

# Unterquerung des Vierwaldstättersees bei Luzern mit Kabelschutzrohren aus Hartpolyäthylen

Autor(en): **John, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **52 (1974)**

Heft 5

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874759>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Unterquerung des Vierwaldstättersees bei Luzern mit Kabelschutzrohren aus Hartpolyäthylen

Peter JOHN, Luzern

621.315.285(494.271) : 621.315.671 : 679.582

*Zusammenfassung. Die Gründe der Unterquerung, die Planung und die Detailprojektierung sind zuerst erläutert. Die Wahl der Verlegungsart, die Baumethode und die Technik des Einspülens werden besprochen. Zuletzt werden Auskünfte über die Rohrleitungen, ihre Herstellung und die zu treffenden Vorsichtsmaßnahmen gegeben.*

## **Pose sous-lacustre de tubes de protection de câbles en polyéthylène dur, dans le lac des Quatre Cantons à Lucerne**

*Résumé. Les raisons qui ont conduit à la traversée du lac, la planification et le projet de détail sont tout d'abord exposés. Le choix du genre de pose, la méthode et la technique de travail sont discutés. Pour terminer, l'auteur renseigne sur les tubes utilisés, leur construction et les mesures de sécurité à prendre.*

## **Posa subacquea di canali di protezione per cavi, di polietilene dura, nel lago dei Quattro Cantoni**

*Riassunto. Anzitutto vengono esposte, oltre alle ragioni che hanno consigliato un attraversamento del lago, la pianificazione e la progettazione di dettaglio. Si discutono quindi il genere di posa, il metodo di costruzione e la tecnica dell'affondamento nel suolo subacqueo. Per terminare l'autore dà informazioni sulle tubazioni, sulla loro fabbricazione e sulle misure di sicurezza da prendere.*

## **1. Allgemeines**

Das Fernbetriebszentrum Luzern I bei der Hauptpost vermittelt den grössten Teil des automatischen Telefonfernverkehrs der zentralschweizerischen Netzgruppen 041... 045, den Verkehr der Netzgruppe 041 sowie jenen zu den manuellen und mechanisierten Dienststellen. Diese Anlage, 1951 in einem für damalige Auffassungen sehr grosszügig geplanten Gebäude in Betrieb genommen, wird 1976 vollständig ausgelastet sein. Der Bau zusätzlicher Ausrüstungen am bisherigen Standort ist nicht mehr möglich und aus Gründen der Betriebssicherheit auch nicht erwünscht. Das Fernknotenamt Luzern wird daher um ein zweites Fernbetriebszentrum auf Tribtschen erweitert.

## **2. Planung und Detailprojektierung**

Damit das im Bau begriffene Fernbetriebszentrum II Luzern-Tribtschen an das bestehende Kabelnetz angeschlossen werden kann, mussten neue Kabelwege geschaffen werden.

Verschiedene, vor allem wirtschaftliche Überlegungen führten schon in der Planungsphase zur Absicht, die neuen Fern- und Bezirkskabel aus Richtung Meggen-Schwyz-Aldorf dem Fernbetriebszentrum Tribtschen auf kürzestem Wege, das heisst direkt durch das Luzerner Seebecken, zuzuführen. Diese Kabelführung bringt gegenüber dem Landweg eine Verkürzung des Trassees um 2100 m und damit erhebliche Einsparungen. Zudem entfällt eine zu grosse Konzentration von Kabeln im Stadtgebiet, so dass im Katastrophenfall alle rechtsufrigen Zentralen mit Umwegschaltung über die Seestrecke mit dem Fernbetriebszentrum II verbunden werden können.

