

Neue Erkenntnisse zur Auslegung von erdverlegten Stahlrohrleitungen gegen bergbauliche Einwirkungen

Am Beispiel einer Fernwärmeleitung

New discoveries for the design of buried steel pipelines against the effects of underground mining

Using the example of a transmitted-heat pipeline

Ein Leitungsbruch an einer stählernen Fernwärmeleitung mit Wasseraustritt wurde von den Autoren zum Anlass genommen, ein wirklichkeitsnahes Berechnungsverfahren zur Berücksichtigung bergbaulicher Einwirkungen auf erdverlegte Stahlrohrleitungen zu entwickeln. Die erwarteten Zerrungen z und Pressungen p sind spezifische Längenänderungen des Bettungsmaterials. Wie bei Temperaturänderungen der Rohrleitung führen die dadurch verursachten Relativverschiebungen zwischen Rohrleitung und Bettungsmaterial in axialer Richtung zur Übertragung von Reibungskräften, deren Absolutbetrag in Abhängigkeit von Durchmesser, Überdeckung und Verdichtungszustand begrenzt ist.

Je nachdem, ob die Relativverschiebungen aus Bergsenkung und Temperaturänderung gleiches oder unterschiedliches Vorzeichen haben, ergeben sich Verlängerungen oder Verkürzungen der Gleitbereiche. Die Längen dieser Gleitbereiche wiederum sind maßgebend für die erwarteten Extremwerte der Axialkraft und der daraus resultierenden Axialspannung.

Mit der neu entwickelten, wirklichkeitsnahen Berechnungsmethode können die vom Bergbau vorausberechneten Zerrungen und Pressungen direkt in die Rohrstatik eingegeben werden. Stahlrohrleitungen können sicher gegen die bergbaulichen Einwirkungen ausgelegt werden. Es wird ein wirtschaftliches Optimum erreicht, da im Gegensatz zu überschlägigen Berechnungen auf unnötige Sicherheiten verzichtet werden kann.

The authors have taken a fracture in a steel transmitted-heat pipeline as the starting-point for the development of a highly authentic computation procedure for the inclusion of mining-induced effects on buried steel pipelines. Anticipated distortions z and pressures p constitute specific changes in the length of the bed material. As in the case of changes in pipe temperature, the relative movements resulting between the pipeline and the bed material in the axial direction cause the transmission of frictional forces, the absolute magnitude of which is limited as a function of diameter, overburden and compaction state.

The result is lengthening or shortening of the slide range, depending on whether the relative movements resulting from mining subsidence and temperature change have an identical or an opposite sign. The lengths of these slide ranges are, for their part, definitive for the anticipated extremes of axial force and the resultant axial stress.

The newly developed, highly authentic computation method will make it possible to incorporate precalculated mining-induced distortions and pressures directly into pipeline statistics. Steel pipelines can then be designed with known margins of safety against the effects of mining. This will achieve an economic optimum, since, unlike the case with only approximate calculations, it will be possible to dispense with unnecessary safety allowances.

Einleitung

Die Fernwärmeversorgung Niederrhein GmbH betreibt unter anderem von der Betriebsstelle Bergkamen aus seit 32 Jahren ein ca. 24 km langes Leitungsnetz mit einem Anschlusswert von 38 MW. Angegeschlossen sind etwa 4500 Wohnungen, Schulen und andere öffentliche Gebäude. In den 90-er Jahren wurde durch untertä-

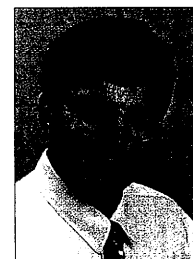
gigen Kohleabbau das Fernwärmeversorgungsnetz in zunehmendem Maße beansprucht. Im Jahr 1995 lag der Schwerpunkt des Kohleabbaus in der Nähe von Bergkamen. Vorwiegend zwei Abbaufelder in einem Abstand von etwa 1500 m wirkten auf das Fernwärmenetz im Stadtteil Bergkamen-Mitte ein. Das Fernwärmenetz liegt in etwa 800 bis 1000 m südwestlich von diesen Abbaufel-

dern entfernt und besteht vorwiegend aus dem System Kunststoffmantelrohr (KMR). Kunststoffmantelrohre sind werksmäßig vorgefertigte, genormte Rohre, die aus einem Mediumrohr aus Stahl, einer Wärmedämmung aus PUR-Hartschaumstoff und einem Mantelrohr aus PE-HD bestehen [1]. Medium- und Mantelrohr sind über den PUR-Hartschaumstoff kraftschlüssig miteinander verbunden, so dass die Aus-



Dipl.-Ing. Hubert Gößling

Abteilungsleiter der Fernwärmeversorgung Niederrhein GmbH, Dortmund;
Tel. (0231) 231077, E-Mail:
h.goessling@stadtwerke-dinslaken.de



Dr.-Ing. Andreas Schleyer

Vorstand der GEF Ingenieur AG, Leimen;
Tel. (06224) 9713-18,
E-Mail: andreas.schleyer@gef.de

sagen dieses Beitrages sinngemäß auf alle direkt eingerdeten Stahlrohrleitungen übertragen werden können.

