

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 82 (1964)  
**Heft:** 17

**Artikel:** Pipelines als Erdöl- und Erdgas-Arterien: Vortrag  
**Autor:** Ruf, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-67483>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Pipelines als Erdöl- und Erdgas-Arterien

DK 621.643.2

Vortrag gehalten im Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein am 5. Februar 1964 von Dr. H. Ruf, Sektionschef der EMPA, Dübendorf

Die unserer Generation geläufige weitgehende Mechanisierung der Arbeit und Motorisierung des Verkehrs, verbunden mit einer vor allem für die westlichen Länder sehr erfreulichen Steigerung des Lebensstandards, sind nur dank der Verfügbarkeit ausreichender und preisgünstiger *Energie* möglich gewesen. Der Bedarf der Welt stieg von 1913 bis 1960 auf das Dreifache, und auch jener unseres Landes hat sich z. B. von 1938 bis 1960 verdoppelt. Man rechnet damit, dass er sich innert etwa 20 Jahren nochmals verdoppeln dürfte.

Zweifelloos werden die verschiedenen Energieträger aber an dieser Expansion in recht ungleichem Ausmasse teilhaben. Die Produktion an Kohle dürfte sich nur noch wenig steigern lassen; der Ausbau der Wasserkräfte hat auch in den an solchen Kräften reichen Ländern wie der Schweiz bald seine Grenzen erreicht, und der Einsatz von Atomenergie ist erst im Anlaufen [1]. Der Zuwachs wird in den nächsten Jahrzehnten hauptsächlich durch *Erdöl und Erdgas* gedeckt werden müssen. Deren Produktion hat deshalb in stark gesteigertem Tempo zu erfolgen. Erfreulicherweise sind entsprechende Reserven auch auf Jahrzehnte hinaus bereits sichergestellt.

Leider sind aber auch diese Bodenschätze recht ungleich über die Kontinente verteilt. So verfügt u. a. Westeuropa bei einem jährlichen Bedarf von etwa 21 % der Weltrohdölproduktion heute nur über bescheidene 1½ % aus eigenem Boden und ganze 0,6 % der bekannten Reserven. Erdöl und neuerdings auch Erdgas sind deshalb zu wichtigen *Transportgütern* geworden. Dabei ist Roherdöl bekanntlich noch kein einsatzbereites Produkt; es muss erst aufgearbeitet, *raffiniert* werden. Noch vor dem letzten Kriege geschah dies zu etwa 70 % in *quellenorientierten*, nahe der Oelfelder in Uebersee aufgestellten Anlagen. Man brauchte dann den zur Verarbeitung benötigten Brennstoff nicht zu transportieren und konnte grosse, rationell arbeitende und auf die Art des dort vorkommenden Rohöls zugeschnittene Raffinerien bauen, die dann gleich eine Reihe verschiedener Verbrauchsgebiete versorgten. Heute hat sich jedoch die Tendenz zu *marktorientierten* Raffinerien durchgesetzt, einmal weil der Konsum an Erdölprodukten so stark zugenommen hat, dass sich auch eine Reihe von dezentralisierten Anlagen rentieren, vor allem aber auch, weil sich das Massenprodukt «Roherdöl» wirtschaftlicher, z. B. in den neuen Supertankern mit einem Fassungsvermögen von um und teilweise über 100 000 t transportieren lässt als eine ganze Reihe streng getrennt zu haltender Fertigprodukte. So sind denn auch in Westeuropa in der letzten Zeit eine grosse Zahl neuer Verarbeitungsstätten entstanden [2]. Heute werden bereits etwa zwei Drittel des Bedarfs von solchen marktorientierten Raffinerien gedeckt.

Infolge der stark gestiegenen Mengen hat nun aber das *Transportproblem* ungeahnte Ausmasse angenommen. Vor allem der Transport ins Inland bildet unter Verwendung der herkömmlichen Mittel einen Flaschenhals. So bereitet es selbst der Rheinschiffahrt sichtlich Mühe, noch bedeutend grösseren Mengen zu bewältigen; abgesehen von der Tatsache, dass sie in den letzten Jahren infolge niedrigem Wasserstand, Eisgang oder Nebel wiederholt überhaupt stillgelegt werden musste. Aber auch unsere Eisenbahnen sind, wie sich dies letztes Jahr nur zu deutlich zeigte, an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angelangt, und der Tankwagenverkehr über die Strasse hat schon heute Ausmasse angenommen, die zu schweren Störungen, wenn nicht Gefährdungen des übrigen Strassenverkehrs führen. Schon aus diesen Gründen war eine genaue Ueberprüfung der Möglichkeit zur Anwendung von *Pipelines*, wie sie sich in Amerika schon längst bewährt haben, auch unter europäischen Verhältnissen angezeigt.

Pipelines weisen bei einem genügenden Transportvolumen eine nicht zu schlagende *Wirtschaftlichkeit* auf. So hat z. B. der Wissenschaftliche Beirat beim deutschen Bundesverkehrsministerium seinerzeit die auf Tabelle 1 zusammengestellten

Welt-Energiebedarf, Entwicklung 1945 bis 1960 und Schätzung für 1975 [1]

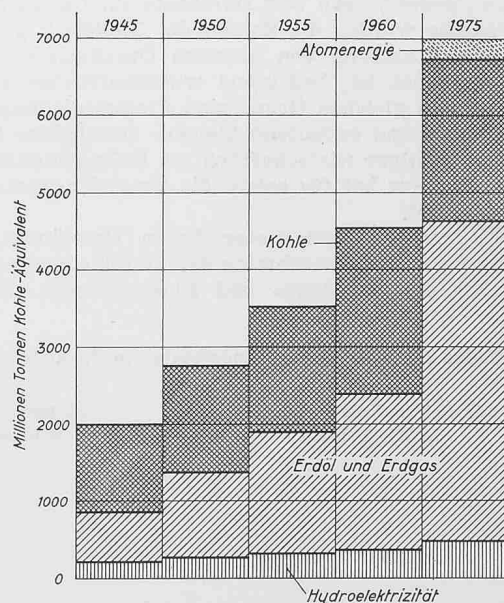
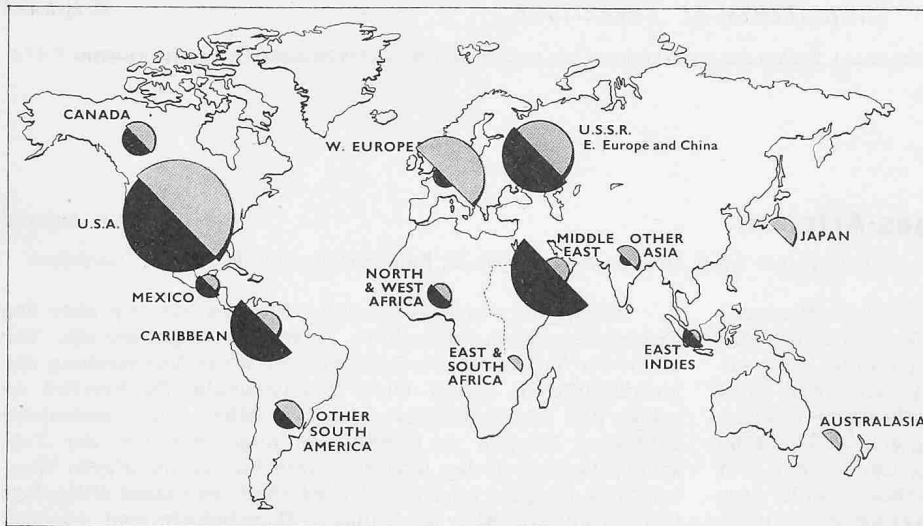