Das Baudepartement des Kantons Luzern hat auf Gesuch der Kreistelefondirektion Luzern generell die Bewilligung zur Seekabelverlegung erteilt. Das Auslegen verschiedener Kabeltrassees auf dem Seegrund birgt die Gefahr der Kabelverletzung durch Ankerwurf, bei Seeaufschüttungen, usw. Die sehr verschieden gelagerten Interessen der Seeanwohner und -benützer sowie die rege öffentliche Schifffahrt (täglich ungefähr 50 Kursschiffe) erheischen für den Bau dieses neuen Kabelweges ein Verfahren, das sowohl den

Ansprüchen der Transportunternehmen als auch jenen der Fernmeldedienste PTT entsprach.

Das im Ausland und bei der Rheinunterquerung in Stein am Rhein bereits angewandte, bewährte Einspülverfahren wurde auch zur Querung des Luzerner Seebeckens ins Auge gefasst. Der neu projektierte Kabelweg zwischen dem Strandbad Lido und dem Alpenquai sah eine Anlage von 12 Kunststoffrohren, aufgeteilt in zwei Blöcke zu je 6 Rohren vor, um den Kabeln den nötigen mechanischen Schutz zu verleihen. Dies erlaubt zu gegebener Zeit, ohne die Schifffahrt und den Badebetrieb zu stören, den Einzug und allfälliges Auswechseln der 1385 m langen Kabelsektionen. Der siltige Luzerner Seegrund, die Möglichkeit zur reichlichen Überdeckung der beiden Rohrblöcke, der Vorteil des Einspülverfahrens durch das die Schifffahrt wenig behindert wurde, waren der Anlass zur Wahl dieser auf Schweizer Seen erstmals praktizierten Verlegungsart.

Die Spezialunternehmung *Josef Riepl* Aktiengesellschaft für Wasser- und Dükerbau, Weinheim (Deutschland) wurde zur Einreichung eines Angebotes eingeladen. Als Offertgrundlagen dienten das Seeprofil, das im Februar 1972 durch das Eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft aufgenommen worden war sowie örtliche, auf der Verlegeachse vorgenommene Probespülungen. Ende September 1972 wurde der Auftrag erteilt und, nachdem das Projektvorhaben mit den interessierten Instanzen besprochen war, der Baudermin definitiv auf Mitte September 1973 festgelegt.

## **3. Baumethoden**

Im Bereich des vorgesehenen Trassees wurde eine Untersuchung des Seebodens durchgeführt, um seine Beschaffenheit möglichst genau zu bestimmen. Wie vermutet, kommt in diesem Bereich vorwiegend siltige Seekreide mit mehr oder weniger starker Konsistenz vor.

Zunächst wurde die Verlegung der Kabelschutzrohre in der konventionellen Bauweise geprüft, das heisst unter Herstellen eines etwa 2,50 m tiefen Baggergrabens in der Seesohle mit einem Saug- oder Cutterbagger, Montieren der Rohre zu einem rund 1250 m langen Bündel, Einschwenmen und Absenken der Rohre, Wiederauffüllen des Gra-

bens und Wiederherstellen des ursprünglichen Seeprofiles. Bei eingehender Untersuchung dieser Bauweise ergab sich, dass diese Ausführungsart technisch und wirtschaftlich sehr aufwendig ist und aufgrund der örtlichen Gegebenheiten während der Ausführung stärkere Behinderungen unvermeidbar gewesen wären. Während der Montage der Rohre im Uferbereich zu einem Bündel wären die Seeanlieger und der Verkehr sehr behindert worden. Zum Einschweben und während des Absenkvorganges der Rohre in den Dükergraben hätte der Schiffsverkehr vollkommen gesperrt werden müssen.