Der Abbau in 1995 zeigte die ersten deutlichen Wirkungen auf das Fernwärmeversorgungsnetz, das – nach damaligem Kenntnisstand – nicht zusätzlich gegen die zu erwartenden Einwirkungen gesichert werden musste. Die Einwirkungen (horizontale Bewegungen) beeinflussten anfänglich nur die Schwachstellen der KMR, die Muffenverbindungen. Deshalb wurde deren Instandsetzung zunächst als ausreichend angesehen. Nur in wenigen Einzelfällen wurden nachträglich zusätzliche Dehnungselemente (U-Bögen) zum Schutz von kritisch erscheinenden Leitungsabschnitten eingebaut. Ein anerkanntes Berechnungsverfahren für die Auslegung solcher Sicherungselemente unter Berücksichtigung der bergbaulichen Einwirkungen war bis dahin nicht bekannt.

Ausgelöst durch einen erneuten Schaden – diesmal mit Leitungsbruch und Wasseraustritt – wurden die bergbaulichen Einwirkungen auf erdverlegte Fernwärmeleitungen näher untersucht. Auf Anregung der Fernwärmeversorgung Niederrhein flossen die Ergebnisse dieser Untersuchung in Form einer wirklichkeitsnahen Berechnungsmethode unmittelbar in das Statikprogramm [2] ein, mit dem heute in Europa erdverlegte Fernwärmeleitungen üblicherweise berechnet werden. Somit können die vom Bergbau vorausgerechneten Zerrungen und Pressungen nunmehr direkt in der statischen Berechnung von Fernwärme- und anderen Stahlrohrleitungen berücksichtigt werden, um Schäden wirkungsvoll zu vermeiden. Die Software ist TÜV-geprüft und in der Fernwärmebranche allgemein anerkannt.

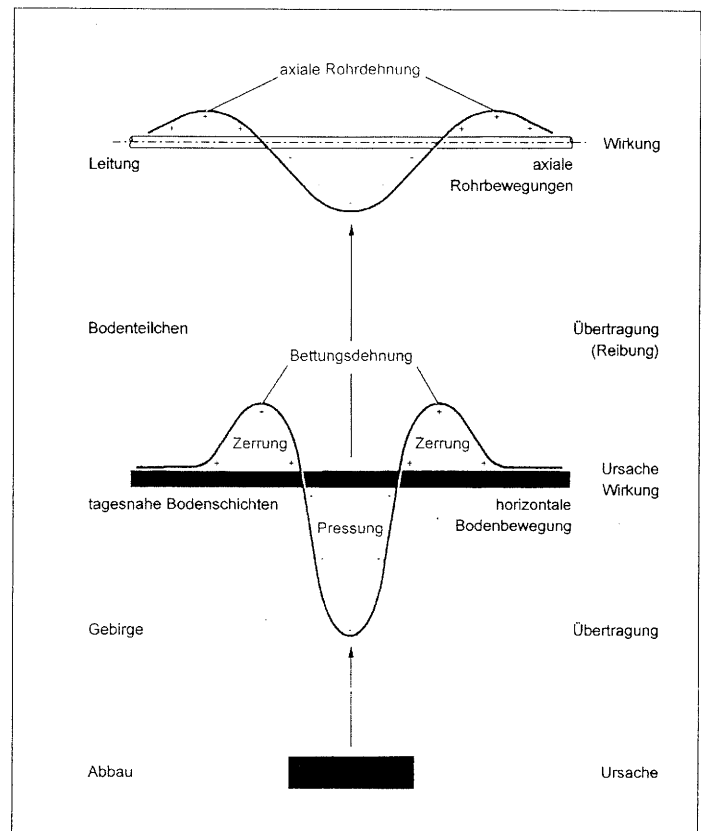
Ursache und Wirkung von bergbaubedingten Bodenbewegungen

Im Ruhrgebiet wird der Strebbau wegen der vorherrschenden flachen Lagerung der Steinkohle als gängiges Abbauverfahren eingesetzt. Im Jahr 1997 betrug die mittlere Abbaulänge aller Streben der Deutschen Steinkohle AG im Durchschnitt 1300 m und die Strebbreite 294 m. Abgebaut wurde in einer mittleren Tiefe von 998 m. Die mittlere Gesamtmächtigkeit lag bei 1,90 m. Die von diesem Abbau ausgehenden Wirkungen treten an der Tagesoberfläche innerhalb eines Einwirkungsbereiches auf, dessen äußere Begrenzungslinie den vom untertägigen Abbau beeinflussten Bereich vom unbeeinflussten trennt (Einwirkungsbereichs-Bergverordnung 1982) [3]. Für diesen mittleren Abbau werden folgende maximale Bodenbewegungen vorausgerechnet:

Senkungsmaximum: 794 mm

Bild 1: Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung bei einer Rohrleitung in Anlehnung an Spielberg 1999 [4]

Fig. 1: The relationship between cause and effect in a pipeline, after Spielberg 1999 [4]



