

Sicherheits- und Bemessungskonzept für Gashochdruckleitungen unter signifikanter äußerer Belastung

Safety and dimensioning concept for high-pressure gas lines subject to significant external load

M. Veenker

Schlagwörter

Gasversorgungsnetze — Leitungsbemessung — Längsspannung — Rohrbelastungen — Sicherheitskonzept — Konstruktive Lösungen.

Zusammenfassung

Bei der Berechnung von Gashochdruckleitungen wird im allgemeinen nur der Lastfall „Innendruck“ berücksichtigt. Für die Feldverlegung mit der üblichen Erdüberdeckung von etwa 1,0 m und späterer geringfügiger Belastung auf der Erdoberfläche ist dieses Verfahren richtig. Auch der überwiegende Teil von Straßenkreuzungen, Dükern usw. bringt so geringe Zusatzlasten, daß die Berechnung für den Innendruck ausreichend ist.

Wenn allerdings signifikante äußere Lasten zur Ovalisierung des Querschnittes oder zu Längsbiegungen führen, so müssen diese Zusatzbeanspruchungen berücksichtigt werden. Die Berechnungsverfahren für diese Belastungszustände sind bekannt. Es fehlt allerdings ein schlüssiges und allgemein anerkanntes Sicherheitskonzept, das einerseits der Gefährdung gerecht wird, andererseits wirtschaftliche Aspekte nicht außer acht läßt.

Ein solches Sicherheitskonzept wird hier vorgestellt. Beispiele zeigen, welche Zusatzbeanspruchungen bei Anwendung dieses Sicherheitskonzeptes zulässig sind.

Summary

In general, only the "Internal Pressure" load case is taken into account in calculation of high-pressure gas lines. Such a procedure is correct if installation with the normal soil covering of approx. 1.0 m depth and subsequent only slight surface load is assumed. The overwhelming majority of road crossings, conduits, etc. also produce such slight additional loads that calculation for internal pressure suffices.

Where significant external loads may result in ovalization of the cross-section or in longitudinal bending, allowance must be made for such additional loads. There are known calculation procedures for these extra loads. A complete and generally recognized safety concept which, on the one hand, is adequate for the degree of danger involved but, on the other hand, does not neglect the economic aspect, is lacking, however.

Such a safety concept is presented here. Examples are used to demonstrate the additional loads permissible when this safety concept is applied.

Einleitung

Wer sich mit der statischen Berechnung und Bemessung von eingeeordneten Leitungen beschäftigt, weiß, daß fast ausschließlich der Ermittlung der Umfangsspannungen aus Innendruck, Erdauflast usw. Beachtung geschenkt wird, während die Längsspannung aus örtlicher Verbiegung des gesamten Rohrstranges häufig vernachlässigt wird. Die einschlägigen Normen

Dr.-Ing. Manfred Veenker

* 7. Mai 1947 in Meppen

Ingenieurbüro Dr. Veenker, Hannover; Tel. (05 11) 28 10 41. — Planung, Beratung und Berechnung auf den Gebieten Rohrleitungs- und Anlagenbau, Bauwesen und Maschinenbau. — Vereidigter Sachverständiger für Statik im Ingenieurbau.



— DIN 2413 [1] und DIN 2470 [2] für Gashochdruckleitungen, — Arbeitsblatt A 127 der ATV [3] und — Merkblatt VdTÜV MB 1063 [4]

weisen allenfalls kurz auf diese Längsspannungen hin, geben aber weder Berechnungsverfahren noch Sicherheitskonzepte an.

Es ist ohne weiteren Nachweis einzusehen, daß diese Längsspannungen zum Beispiel im Kreuzungsbereich von vorhandenen Leitungen mit neuerrichteten Straßen (Bild 1) signifikante Größenordnungen erreichen können. Setzungen unter neugebauten Straßen können im Bereich von Dezimetern liegen, und die Setzungsdifferenzen, die die kreuzende Leitung mitzuvollziehen hat, spielen sich auf wenigen Metern, nämlich der Trassenbreite der Straße, ab.