Um diese Unannehmlichkeiten zu vermeiden und das Bauwerk möglichst schnell und wirtschaftlich durchzuführen, wählte man das Einspülverfahren als günstigste Methode (Fig. 1). Diese bot den Vorteil, dass im Bereich der Seestrasse keine Baggerarbeiten durchzuführen waren, kein Montageplatz für die Kunststoffrohre benötigt wurde, die Schifffahrt nicht zu sperren war und die auf dem See verkehrenden Kurs- und Ausflugsschiffe während der Verlegung der Rohre kaum behindert wurden. Auch war die Bauzeit wesentlich kürzer als bei der konventionellen Verlegungsart. Zu diesem Zweck wurde ein speziell entwickeltes Pontongerät (Gesamtgewicht ungefähr 200 t) eingesetzt. Dieses in vier Sektionen zerlegbare, mit eigenem Motorantrieb versehene Schiff konnte auf dem Schienenwege transportiert, beim See- und Kiesverlad am Vierwaldstättersee abgeladen, zu Wasser gebracht und zusammengebaut werden.

#### 4. Baudurchführung

Die für diese Verlegung günstigsten Trassees führen vom Lido bis zum Alpenquai. Verlegt wurden insgesamt 12 Kunststoffrohre in zwei Gruppen zu je sechs Stück in einem Grabenabstand von etwa 11 m. An beiden Ufern wurden die beiden Trassees wieder zusammengeführt, was erlaubte, die Rohre als Paket in die vorgesehenen Schächte einzuführen.

Die Bucht im Unterquerungsbereich ist rund 1185 m breit. Die Wassertiefe beträgt bei mittlerem Wasserstand im grössten Teil der Seestrasse zwischen 3 und 7 m. Etwa im ersten Drittel der Strecke – vor dem Strandbad Lido – liegt der Grund 26 m tief.

Die Arbeiten erstreckten sich von Ende August bis Anfang November 1973. Nach dem Transport aller Einrichtungen konnte die Montage des Verlegeschiffes und die notwendigen Vorarbeiten Mitte September abgeschlossen werden. Die Verlegung der ersten sechs Rohre fand, nach der Probespülung, zwischen dem 1. und 8. Oktober statt. An Samstagen wurde jeweils den ganzen Tag gearbeitet. Starke Verzögerungen in der Lieferung der Rohre hatten zur Folge, dass die zweite Bauetappe erst am 2. November in Angriff genommen werden konnte. Die Verlegungsarbeiten wurden ohne Unfall oder Behinderung des Schiffsverkehrs am 9. November beendet. Abschliessend wurden die Uferpartien eingedeckt und der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt.

#### 5. Technik des Einspülens

Zur Einspülung steht ein am Verlegeschiff senkrecht befestigtes Spülrohr zur Verfügung (Fig. 2). Dieses wird mit einer auf dem Ponton aufgestellten Seilwinde über die ganze Arbeitsstrecke durchgezogen. Das Spülrohr besteht aus

