Das Verlegen von Seeleitungen in Gewässern grosser Tiefe

Autor(en): **Ursprung, Heinrich G.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **77 (1985)**

Heft 9

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940955

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Das Verlegen von Seeleitungen in Gewässern grosser Tiefe

Heinrich G. Ursprung

Aufgabenstellung

Die Spannungszustände von Seeleitungen werden ausser von Betriebsspannungen auch von den Bauzuständen bestimmt, die beim Transportieren und Lagern auf See, insbesondere aber beim Absenken in grosse Gewässertiefen auftreten. Von entscheidendem Einfluss können Krafteinträge aus unruhiger Seelage sein. Aus Anlass einiger Grossprojekte an österreichischen und schweizerischen Gebirgsseen mit Wassertiefen bis 200 m, bei denen Kräfte auftreten, die über die Rohrspannungen nicht mehr beherrschbar sind, waren Verlegeverfahren für Kunststoff- und Stahlleitungen zu entwickeln, die jegliche statischen und dynamischen Krafteinträge auf die Leitung während aller Bauzustände erfassen und das Rohrmaterial garantiert nur innerhalb zulässiger Festigkeitsgrenzen beanspruchen.

Das Verlegen von Seeleitungen aus Polyäthylen (PE) im Luftgegendruckverfahren

Als technisches Problem stellt sich der Einfluss der zeit- und lastabhängigen E-Moduln von PE auf die Bestandssicherheit einer Leitung über die angesetzte Amortisationszeit. Aus den Zeitstandsversuchen für PE-Material, die seit 20 Jahren laufen, ergibt sich, dass die E-Moduln lastbedingt in den ersten 5 Jahren im doppelten logarithmischen Massstab um die Hälfte abnehmen. Vorübergehende Überdehnungen beim Verlegen der Leitung ziehen auch nach Wegfall der Überlast eine dauernde Minderung des E-Moduls nach sich, was einer vorzeitigen Alterung gleichkommt (Bild 1). Diese schreitet um so schneller fort, je mehr das verlegte Rohr auf Dauer mit Spannungen belastet wird, die nicht über eine weitere Minderung des E-Moduls infolge Dehnung abgebaut werden können.

Beim herkömmlichen Absenkverfahren werden die PE-Rohre nach freiem Ermessen so ballastiert, dass sie bei Wasserfüllung von einer Seite her abgesenkt werden können und am Seegrund ein sicheres Auflager finden. Noch die letzte (nicht veröffentlichte) Untersuchung eines herkömmlichen Absenkverfahrens (1974) orientierte sich ausschliesslich am Gleichgewicht aller Ab- und Auftriebskräfte der ballastierten und gefluteten Leitung und schrieb zur Vermeidung unzulässig kleiner Absenkradien die mechanische Streckung des gesamten abzusenkenden Rohrstranges vor. Die dabei in die Leitung eingetragenen Zugspannungen sind jedoch nur grob abzuschätzen; die zu diesem Zweck angesetzten Kraftgrössen sind jedenfalls beträchtlich.

Die Gleichgewichtsbedingung der herkömmlichen Verfahren: Summe aller vertikalen Kräfte = o, kann tatsächlich nur für die im Wasser stehende, unbewegte Leitung gelten, also für eine Absenkgeschwindigkeit v = o.

Mit Einsetzen der Absenkgeschwindigkeit $v \geqq$ o wird der Wasserwiderstand das entscheidende Kriterium für die Verlegung einer PE-Leitung im Luftgegendruckverfahren. Wie beim Unterwassersetzen jedes Hohlkörpers wird durch Fluten Energie aus dem Druck des umgebenden Seewassers verwendet und über die Flutungswassersäule die vorgelagerte Luftsäule komprimiert. Auf die Flutungswassersäule wird somit derselbe Luftgegendruck ausgeübt, wie auf das Endverschlusselement des an der Wasseroberfläche schwimmenden Rohrstranges (Bild 2). Über Veränderungen des Luftgegendrucks können also alle notwendigen Impulse in der Absenkphase gesteuert werden.