Einfluß des Bodens

Es muß hervorgehoben werden, daß der Boden die ideale Lagerungsform für ein Flächentragwerk ist. Im Gegensatz zu allen anderen Lagerungsarten findet hier eine komplette Stützung des Tragwerks statt, und die gesamte äußere Belastung — soweit es sich nicht um Sonderlasten aus Armaturen, Fundamenten usw. handelt — wird auch durch dieses äußere Bettungssystem in die Rohrschale eingetragen. Aufgrund dieser elastischen Bettung ist das Tragwerk auch in der Lage, „Fehler zu verzeihen“, wenn Lasten oder Verformungszustände auftreten, die in der Entwurfsphase nicht berücksichtigt wurden und die örtlich zum Überschreiten der Fließspannungen führen. Die geringe Schadenshäufigkeit bei eingeeordneten Leitungen ist hier begründet.

Für Gashochdruckleitungen kann man aus Erfahrung die Regel aufstellen, daß ein Schaden im allgemeinen nur dann auftritt, wenn drei signifikante Belastungsarten gleichzeitig eintreten. Der bestimmungsgemäße Innendruck und eine zusätzliche Verkehrsbelastung auf der Geländeoberfläche können zwar unzulässige Spannungs- und Verformungszustände in einer Stahlleitung erzeugen, ein Bruch, ein Bersten der Leitung wird allein dadurch niemals zu erreichen sein. Es muß schon ein drittes Schadenselement hinzukommen. Dieses dritte Schadenselement kann zum Beispiel eine fehlerhafte Schweißnaht sein oder eine Baggerriefe, wie sie in der

Verlegephase oder beim Räumen von Straßengräben auftreten können.

Dieser Erfahrungssatz ist natürlich kein Freibrief, sondern hier wird im Umkehrschluß deutlich, daß es wichtig ist, den Belastungszustand einer Leitung im Bereich der Setzungen genau zu berechnen, dabei alle bekannten Lasten zu berücksichtigen und die Bemessung der Leitung darauf abzustellen. Das dritte Element, die Baggerrieße, ist überhaupt nicht zu erfassen, und nur solche Beanspruchungselemente dürfen der Sicherheitszone zugewiesen werden.

Berechnungsverfahren

Auf die Berechnung einer Leitung unter den aufgezeigten Beanspruchungen wird hier nicht weiter eingegangen, da diese Verfahren grundsätzlich bekannt sind. Die grundlegenden Normen und Berechnungsverfahren [1 bis 4] sind bereits erwähnt worden. Neuere Veröffentlichungen [5] und der Einsatz ausgereifter Rechenprogramme zum Erfassung der Bodenreaktionen und zum Berechnen der Leitung als gebetteter Balken gestatten die Ermittlung zutreffender Ergebnisse.

Aus den Berechnungen ergeben sich vorhandene Materialspannungen, die mit den zulässigen Spannungen des betreffenden Werkstoffes verglichen werden müssen. Damit sind wir beim Sicherheitskonzept, denn der Vergleich von vorhandenen und zulässigen Spannungen ist die Aufgabe eines Sicherheitskonzeptes. An dieser Stelle wird der planende Ingenieur von den geltenden Vorschriften nicht weiter unterstützt. In [1] und [2] werden zwar noch Sicherheitszahlen für die Beanspruchung der Leitung in Umfangsrichtung aus Innendruck angegeben, aber Sicherheitszahlen für andere Belastungen oder die zweiachsale Beanspruchung aus zusätzlicher Biegung sucht man vergebens.

Sicherheitskonzept

Unabhängig vom Werkstoff sind Sicherheitskonzepte grundsätzlich so aufgebaut, daß eine „gefährliche Spannung“ definiert wird (bei Stahl im allgemeinen die Fließspannung) und die Summe der vorhandenen Spannungen in möglichen Kombinationen zu dieser „gefährlichen“ Spannung einen Sicherheitsabstand einhalten muß. Ein Sicherheitskonzept kann natürlich auch für Verformungen aufgestellt werden, wenn diese maßgebend sind für die Sicherheit oder Funktionsfähigkeit einer Leitung.

Spannungsnachweis

Heute noch weitverbreitet und in allen älteren Normen enthalten ist das Sicherheitskonzept, das für die Summe aller Spannungen aus unabhängigen Lastfällen die gleiche Sicherheitszahl festschreibt. In einer einfachen Darstellung kann es beispielsweise geschrieben werden

$$\text{vorh } \sigma_u = \sigma_p + \sigma_q \leq R_e / S$$

- σ_p — Umfangsspannung aus Innendruck
- σ_q — Umfangsspannung aus Verkehr
- R_e — Fließspannung
- S — Sicherheitszahl

Für die Summe der auftretenden Spannungen wird hier ein fester Sicherheitsabstand festgelegt. Diese Sicherheitszahl ist für Rohrstähe auf $s = 1,5$ bis $1,6$ festgeschrieben.