Schiefslagemaximum: 1,82 mm/m
 Pressungsmaximum: 2,93 mm/m
 Zerrungsmaximum: 1,32 mm/m

Die Streckgrenze einer Stahlrohrleitung (St 37.0) entspricht einer Dehnung von 1,12 mm/m. Dieser Wert wird von dem angegebenen Zerrungsmaximum um 18 % und von dem Pressungsmaximum um 162 % überschritten, wenn von der Annahme ausgegangen wird, dass die Bodenbewegung in gleicher Größenordnung auf die Rohrleitung übertragen wird. Die Vermeidung derartiger Überschreitungen der Streckgrenze erfordert Sicherungsvorkehrungen, zum Beispiel den Einbau von Ausgleichselementen, die derartige Längenänderungen ausreichend kompensieren können. Gasrohrleitungen aus Polyethylen (PE) vertragen dagegen die Bodenverschiebungen ohne nennenswerte Beeinträchtigung, da dieser Werkstoff derartige Längenänderungen durch plastische Verformung ausgleicht.

Bild 1 erläutert, warum durch den untertägigen Abbau an der Tagesoberfläche Bodenbewegungen entstehen können.

Durch den Abbau eines Abbauelementes wird ein untertägiger Hohlraum geschaffen. Dieser Hohlraum bildet die eigentliche Ursache für die an der Tagesoberfläche auftretenden Bodenbewegungen. Den unmittelbar über dem Hohlraum liegenden Gebirgsschichten wird das Auflager durch die Abbautätigkeit entzogen und damit der ursprüngliche Gleichgewichtszustand gestört. In Abhän-

gigkeit von der jeweiligen Gebirgsschicht (Sandstein, Schiefer u.a.) brechen die auflagernden Schichten in den Hohlraum hinein. Höherliegende Schichten brechen ebenfalls oder legen sich bruchlos auf die tieferliegende Schicht auf. Dies führt wiederum zu Auflockerungen im Gebirge und erzeugt weitere Auflockerungsprozesse, die sich bis zu den Bodenschichten an der Tagesoberfläche fortsetzen. Das Gebirge wirkt also als Überträger, es leitet die Bewegungsprozesse weiter. An der Tagesoberfläche wird die Wirkung unter anderem an der Bodensenkung, Schiefelage, Krümmung, Verschiebung und den Längenänderungen sichtbar. Es treten im Erdreich zwangsläufig Bewegungen auf, die auf alle dort befindlichen baulichen Anlagen und Rohrleitungen einwirken.

Die auftretenden Bodenbewegungen können mit hinreichender Genauigkeit vorausgerechnet werden [5 bis 8].

Für eine Rohrleitung und deren Reaktion auf die von außen aufgetragenen Einflüsse bilden die zwangsläufigen Bewegungen im Erdreich die eigentliche Ursache. Jedes Bodenteilchen erfährt durch diese Bewegungen eine Kornverlagerung, weil sich sein Auflager ändert. In den tagesnahen Schichten kommt es auf diese Weise zu Bewegungsprozessen der Bodenteilchen, die über die Reibung als Überträger unter Umständen zu erheblichen Belastungen der Rohrleitung führen. Die eigentliche Wirkung zeigt sich dann an den empfindlichsten Stellen der

Tab. 1: Einfluss der einzelnen Bodenbewegungsarten auf unterschiedliche Rohrleitungen
 Table 1: The influence of the individual types of soil movement on various pipelines

	Senkung	Schiefelage	Krümmung	Verschiebung	relative Längenänderung
Produktenfernleitungen	nicht empfindlich	nicht empfindlich	Nicht empfindlich	empfindlich	empfindlich
Gashochdruckleitungen	nicht empfindlich	nicht empfindlich	Nicht empfindlich	empfindlich	empfindlich
städt. Gasrohrleitungen	nicht empfindlich	nicht empfindlich	Nicht empfindlich	empfindlich	empfindlich
städt. Wasserleitungen	nicht empfindlich	nicht empfindlich	Nicht empfindlich	weniger empfindlich	weniger empfindlich
Fernwärmeleitungen	nicht empfindlich	nicht empfindlich	Nicht empfindlich	weniger empfindlich	weniger empfindlich
Abwasserkanäle	empfindlich	Empfindlich	Nicht empfindlich	weniger empfindlich	weniger empfindlich

Rohrleitung (Schweißnähte, T-Stücke, Kompensationsstellen, Muffen, Querschnittseinengungen u.ä.). Hier können die Spannungen stark anwachsen und bei Überschreitung der materialbedingten Grenzwerte zu Schäden führen.

Einfluss einzelner Bodenbewegungsarten auf Rohrleitungen

Durch bergbaubedingte Bodenbewegungen wird eine Rohrleitung in der Regel höher belastet im Vergleich zum Normalfall ohne Abbaueinfluss. An dieser

Stelle soll einmal von den Beanspruchungen abgesehen werden, die eine Leitung durch eine mangelhafte oder unzureichende Verlegung erfährt.