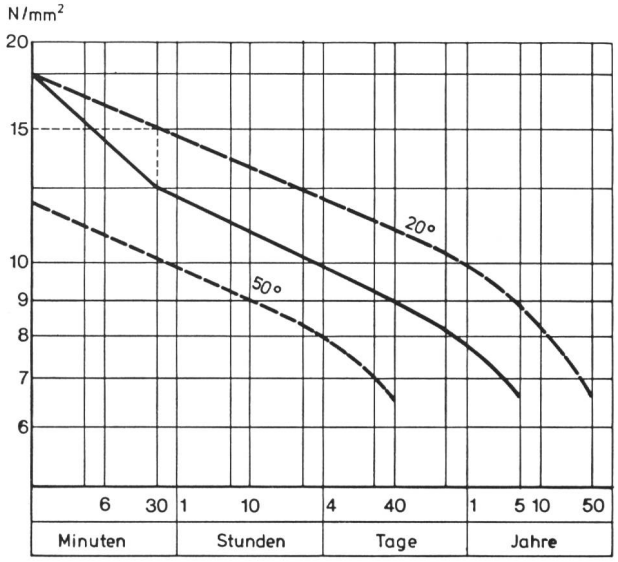


Bild 1. Bleibender Spannungsabfall durch Überdehnung von 30 Minuten Dauer.

Für den Absenkvorgang ist nur der Energiebedarf für die Luftsäule, das heisst für den Auftrieb im oberen Absenkbogen abzüglich des vertikalen Wasserwiderstands von relevanter Bedeutung. Wird diese Kraftgrösse in Form von Luftgegendruck gleich dem gesamten horizontalen Wasserwiderstand angesetzt, so wirkt auf das Endverschlusselement der Leitung eine Normalkraft, welche die Leitung quasi spannungslos durch das Wasser ziehen kann und beim Auflegen der Leitung auf den Seegrund garantiert abgebaut ist.

Werden die für die auftretenden Energiezustände massgebenden Kraftgrössen bezeichnet mit

W_h = horizontaler Wasserwiderstand
W_v = vertikaler Wasserwiderstand
G = Leitungsgewicht
A = Auftriebsgewicht
N = Formänderungsarbeit
P_l = Energie der Luftsäule
P_b = zulässige Beulkraft
V = Absenkgeschwindigkeit

so ergibt sich für den Gleichgewichtszustand bei v = o

$$P_l = G = A_o$$

und für den Ungleichgewichtszustand bei $v \geqq$ o

$$P_l = G - (W_v + N) = A$$

Wird N als geringfügige Änderung des Wasserwiderstandes aus dem Neigungswinkel α des sinkenden Rohres nicht

