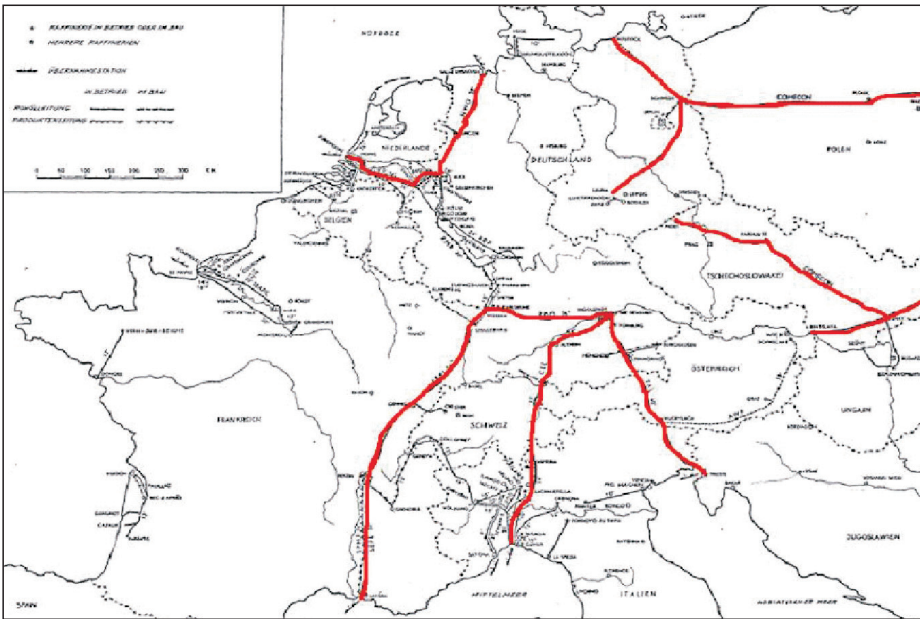


Abb. 3 Rohölleitungen in Europa um 1970

ren von der Firma Bechtel, San Francisco geplant wurde.

In den 70er Jahren begann die Sowjetunion mit dem Bau ihrer Freundschaftspipelines (Druschba) in Richtung Westen. Zuerst zur Versorgung ihrer Satelliten im Rahmen des Comecon und dann auch für den Export von Erdgas in die kapitalistischen Länder Europas. Auch der massive Widerstand der USA (Reagan Doktrin) konnte dies schlussendlich nicht verhindern.

Abbildung 3 zeigt das Rohölpipeline-Netzwerk in Europa um 1970.

In den 80er Jahren wurde die Trans-Alaska-Pipeline zum Transport von Rohöl aus dem Norden Alaskas nach Valdez gebaut und die erste große Wasserpipeline in Saudi Arabien.

Die Trans-Alaska-Pipeline, aber auch das von der ILF geplante Riyadh Water Trans-

mission System werden als technische Pionierleistungen angesehen.

Etwa zur gleichen Zeit wurden die ersten großen Offshore-Pipelines verlegt. Im Norden war dies die Ekofisk-Pipeline aus der Nordsee nach Emden und im Süden die Transmed-Pipeline von Tunesien nach Sizilien.

Am Anfang des einundzwanzigsten Jahrhunderts sind folgende Tendenzen zu beobachten:

- Die Bemühungen der westlichen Länder Öl und Gas aus dem kaspischen Raum unter Umgehung von Russland auf den Weltmarkt zu bringen (Beispiele: BTC und Nabucco)
- Der Bau von Pipelines aus Zentralasien in Richtung China (Beispiele: KCP und Transasia-Pipeline)
- Das Bestreben Russlands mit seinen