Tabelle 1. Vergleichsweise Transportkosten für Rohöl

		Beförderungsstrecke km					
		50	100	200	300	400	600
1. Vollkosten:	Pipeline 70 cm Ø	113	102	102	100	100	100
	60	124	112	110	110	110	110
	50	140	127	125	125	123	123
	Oelzug 20 Wagen 1200 t	487	390	346	333	326	320
	Tankschiff 900 t (Rhein ab Rotterdam)	—	—	348	330	310	—
2. Grenzkosten *:	Oelzug	267	214	189	181	176	169
	Tankschiff	—	—	209	206	201	—

\* Berechnung nur eines Teiles der fixen Kosten, da Anlagen bereits vorhanden



Erdöl-Produktion und -Verbrauch verschiedener Gebiete (1961)

Zahlen veröffentlicht [3]. Dabei wurden die Transportkosten für eine 300 km lange *Roherdölleitung* mit einem Durchmesser von 70 cm = 100 gesetzt. Dann hat man vergleichsweise die Kosten für Rohrleitungen über andere Distanzen und mit andern Rohrdurchmessern, wie auch jene mit andern Transportmitteln berechnet und mit dem Basiswert verglichen. Wie ersichtlich, ist die Pipeline bei Anrechnung der «Vollkosten» nicht zu schlagen. Ihre Wirtschaftlichkeit wird nur noch vom Grosstankertransport über das Meer übertroffen. Ja selbst wenn man für die Bahn und den Flusstransport nur einen Teil der fixen Kosten in Rechnung stellt (da die betreffenden Anlagen u. U. bereits vorhanden sind), so erweisen sich diese als immer noch nicht konkurrenzfähig.

Auch beim Pipelinetransport hängt die absolute Höhe der Spesen jedoch vom Durchsatz ab. Für die Südeuropäische Pipeline wurden die Zahlen der Tabelle 2 genannt. Danach ist eine Leitung von grossem Durchmesser, wenn sie voll ausgelastet ist, bedeutend wirtschaftlicher als eine kleine. Aus dem gleichen Grund sind *Produkteleitungen*, für welche in der Regel bedeutend kleinere Durchsätze in Frage kommen, weniger wirtschaftlich als Roherdölleitungen. Die gleiche Instanz hat für solche die Vergleichswerte der Tabelle 3 berechnet.

Zwar ist auch unter diesen Umständen der Pipeline-Transport bei Anrechnung der «Vollkosten» noch wirtschaftlicher als der Bahn- und Flusstransport (Basiswert: Ko-

Tabelle 2. Roherdöl-Transportkosten in Funktion des Durchsatzes

Jährlich geförderte Menge in Mio Tonnen	Selbstkosten pro Tonnen- Kilometer in Rappen
2½	1,3
4½	1,0
7	0,7
25	0,4

Tabelle 3. Vergleichsweise Transportkosten für Fertigprodukte

		Beförderungsstrecke km					
		50	100	200	300	400	600
1. Vollkosten:	Pipeline 35 cm Ø	74	67	66	65	65	65
	25	115	103	100	99	99	99
	20	194	169	164	161	161	161
	Oelzug 15 Wagen 900 t	201	162	146	140	137	136
	Oelzug 20 Wagen 1200 t	179	143	127	122	119	117
	Tankschiff 800 t	—	198	156	143	141	—
2. Grenzkosten *:	Oelzug 15 Wagen	105	85	75	72	70	68
	Oelzug 20 Wagen	98	78	69	66	64	62
	Tankschiff	—	107	95	93	92	—

\* Berechnung nur eines Teiles der fixen Kosten, da Anlagen bereits vorhanden

sten für eine 200 km lange Leitung von 25 cm Durchmesser = 100). Bei der Berechnung der «Grenzkosten» fällt der Vergleich jedoch wesentlich ungünstiger aus. Die Rentabilität von Produkteleitungen muss deshalb von Fall zu Fall sorgfältig nachgewiesen werden. Nur in besonderen Fällen kann manchmal das Fehlen einer genügend leistungsfähigen Alternative den Ausschlag geben.

Zusammenfassend darf die Roherdöl- und Gaspipeline als das für diese Produkte leistungsfähigste, sicherste und wirtschaftlichste Transportmittel bezeichnet werden, so dass es auch für unser Land unvermeidlich und dringend wird, dieser Transportart erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Sie erfordert zwar relativ hohe Anlagekosten, ergibt aber verhältnismässig niedrige Betriebskosten. Auch dürfte der bescheidene Betriebs-

Arbeitsaufwand beim heutigen Personalmangel sicher stark ins Gewicht fallen.

Rohrleitungen aus Bambusrohren haben die alten Chinesen schon vor über 1000 Jahren zum Ableiten des beim Bohren nach Salz zufällig angetroffenen Erdgases angewandt. Das klassische Pipelineland sind aber die USA, wo nun schon seit 100 Jahren Erdöl- und später auch Erdgasleitungen — erst aus Holz, dann aus aneinandergeschraubten Gussrohren und schliesslich aus verschweissten Stahlrohren — erstellt werden. Man verfügt dort heute über ein sehr engmaschiges, für flüssige Produkte über 300 000 km langes und für Erdgas — die Sammel- und Verteilungen inbegriffen — noch bedeutend längeres Pipelinennetz.

Sehr stark auf den Pipelinetransport angewiesen ist auch der *Mittlere Osten*, vor allem der Irak, der keinen direkten Zugang zu einem Meerhafen hat. Seine Oelfelder sind deshalb mittels einer ganzen Reihe von Rohrsträngen mit verschiedenen Mittelmeerhäfen verbunden. Auch z. B. in *Nordafrika* sind in den letzten Jahren verschiedene Roherdöl- und Gasleitungen entstanden. Es würde aber zu weit führen, hier auch nur die wichtigsten überseeischen Rohrleitungen erwähnen zu wollen.

Etwas eingehender sei auf die in letzter Zeit entstandenen *westeuropäischen Objekte* eingegangen. Sie berühren uns unmittelbar. Die erste, 1959 fertiggestellte Roherdölleitung grösseren Ausmasses führt von Wilhelmshaven an der Nordsee über 384 km ins Kölner Becken und heisst *NWO* <sup>1)</sup> (Nord-West-Oelleitung). Bei einem Durchmesser von 71 cm weist sie heute einen Jahresdurchsatz von 15 Mio t auf, der durch den Bau einer zusätzlichen Pumpstation auf 18 Mio t gebracht wird.

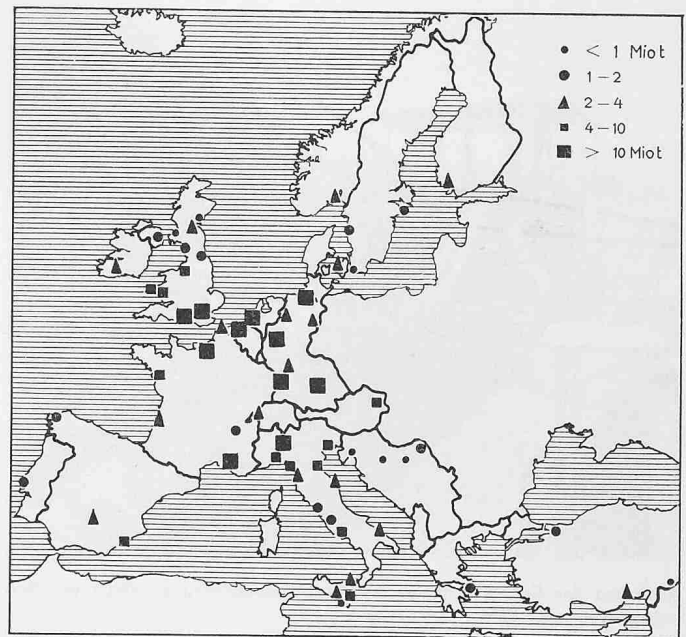
Ihr folgte 1960 die *RRP* (Rotterdam-Rhein-Pipeline), die den Hafen von Rotterdam mit der holländischen Grenze bei Venlo verbindet, wo sie sich in einen Strang nach Wesel

<sup>1)</sup> Siehe SBZ 1959, H. 40, S. 660.

und einen zweiten nach Godorf/Wesseling gabelt. Der Abstand Rotterdam — Wesseling beträgt 258 km, die Rohrweite 61 cm und der heutige Jahresdurchsatz etwa 8½ Mio t, der bis auf 20 Mio t gesteigert werden könnte.