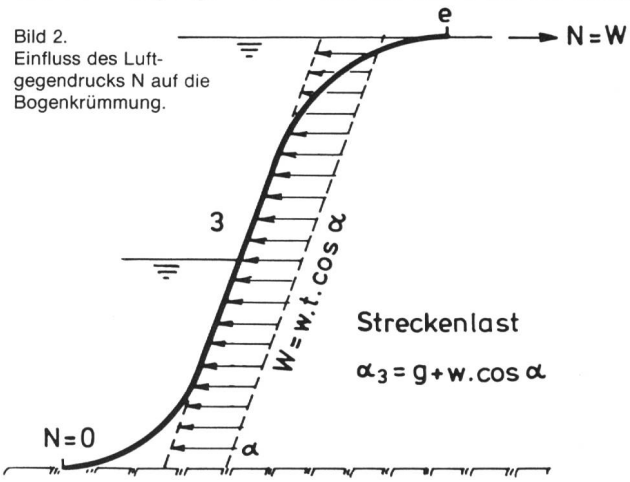
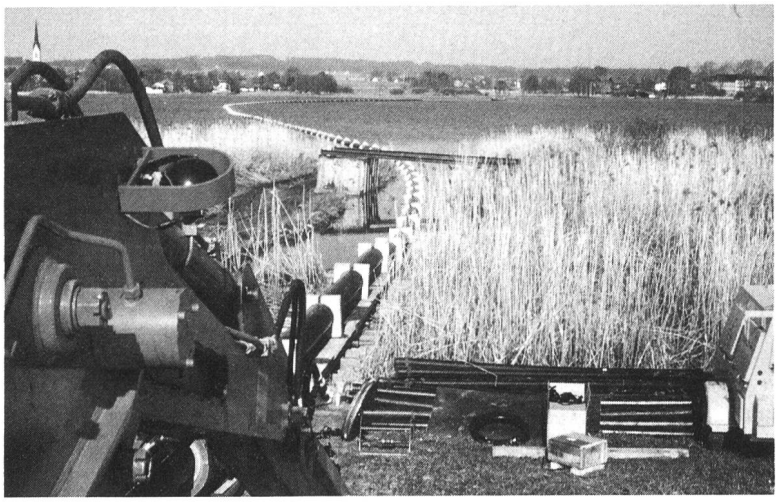


Bild 2. Einfluss des Luftgegendrucks N auf die Bogenkrümmung.



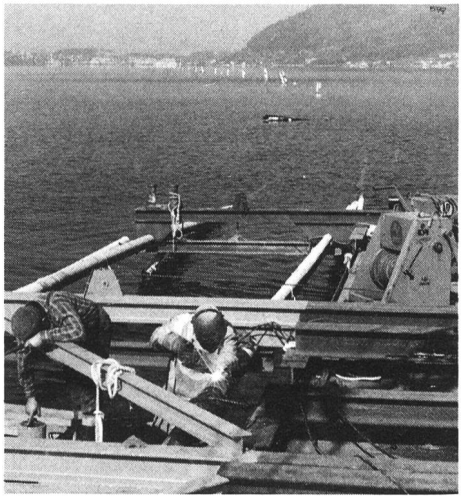


Bild 3, links. PE-Leitung in der Verlegetrasse. Bild 5, rechts. Anschlussschweissung eines schwimmenden Teilstranges im Traunsee.

theoretisch, sondern praktisch aus dem tatsächlichen Verhältnis der Absenkgeschwindigkeit zum Luftgegendruck korrigiert (Korrekturfaktor), ergibt sich für eine Leitung der theoretischen Länge $l = o$ ein Luftgegendruck von

$$P_l = W_h$$

Für die Länge l der Leitung verringert sich der Luftgegendruck um die Energie der Flutungswassersäule p_w. Damit ist

$$P_l = G - W_v - P_w = W_h - P_w$$

Da PE grösser als Null ist, entsteht zwangsläufig Beuldruck, der in der Spitze der Flutungswassersäule sein Maximum hat. Hieraus ergibt sich die weitere Bedingung