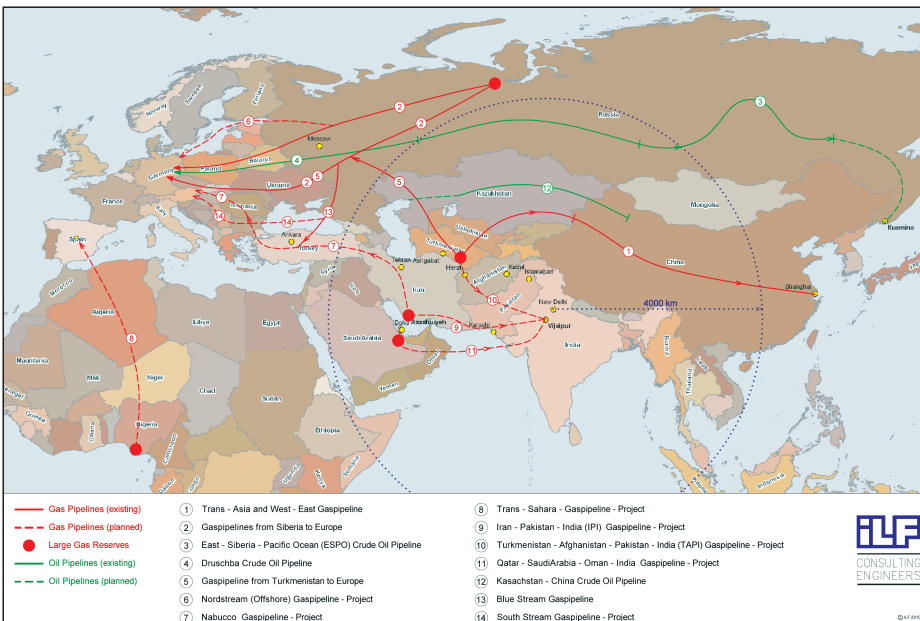


Abb. 4 Langstrecken-Pipelines in Eurasien

Transportrouten Transitländer zu meiden (Beispiele: Blue Stream – direkt in die Türkei, Nord Stream und South Stream – direkt in die EU, Baltic Pipeline System – in die Ostsee und ESPO – aus Sibirien direkt zum Pazifik).

Beim Transport von Erdgas hat vor allem in den letzten 20 Jahren der Schifftransport an Bedeutung gewonnen. Dazu wird Erdgas verflüssigt. Durch Abkühlung auf $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ entsteht aus 600 Nm^3 Erdgas 1 m^3 Flüssigkeit, das so genannte LNG (Liquified Natural Gas). Investition und Betriebskosten für dieses Verfahren sind sehr hoch. Aber verschiedene Länder wie Japan und Korea haben kaum eine Alternative. Andere Länder wählen LNG aus Gründen der Diversifizierung der Versorgung und der Flexibilität bei der Beschaffung.



Abb. 5 Betonrohr

3 Das Weltpipelinennetz heute

Die Gesamtlänge des Pipelinennetzes für Öl, Gas und Produkte beträgt heute etwa 1,9 Mio. km.

Von dieser Gesamtlänge entfallen auf 1.180.000 km auf Gaspipelines, 450.000 km auf Rohölpipelines sowie 270.000 km auf Produktenleitungen.

Dieses Netzwerk ist am Transport der Weltproduktion an Erdöl und Erdgas wesentlich beteiligt. Dazu lauten die Zahlen für das Jahr 2008 3.000 Mrd. Nm^3 Erdgas, 3,9 Mrd. t Erdöl und 3,8 Mrd. t Produkte.

Vergleichbares statistisches Material für Wasserpipelines gibt es noch nicht. Die Gesamtlänge des Netzes ist sicher noch wesentlich geringer als jenes für Öl und Gas. Die Transportmengen erreichen aber inzwischen die gleiche Größenordnung.

Die Abbildung 4 zeigt einige ausgewählte Pipelines für Öl und Gas im Eurasischen Raum, die mehrere 1.000 km lang sind.

Die großen Wassertransportsysteme befinden sich im mittleren Osten und Nordafrika. Besonders erwähnenswert sind wegen ihrer Größe und Bedeutung die Wasserpipelines auf der arabischen Halbinsel, die von den Meerwasserentsalzungsanlagen in das Landesinnere führen. Eines dieser Systeme ist das bereits erwähnte Riyadh Water Transmission System (RWTS). Es versorgt die



Abb. 6 Pumpstation des Riyadh Water Transmission Systems



Abb. 8 Pipeline-Verlegung

Hauptstadt Saudi Arabiens mit Wasser aus Jubail am persischen Golf. Die Transportentfernung beträgt rund 500 km und die Kapazität der Doppelrohrleitung aus Stahl (Durchmesser 1,5 m) liegt bei 830.000 m³/d oder 290 Mio. t/a. Das System verfügt über sechs Pumpstationen mit einer Gesamtantriebsleistung von 400 ME.

Interessant sind auch die Wassertransportsysteme in Libyen, die unter dem Namen »Great Man Made River«-Projekte bekannt geworden sind. Sie transportieren fossiles Grundwasser aus dem Landesinneren zu den Verbrauchszentren an der Küste. Die größte dieser Pipelines hat einen Durchmesser von 4 m und die Kapazität dieser Einzelrohrleitung liegt bei 2 Mio. m³/d oder 720 Mio. t/a (Abb. 5).