Tragsicherheitsnachweis

Der Wirklichkeit mehr angepaßt und damit wirtschaftlicher ist ein Sicherheitskonzept, das mit Teilsicherheitsbeiwerten arbeitet. Dieses Konzept hat zum Beispiel auch in DIN 18800 „Stahlbauten“ Eingang gefunden. In einer ähnlichen Schreibweise wie oben sieht es folgendermaßen aus

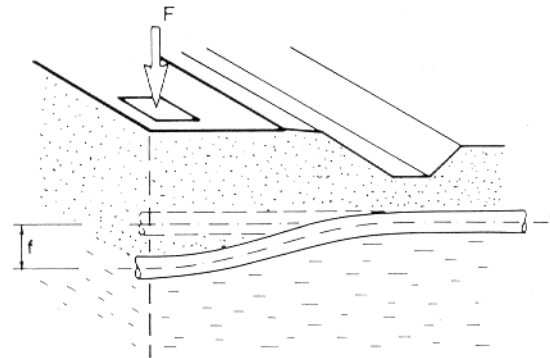


Bild 1: Signifikante Längsbiegung von kreuzenden Leitungen bei starken Bodensetzungen unter neuerrichteten Straßendämmen (Prinzipskizze)

Fig. 1: Significant longitudinal bending in intersecting lines with severe soil subsidence under newly constructed road embankments (principle diagram)

$$\text{vorh } \sigma_u = K (T_p \cdot \sigma_p + T_q \cdot \sigma_q) \leq R_e / T_M$$

- σ_p — Umfangsspannung aus Innendruck
- σ_q — Umfangsspannung aus Verkehr
- T_p — Teilsicherheitsbeiwert für Innendruck
- T_q — Teilsicherheitsbeiwert für Verkehrslasten
- R_e — Fließspannung
- T_M — Teilsicherheitsbeiwert für die Widerstandsgröße
- K — Kombinationsbeiwert

Die Spannung aus Verkehrslast (Index q) steht nur als Beispiel für die Beanspruchung aus äußeren Lasten.

Der Vorteil dieses Sicherheitskonzeptes ist offenkundig. Jede Belastung kann mit einem eigenen Sicherheitsfaktor multipliziert werden, der ihrem Gefährdungspotential gerecht wird. So wird man bei einer Gashochdruckleitung für Innendruck eine relativ hohe Sicherheit wählen, weil dieser Lastfall immer und überall vorhanden ist. Bei dem T_q für Verkehrslasten kann zum Beispiel berücksichtigt werden, daß die auftretende Belastung in ihrer angenommenen Größe unwahrscheinlich ist und die Berechnungsverfahren erfahrungsgemäß zu große Werte liefern. Das T_M , mit dem Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der Querschnittswerte oder der Materialkonstanten abgedeckt werden, kann ebenfalls den Verhältnissen angepaßt werden. Es wird im allgemeinen zwischen $1,0$ und $1,1$ liegen. Der Kombinationsbeiwert K berücksichtigt die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens aller Maximalbelastungen und ist im allgemeinen $K \leq 0,9$ zu setzen.

Beim Vergleichsspannungsnachweis nach Bild 2 gelten natürlich dieselben Verhältnisse, und hier wird erst recht deutlich, daß lastbezogene Teilsicherheitsbeiwerte Tragreserven zulassen können, die eine zusätzliche Längsbiegung einer Leitung im Setzungsbereich erst möglich machen.

Im folgenden wird ein Sicherheitskonzept vorgestellt, das den unterschiedlichen Gefährungsgraden der Belastungen gerecht wird. Es ist anzumerken, daß gemäß der oben gewählten Schreibweise die Teilsicherheitsbeiwerte nur dann mit den Spannungen verknüpft werden dürfen, wenn nach Theorie I. Ordnung gerechnet wird. Bei der Anwendung nichtlinearer Theorien sind die Lasten mit den Teilsicherheitsbeiwerten zu vergrößern.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für den Lastfall Innendruck multipliziert mit den Teilsicherheitsbeiwerten T_M für die Widerstandsgrößen ergeben die bekannten Sicherheitszahlen $s = 1,50$ bis $1,60$, die in [2] festgelegt sind (Tafel 1). Nach [6] wären für diesen Lastfall zwar Teilsicherheiten der Größe $1,3$