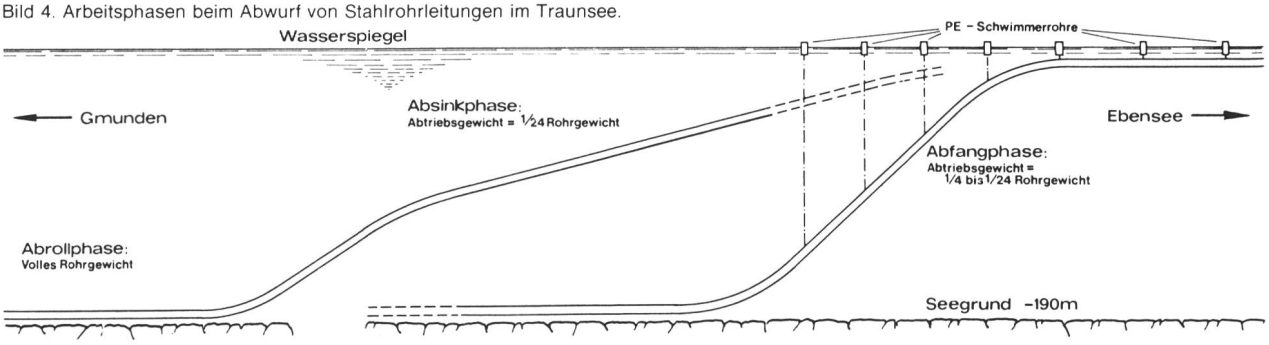
$$P_l > P_b$$

Über P_b hinausgehende Druckstösse können bei zu plötzlichem (pannenbedingtem) Absenkstop eintreten. Die nach dem Druckstoss zurückflutende Wassersäule kann ebenfalls Beuldruck erzeugen. Die Beuldrücke steigen mit der Masse der Flutungswassersäule an. Die bei sparsamer Auslegung der Wandstärke vom Rohr aufnehmbaren Beuldrücke sind vergleichsweise gering. Beulung und Beulbruch treten schlagartig auf. Dies kann nur durch sichere Dimensionierung der Wandstärken oder durch Einbau eines Über- und Unterdruckventils beherrscht werden.
Die Rohrwandstärken sind im Zusammenhang mit der Wassertiefe auch ausschlaggebend für die Dauer einer schadlosen Absenkpanne, das heisst eines Absenkstillstandes. Die Wandstärken sollen deshalb auf die sogenannte kritische Tiefe ausgelegt werden, die für eine beliebig bemessbare Dauer eines Absenkstillstandes statisch zu ermitteln ist. Mit diesem Verlegeverfahren wurden 1983 eine PE-Rohrleitung 450/17,4 mm über die kritische Tiefe hinaus verlegt und beanstandungsfrei abgenommen.

Das Verlegen von Stahlrohrleitungen im freien Abwurf

Die herkömmlichen Verlegeverfahren von Seeleitungen aus Stahlrohren haben diese bei der Arbeit auf dem Wasser bis zum Auflegen am Seegrund Zwangskräften unterworfen, die Ursache von Materialüberdehnungen, Mantelanrissen oder Rohrbrüchen sein können.
An Land gefertigte Rohrstränge, die von auftriebsstarken Schwimmern oder Booten gehalten, in den freien See hinaus vorgeschoben und an Trossen abgesenkt werden, sind jedem Krafteintrag aus Wellengang ausgesetzt. Die von Stingern aus abgesenkten Rohrleitungen wurden bisher bei grossen Wassertiefen zur Sicherung ausreichend grosser Absenkradien bzw. zur Vermeidung durchlaufender Überdehnungen, Ovalisierungen oder seitlicher Mantelanrisse unter erheblichen Längszugkräften abgesenkt und mit sogenannten Beulstoppern (Aussteifungsringen) ausgestattet, die eine Beulung, sofern sie eintritt, wenigstens auf den Abstand zwischen zwei Beulstoppern eingrenzen sollten.
Im Jahre 1973 wurde deshalb ein Verlegeverfahren entwikkelt, das den im Wasser schwimmenden und absinkenden Rohrstrang von allen Zwangskräften befreit und von vornherein nur Krafteinträgen unterwirft, deren Spannungen garantiert unterhalb der Elastizitätsgrenze des verwendeten Rohrmaterials liegen.
Dies bedeutet eine Abkehr von dem Gedanken, Sicherheit durch möglichst stabile Kräfteverhältnisse herbeizuführen. An deren Stelle sind für den Bauzustand «Lagerung und Transport am See» fast labile Gleichgewichtszustände zu setzen und die Sicherheit durch genaue Berechnung und Ausführung herbeizuführen.
Die Rohrstränge werden durch achsparallel aufgeschnallte Auftriebselemente aus PE-Rohren auf einen Bruchteil ihres ursprünglichen Abtriebsgewichts geleichtert. Der Restab-