Unabhängig von der tatsächlichen Größenordnung der Belastung reagieren Rohrleitungen in der Praxis sehr unterschiedlich auf einzelne Bodenbewegungsarten (Tabelle 1).

Senkung

Die Senkung schadet einer Rohrleitung in der Regel nicht. In Verbindung geringer oder senkungsbedingt verringerter Grundwasserabstände kann sie in

vernässte Bodenschichten geraten. Dies begünstigt das Gleitverhalten der Rohrleitung im Boden, erschwert aber ihre Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten beim Schadensfall. Bei der Schadensbeseitigung sind dann umfangreiche Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich.

Schiefelage

Die Schiefelage schadet einer Druckrohrleitung nicht. Bei Freigefälleleitungen kann sie eine Gefälleumkehr bewirken mit der Folge, dass das Transportmedium nicht mehr abfließen kann. Weiterhin schadet eine Schiefelage bestimmten, für den Betrieb der jeweiligen Rohrleitung erforderlichen Anlagen, zum Beispiel den lageempfindlichen Verdichterturbinen einer Verdichterstation für eine Gashochdruckleitung.

Krümmung

Die vom untertägigen Abbau durch unterschiedliche Bodensenkungen verursachte Bodenkrümmung liegt in der Regel im Bereich von mehreren Kilometern (>> 5 km). Die Radien sind um ein Vielfaches größer als diejenigen Krümmungsradien, die eine Stahlrohrleitung durch die elastische Biegung aufnehmen kann, ohne dass die Sicherheit gefährdet wird. Ausnahmen ergeben sich nur im Bereich von Unstetigkeitszonen.

Längenänderung

Stahlrohrleitungen reagieren empfindlich auf die „relative Längenänderung“ (Bettungsdehnung). Diese Erkenntnis wurde zwischen 1920 und 1930 durch Schäden an Wasserrohrleitungen gewonnen, deren Verursachung den horizontalen Bodenbewegungen zugeschrieben werden konnte [10]. Geilenkeuser, Kiwitt und andere haben durch ihre Untersuchungen an Gashochdruckleitungen feststellen können, dass entstandene Schäden an diesen Rohrleitungen nur durch bergbaubedingte Längenänderungen hervorgerufen wurden [11 bis 15]. Die Schadensauswertungen von Spielberg zeigen, dass die Längenänderungen auch auf alle anderen Rohrleitungen einen wesentlichen Einfluss ausüben [4]. Unter dem Einfluss von Zerrungen haben sich Risse im Bereich von Schweißnähten gebildet, wurden Rohrbögen ovalisiert und Muffen auseinandergezogen. Durch Pressungen entstanden Rohrfalten im Bereich von Rohrbögen und Muffenbrüche, wenn das in der Muffe vorhandene Muffenspiel aufgebraucht war.

Bei allen entstandenen Rohrschäden war die „Pressung“ am häufigsten an der Schadensentstehung beteiligt. Es konnte auch beobachtet werden, dass vom un-

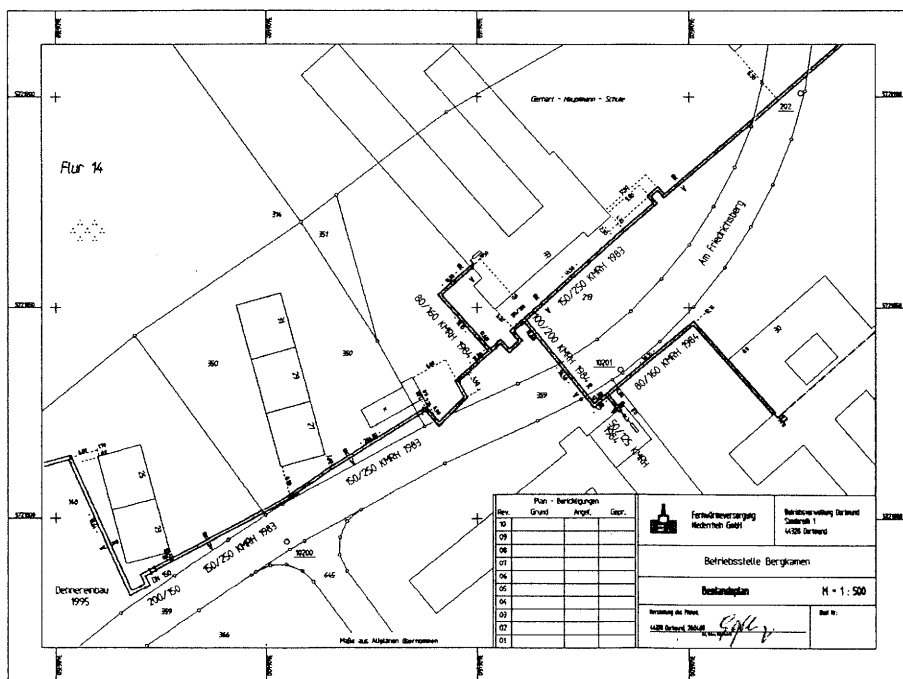


Bild 2: Lageplan eines 258 m langen Leitungsabschnittes

Fig. 2: Plot plan of a 258 m long pipeline sector

tertägigen Abbau hervorgerufene und im Boden messbare Längenänderungen nicht nur in Rohrleitungsrichtung auftreten, sondern auch quer zur Rohrleitungsachse. Eine eingerdete Rohrleitung reagiert auf horizontale Punktverschiebungen innerhalb des Erdreiches durch Ausweichbewegungen. Die Bewegung ist von der baugrundspezifischen Reibung zwischen den einzelnen Bodenteilchen und der isolierten oder beschichteten Rohraußenseite abhängig. Die Größe dieser Reibung bestimmen mehrere Faktoren. Es zählen dazu:

- die Verlegetiefe,
- der Anteil der bindigen Bestandteile des Bodens innerhalb der Rohrgrabenverfüllung,
- der Wassergehalt des Bodens,
- der Rohrdurchmesser,
- die Wärmedämmung oder Rohrbeschichtung,
- die betrieblichen Druckschwankungen,
- der quer zur Rohrleitungsachse wirkende, nicht-lineare Erddruck, der abhängig ist von der relativen Querverschiebung zwischen Boden und Rohr

Auswirkungen auf eine 1983 verlegte Fernwärmeleitung DN 150 und Schutzmaßnahmen

Trassenbeschreibung

1983 wurde von der Fernwärmeversorgung Niederrhein GmbH ein neuer Trassenabschnitt des Systems KMR in der Nennweite DN 150 verlegt, um weitere öffentliche Gebäude an das Fernwärmenetz anzuschließen.

Der Abschnitt hat eine Länge von 258 m bis zu den Richtungsänderungen und ist in **Bild 2** zu erkennen. Überwiegend verläuft die Leitung im Grünflächenbereich in einer Verlegetiefe von 1,10 m zwischen den angeschlossenen Gebäuden. Die maximal auftretende Vorlauftemperatur liegt bei 110 °C, die Rücklauftemperatur bei 60 °C und der Betriebsdruck bei 6 bar. Die Fahrweise ist gleitend.

Erste Schadensfeststellung

Nach der Einmessung und Ortung einer „Feuchte“ durch das Leckortungssystem (Indikatoren) im Bogenbereich der Leitung ging man zunächst von einem Routinefall, verursacht durch eine undicht gewordene Muffenverbindung, aus. Äußerlich konnte man nach Entfernen der Dehnpolster zwar Verformungen erkennen, diesen wurde jedoch keine besondere Bedeutung beigemessen.

Erst nach Abmantelung der KMR im Bogenbereich wurde eine deutliche Ova-

lisierung der Bögen festgestellt. Eine anschließende Vermessung ergab eine extreme Verschiebung des Leitungsabschnittes in der Größenordnung von 15 bis 20 cm.

Empirische Sanierung

Zur Sicherung der Schadensstelle wurde ein U-Bogen im Sommer des Jahres 1995 eingebaut. Aufgrund des ungewöhnlichen Schadensbildes wurde nach damaligem Kenntnis- und Wissensstand eine statische Berechnung des gesamten Leitungsabschnittes unter Berücksichtigung der im Boden auftretenden Zerrungen von 0 bis 2 mm/m und Pressungen von 2,1 bis 3,5 mm/m durchgeführt. Die benötigten, bergbaulichen Daten wurden von der Ruhrkohle AG (RAG) zur Verfügung gestellt.

Die damals vom Bieter näherungsweise durchgeführten und auf der sicheren Seite liegenden Berechnungen sahen vor, den insgesamt 258 m langen, kritischen Abschnitt mit acht U-Bögen zu sichern. Aufgrund des geschätzten Kostenaufwandes und der Restzweifel an der Berechnungsmethode wurden die vorgeschlagenen Sicherungsmaßnahmen nicht sofort durchgeführt. Statt dessen wurden im Spätsommer 1995 in dem Leitungsabschnitt nur zwei weitere U-Bögen eingebaut, nachdem an zwei Muffenverbindungen „Feuchten“ eingemessen worden waren. Diese wurden ursächlich auf bergbauliche Einwirkungen zurückgeführt; die beiden U-Bögen wurden als ausreichender Schutz gegen weitere Einwirkungen angesehen.

Leitungsbruch und Mediumaustritt

Der Abbau des nördlichen Kohlefeldes wurde 1995 abgeschlossen, während sich die Aktivitäten im östlichen Feld bis ins Jahr 1996 hinzogen. Im März 1996 musste aufgrund eines plötzlich aufgetretenen Druckverlustes im Fernwärmenetz der Heizbetrieb eingestellt werden. Durch den hohen Wasserverlust wurde die Schadensstelle sehr schnell in dem 258 m langen Leitungsabschnitt gefunden.

Nach der Freilegung war eine Ausknickung der Leitung mit starkem Wasseraustritt aus einem Riss im Vorlauf sichtbar. Der Grad der Verformung unmittelbar neben der Schweißnaht kann in **Bild 3** erkannt werden. Die im Bild auf der vorderen Seite des Rohrstücks angebrachte Anschweißmuffe diente als provisorische Abdichtung der etwa 30 mm langen Rissstelle.