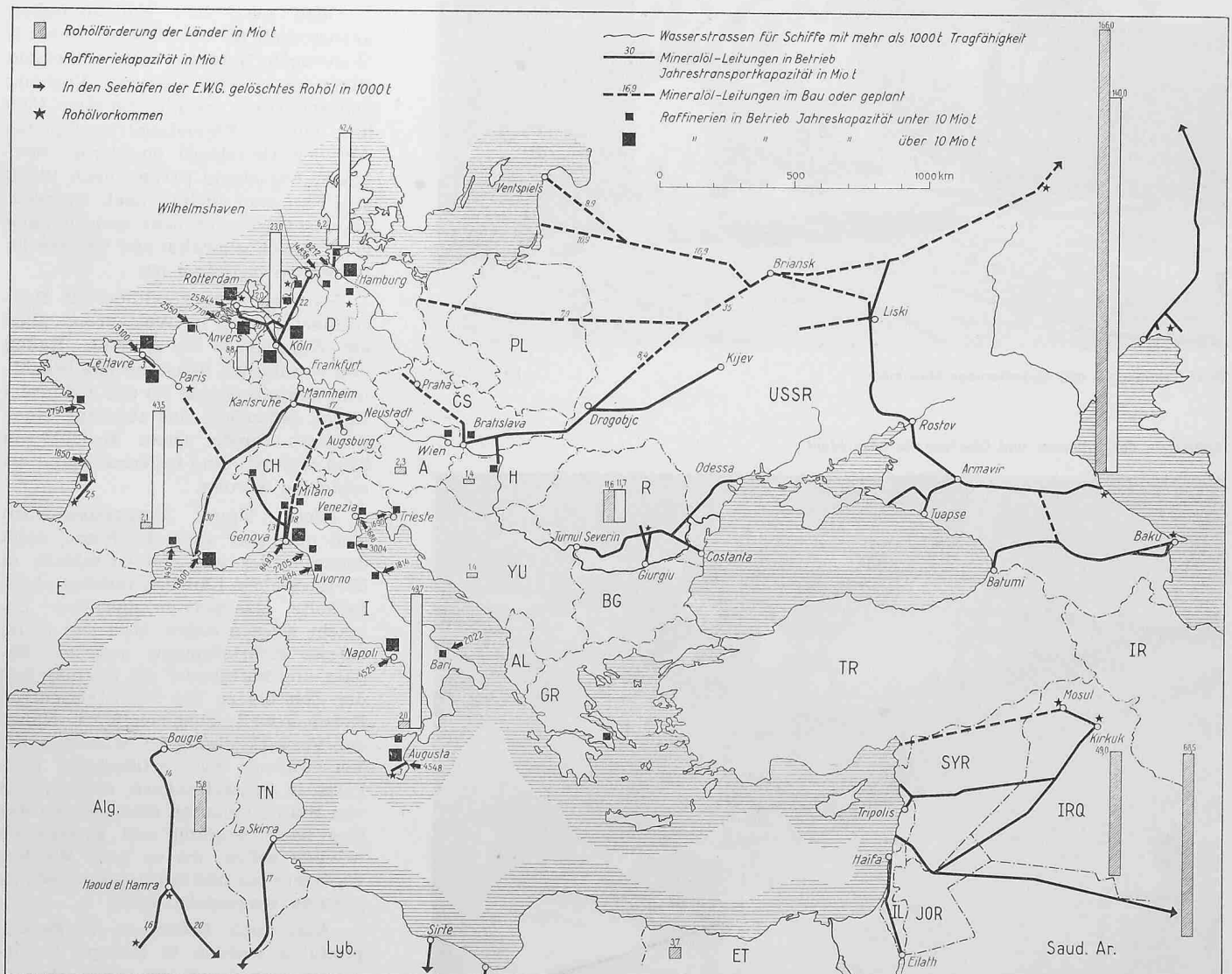
Das grösste bisher fertiggestellte westeuropäische Pipelineprojekt ist die erst vor einem Jahr in Betrieb gekommene SEPL (Südeuropäische Pipeline), welche Marseille mit den bei Strassburg und Karlsruhe entstandenen Raffinerien verbindet. Sie weist die für Europa beträchtliche Länge von 782 km bei einem Rohrdurchmesser von 86 cm auf und kann jährlich vorläufig 13 Mio t, bald wohl aber gegen 30 Mio t Roherdöl fördern.

Noch teilweise im Bau ist die *Mitteuropäische Pipeline* der ENI, die erste, welche nun auch unser Land berührt. Sie führt von Genua nach Ferrara, wo sie sich gabelt. Der erste, letzten Herbst in Betrieb gekommene Strang führt durch das Aostatal, den Strassentunnel des Grossen St. Bernhard und speist die in Collombey im Unterwallis entstandene «Raffinerie du Rhône». Er ist in Rohren abnehmenden Durchmessers (in der Schweiz noch 30 cm) ausgeführt und kann jährlich etwa 2½ Mio t durchsetzen. Am Strang von Ferrara über den Splügen ins St. Galler Rheintal und am Bodensee vorbei nach Ulm und Ingolstadt wird bekanntlich noch gebaut. Diese Leitung soll vor allem eine weitere, bei Ingolstadt entstehende Raffinerie speisen; doch haben sich auch die von ihr berührten schweizerischen Kantone ein Roherdöl-Bezugsrecht gesichert. Er wird in Rohren von 56/46 cm Durchmesser ausgeführt und soll eine Jahresleistung von 8 Mio t erhalten. Die Länge der Strecke Genua—Ferrara

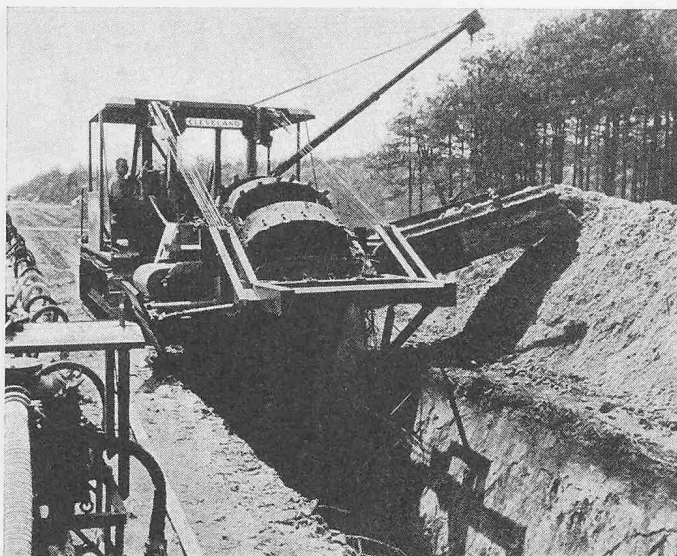


Das Entstehen wichtiger Erdölverarbeitungszentren in Europa; Schätzung für das Jahr 1965