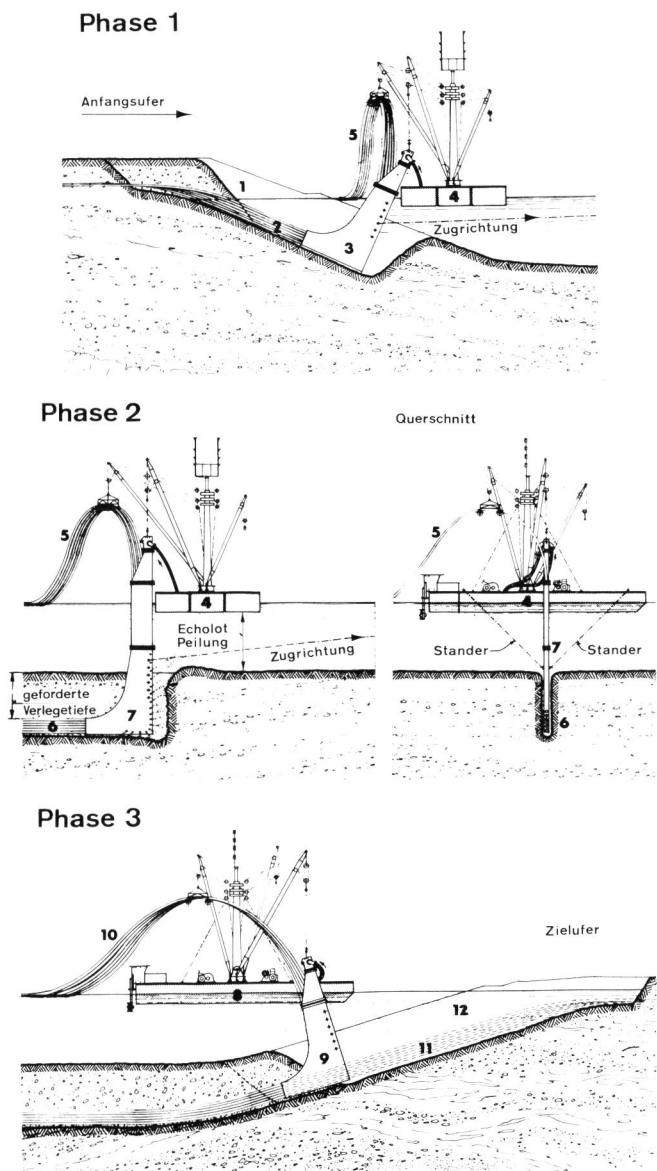


Fig. 1  
System des Einspülverfahrens

- 1 Grube zum Einsetzen des Spülrohres, darin die Kunststoffrohre von der waagrecht in die senkrechte übereinander verschwenkt
- 2 Kunststoffrohre bereits in der endgültigen Lage
- 3 Spülrohr im Ansatz, Kunststoffrohre eingebaut, nach Verfüllung eines Teiles von 1, Beginn der Einspülung
- 4 Einspülsschiff mit Wasserdruckpumpen und Winden ausgerüstet
- 5 Noch nicht eingespülte Kunststoffrohre, auf dem Wasser schwimmend, durch Rollenbogen gehalten
- 6 Fertig eingespülte Kunststoffrohre in endgültiger Lage
- 7 Spülrohr während der Verlegung in der geforderten Tiefe, Spüldüsen in Tätigkeit
- 8 Einspülsschiff um 90° gedreht, um Spülrohr möglichst weit landwärts zu führen
- 9 Spülrohr in der Endphase, wird hier vom Kunststoffrohr gelöst und abgebaut
- 10 Restlänge der Kunststoffrohre
- 11 Die Enden der Kunststoffrohre in Uferböschung verlegt und verschwenkt
- 12 Grube zum Ausbauen des Spülrohrs

zwei Hauptkanälen. Der in Arbeitsrichtung gesehene vordere Kanal ist innen nochmals unterteilt und wird mit Druckwasser der im Verlegeschiff eingebauten Wasserpumpen beschickt. Sie drücken das aus dem See entnommene Wasser mit etwa 10...12 atü durch die in der Schneide angeordneten Spüldüsen (Fig. 3). Der Druck richtet sich nach der Spülbarkeit des jeweils vorkommenden Untergrundes. Dadurch wird der gegen die Schneide anstehende Seegrund in ein Boden-Wasser-Gemisch verwandelt, das die Reibung auf das Spülrohr vermindert, in sandigem Seeboden sogar fast aufhebt. Bei harten Böden (Mergel, durch Sprengungen zertrümmerter und aufgelockerter Fels) kann zur Verringerung der Wandreibungskräfte das Spülrohr mit einem Zu

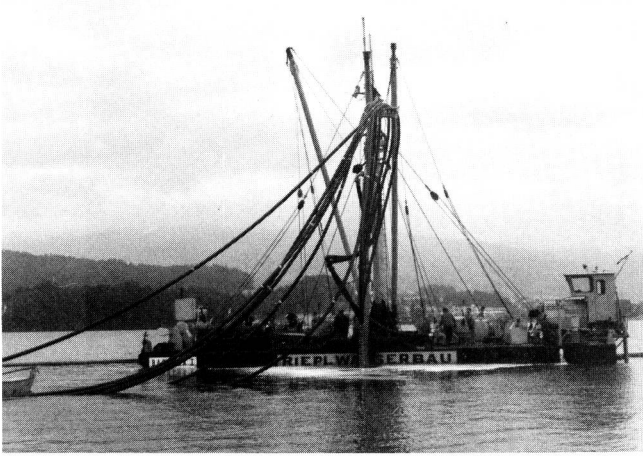


Fig. 2  
Einsetzen des Spülrohres

satzgerät zum Schwingen gebracht werden, um das Einspülen zu ermöglichen.