4 Wie funktionieren Pipelinesysteme

4.1 Pipelines für Flüssigkeiten

Pipeline für Flüssigkeiten wie Mineralöl und Wasser bestehen im Wesentlichen aus einer Rohrleitung, in der das Medium mit einer Geschwindigkeit von 1 bis 3 m/s (3,6 bis 10,8 km/h) strömt, und den Stationen. Unter Stationen versteht man die Tanklager am Anfang und am Ende des Systems, Pumpstationen sowie Sicherheitseinrichtungen zur Druckabsicherung und zum Absperren der Leitung.

Die Pumpstationen (Abb. 6) werden benötigt, um die geodätischen Höhenunterschiede und die Druckverluste zu überwinden. Die Abstände zwischen den Pumpstationen betragen zwischen 30 und 300 km. Die Pumpen werden in modernen Systemen meist durch drehzahlregelte Elektromotoren angetrieben. Abbildung 7 zeigt das Ceyhan Terminal am Ende der BTC-Rohölpipeline mit den Tanks, von denen in jeder 150.000 m³ aufnehmen kann, und der Tankerbeladeanlage, die Schiffe bis 300.000 Bruttoregistertonnen bedienen kann.

Die Rohölpipeline besteht normalerweise aus Stahlrohren, die miteinander verschweißt und dann als Strang in den Rohrgraben abgesenkt werden, wie Abbildung 8 zeigt. Die Pipelines werden mit einer Regelüberdeckung von 1m in der Erde verlegt. Die Rohrumhüllung aus einem Plastikwerkstoff (meist Polyethylen) und ein kathodischer Schutz sollen eine Außenkorrosion verhindern. Der Druck in der Rohrleitung liegt normalerweise bei maximal 65 bar kann aber in besonderen Fällen auch 95 bar erreichen.

Bei Wasserpipelines wird für Systeme mit höheren Drücken als Rohrmaterial ebenfalls Stahl verwendet. Bei niedrigen Drücken und/oder Rohrdurchmessern über 2 m kommen auch Betonrohre zum Einsatz.

Wenn das Transportmedium sehr aggressiv ist und die Drücke nicht allzu hoch sind, wer-

den in zunehmenden Umfang glasfaserverstärkte Kunststoffrohre (GFK) verwendet.

4.2 Pipelines für Erdgas

Als Rohrmaterial für die großen Transportsysteme mit Durchmessern bis 56" (1.422 mm) wird ausschließlich Stahl verwendet. Die Drücke liegen normalerweise heute bei 100 bar für Onshoreleitungen. Lange Offshoreleitungen werden bei Drücken von 200 bar und darüber betrieben. Auch bei Onshoreleitungen gibt es eine starke Tendenz zu höheren Drücken in Kombination mit Materialien höherer Festigkeit.

Der Druck von 100 bar ist weniger eine technische als eine psychologische Grenze für die Akzeptanz durch die Öffentlichkeit. Das Gas strömt mit einer Geschwindigkeit von 5 bis 10 m/s (18 bis 36 km/h) durch die Pipeline. Es entstehen dabei Reibungsverluste, der Druck in der Leitung nimmt ab und das Gas expandiert. Die verloren gegangene Energie muss abschnittsweise wieder aufgebracht werden. Dazu dienen die Verdichterstationen, die bei Onshorepipelines in Abständen von etwa 200 km angeordnet sind.

Das Herzstück dieser Stationen sind die Kompressoren, meist Zentrifugalverdichter, die durch Gastrubinen angetrieben werden. Als Gaserzeuger für die Antriebe kommen bei großen Maschinen oft abgewandelte Flugtriebwerke zum Einsatz.