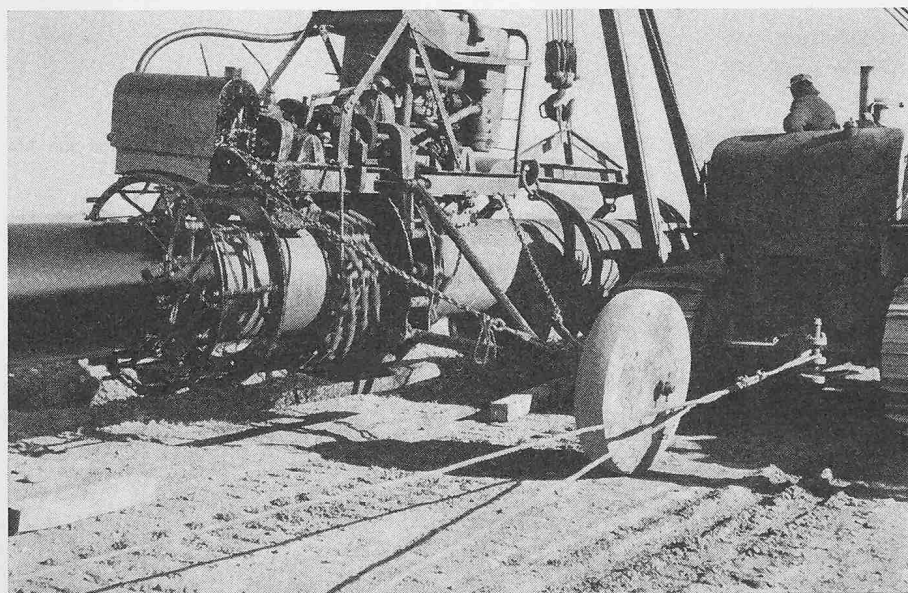
Die Verkehrsströme von Rohöl und Mineralölerzeugnissen in Europa. Die Linienzüge und Raffinerie-Signaturen beziehen sich auf den Zustand von Anfang 1964, die Zahlen hingegen auf Anfang 1962. Masstab 1:15 000 000







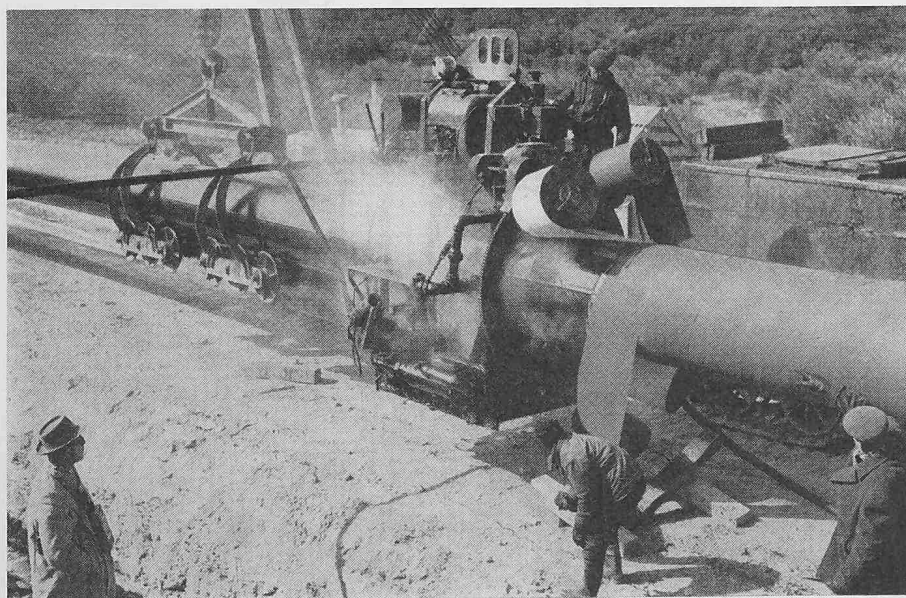
Ausheben des Rohrgrabens für die Nord-West-Oelleitung (NWO) von Wilhelmshaven nach Köln



Rohr-Reinigungs- und Grundierungs-Maschine

Fotos Esso

Anbringen der Bitumen- und Glasfaser-Schutzschicht



beträgt etwa 80 km, jener von Ferrara nach Collombey 340 und die Strecke Ferrara — Ingolstadt 575 km.

Ergänzend sei erwähnt, dass die SEPL unterdessen bereits von Karlsruhe nach Ingolstadt sowie nach Mannheim, die RRP von Wesseling nach Frankfurt weitergezogen wurden, so dass nun nur noch ein kurzes Stück zu einer kompletten Nord-Süd-Verbindung, dem seinerzeitigen Projekt SAP-PEUR, fehlt, das zweifellos ebenfalls noch erstellt werden wird. Am Ende der Verbindung Karlsruhe—Ingolstadt, der RDO (Rhein-Donau-Oelleitung), sind vor kurzem bereits zwei Raffinerien in Betrieb gegangen. Alle diese Ausführungen und Projekte haben dazu beigetragen, dass der Rohöltransport vom Mittelosten und von Nordafrika bis ins Herz Zentraleuropas bedeutend verkürzt und verbilligt werden konnte, was sich bereits in den Produktpreisen auszuwirken beginnt. Doch entwickelt sich der Erdölbedarf des süddeutschen Raumes steil aufwärts. Es ist vorauszusehen, dass auch alle die genannten Leitungen in einigen Jahren nicht mehr ausreichen werden. Deshalb ist bereits ein noch grösseres Projekt einer *transalpinen Pipeline* Adria — Ingolstadt in Bearbeitung. Sie soll einen Durchmesser von 100 cm erhalten.

Selbstverständlich werden auch die weiteren in unserm Lande geplanten Raffinerien auf geeignete Weise am bestehenden Roherdölnetz angeschlossen werden müssen. Zu diesem Zweck plant man für Cornaux und Mägenwil je eine Abzweigleitung von der SEPL, während eine im St. Galler Rheintal entstehende Raffinerie an die vorbeiführende zentraleuropäische Oelleitung angeschlossen werden könnte.

Ohne auch hier Vollständigkeit anzustreben, sei die Liste der Roherdölleitungen Europas noch mit einem Blick hinter den Eisernen Vorhang abgeschlossen, wo u. a. die etwa 4500 km lange «Freundschafts»-Pipeline von den Oelfeldern des Urals über Mozyr mit einem Strang nach Plock in Polen und weiter nach Schwedt an der Oder und dem andern nach der Tschechoslowakei und Ungarn im Entstehen begriffen ist.

Parallel zum geschilderten Roherdölnetz steht in Westeuropa auch ein Erdgasnetz im Aufbau. Italien und Frankreich haben bereits beachtliche Verteilssysteme für das auf ihrem Boden gefundene Gas angelegt. Noch grössere Funde (man spricht von 1100 Mld m<sup>3</sup>) sind in Nordholland erschlossen worden.

Nicht länger hinauszuschieben sind nun aber auch die Pläne, nach denen bisher auf den Oelfeldern in überseeischen Ländern nutzlos abgefackelte Gasmengen dienstbar gemacht werden sollen. Man legt heute bereits Rohrleitungen aus der Sahara ans Mittelmeer an, die man mit der Zeit bis zu den Industriezentren Europas weiterziehen hofft. Näher der Verwirklichung ist allerdings die Verschiffung des verflüssigten Erdgases in Spezialtankern, die kürzlich von Stapel gelaufen sind und die das Gas nach England und Frankreich bringen sollen, wo es nach Wiederverdampfung und Reformen ins Stadtgasnetz eingespeist wird.

Aber auch Leitungen für Fertigprodukte wurden in Europa bereits gebaut, von denen vor allem die von

den Raffinerien der Seine-Mündung ins Pariser Becken führende *TRAPIL* der Erwähnung verdient. Sie hat eine Länge von 240 km und ist letzthin bereits verdoppelt worden. Wie es bei Produkteleitungen üblich ist, weisen diese Stränge Durchmesser von nur 25 bis 30 cm auf. Die jährliche Kapazität beträgt heute zusammen 3 bis 4 Mio t.

Eine Besonderheit solcher Produktenleitungen ist die Tatsache, dass durch ein und dasselbe Rohr hintereinander verschiedene Produkte gepumpt werden können, ohne dass deshalb eine unzulässige Vermischung stattfindet. Voraussetzung ist allerdings, dass durch einen solchen Strang immer nur entweder «weisse» oder aber «schwarze» Ware transportiert wird. Auch ist an der Berührungsfläche verschiedener Sorten eine sich auf einige Dutzend Tonnen belaufende Vermischung nicht zu vermeiden. Man trachtet deren Konsequenzen durch eine geschickte Wahl der Pumpfolge in erträglichem Rahmen zu halten.