Der hintere Kanal des Spülrohres nimmt die sechs zu verlegenden Kabelrohre gleichzeitig auf. Der untere Teil besteht aus einem im Fuss nach hinten waagrecht auslaufenden Viertelkreis, so dass die senkrecht in das Spülrohr einlaufenden Polyäthylenrohre dieses unten, in die Horizontale umgelenkt, mit der Vorwärtsbewegung verlassen. Das Spülrohr kann je nach Verlege- beziehungsweise Wassertiefe durch Aufsatzstücke bis etwa 30 m verlängert werden.

Dem Einspülen geht eine Probespülung voraus. Sie wird ohne Kabelrohre ausgeführt, mit dem Zweck, die Durchgängigkeit des Bodens festzustellen und zu prüfen, ob auf dem vorgesehenen Verlegestrasse nicht Hindernisse, wie Baumstämme, Wracks, Findlinge usw., der Einspülung im Wege stehen.

Sowohl beim Probe- als auch beim Einspülvorgang wird die Schifffahrt kaum gestört. In keinem Fall muss sie gesperrt werden. Die Zugseile zum Ufer können, wenn Schiffe das Verlegegerät passieren wollen, kurzfristig auf Grund gelassen werden. Erdarbeiten fallen lediglich auf beiden Uferseiten an. Ausgangsseitig ist eine Grube zum Einset-



Fig. 3  
Detail der an der Schneide sichtbaren neun Spülrösen

zen, am Zielufer eine Ausfahrgrube für das Spülrohr vorzubereiten (Fig. 4).

Die Kunststoffrohre werden nach der Verlegung einer Kaliberprüfung unterzogen, um den Nachweis der absoluten Durchgängigkeit für das später folgende Einziehen der Kabel zu erbringen.

## 6. Die Kunststoffkabelrohrleitungen

Die Kunststoffe haben auch im Rohrsektor ein grosses, noch ständig im Wachsen begriffenes Anwendungsgebiet gefunden. Kunststoffrohre bieten gegenüber Metallrohren die Vorteile des niedrigeren spezifischen Gewichtes, des damit verbundenen einfacheren Transportes und einer leichteren Verlegbarkeit, des Wegfalls der Korrosionsanfälligkeit, der Beständigkeit in feuchter Umgebung, in sauren Böden und im Meerwasser. Ihre glatte innere Oberfläche reduziert die Einzugskräfte für das Kabel auf ein Minimum. Erst dank der Kunststoffe ist es möglich geworden, grosse Entfernungen ohne Zwischenschächte zu überwinden. Im Rohrsektor kommt dem Niederdruckpolyäthylen (Hartpolyäthylen) hervorragende Bedeutung zu. Die ausserordentliche Biegsamkeit der Rohre aus Hartpolyäthylen lässt die Anwendbarkeit des Einspülverfahrens zu. Nur diese vermögen die verschiedenen Abwinkelungen ohne Schaden durchzuhalten, wie sie sich zum Beispiel beim Durchlaufen des Einspülgerätes ergeben.