Die Ausknickung war möglicherweise ein Sekundärschaden, der entweder infolge einer Freispülung der Rohrleitung durch den Wasseraustritt, oder durch die anschließende Freigrabung erfolgte.



Bild 3: Durch bergbauliche Einwirkungen deformierte Fernwärmeleitung

Fig. 3: Transmitted-heat line deformed by the effects of mining

Die Ausknickstelle der Fernwärmeleitung stimmte auffallend mit dem durch die RAG angegebenen Bereich mit den höchsten Pressungen überein. Eine Reparatur der Schadensstelle erfolgte durch Einbau eines weiteren U-Bogens in einem Abstand von 20 m von dem bereits zu einem früheren Zeitpunkt verlegten. Damit war die Leitung insgesamt mit vier U-Bögen gesichert. Da der Zeitpunkt des Schadenseintritts als der Höhepunkt der Belastungen und Einwirkungen angegeben war, wurden keine darüber hinausgehenden Maßnahmen getroffen. Bis heute sind keine weiteren Schäden an diesem Leitungsabschnitt aufgetreten.

Entwicklung einer wirklichkeitsnahen Berechnungsmethode

Der letzte Schaden wurde von den Ingenieuren der GEF und der Fernwärme Niederrhein zum Anlass genommen, ein wirklichkeitsnahes Berechnungsverfahren zur Berücksichtigung bergbaulicher Einwirkungen auf erdverlegte Stahlrohrleitungen insbesondere auf KMR zu entwickeln.

Die durch bergbauliche Einwirkungen zu erwartenden Erdreich-Zerrungen und -Pressungen wirken je nach Trassenverlauf in Axial- und/oder Lateralrichtung auf das Rohr und müssen in den Querschnitten durch zusätzliche Kompensations-

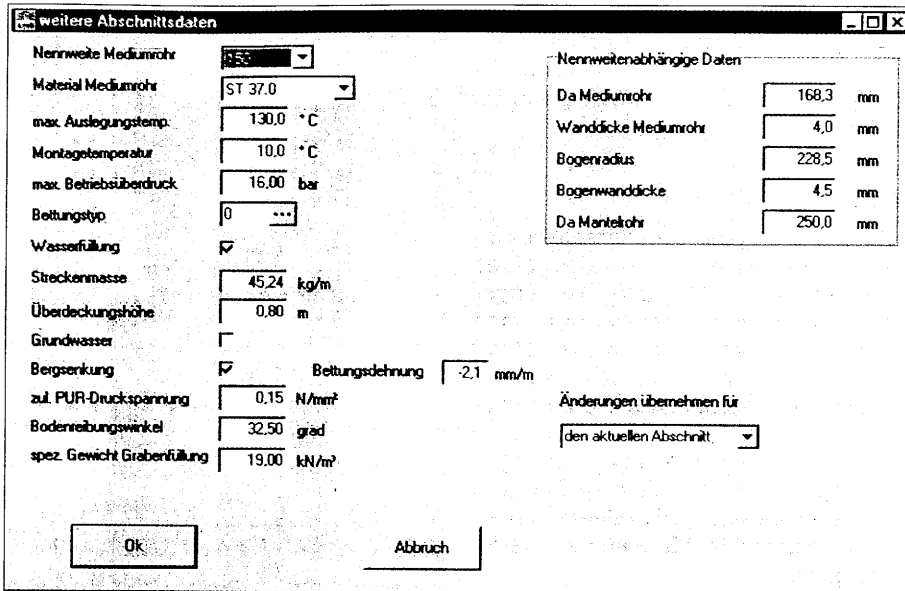


Bild 4: Eingabe einer Pressung infolge Bergsenkung in das Berechnungsprogramm [2]

Fig. 4: Entry of a mining-induced compression into the calculation program [2]

möglichkeiten – in der Regel Dehnpolster – aufgenommen werden.

Bei den meisten Fernwärme-Systemen, vorwiegend U-Systeme mit relativ kurzem Festpunkt-Abstand, kann die durch die Wärmedehnung hervorgerufene axiale Reibung nicht weiter erhöht werden. Entscheidend ist, dass bei Pressung der Abstand der Kompensationsstellen verkürzt wird, nicht aber die Rohrleitungslänge. Die Kompensationsstellen müssen diese Abstandsänderung deshalb zusätzlich kompensieren. Kornverlagerungen des Gebirges könnten sogar eine Störung des Reibungsverbundes nach den Erkenntnissen von Bartsch, Buchner, Schleyer und Eigner [16] verursachen und so die durch Reibung gebremste Wärmedehnung freigeben.

Die erwarteten Zerrungen z und Pressungen p sind spezifische Längenänderungen des Bettungsmaterials (Bettungsdehnung). Wie bei Temperaturänderungen der Rohrleitung führen die dadurch verursachten Relativverschiebungen zwischen Rohrleitung und Bettungsmaterial in axialer Richtung zur Übertragung von Reibungskräften, deren Absolutbetrag in Abhängigkeit von Durchmesser, Überdeckung und Verdichtungszustand begrenzt ist.