Die *Planung einer Rohrleitung* beginnt mit eingehenden Marktanalysen, die sich nicht nur auf die gegenwärtige Situation, sondern auch auf die wahrscheinliche Entwicklung des Marktes beziehen müssen. Man wird dann die Rohrleitung vorläufig für eine 85—95%ige Auslastung dimensionieren; doch soll sie ihrer Aufgabe — mit geeigneten Massnahmen — auch bei steigenden Anforderungen noch genügen können. Dazu ist in der Regel dann der Bau zusätzlicher Pumpstationen oder das Legen paralleler Stränge auf kritischen Strecken notwendig. Zum Transport einer bestimmten Menge kann man entweder Rohre von grösserem Durchmesser bei niedrigem Druckabfall, oder aber solche von kleinerem Durchmesser bei höherem Druckabfall wählen.

Dann kommen die *Trace-Studien*, wobei der direkteste Weg nicht immer auch der beste zu sein braucht. Stark zerschnittenes oder sonst schwer zugängliches Gelände, Flüsse, Seen, aber auch dicht besiedelte Gebiete oder z. B. Gewässerschutzzonen können einen Umweg als angezeigt erscheinen lassen. Beim Erwerb des Durchgangsrechtes ist heute in vielen Staaten für Leitungen allgemeinen Interesses auch die Expropriation möglich.

Der erste dem Laien auffallende Eingriff ist das Anlegen einer etwa 20 m breiten «Arbeitsschneise», das Beiseiteräumen kleinerer Hindernisse, wie Abschränkungen und dergleichen, das Fällen im Weg stehender Bäume und auf Ackerland das Beiseiteschieben der Humusschicht zur späteren Wiederverwendung.

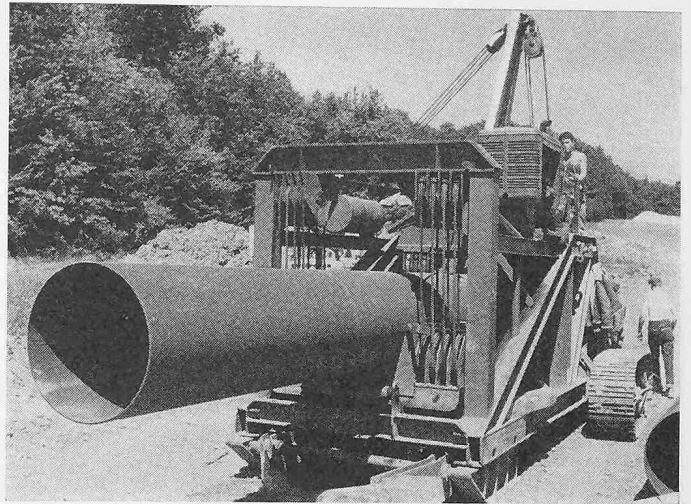
Wo es die Natur und Topographie des Bodens erlaubt, hebt dann ein Bagger einen etwa 1½ m tiefen Graben aus, längs welchem die vom Werk eintreffenden, je etwa 11 m langen Rohre ausgelegt werden. Wo nötig, müssen bei Bodenwellen und Richtungsänderungen einzelne Rohrstücke von einer sich selbst längs des Traces fortbewegenden Kaltbiegemaschine etwas abgelenkt werden. Dann werden die Rohre aufgebockt, die zu verschweisenden Enden nochmals kontrolliert und mit einer Spannvorrichtung genau ausgerichtet.

Zum Schweissen der Rundnähte werden nur hierfür ausgebildete und geprüfte Spezialisten zugelassen. Ihre Arbeit wird mindestens stichprobenweise mittels Röntgenstrahlen oder Ultraschall nachgeprüft.

Der von anhaftendem Schmutz und losem Rost befreite Rohrstrang wird mit einer Bitumenlösung grundiert und erhält schliesslich einen mehrere mm dicken und mit Glasfasermatte verstärkten Bitumenbelag als Korrosionsschutz. Auch für diese Arbeitsgänge werden meist Maschinen eingesetzt. Die Porenfreiheit der angebrachten Bedeckung wird mit einem Hochspannungsgerät nachgeprüft.

Nun kann die Leitung vorsichtig in den Graben abgesenkt werden. Das Rohr wird dann abschnittsweise, manchmal erst mit Luft, anschliessend aber auch noch mit Wasser auf etwas über Betriebsdruck abgepresst und so auf Dichtigkeit geprüft.

Vorübergehend entfernte Abschränkungen können nun wieder angebracht, der Boden ausgeebnet, der Humus verteilt und das Land zur Bebauung frei gegeben werden. Auf offener Strecke erinnern nach einiger Zeit nur noch die bei Strassen- und Bahnkreuzungen sowie bei Richtungsänderungen angebrachten Markierungstafeln an die hier durch-



Rohrbiegemaschine

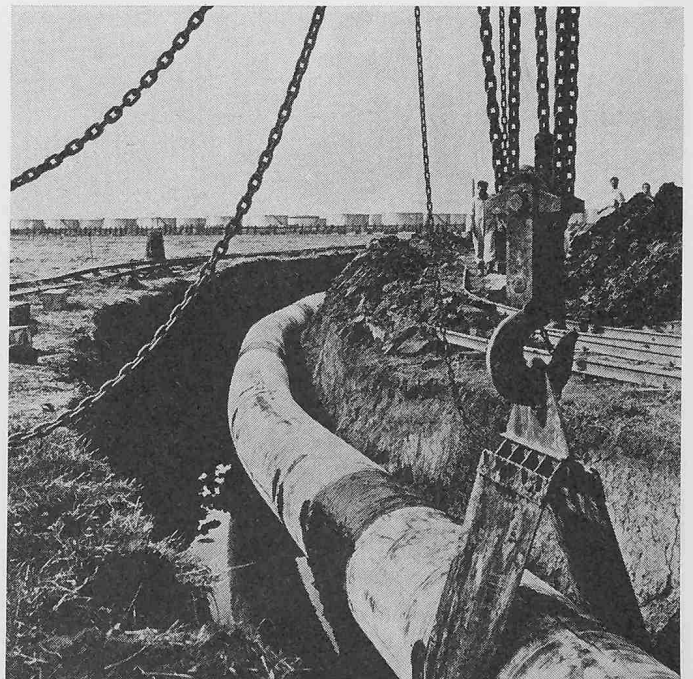
Foto Esso



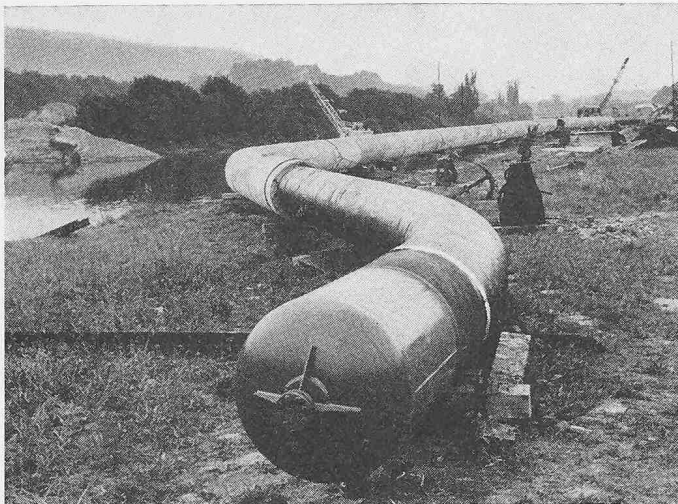
Spannvorrichtung zum Ausrichten zweier aneinanderzuschweisenden Rohre

Pipeline Rotterdam—Rhein, Absenken der zusammengeschweissten und mit einem Schutzanstrich versehenen Rohre

Foto Shell







Düker für die SEPL-Kreuzung mit dem Doubs

führende Rohrleitung. Nur im Wald bleibt eine Schneise bestehen, da die Wurzeln der Bäume sonst die Rohrbekleidung beschädigen könnten.