Abbildung 9 zeigt eine typische Verdichter-



Abb. 7 Tanklager und Tankerbeladeanlage Ceyhan

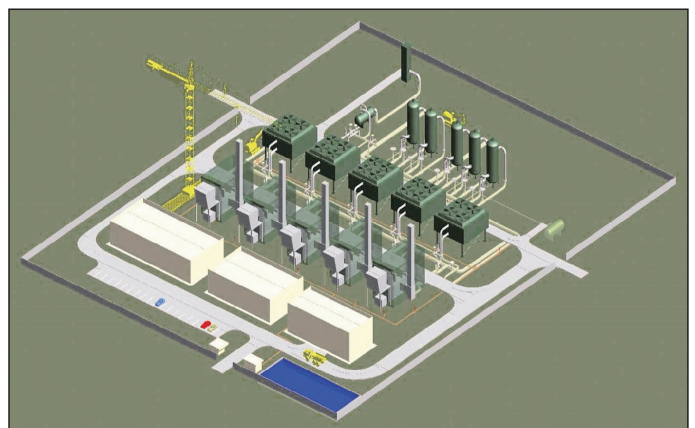


Abb. 9 3D-Simulation einer Verdichterstation

station mit fünf Einheiten. Davon sind normalerweise vier Einheiten in Betrieb. Eine Einheit ist als Reserve vorgesehen. Neben der Verdichtereinheiten besteht die Anlage aus den Separatoren für die Reinigung des Gases vor der Verdichtung, den Kühlern für die Kühlung des Gases nach der Verdichtung und den Betriebsgebäuden samt Nebenanlagen.

Der Wirkungsgrad der Gasturbinen liegt im betrieblichen Lastbereich zwischen 25 und 30 %. Mit dem steigendem Gaspreis und dem zunehmenden Streben, den CO₂-Ausstoß zu mindern, gewinnt die Frage nach der Energieeffizienz vor allem beim Gastransport an Bedeutung.

Sieht man von den LNG-Transportketten ab, wo flüssiges Erdgas in Spezialtanks bei -163 °C gelagert wird, so hat ein normales Pipelinetransportsystem für Erdgas keine Tanklager. Am Anfang des Systems wird das Erdgas der Lagerstätte entnommen und am Ende wird es den Verbrauchern unmittelbar zugeführt. Um aber Lastschwankungen und vor allem Ausfälle des Transportsystems, seien sie technisch oder politisch verursacht, auszugleichen, werden in der Nähe der Verbraucherzentren unterirdische Erdgasspeicher eingerichtet. Dabei wird das Erdgas mit Drücken von 200 bar und mehr in poröse Speichergesteine oder in Salzkavernen eingepresst und im Bedarfsfall durch geeignete Einrichtungen wieder entnommen.

Die gesamte Gasspeicherkapazität in Deutschland beträgt zur Zeit etwa 20 Mrd. Nm³ Arbeitsgasvolumen. Das entspricht dem mittleren Verbrauch von etwa 70 Tagen.

5 Zur Wirtschaftlichkeit des Pipeline-transport

Pipelines sind sehr kapitalintensiv. So kostet zum Beispiel ein Gastransportsystem von der Dimension Nabucco mit einem Durchmesser von 56" (1,4 m) mit den notwendigen Stationen für eine Durchsatzkapazität von 30 Mrd. Nm³/a in etwa 2 Mio. Euro/km. Sehr entscheidend ist dabei der Stahlpreis.

Jede Pipeline hat einen vom Durchmesser abhängigen optimalen Durchsatz. Das ist jener Durchsatz, bei dem die Transportkosten ein Minimum erreichen. In Abbildung 10 sind charakteristische Kurven für ein 42"-System dargestellt. Es zeigt einerseits den erheblichen Unterschied der Transportkosten von Öl und Gas aufgrund des unterschiedlichen Energieinhalts der bei-

den Medien auf Volumenbasis und die starke Abhängigkeit vom Durchsatz.

Daraus ist sehr klar ersichtlich, dass ein Pipelinesystem nur dann wirtschaftlich betrieben werden kann, wenn es möglichst mit der vollen Bemessungskapazität betrieben wird. Deshalb muss vor einer Investitionsentscheidung der Durchsatz gesichert sein. Für eine Pipeline wie die Nabucco bedeutet dies bei einer Betriebsdauer von 30 Jahren und einer Kapazität von 30 Mrd. Nm³/a ein Gasvolumen von 900 Mrd. Nm³.

Bei den Transportkosten entfällt ein ganz erheblicher Anteil auf den Kapitaldienst (Abb. 11). Deshalb ist es wirtschaftlich von Vorteil, bereits abgeschriebene Pipelines möglichst lange weiter zu betreiben.