Bild 4. Arbeitsphasen beim Abwurf von Stahlrohrleitungen im Traunsee.



trieb wird von Schwimmern aus senkrecht im Wasser stehenden PE-Rohren aufgenommen. Ein Überstand dieser Schwimmrohre mit einer Auftriebsreserve, die jeweils dem Auftriebsgewicht mindestens eines Leichterungsrohres entspricht, sorgt für eine insgesamt knappe, aber ausreichende Sicherheit für den Fall, dass je Schwimmerabstand ein Leichterungsrohr undicht wird. Die Schwimmerabstände und damit -grössen werden so gewählt, dass die maximal zulässigen Stützmomente in der Leitung nicht überschritten werden können, also auch die Schwimmer bei stärkstem Wellengang ohne Gefahr für die Leitung beliebig überspült werden können. Die senkrecht im Wasser stehenden Schwimmer aus PE-Rohren bieten auch Sturm und Brechern nur geringe Angriffsflächen; am österreichischen Traunsee zum Beispiel lagen die Schwimmer der jeweils 4,4 km schwimmenden Leitung bei Wellengang bis 1 m Höhe praktisch bewegungslos im Wasser; am Bodensee stellte sich eine Stahlrohrleitung von 3,2 km Länge aus einem schwimmenden Viertelbogen allein aus der Rückstellspannung des Rohrmaterials gegen kräftigen Wellengang fast gerade.

Durch die Rohrleichterung wurde das Abtriebsgewicht der Stahlrohrleitung so gering, dass der Wasserwiderstand die Leitung auf einem elastischen Bett mit gemessenen Geschwindigkeiten um 20 cm/s absinken liess. Durch den völlig freien Abwurf werden die sonst unvermeidbaren Überlagerungen von Stütz- bzw. Feldspannungen mit den Krümmungsspannungen der Absenkbögen vermieden. Der Zweck des freien Abwurfs, der absinkenden Leitung selbst die Herbeiführung eines optimalen Spannungszustandes zu überlassen, setzt voraus, dass sich die Leitung rechtzeitig von den Schwimmern löst. Dies geschieht mechanisch durch Abziehen von Reissleinen oder halbautomatisch durch Lösen entsprechend ausgestatteter Haltevorrichtungen.

Entscheidend für die Bestandssicherheit der Leitung ist die Vermeidung von Seilspannungen bei etwa weitgepannter Auflagerung auf Unebenheiten am Seegrund. Es ist ein gesteuerter Abrollvorgang auf dem Seegrund bei vollem Abtriebsgewicht notwendig. Hierfür sind die PE-Leichterungsrohre so dimensioniert, dass sie jeweils 10 bis 20 m vor dem Auftreffen auf dem Seegrund beulen und sich damit die Absenkgeschwindigkeit erhöht (Bild 4). Die unvermeidliche Streuung des Beulzeitpunkts wird durch die Rückstellspannung der Leitung ausgeglichen. Bei richtiger Dimensionierung der Rohrleichterung beträgt die Rückstellgeschwindigkeit ein Vielfaches der Absenkgeschwindigkeit. Die absinkende Leitung stellt sich somit selbsttätig auf einen optimalen Spannungszustand ein, wie er mit keinem noch so ausgeklügelten Mechanismus herbeigeführt werden kann.

An jedem Strangende wird zum Anschluss an den schwimmenden Folgestrang (Bild 5) die absinkende Leitung in einer aus Krümmungs- und Stützspannung errechneten Anstiegskurve mit Schwimmern abgefangen. Die Leitung fällt in diesr Strecke selbsttätig in die gewünschte Lage (Bild 4). Bei Absenkgeschwindigkeiten von etwa 20 cm/s ist ein zusätzlicher Krafteintrag auf die Leitung durch den Abfangstoss praktisch gleich Null.