## 7. Der Rohstoff, seine physikalischen und chemischen Eigenschaften

Die für die Unterquerung des Vierwaldstättersees in Luzern verwendeten Rohre, nach dem Niederdruckverfahren von Prof. K. Ziegler hergestellt, bestehen aus Hostalen GM 5010 der Farbwerke *Hoechst AG* in Hoechst. Dieses Material, besonders für die Rohrerstellung entwickelt und seit 1957 auf dem Markt, weist folgende Eigenschaften auf:

- Spezifisches Gewicht 0,955 g/cm<sup>3</sup>
- Reissfestigkeit, bei einer  
Reissbiegedehnung von über 800% 350 kp/cm<sup>2</sup>



Fig. 4  
Anlanden und Ausbau des Spülrohres am Zielufer

- Längenausdehnungskoeffizient zwischen 20° C...90° C	0,02 mm/°C/m
- Wärmeleitfähigkeit bei 20° C	0,37 kcal/m·h·°C
- Oberflächenwiderstand	~10 <sup>13</sup> Ω
- Relative Dielektrizitätskonstante	2,4...2,5
- Durchschlagsfestigkeit	800 kV/cm

Dank seiner paraffinähnlichen Struktur weist Hartpolyäthylen eine hohe Chemikalienbeständigkeit auf. Es ist in sämtlichen anorganischen und organischen Lösungsmitteln bei 20° C unlöslich. Es werden daraus auch Rohre mit grossem Durchmesser für Transportleitungen hergestellt, wie erdverlegte, hochbeanspruchte Abwassersysteme der chemischen Industrie.

## 8. Herstellung der Rohre

Um das Einspülen der Hartpolyäthylenrohre reibungs- und unterbrochlos durchführen zu können, ist die Zahl der Rohrverbindungen möglichst klein zu halten, sind also grosse Rohrlängen zu liefern. Diese grossen Rohrlängen werden im Werk nahtlos extrudiert, das heisst das thermoplastische Material wird geschmolzen und unter gleichbleibendem Druck durch das formgebende Werkzeug gepresst. Die Rohrstränge wurden in Längen zwischen 940...370 m hergestellt. Erst nachdem diese Rohre gestreckt und im Wasser abgekühlt worden sind, wurden sie auf 4 m grosse Trommeln gewickelt. Dies gewährleistet den für Kabelschutzrohre wichtigen runden Querschnitt. Die in Luzern verwendeten Kunststoffrohre haben einen äusseren Durchmesser von 125 mm bei einer Wandstärke von 11,4 mm. Sie genügen nach DIN 8074/75 den strengen Vorschriften für Druckwasserrohre und halten einen Nenndruck von 10 atü aus.

Die Berechnung der Wanddicke basiert auf der Überlegung, dass die Rohre während ihrer etwa 50jährigen Lebensdauer eine mechanische Beanspruchung von je 50 kp/cm<sup>2</sup> auszuhalten haben. Unter Berücksichtigung der zeitlichen Standfestigkeit des Werkstoffes und eines Sicherheitsfaktors von 1,3, ergab sich die Wandstärke von 11,4 mm. Auf den Rohrtrommeln von 5 m Länge und einem Durchmesser von 2,35 m liessen sich im Maximum 940 m Kunststoffrohre aufwickeln. Innerhalb der zu überbrückenden Trasseelänge war also eine Verbindung zweier Rohrstücke unumgänglich. Um den Vorschriften des Unternehmers nachzukommen, wurde vorgesehen, die Nahtstellen jeweils um 10 m gegeneinander zu verschieben, so, dass sich nur eine Schweissstelle jeweils im Spülrohr befand und somit keine unzulässige Verdickung des Spülgutes zu befürchten war.

## 9. Transport der Rohre

Die Rohrtrommeln wurden auf Eisenbahnwagen vom Werk direkt bis zur Abladestelle Luzern/Seeverlad transportiert. Dort wurden die Trommeln auf Abrollblöcke gehoben und die Rohre mit einem Schleppschiff direkt auf den See gezogen. Um das Eindringen von Wasser zu verhindern und um das Schwimmen zu ermöglichen, wurden die Rohrenden im Werk mit Holzkonen versehen, was den Schleppvorgang vereinfachte. Die Rohre wurden gebündelt, von der Abladebucht in Luzern, von zwei Schleppern nach Küssnacht transportiert und dort am Seeufer bis zur Verlegung deponiert.