Je nachdem, ob die Relativverschiebungen aus Bergsenkung und Temperaturänderung gleiches oder unterschiedliches Vorzeichen haben, ergeben sich Verlängerungen oder Verkürzungen der Gleitbereiche. Die Längen dieser Gleitbereiche wiederum sind maßgebend für die erwarteten Extremwerte der Axialkraft

und der daraus resultierenden Axialspannung.

Die Relativverschiebung bei Pressung p hat gleiche Wirkung wie die Längenzunahme der Rohrleitung bei Temperatursteigerung und umgekehrt wirkt die Zerrung z wie bei Abkühlung der Rohrleitung.

Aus Sicherheitsgründen werden die Wirkungen von Zerrung und Pressung nur in der Berechnung berücksichtigt, wenn sie im betrachteten Lastfall die Relativverschiebung betragsmäßig vergrößern.

Damit ergeben sich für die Berechnung die folgende effektive Dehnungswerte:

■ bei Pressung:

Betrieb + Pressung:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \alpha (T_B - T_{\text{Mont}}) - \epsilon_p;$$

$$\text{Abgekühlt: } \epsilon_{\text{eff}} = \alpha (T_{\text{min}} - T_{\text{Mont}})$$

■ bei Zerrung:

Betrieb:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \alpha (T_B - T_{\text{Mont}});$$

Abgekühlt + Zerrung:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \alpha (T_{\text{min}} - T_{\text{Mont}}) - \epsilon_z$$

mit $\epsilon_p = -0,001 \cdot p$ bzw. $\epsilon_z = 0,001 \cdot z$, wenn p bzw. z in mm/m gegeben ist.

Erdreich-Zerrungen bewirken im KMR Zugspannungen und haben eine ähnliche Wirkung wie die Absenkung der Betriebstemperatur. Bei Zerrungen wäre eine Vorwärmung der Leitungen schädlich, weil bei Betriebstemperaturen unter der Vorwärmtemperatur zusätzliche Zugspannungen aufgenommen werden müssten.

Im Lastfall Abgekühlt bzw. Abgekühlt + Zerrungen ist weiterhin an jedem Reibungspunkt des Berechnungsmodells, die für den Betriebslastfall ermittelte Vorverschiebung zu berücksichtigen. Bei

Nichtbeachtung dieser Vorverschiebung würden die auftretenden Relativverschiebungen und damit auch der Einfluss der Reibung, insbesondere der der Richtungsumkehrung, falsch berechnet werden. Die aus den beiden Grenzlastfällen ermittelten Spannungsschwingbreiten wären damit ebenfalls falsch. Erdreich-Pressungen bewirken im KMR Druckspannungen und müssen der Erwärmung überlagert werden.

In der neuesten Version von [2] wurde der dargelegte Lösungsweg eingearbeitet. Die vorausberechneten Zerrungen und Pressungen können direkt eingegeben werden (Zerrungen als positive, Pressungen als negative Bettungsdehnung).

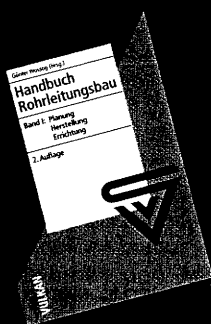
Vorteile der neuen Berechnungsmethode

- Zerrungen und Pressungen können direkt eingegeben werden (Bild 4).
 - Den im Leitungsverlauf frei wählbaren Abschnittslängen können gemäß örtlicher Situation unterschiedliche Werte für Zerrung und Pressung zugeordnet werden.
 - Ersatzberechnungen mit fiktiven Temperaturwerten oder äquivalenten Festpunktverschiebungen und die damit verbundenen Nachteile werden vermieden.
 - Da die Berechnung von Temperaturwerten wirklichkeitsnah erfolgt, erübrigen sich Umrechnungen bei den materialtechnischen Daten. Damit ergeben sich bessere Bedingungen für den Ergebnisausdruck. Der Ergebnisausdruck enthält statt fiktiver die tatsächlichen Betriebsdaten. Die dokumentierten Werte für Zerrung bzw. Pressung können direkt kontrolliert werden.
 - Erforderliche Sicherungselemente (z.B. U-Bögen) können somit wie bei bisherigen Berechnungen direkt optimiert werden. Auf diese Weise werden unnötige Sicherheiten vermieden und dadurch wirtschaftlich optimale Lösungen gefunden.
- Die exakte Berechnung weist für die vorgegebene Trasse in Bild 2 drei erforderliche U-Bögen aus und nicht acht, wie die überschlägige Tastrechnung.