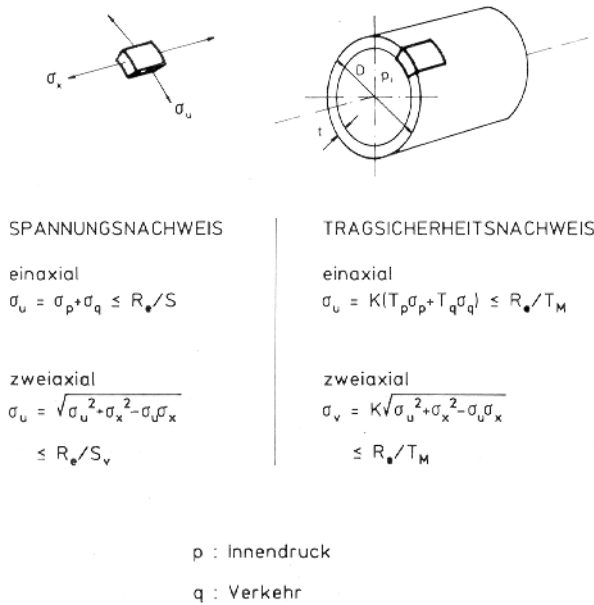


Bild 2: Gegenüberstellung von Spannungsnachweis und Tragsicherheitsnachweis
 Fig. 2: Comparison of stress proof and load-bearing-capacity proof

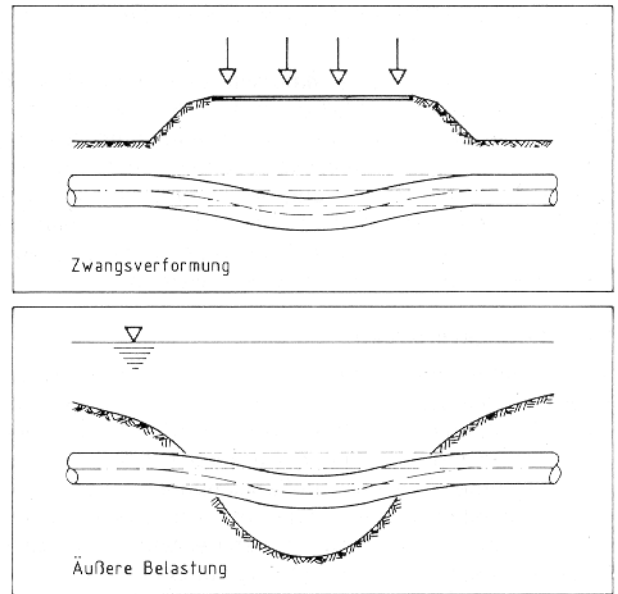


Bild 3: Begründung unterschiedlicher Teilsicherheitsbeiwerte
 Fig. 3: Reasons for differing part-safety coefficients

ausreichend, aber die geltenden Normen können hier nicht umgangen werden. Für alle anderen Lastfälle können die Teilsicherheitsbeiwerte allerdings erheblich abgemindert werden. Es ist wichtig, sich hier mit dem Lastfall „Zwängung“ zu beschäftigen, für den nach [6] die niedrige Teilsicherheit von $T_F = 1,2$ angesetzt worden ist. Die Schnittgrößen, die im Bereich einer Bodensetzung in einer Gasleitung entstehen, sind ja gerade Zwängungsschnittgrößen, und so willkommen eine kleine Sicherheitszahl aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist, so muß es dennoch begründet werden, wenn sie so niedrig angesetzt wird. In Bild 3 sind zwei verformte Leitungen aufgezeichnet, von denen angenommen werden soll, daß die Verformungsfiguren identisch sind.

In einem Fall seien sie in einem Free-Span durch äußere Belastung (zum Beispiel Eigengewicht) entstanden, im anderen Fall durch Zwangsverformung. Wenn es sich um identische Biegelinien handelt, so sind auch die Beanspruchungen des Werkstoffes identisch. Trotzdem muß gegen die Beanspruchung aus äußerer Belastung eine höhere Sicherheit angesetzt werden als bei einer Zwangsverformung. Der Grund läßt sich leicht einsehen. Wenn infolge äußerer Belastung in einem System örtliches Fließen auftritt, so verformt das System sich weiter, da die Belastung dem sich verformenden Tragwerk folgt. Dieses Fließverhalten kann zum Zerstören des Werkstoffes führen oder aber zu Verformungszuständen, die die Gebrauchsfähigkeit des Tragwerkes beeinträchtigen. Ganz anders ist das bei der Zwangsverformung. Die Leitung steht nicht im Gleichgewicht mit den äußeren Kräften, die auf der Geländeoberfläche angreifen, sondern sie macht lediglich die dabei auftretenden Verformungen des Erdreiches mit. Wenn es an irgendeiner Stelle der Leitung zu Fließzonen kommt, so geschieht an dieser Stelle nichts anderes, als daß die Spannungen auf die Fließspannung begrenzt sind. Die weitere Verformung hängt allein vom Verhalten des umgebenden Erdreiches ab. Dieser Fall ist also unkritischer und kann deshalb mit niedrigerer Sicherheit belegt werden. Ähnliches gilt für Bauzustände oder überwachte Sonderbelastungen, bei denen Maßnahmen getroffen werden, die eine Überbelastung des Materials ausschließen.