## 10. Schweiessen und Kalibrieren der Rohre

Da die Rohre während des Einspülvorganges beim Durchlaufen des Einspülgerätes sowohl Zug- als auch Biegebelastungen ausgesetzt waren, musste die vorgesehene Rohrverbindung dieser Belastung gewachsen sein. Zudem sind Querschnittverengungen bei Kabelschutzrohren unzulässig, weshalb aus Sicherheitsgründen zusätzlich noch die bewährte Stumpfschweissverbindung mit einer Elektromuffenschweissung ergänzt wurde. Bei diesen Verfahren werden die Rohrenden der zu verschweisenden Stücke innen so abgeschragt, dass der sich ergebende Wulst in der Vertiefung Platz findet. Die sorgfältig vorbereiteten Verbindungsflächen werden zum Anwärmen mit geringem Druck an ein Heizelement gedrückt. Die Schweisstemperatur beträgt 200 °C. Sobald diese Temperatur erreicht ist, wird das Heizelement rasch von der Schweissfläche entfernt und die Rohrenden werden unter einem bestimmten Druck zusammengepresst. Nach dem Stumpfschweissen und dem Erkalten des Rohres wird die Schweissbraue am äusseren Durchmesser abgeschliffen. Das bereits vor der Stumpfschweissung aufgezogene Übergangsstück wird auf die vorher geschliffene Fläche geschoben, an einen kombinierten Heizezeitregler und Transformator angeschlossen, erwärmt und dadurch verschweisst (Fig. 5). Nachher werden die Rohre gestreckt. Mit einem Kompressor wird der Kunststoffmolch, an dem man eine Nylonschnur befestigt, durch das Rohr gedrückt. Mit der Nylonschnur wird ein Stahlseil in das Rohr eingezogen, an welchem man den Kalibrierdorn befestigt. Wenn der vorgeschriebene Kalibrierdorn ohne Behinderung das Rohr durchläuft, ist dieses für das Einspülen bereit.

Die Kombination von Stumpfschweissung und Elektroschweissmuffe erlaubt den Anforderungen bezüglich Biegefestigkeit und hoher Längsbeanspruchung der Nahtstelle zu genügen, wie sie vom Bauherrn und der ausführenden Bauunternehmung gefordert wurde.

## 11. Schlussfolgerung

Die Verlegung einer Kabelrohranlage auf dem Grund des Vierwaldstättersees in Luzern wurde dank dem Einspülverfahren stark vereinfacht. Auch wenn diese Methode nicht zum ersten Male in der Schweiz Anwendung fand, ist doch die grosse Unterquerungsdistanz erstmalig. Weiter können die Vorteile dieser Verlegungsart bezüglich des regen Schiffverkehrs, der geringen Vorbereitungsarbeiten und der kaum ins Gewicht fallenden Störungen der Seeanstösser und -benützer als positiv bezeichnet werden.

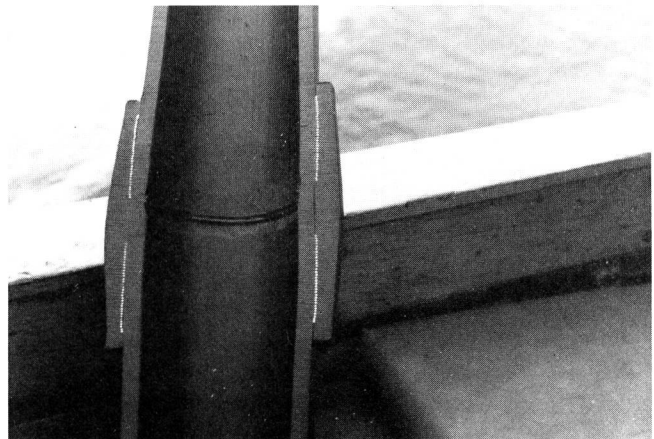


Fig. 5  
Längsschnitt einer verschweissten Muffe.