Spezielle Probleme ergeben sich bei Flusskreuzungen. Hier wird meist ein Düker verlegt, d. h. ein U-förmig gebogenes und oft mit einem Betonmantel bekleidetes Rohrstück, das man in einen quer zum Flusslauf gebaggerten Graben einzieht.

Noch anders geht man bei Kreuzungen mit wichtigen Strassen und Eisenbahnen vor, deren Verkehr nicht unterbrochen werden kann. Hier wird die eigentliche Rohrleitung durch ein etwas weiteres Mantelrohr geführt, welches man mit einer Bohr- und Schiebeeinrichtung unter dem Verkehrsweg durchstösst.

Im Hafenplatz, wo die Leitung beginnt, müssen zur Aufnahme der Tankerladungen Reservoirs, längs der Pipeline in Abständen von einigen hundert Kilometern Pumpstationen, und am Ende der Abzweigungen zu den Raffinerien Auffanglager erstellt werden. Zur Reinigung der fertigen Leitung, wie auch der im Betrieb stehenden, die periodisch vorzunehmen ist, wird mit der Flüssigkeit eine Molch oder «Go-devil» genannte Schaber-Bürste durch die Rohre gepumpt und an der Enstation in einer sogenannten Molchschleuse wieder aufgefangen.

Der ganze Pumpbetrieb wird bei modernen Anlagen von einem zentralen Kommandoraum aus oft über Hunderte von Kilometern gesteuert. Durch die Betätigung entsprechender Druckknöpfe öffnen und schliessen sich die gewählten Schieber, setzen sich Pumpen in Bewegung oder werden abgestellt. Alle wichtigen Daten, wie die Produktdurchsätze, das Druckprofil längs der ganzen Leitung usw. werden von registrierenden Instrumenten dauernd überwacht. Beim Ueber- oder Unterschreiten der eingestellten Werte stellt der Betrieb automatisch ab.

Für Notfälle wie Rohrbrüche und dergleichen, steht eine Oelwacht auf Pikett, die kurzfristig eingesetzt werden kann und über alles Material verfügt, das zum Abpumpen und Wegleiten ausgeflossenen Oeles, zum Abdichten und Reparieren der Leitung und zu weiteren Servicearbeiten notwendig werden kann. Dieses Material ist an über das ganze Trace verteilten Punkten eingelagert.

Wenn heute auch praktisch alle andern europäischen Länder über Erdölraffinerien und Pipelines verfügen, so waren solche Fragen bis vor kurzem für die Schweiz doch neu, und die Gesetzgebung hatte ihnen nicht Rechnung getragen. Man musste jedoch bald einsehen, dass man den Dingen nicht nur freien Lauf lassen konnte, wollte man nicht berechnete Interessen der Bevölkerung und vor allem auch des Gewässerschutzes aufs Spiel setzen. Die Ausarbeitung und das Inkraftsetzen neuer Gesetze braucht aber bekanntlich erhebliche Zeit. Um der sich überstürzenden Entwicklung Rechnung zu tragen, haben deshalb die «Pipeline-Kantone» St. Gallen, Graubünden und Wallis eine *Interkantonale Kommission* ernannt, die alle Pipelinefragen zu behandeln hatte und die sich bezüglich der vorzunehmenden Kontrollen von der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt — soweit dies in ihr Arbeitsgebiet fiel — beraten liess. Dass die in der Folge aufgestellten provisorischen Vorschriften im Laufe der Bauarbeiten dann bereits einschneidend zur Verbesserung der Qualität zur Anwendung gelangten, spricht für deren Notwendigkeit.

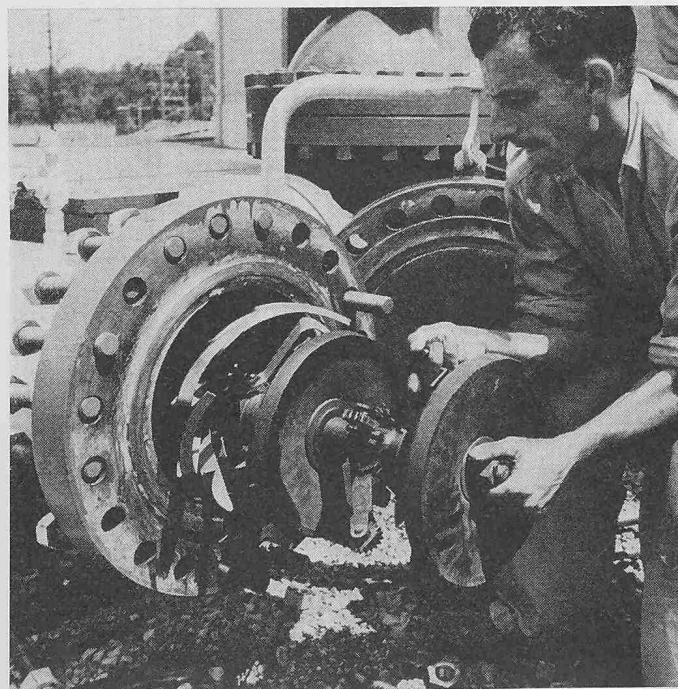
Unterdessen ging die Gesetzesmaschine auf eidgenössischer Ebene ihren geordneten Gang. In der Volksabstimmung vom 5. März 1961 wurde die von der Bundesversammlung beschlossene Ergänzung der Verfassung durch einen sogenannten Rohrleitungsartikel mit grossem Mehr gutgeheissen. Das *Bundesgesetz über Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe* wurde letzten Herbst von der Bundesversammlung verabschiedet.

Einsetzen eines «Go-devils» in eine Rohrleitung. Er wird dann durch die Leitung gepumpt, in der er sich mit rasselndem Geräusch fortbewegt. Ein Kontrolleur folgt ihm manchmal zu Pferde. Bleibt der Go-Devil wegen einer Verstopfung stecken, so hört der Reiter dies und kann die Leitung dort öffnen und die Verstopfung entfernen lassen



Verlegen eines Dükers

Foto BP



Es wurde nach Ablauf der dreimonatigen Referendumsfrist in Kraft gesetzt.

Der Gesetzesentwurf unterscheidet *drei Kategorien von Leitungen*, nämlich [5]:

1. Solche, denen wegen ihres Druckes und Durchmessers grössere Bedeutung zukommt und die deshalb einer Konzession des Bundes bedürfen und der Aufsicht des Bundes unterstehen; liegt eine solche Leitung im öffentlichen Interesse, so kann dem Konzessionär für den Erwerb der erforderlichen Durchleitungsrechte das Eidg. Enteignungsrecht gewährt werden,

2. solche, die das durch die Vollziehungsverordnung aufgestellte Kriterium von Druck und Durchmesser nicht erreichen. Sie bedürfen einer Bewilligung des Kantons und unterstehen dessen Aufsicht,

3. solche, auf die das Gesetz überhaupt nicht zur Anwendung kommt. Es sind dies Leitungen, die nur eine beschränkte Länge haben und Bestandteil einer Einrichtung zur Lagerung oder Verwertung von Brenn- oder Treibstoffen bilden.