Tafel 1: Zusammenstellung der Teilsicherheitsbeiwerte für Gashochdruckleitungen

Table 1: Compilation of part-safety coefficients for high-pressure gas lines

Einwirkungen	Teilsicherheitsbeiwert T_F
Innendruck	1,36 1,40 1,42 1,43 1,45 ¹⁾
Erdauflast, Überschüttung	1,30
Verkehr	1,30
Zwängungen (auch aus Temperatur)	1,20
Überwachte Bauzustände	1,10
Überwachte Sonderbelastungen	1,00
Widerstandsgrößen	Teilsicherheitsbeiwert T_M
Querschnittswerte	1,00
Festigkeiten (i. a. Fließspannung) bei einaxialer Beanspruchung	1,10
Festigkeiten (i. a. Fließspannung) bei zwei axialer Beanspruchung (Vergleichsspannungsnachweis)	1,00
Kombinationsbeiwert	$K \leq 0,9$
¹⁾ Entspricht den Sicherheitszahlen $S = 1,50$ bis $S = 1,60$ nach DIN 2470, wenn gleichzeitig der Teilsicherheitsbeiwert $T_M = 1,1$ für die Festigkeiten berücksichtigt wird.	

Fehlkonstruktionen

Die genaueste Berechnung und das beste Sicherheitskonzept sind allerdings nutzlos, wenn Konstruktionsfehler begangen werden.

Ein Beispiel für einen solchen Fehler ist die Anordnung von Fundamenten zur örtlichen Abstützung im Setzungs- oder Belastungsbereich. Diese Festpunkte erzeugen in einer elastisch gebetteten Leitung hohe Spannungsspitzen und bewirken damit gerade das Gegenteil der ihnen zugeordneten Funktion. Fundamente haben im Leitungsbau nichts zu suchen. Ausnahmen bilden Armaturenplätze und extreme Sonderbelastungen, und dort muß die Anordnung von Fundamenten sehr genau geplant und berechnet werden.

Eine andere Konstruktion, die oft als Schutzmaßnahme verstanden wird und auf die bei Stahlleitungen grundsätzlich verzichtet werden sollte, ist das Mantelrohr. Produktröhre sind in der Regel fähig, die von außen einwirkenden Lasten aufzunehmen, so daß es eines Mantelrohres zu diesem Zwecke nicht bedarf. Die Steifigkeitssprünge beim Übergang des Produktröhres aus der elastischen Bettung in das Mantelrohr sind aus statischer Sicht höchst unwillkommen. Zudem beeinträchtigt das Mantelrohr den kathodischen Korrosionsschutz der Stahlleitung so massiv, daß eher eine schädliche Wirkung eintritt.

Anders sind die Verhältnisse bei Kunststoffrohren. Dort kann die Anordnung eines Mantelrohres im Kreuzungsbereich sinnvoll sein.

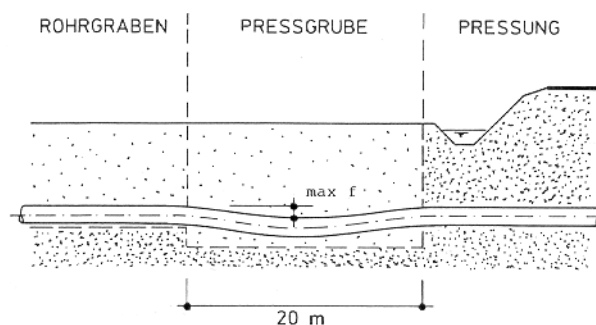
Die Biegebeanspruchung von Gashochdruckleitungen

Im folgenden wird an zwei Beispielen verdeutlicht, welchen Belastungen eine Leitung im Kreuzungsbereich ausgesetzt sein kann. Diese Beispiele sind natürlich nicht erschöpfend, sondern können nur aufzeigen, wie solche Überlegungen grundsätzlich angestellt werden müssen.