Damit stellt sich die Frage nach der Lebensdauer von Pipelines. Sie wird im Wesentlichen bestimmt durch die Außen- und Innenkorrosion. Auch die Rissbildung und die Alterung des Materials spielt eine Rolle. In der Einschätzung der Lebensdauer von Pipelines ist durch die Entwicklung der »Inline-Diagnose« mittels intelligenter Molche vor allem in den letzten 20 Jahren ein großer Wandel eingetreten. Während man früher von einer Lebensdauer von 40 Jahren ausging, gibt es für eine gut gewartete Pipeline, die laufend durch »Inline Diagnose« überwacht wird, zur Zeit keinen festen Grenzwert mehr. Intelligente Molche (intelligent

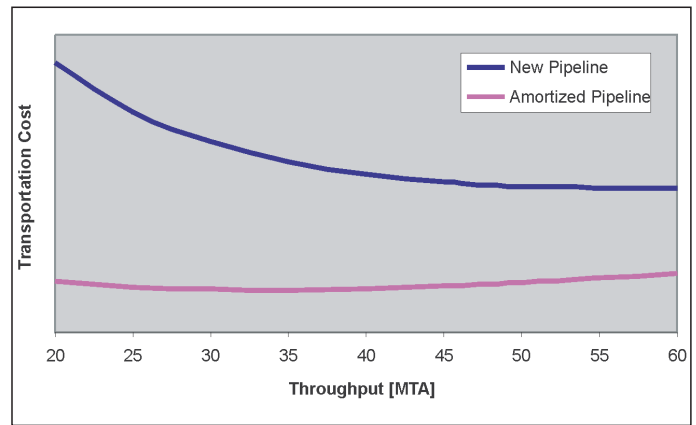


Abb. 11 Transportkostenvergleich abgeschriebene vs. neue Pipeline

pig) werden laufend weiterentwickelt und der damit verbundene technische Fortschritt ist für den Fortbestand »alternder Pipelines« von großer Bedeutung.

6 Ausblick

Nach den vorhandenen Prognosen werden bis zum Jahr 2030 mehr als 1 Mio. km an Gas-, Öl- und Wasserpipelines gebaut. Der überwiegende Anteil wird auf Gaspipelines entfallen.

Der sichere Weiterbetrieb der alternden Pipelines wird eine große Herausforderung darstellen. Dazu muss nicht nur die Diagnostik, sondern auch die Auswertung und daraus abgeleitete Risikoabschätzung laufend weiterentwickelt werden.

Beim Bau neuer Öl- und Gas-Pipelines werden Aspekte des Umweltschutzes, der Energieeffizienz des Transports und damit der Minderung des CO₂-Ausstoßes, der öffentlichen Akzeptanz und vor allem auch der Marktstrategie der Exporteure an Bedeutung gewinnen.

Bei den Offshorepipelines wird man die derzeitige Grenze von 2.000 m Wassertiefe bald überschreiten und in größere Meerestiefen vordringen.

Für die Zukunft der Pipelines könnte die Entwicklung der GIL (Gasisolierte Leitungen)-Technik für den Transport elektrischer Energie ganz neue Möglichkeiten eröffnen. Bei dieser Technik befindet sich der elektrische Leiter in einem mit Isoliergas (hauptsächlich Stickstoff) gefüllten Rohr. Wenn es gelingt, ein GIL-System zu entwickeln, das wie eine Pipeline verlegt werden kann, könnten diese Power Transmission Pipelines (PTP) genutzt werden, um Solarstrom aus der Sahara über das Mittelmeer nach Europa zu bringen und dort über Land sehr umweltschonend, weil erdverlegt, die großen Hochspannungsleitungen ersetzen.

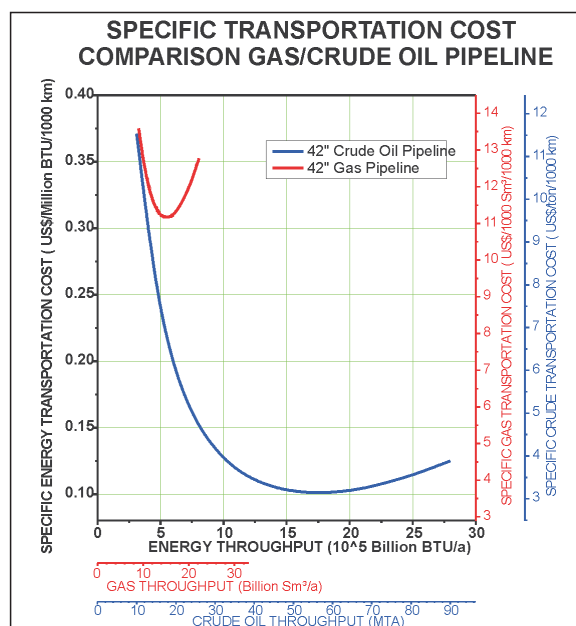


Abb. 10 Transportkostenvergleich Öl und Gas, Preisbasis 2003