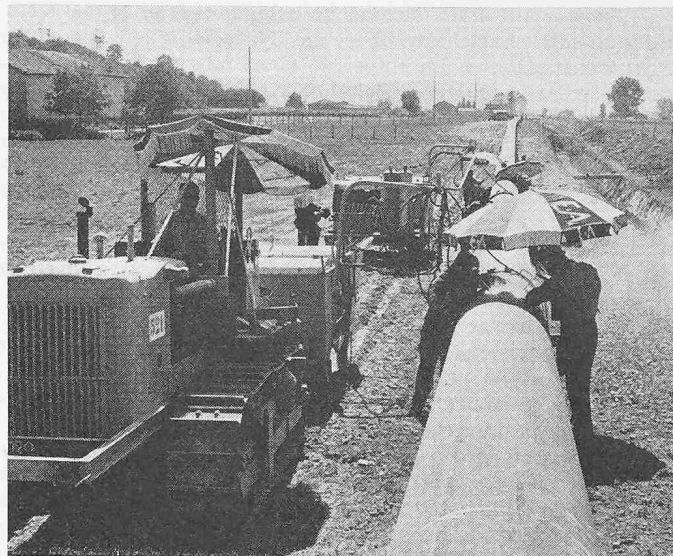
Im weiteren regelt das Gesetz das Konzessionierungs-, Plangenehmigungs- und Expropriationsverfahren; es umschreibt die Rechte und Pflichten des Rohrleitungsinhabers und die Befugnisse der Aufsichtsbehörden, statuiert eine strenge Haftpflicht und ein Versicherungsobligatorium für eventuelle Schäden, die durch die Rohrleitung verursacht werden, und stellt gewisse Straftatbestände auf.

Um eine rasche Anpassung an die technische Entwicklung zu ermöglichen, wurden die *technischen Vorschriften* nicht in das Gesetz selbst aufgenommen, sondern werden den Inhalt einer Verordnung des Bundesrates bilden. Mit der Ausarbeitung eines Entwurfes dazu hat der Bundesrat den S. I. A. betraut. Dieser hat eine unter dem Präsidium von Dir. W. Bänninger der Elektro-Watt stehende Kommission von Fachleuten ins Leben gerufen, der weiter Vertreter der Eidg. Ämter für Energiewirtschaft und Gewässerschutz, des Schweiz. Vereins für Schweisstechnik, des Schweiz. Vereins von Dampfkesselbesitzern, der Gas-, eischaffenden und chemischen Industrie, der EPUL Lausanne, der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz und schliesslich auch ein Vertreter der vorgenannten interkantonalen Pipeline-Kommission angehören.

Dieses Gremium hat in zahlreichen ganztägigen Beratungen und Unterkommisionssitzungen im Laufe der letzten zwei Jahre nun «*Sicherheitsvorschriften*» bereinigt, die sich ursprünglich weitgehend bewährten ausländischen (vor allem den API-)Regeln des Pipelinebaus anlehnten, in die jedoch vor allem auf dringendem Wunsch des Gewässerschutzes auch noch weitergehende, den spezifischen schweizerischen Interessen besser Rechnung tragende Bestimmungen eingebaut wurden. Die Meinungen sind dabei öfters heftig aufeinandergeprallt; der fertige Entwurf darf aber als ein brauchbarer Kompromiss bezeichnet werden. Er ging dann zur Vernehmlassung an die Mitglieder des S. I. A. und nach Bereinigung im Herbst letzten Jahres an den Bundesrat. Dieser hat dann auch noch die interessierten Behörden und Verbände zur Vernehmlassung eingeladen. Die Verarbeitung der vielen wiederum eingegangenen Anregungen hat die endgültige Formulierung nochmals etwas verzögert; sie wurde unterdessen nun aber bereinigt.

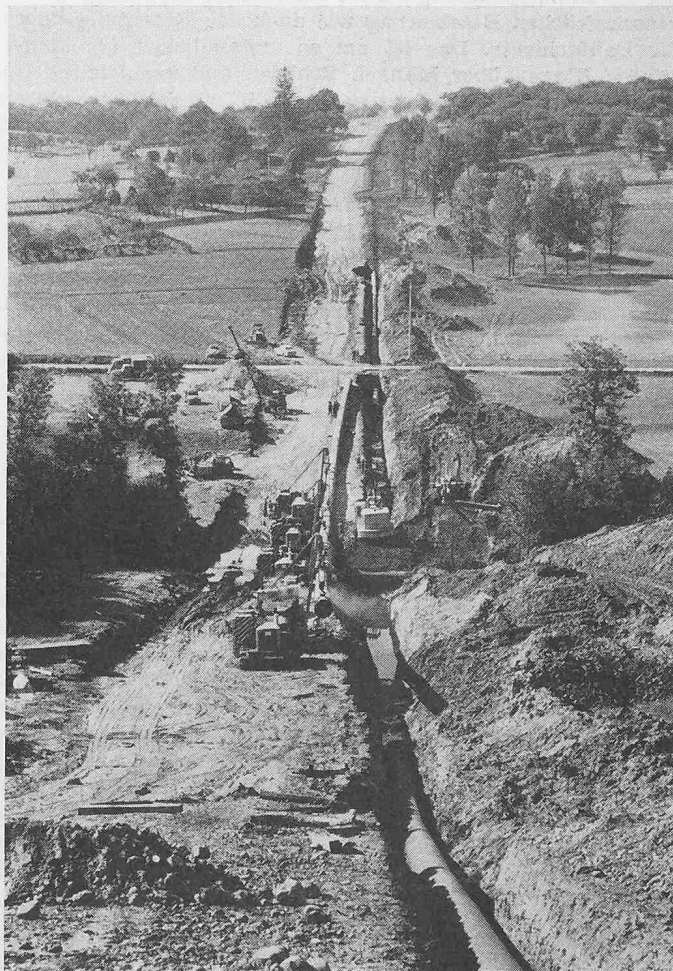
Es ist noch festzuhalten, dass diese Sicherheitsvorschriften nach reiflicher Ueberlegung keine eigentlichen Materialanforderungen und dergleichen enthalten, da solche der raschen Weiterentwicklung der Technik unterworfen sind. Entsprechende Vorschriften sollen getrennt als sogenannte «*Leitsätze*», die die Form einer S. I. A.-Norm annehmen dürften, herausgegeben werden.

Die ausführliche Besprechung der Regeln und Normen würde selbstverständlich den Rahmen sprengen. Doch seien einige wichtige oder interessante Punkte festgehalten:



Bezüglich des für die *Einordnung einer Pipeline unter das Gesetz* gültigen Kriteriums hat man sich nach langen Diskussionen auf die Formel geeinigt, dass alle jene, dem Transport flüssiger oder gasförmiger Brenn- und Treibstoffe dienenden Leitungen darunter fallen sollen, bei denen *gleichzeitig* das Produkt aus Druck (in kg/cm<sup>2</sup>) mal Aussendurchmesser (in cm) den Wert von 200 und der Druck 5 kg/cm<sup>2</sup> überschreitet. Als «*Druck*» gilt der unter normalen Verhältnissen an irgend einer Stelle der Rohrleitung auftretende Höchstdruck (Ueberdruck) ohne Einschluss von Druckstössen.

Weiter erachtete man es als zweckmässig, *einheitliche Regeln für flüssige und gasförmige Medien* herauszugeben, da solchen viele Kapitel gemeinsam sind. Den besondern Anforderungen der Flüssigkeiten und Gase ist man in einem je für diese bestimmten speziellen Teil gerecht geworden.



Baustelle der SEPL (Südeuropäische Pipeline) bei Valence (Frankreich).  
Rohrdurchmesser 86 cm Fotos Esso



Schwer auf einen Nenner zu bringen waren in der Kommission die Ansichten über die Notwendigkeit *spezieller Schutzmassnahmen* im Interesse eines möglichst weitgehenden Gewässerschutzes. Bekanntlich ist kein technisches Werk mit einer hundertprozentigen Sicherheit zu verwirklichen. Dies gilt selbstverständlich auch für Pipelines bezüglich der Leckgefahr, für welche leicht Beispiele aufgeführt werden können. Der Gewässerschutz drang deshalb aus begreiflicher Sorge um die Folgen eines grösseren Oelaustrittes auf zusätzliche Schutzmassnahmen. Man dachte dabei für begrenzte Gebiete an einen eigentlichen Leckschutz oder doch an rasch und auf kleine Lecke bereits ansprechende Leckwarneinrichtungen.