Das erste Beispiel (Bild 4) zeigt eine Preßgrube, an die rechts die unterpreßte Straße anschließt und bei der die Leitung nach links im Graben weitergeführt wird. Eine Leitung DN 400 mit der Wanddicke 10,3 mm wird hier verlegt. Aus konstruktiven Gründen muß die Preßgrube tiefer ausgebagert werden als der anschließende Graben. Die Leitung liegt bezüglich der Einbettung in den Boden in drei unterschiedlichen Bereichen. In der Preßstrecke erreicht man — zum Beispiel bei mitteldicht gelagertem Sand — fast eine feste Einspannung. Im Grabenbereich ist der Einspanngrad natürlich viel geringer, und außerdem ist die Grabensohle zunächst weich und uneben. Problematisch ist der Bereich der Preßgrube. Zwischen Grubensohle und Leitungssohle ist eine Verdichtung des eingebrachten Bodens nur schwer möglich. Hier und im Bereich der Zwickel unterhalb des Rohres kann nur von Hand verdichtet werden, und selbst bei größter Anstrengung ist ein Verdichtungsgrad wie im benachbarten gewachsenen Boden niemals zu erreichen. Je nach Güte der Ausführung wird man hier nur eine geringe elastische Bettung vorfinden, oder man wird gar davon ausgehen müssen, daß die Leitung hier gar nicht unterstützt ist und die Preßgrubenzlänge frei überspannt. Die maximalen Biegemomente und Biegespannungen des elastisch gebetteten Balkens und die maximale vertikale Verschiebung sind angegeben. Die Ermittlung der Spannungen zeigt für den Fall der vollkommen ungestützten Leitung eine hohe Auslastung auf. Die angegebenen Bettungsparameter sind wenig aussagekräftig, aber der Blick auf die Verschiebungen zeigt, daß es sich hier um realistische Größenordnungen handelt.

Die vorgestellte Berechnung kann natürlich nicht dazu führen, daß eine solche Belastung akzeptiert wird. Auch mit Hilfe des oben vorgestellten Sicherheitskonzeptes läßt sich hier der Nachweis einer ausreichenden Tragsicherheit nicht führen. Diese Berechnung zeigt vielmehr, daß so nicht gebaut werden darf. Die Forderung nach einer bestimmungsgemäßen Verdichtung des Füllmaterials unter und neben den Leitungen ist eine der wichtigsten Sicherheitsforderungen des Rohrleitungsbaus.

Das zweite Beispiel (Bild 5) ist die Kreuzung einer Gashochdruckleitung DN 200 mit einem Radwegdamm, der im Zuge einer neuen Autobahn in Nordwestdeutschland aufgeschüttet wird. Dieser Damm wird als Vorbelastungsdamm etwa 8 m hoch und wegen der darunterliegenden mächtigen Torf- und Kleischichten wird eine Setzung auftreten, die in Bild 5 als „Endlage ohne Maßnahmen“ dargestellt ist und den Maxi-



DN 400 / Wanddicke 10,3 mm

Keine Verdichtung unter der Leitung	max M = 283 kNm
	max σ = 229 N/mm ²
	max f = 20 cm
Verdichtung unter der Leitung	max M = 110 kNm
	max σ = 89 N/mm ²
	max f = 8 cm

Bild 4: Leitungsbeanspruchung nach dem Verfüllen einer Preßgrube in Abhängigkeit von der unter der Leitung erreichten Verdichtung des Bodens

Fig. 4: Line load following filling of a trench as a function of the soil compaction achieved underneath the pipe

malwert von 1,5 m erreichen wird. Ohne das Ergreifen von Maßnahmen würde die kreuzende Leitung diese Setzung natürlich mitvollziehen, und es ist unmittelbar einsehbar, daß Setzungen dieser Größenordnung, die sich auf einer Leitungslänge von rund 40 m abspielen, einer Gashochdruckleitung nicht zugemutet werden dürfen.