Literatur

- [1] Arbeitsblatt FW 401 „Verlegung und Statik von Kunststoffmantelrohren für Fernwärmenetze“ (1999-02)
- [2] sisKMR 2001: Programm zur Berechnung freiverlegter und erdverlegter Rohrleitungen GEF RIS AG (1983-2001)
- [3] Einwirkungsbereichs-Bergverordnung 1982: Bergverordnung über Einwirkungsbereiche (Einwirkungsbereichs-Bergverordnung – Einwirkungsbereiche) vom 11.11.1982

- [4] Spielberg, P.: Rohrleitungen im Einwirkungsbereich untertägigen Abbaus. Ein Beitrag zur Verhütung von Schäden. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, 1999
- [5] Haupt, W.; Schober, F. und Sroka, A.: Dimensionierung von Sicherheitspfeilern und Schutzbereichen. Das Markscheidewesen 91 (1984) Nr. 3, S. 435 – 442
- [6] Sroka, A.; Schober, F. 1986: Beitrag zur Vorausberechnung von Bodenbewegungselementen für rechteckige Abbaufelder, Teil 1. Das Markscheidewesen 93 (1986) Nr. 4, S. 295 – 302
- [7] Sroka, A.; Schober, F.: Beitrag zur Vorausberechnung von Bodenbewegungselementen für rechteckige Abbaufelder, Teil 2. Das Markscheidewesen 94 (1987) Nr. 1, S. 329 – 333
- [8] Technische Mitteilung G 474 des DVGW, Dezember 1997: Maßnahmen zur Sicherung von Gasleitungen im Einwirkungsbereich des Steinkohlenbergbaus
- [9] DIN 2470, Teil 1 und 2: Teil 1 „Gasleitungen aus Stahlrohren mit zulässigen Betriebsdrücken bis 16 bar; Anforderungen an die Rohrleitungsteile“; Teil 2 „Gasleitungen aus Stahlrohren mit zulässigen Betriebsdrücken von mehr als 16 bar; Anforderungen an die Rohrleitungsteile“
- [10] Oberste-Brink, K.; Marbach, G.; Weißner, J.: Bergschäden an Leitungen und Maßnahmen zu ihrer Beseitigung und Verhütung. Glückauf – Berg- und Hüttenmännische Zeitschrift 60 (1924), Nr. 10, S. 171 – 198
- [11] Geilenkeuser, H.: Untersuchungen über die Bewegungen von Rohrleitungen in der Erde unter dem Einfluss von äußeren Kräften. Gesammelte Berichte aus Betrieb und Forschung der Ruhrgas AG, 1962
- [12] Kiwitt, W.: Über das Verhalten von erdverlegten Rohrleitungen unter akuter Bergbaueinwirkung. Dissertation TU Clausthal, 1973
- [13] Meißner, H.: Vorausberechnung des Spannungsverhaltens eingerdeter Rohrfernleitungen im Senkungstrog. Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Heft 32, 1978, S. 30 – 182
- [14] Hollmann, F.: Rohrleitungen unter bergbaulicher Einwirkung. Stand der Kenntnis – offene Probleme. Das Markscheidewesen 90 (1983) Nr. 2, S. 203 – 208
- [15] Brühn, M.: Gasfernleitungen in Bergbaugebieten – Planung, Sicherheitsmaßnahmen, Betriebsüberwachung. RWTH Aachen, Schriftenreihe Lagerstättenerfassung und -darstellung, Gebirgs- und Bodenbewegungen, Bergschäden, Ingenieurvermessung. Markscheiderisches Kolloquium Aachen, 20./21. Oktober 1994, Heft 15/1995, S. 133 – 145
- [16] Bartsch; Buchner; Schleyer; Eigner: Neue Erkenntnisse zum Reibungsverhalten kaltverlegter KMR-Leitungen in der Nähe von Bäumen. Fernwärme international (2001) Nr. 6



Handbuch Rohrleitungsbau - Band I: Planung, Herstellung, Errichtung

Vulkan-Verlag GmbH, Essen, 2001: 864 Seiten
172,11 DM, 88,00 € (Band I + II (Berechnung) zusammen:
234,11 DM, 119,70 €)
ISBN 3-8027-2722-3

In die 2. Auflage des Handbuches Rohrleitungsbau sind die erheblichen Veränderungen im Gesetzes- und Vorschriftenwerk mit eingeflossen. Die Darstellung der bisher maßgebenden, aber nur noch zeitlich befristet anwendbaren gesetzlichen Vorschriften bezgl. überwachungsbedürftiger Rohrleitungen und ihrer zugehörigen technischen Regeln wurde zu Gunsten der Druckgeräterichtlinie und ihrer sicherheitstechnischen Anforderungen stark reduziert. Damit soll dem im Rohrleitungsbau tätigen Praktiker der Übergang vom bisherigen Regelwerk zur Europäischen Harmonisierung erleichtert werden. Eine Übersicht der für den Rohrleitungsbau maßgebenden Regeln und Normen wurde neu aufgenommen. Ein gesonderter Abschnitt über Stützen wurde ebenfalls neu eingefügt. Dieser Abschnitt fasst die bisher im Handbuch verstreuten Ausführungen über Stützen zusammen.

VULKAN-VERLAG GmbH

FAX-BESTELLSCHEIN

Name: _____

Firma: _____

Anschrift: _____

Datum/Unterschrift: _____

____ Exemplare

Fax 0201/82002-40