Ganz abgesehen vom Preis wurde jedoch die Möglichkeit der Konstruktion und Bewährung der in diesem Zusammenhang propagierten Doppelrohre von den konsultierten Pipelinefachleuten in hohem Masse angezweifelt. Auch Leckwarnmassnahmen des gewünschten Typs sind heute noch ein Wunschtraum. Deshalb musste in den Vorschriften auf eine konkrete Formulierung solcher spezieller Schutzmassnahmen verzichtet werden. Der beste Schutz liegt heute in einer sorgfältigen Auswahl des Rohrmaterials, in einer strengen Ueberwachung des Fertigstellungsvorganges im Röhrenwerk, der möglichst weitgehenden Kontrolle der Schweissnähte und der Schutzumhüllung und im permanenten kathodischen Schutz des fertigen Bauwerkes. Sollten trotzdem Lecke auftreten, so müssten sie durch eine häufige Begehung des Tra-

ces, wobei sich schon kleine Lecke durch eine Veränderung der Vegetation verraten, und z. B. periodische Dichtheitsprüfungen nach dem Druckdifferenzsystem erfasst werden.

Der Verfasser ist überzeugt, dass bei Einhaltung der nun vorliegenden Sicherheitsvorschriften auch unser Land leistungsfähige und wirtschaftlich arbeitende Erdöl- und Erdgasarterien zur Stillung des heute nun einmal unersättlichen Energiehungers erhalten wird, ohne dass deshalb den berechtigten und auch ihm am Herzen liegenden Belangen des Natur- und Gewässerschutzes auf untragbare Weise Abbruch getan würde.

#### Literatur:

- [1] Das Erdöl — seine wirtschaftlichen Aspekte. Shell Switzerland 1961.
- [2] Recent Development in the Economics of Petroleum Refining. Frankel P. H. and Newton W. L. Paper 20, Section VIII, 6th World Petroleum Congress 1963.
- [3] Pipeline-Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates beim Bundesverkehrsministerium «Erdöl und Kohle», Juli 1960.
- [4] Botschaft des Schweiz. Bundesrates zum Pipelinegesetz. Sept. 1962.
- [5] Die Rohrleitungen in der Sicht des Gesetzgebers, von H. R. Siegrist, «Schweizer Archiv», April 1963.

Adresse des Verfassers: Dr. Heinrich K. Ruf, EMPA, Ueberlandstrasse 129, Dübendorf ZH.

## Über die Dampfdiffusion in Kühlraumwänden

DK 621.565:624.022:533.15

Von A. Ostertag, dipl. Ing., Zürich

Während die Gesetze der Wärmeströmung durch Wände und Isolierungen wie auch die massgebenden Stoffwerte und Uebergangszahlen schon seit langem bekannt sind und in der Praxis auch angewendet werden, entbehrten die Vorgänge bei der Dampfströmung bis vor kurzem der notwendigen wissenschaftlichen Bearbeitung wie auch der Beachtung durch die Baufachleute. Das ist um so erstaunlicher, als immer wieder Klagen über Mängel, Schäden und kostspielige Instandstellungsarbeiten laut werden, die offensichtlich durch Feuchtigkeitsausscheidungen in Wänden verursacht worden sind und bei richtigem Aufbau der Wände hätten vermieden werden können.

Das Problem der Dampfdiffusion wurde unseres Wissens erstmals 1938 von O. Krischer [1] \*) behandelt. J. S. Cammerer greift in [2] (1954) auf den von Krischer eingeführten Diffusionswiderstandsfaktor zurück und gibt im Zusammenhang mit den dort behandelten Fragen über das Verhalten der Stoffe gegenüber flüssigem und dampfförmigem Wasser (S. 333 u. ff.) einige Zahlenwerte bekannt. Im Jahre 1947 erschien das Buch von Prof. Dr. M. Bäckström, Stockholm: «Kältetechnik» in schwedischer Sprache. Die deutsche Uebersetzung kam 1953 heraus [6]. Dort findet sich auf S. 395 u. ff. ein Abschnitt über den Feuchtigkeitsdurchgang durch Kühlraumwände, zu dem Tabellen mit Dampffleitzahlen gehören, und es wird auch ein Zahlenbeispiel durchgerechnet. Die grundlegenden Arbeiten hat Prof. Dr. H. Glaser, Göttingen, durchgeführt. Sie erschienen 1958 in einer Folge sehr bemerkenswerter Aufsätze [3], in denen nicht nur eine Theorie über die Wasserdampfdiffusion und die damit zusammenhängenden Erscheinungen gegeben, sondern auch deren Anwendung auf isolierte Kühlraumwände gezeigt wird. Die wesentlichen Ergebnisse der ausführlichen Darlegungen Glasers fasste J. S. Cammerer in der vierten Auflage seines grundlegenden Werkes über den Wärme- und Kälteschutz in der Industrie [4] zusammen. Dort sind auch die Zahlenwerte für die Diffusionswiderstandsfaktoren der verschiedenen Bau-, Isolier- und Sperrstoffe zu finden. Für Wohn- und Arbeitsräume gibt E. Rothenbach interessante Berechnungsverfahren und Anwendungsbeispiele in [5] bekannt.

\*) Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

Trotz diesen Veröffentlichungen werden bei Neubauten die Wandkonstruktionen nur selten im Hinblick auf die zu erwartenden Diffusionsvorgänge untersucht. Meist begnügt man sich mit dem Anbringen einer Dampfsperre, ohne die erforderliche Sperrwirkung rechnerisch festzulegen. Es dürfte daher erwünscht sein, auch an dieser Stelle die Ergebnisse der theoretischen Untersuchungen bekannt zu geben und die Anwendung der Berechnungsverfahren an einigen für den Kühlhausbau typischen Beispielen zu zeigen.

Während es bei der Wärmeströmung vor allem darum geht, die Grösse des Wärmeflusses unter gegebenen Verhältnissen zu ermitteln und die Isolierstärken so zu bemessen, dass diese Strömung in vertretbaren Grenzen bleibt, sind bei der Dampfströmung die Fragen zu klären, ob es in einer hinsichtlich Wärmeströmung richtig aufgebauten Wand bei den vorkommenden klimatischen Bedingungen zu einer Feuchtigkeitsausscheidung komme, wie gross sie ist, wie stark eine allfällig nötige Dampfsperre bemessen und wo diese eingebaut werden muss, um eine solche Ausscheidung entweder ganz zu vermeiden oder auf das zulässige Mass zu verringern. Wir beschränken uns bei unseren Betrachtungen auf die Untersuchung von Beharrungszuständen, schliessen also Anwärm- bzw. Abkühlungsvorgänge aus.

Bekanntlich kondensiert aus feuchter Luft Wasserdampf aus, wenn dessen Partialdruck  $p_d$  den der Lufttemperatur  $t$  entsprechenden Sättigungsdruck  $p_s$  erreicht. Es ist somit notwendig, vorerst den Temperaturverlauf innerhalb der Wand zu ermitteln, worauf dann mit Hilfe der bekannten Tafeln für Wasserdampf der Verlauf des Sättigungsdruckes  $p_s$  aufgezeichnet werden kann. Dabei ist zu beachten, dass für Temperaturen unter  $0^\circ$  die Sättigungsdrücke über Eis zu wählen sind. Nach Beendigung dieser Vorarbeit wird der wirkliche Verlauf des Dampfdruckes  $p_d$  festgestellt, worauf dann die oben aufgeworfenen Fragen nach einer allfälligen Feuchtigkeitsausscheidung beantwortet werden können.

### 1. Das Berechnungsverfahren

Der Wärmestrom  $q$  in einem homogenen Wandausschnitt, das heisst die je  $m^2$  und Stunde durch die Wand hindurchströmende Wärmemenge in  $kcal/m^2h$ , ist dem Temperatur-