Da es praktisch unmöglich war, die Leitung zu verlegen, sind hier genaue statische Berechnungen der Leitung aufgestellt worden, um Maßnahmen festzulegen, mit denen erreicht wurde, daß die Leitung den sicheren Bereich nicht verläßt. In skizzenhafter Form sind diese Maßnahmen zusammengestellt. Im wesentlichen wird die Leitung einer affinen Vorver-

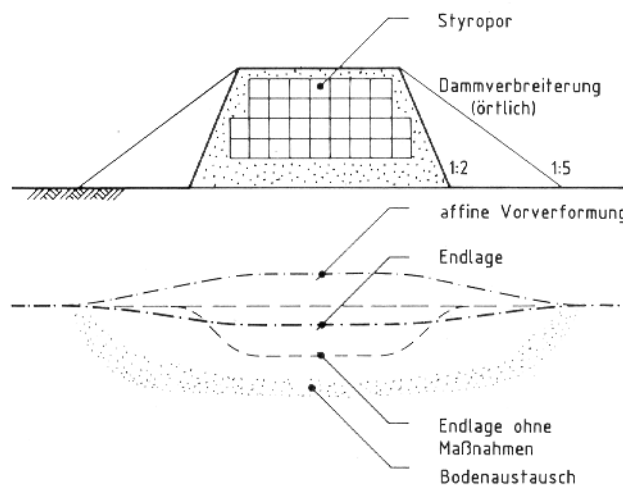


Bild 5: Prinzipskizze. Darstellung der affinen Vorverformung und weiterer Maßnahmen für den Fall sehr großer Setzungen unter Dämmen

Fig. 5: Principle diagram. Shows affine predeformation and further provisions for a case of extremely severe subsidence below embankments

Tafel 2: Zusammenstellung von Lösungen bei Einwirkung äußerer Lasten auf Gashochdruckleitungen

Table 2: Compilation of solutions assuming exposure of high-pressure gas lines to external loads

Problem	Lösung
Auflast/Setzungen klein, aber nicht vernachlässigbar	Berechnung (bei negativem Ergebnis siehe unten)
Große Setzungen	affine Vorverformung Bodenaustausch Örtliche Dammverbreiterung während der Setzungsphase Dammfüllung aus Leichtbaustoffen (EPS)
Große Auflast	Abschirmplatte
Auflast/Setzungen sehr groß, alle anderen Maßnahmen wirkungslos	Schutzbauwerk

formung nach oben unterzogen. Sie wird dabei in einer Verformungsfigur, die affin ist zu den später auftretenden Setzungslinien, so weit nach oben vorverformt, daß die zulässige Gesamtbeanspruchung gerade erreicht wird. Die örtliche Dammverbreiterung führt dazu, daß diese Setzungen — bei fast gleicher Maximalordinate — auf eine erheblich größere Einflußlänge verteilt werden. Es ist willkommen, daß dieser relativ kurze, überdachte Bauzustand der geringeren, oben aufgeführten Sicherheitszahlen bedarf. Zusätzlich zur affinen Vorverformung wird unterhalb der Leitung teilweise der Boden ausgetauscht. Damit wird örtlich eine Abminderung der zu erwartenden Gesamtsetzung erreicht. Da diese Maßnahmen allein nicht reichen, wird der Damm im Kreuzungsbereich aus Styropor gebaut. Dessen geringes Gewicht begrenzt die Bodensetzungen zusätzlich.

Bei diesen Maßnahmen handelt es sich um einen sehr sanften Umgang mit der eingeeerdeten Leitung. Sie wird weder zu stark verformt, noch abgestützt oder festgehalten, sondern es wird nur eine gezielte, berechnete Verformung zugelassen,

bei der nachweislich eine Schädigung der Leitung ausgeschlossen ist. Ohne das oben vorgestellte Konzept der lastbezogenen Teilsicherheitsbeiwerte wäre die Durchführung der Maßnahmen allerdings nicht möglich gewesen.

Konstruktive Lösungen

Abschließend werden einige Lösungen zum Schutz von eingeeerdeten Leitungen im Bereich von Biegebeanspruchungen zusammengestellt (Tafel 2). Wenn sich die Zusatzbelastung — insbesondere die Längsbiegung — in engen Grenzen hält, so kann im allgemeinen rechnerisch nachgewiesen werden, daß diese Zusatzbelastungen zulässig sind.

Für den Fall, daß die prognostizierten Setzungen den zulässigen Bereich nur geringfügig überschreiten, kann die Längsbiegung durch die Vorwegnahme einer affinen Vorverformung entschärft werden. Oft kann durch einen Austausch des Bodens unter den Leitungen diese Setzung eingegrenzt werden. Eine örtliche Dammverbreiterung während der Setzungsphase und die Anordnung von Styropor im Damm begrenzen die Krümmungsänderung der Leitung zusätzlich.