Ausführungssicherheit und Wirtschaftlichkeit

Massgebend für die Sicherheit beim Absenken von PE-Rohren im Luftgegendruckverfahren ist insbesondere die Masstreue der Rohrquerschnitte. Dies kann bei einer Rohrproduktion und -ballastierung in einem Arbeitsgang nicht garantiert werden; hierfür sind getrennte Arbeitsgänge nötig. Bei Stahlrohrleitungen sind besonders die Gewichtstoleranzen für die Schwimmerabstände zu beachten.

Mit diesen Verlegearten werden während aller Wasserbauzustände nur eindeutig überschaubare Spannungen unterhalb der Elastizitätsgrenze erzeugt. Durch das Heranziehen des präzise eingestellten Wasserwiderstandes auf die absinkende Leitung kann diese spannungslos auf den Seegrund abgelegt werden. Durch die Vermeidung von Überdehnungen während der Ausführung bleibt der Fliess- und Streckbereich des Stahls bzw. die zulässige Dehnung des PE-Materials allein der Anpassung an einen etwa unebenen Seegrund vorbehalten. Die Grundgedanken dieser Verlegearten, den Absenkvorgang allein über den Wasserwiderstand zu steuern und bei Stahlrohren fast labile Gleichgewichtszustände herbeizuführen, bedeutet nur scheinbar einen Verzicht von Ausführungssicherheit zugunsten der Bestandssicherheit. Tatsächlich wird nur eine Ausführungssicherheit durch Überdimensionierung gegen eine andere durch präzis durchdachte und berechnete Bauzustände und durch eine bis ins letzte Detail und listenmässig festgelegte Bauorganisation ausgetauscht.

Bei beiden Verfahren ist das Einziehen und Absenken eines Einzel- oder Doppelstranges bis zu 3000 m Länge einschliesslich der Vorbereitungen auf See in einer Tagschicht zu erledigen. Da gerade das Absenken als das eigentlich technisch-wirtschaftliche Problem bei den herkömmlichen Verfahren entsprechend risiko-, lohn- und geräteintensiv ist, liegt der wirtschaftliche Vorteil der neuen Verfahren, auch des Abwurfverfahrens, trotz der zusätzlichen Kosten für Lieferung und Montage der Leichterungsrohre bei Stahlausführung auf der Hand. Im übrigen können auch diese Kosten verringert werden, wenn die Bauausführung Einfluss auf die Rohrdimensionierung der Leitung nehmen kann.

Die Verfahren sind unter der Bezeichnung «Luftgegendruckverfahren nach Ursprung-Riepl» und «Abwurfverfahren nach Riepl-Ursprung» patentrechtlich geschützt.

Adresse des Verfassers: Dipl. Ing. *Heinrich G. Ursprung,* D-8093 Rott am Inn.

Regolazione livelli del Lago Maggiore

Visita allo sbarramento di regolazione della Miorina a Sesto Calende dell'11 maggio 1985 dell'Associazione ticinese di economia delle acque, ATEA

Premessa

Nel 1938 accordi tecnici fra la Svizzera e l'Italia hanno stabilito le modalità di regolazione del Lago Maggiore il cui invaso è utilizzato dagli italiani per far fronte ai bisogni irrigui nella Pianura Padana e nel Basso Piemonte, come pure per la produzione di elettricità.

Detti accordi stabiliscono che le autorità italiane hanno la possibilità di disporre dei livelli del lago dalla quota 193,66 alla quota 192,16.

L'utilizzazione delle acque del Verbano fra queste due quote è regolata tramite lo sbarramento della Miorina a Sesto Calende. In altre parole, quando il livello del lago supera la quota di 193,66 lo sbarramento deve essere completamente aperto. I livelli del lago variano quindi in funzione delle manovre allo sbarramento.

Nel 1949 gli italiani hanno poi chiesto di poter effettuare annualmente un rialzo supplementare di 50 cm durante i mesi invernali (dicembre – febbraio).