Wenn Erdauflast bzw. Auflast auf der Geländeoberfläche zu unzulässig hohen Beanspruchungen der Leitung führt (Ovalisierung), so kann mit einer Abschirmplatte (Bild 6) die Lastverteilung im Boden so verändert werden, daß die Beanspruchung der Leitung aus diesem Lastanteil gegen Null geht. Es ist darauf zu achten, daß die lastverteilende Platte rechts und links der Leitung tragfähig gelagert ist und zwischen Leitungsscheitel und Abschirmplatte eine Weichschicht dafür sorgt, daß hier keine Lasten direkt abgetragen werden können.

Bei Leitungen, die bestimmungsgemäß schon hoch ausgelastet sind, und denen keine weiteren Setzungen bzw. Erdauflasten zugewiesen werden können, bleibt nur die Errichtung eines Schutzbauwerks (Bild 6), das die Leitung komplett gegen Erdauflast und Verkehr abschirmt.

Welche dieser Lösungen bzw. welche Kombination dieser Lösungen angewandt wird, läßt sich nur nach Untersuchung des Einzelfalles bestimmen.

Es kann ratsam sein, die Erfolge der Schutzmaßnahmen meßtechnisch zu überwachen. Dehnungsmeßstreifen sind dafür bestens geeignet. Die Erfahrungen zeigen, daß im allgemeinen eine ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung erreicht wird und somit Unstimmigkeiten, die bei Böden nie ausgeschlossen werden können, gefunden werden.

Man kann abschließend feststellen: Die Berechnungsverfahren sind so genau, das lastbezogene Teilsicherheitskonzept ist so wirtschaftlich und die Zahl der möglichen Schutzverfahren ist so groß, daß die teuerste Lösung, das Umlegen einer Leitung im Kreuzungsbereich, aus Gründen der Festigkeit für die Leitung niemals notwendig sein wird.

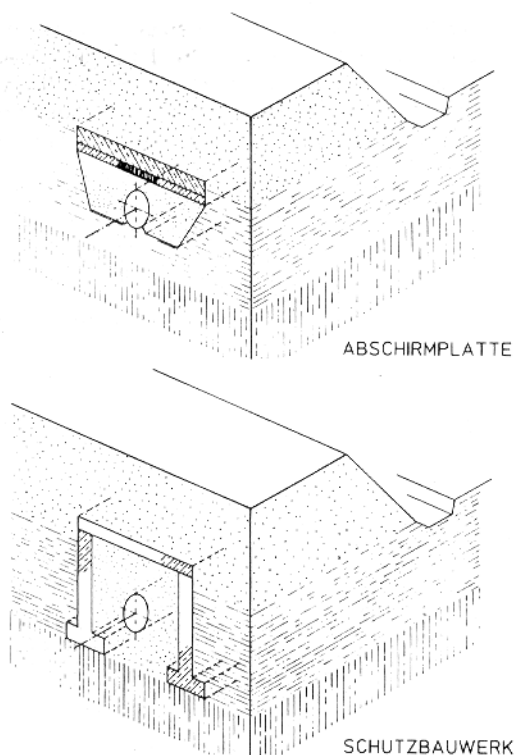


Bild 6: Konstruktive Maßnahmen
Fig. 6: Design provisions

Schrifttum

- [1] DIN 2413 „Stahlrohre“; Berechnung der Wanddicke gegen Innendruck“ (06.72)
- [2] DIN 2470 Teil 1 „Gasleitungen aus Stahlrohren mit zulässigen Betriebsdrücken bis 16 bar; Anforderungen an Rohrleitungsteile“ (12.87)
DIN 2470 Teil 2 „Gasleitungen aus Stahlrohren mit zulässigen Betriebsdrücken von mehr als 16 bar; Anforderungen an die Rohrleitungsteile“ (05.83)
- [3] ATV-Arbeitsblatt A 127 „Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen“ (12.88)
- [4] Merkblatt VdTÜV MB 1063 „Technische Richtlinie zur statischen Berechnung eingeeerdeter Stahlrohre“ (05.78)
- [5] Kiesselbach, G.: Zur Beanspruchung erdverlegter Rohrleitungen durch direkte Lasten. 3R international 30 (1991) Nr. 6/7, S. 388 ff.
- [6] DIN (Hrsg.): Grundlage zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen. Berlin-Köln; Beuth Verlag GmbH, 1981