

Beeinflussungen von Gashochdruckleitungen der ONTRAS in Bergbauegebieten

Rohrnetz, Gasversorgungsnetze, Äußere Lasten, Sicherheitskonzept, Altbergbau

Ulrich Hoffmann, Steffen Päßler und Manfred Veenker

Im vorliegenden Beitrag sollen die Herangehensweise und die Erfahrungen der ONTRAS – VNG Gastransport GmbH bei der Bewertung von Bergbauverdachtsflächen und deren Einfluss auf den Betrieb von Gashochdruckleitungen dargestellt werden.

Interference of ONTRAS's high pressure pipelines in mining areas

The paper presents ONTRAS – VNG Gastransport GmbH's approach and experience evaluating areas with potential concerns of mining damages on high-pressure gas pipelines.

1. Pipelineintegrität unter Beachtung von Bergbaueinfluss

Der Betreiber von Gashochdruckleitungen der öffentlichen Gasversorgung muss nach §49 des Energiewirtschaftsgesetzes die technische Sicherheit seiner Anlagen gewährleisten. Dabei hat er nach § 1 eine möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung mit Energie zu organisieren.

Hierzu steht ihm ein dem Stand der Technik entsprechendes umfangreiches technisches Regelwerk des DVGW zur Verfügung.

Pipeline Integrity Management Systeme sind ein wichtiges Instrument zur Beurteilung der Leitungsintegrität ganzer Leitungsnetze. ONTRAS hat hierfür ein eigenes Bewertungssystem, trascue.PIMS, entwickelt. Da ein rein deterministischer Ansatz aller denkbaren Beanspruchungen in vielen Fällen nicht sinnvoll ist und die spezifischen Parameter für die Leitungsbeanspruchungen aus Betriebs- und Umgebungsbedingungen und die technischen Parametern einer Leitung statistischen Verteilungen folgen, werden hier Ausfallwahrscheinlichkeiten zur Zustandsbewertung herangezogen.

Unter Beachtung von Grenzwerten nach DIN EN 16708 [1] werden die Leitungsintegrität nachgewiesen und ggf. mögliche Schwachpunkte erkannt, um gezielte weitergehende Untersuchungen, Bewertungen und ggf. Sicherungen vorzunehmen.

Der Einfluss von Bergbau stellt u.U. eine derartige Zusatzbeanspruchung dar, dass gesonderte Betrachtungen notwendig werden. Das DVGW-Hinweisblatt G 474 gibt grundsätzliche Vorgehensweisen sowie

Überwachungs- und Sicherungsmaßnahmen insbesondere im Bereich von Steinkohlenbergbau vor. Gerade im Bereich des Salzbergbaus sind jedoch Szenarien bekannt, die eine differenziertere Betrachtung bis hin zu probabilistischen Ansätzen erfordern. Hierzu wurden gemeinsam mit Experten aus Forschung und Praxis für die Fachgebiete des Bergbaus und der Leitungsbewertung Beurteilungskriterien entwickelt.

Im Netzgebiet der ONTRAS wurden über Jahrhunderte Erze, Energierohstoffe und Baustoffe im Tief- und Tagebau abgebaut. Auch nach Einstellung der bergbaulichen Tätigkeiten kann es noch nach Jahrzehnten zu signifikanten Bodenbewegungen kommen, welche die darüber verlegten Rohrleitungen beeinflussen können. Ziel von Untersuchungen ist es deshalb, für das gesamte Leitungsnetz die bergbaulichen Risiken zu erfassen, zu bewerten und zu dokumentieren. Dazu ist ein transparenter Prioritätenplan zu erarbeiten und gegebenenfalls sind Überwachungs- und Sicherungsmaßnahmen an den Ferngasleitungen (FGL) festzulegen.

2. Bergbauuntersuchungsprogramm der ONTRAS

In einer Übersichtsstudie des insgesamt 7200 km umfassenden ONTRAS – Ferngasleitungsnetzes wurde festgestellt, dass ca. 1500 km in Altbergbauverdachtsgebieten liegen. Dies umfasst insgesamt ca. 500 Verdachtsflächen ehemaliger und aktiver Tagebaue (Braunkohle, Kies und Steinbrüche) sowie Tiefbaue (Stein- und Braunkohle, Erze und Spate sowie Kali- und Steinsalze). Um den Aufwand und damit die Kosten überschaubar zu halten, wurde die Bearbeitungsreihenfolge in **Tabelle 1** gewählt.

Auf die Übersichtsstudie (siehe **Tabelle 1**) folgt eine Grobbewertung der Verdachtsfläche. Das Ziel dabei ist, besonders gefährdete Verdachtsflächen zu identifizieren und unkritische Fälle von der weiteren Bearbeitung (begründet) auszuschließen. Dazu müssen der Bergbau und das Rohr parallel betrachtet werden (**Bild 1**).

Auf der Bergbauseite wird geprüft, welche Größenordnung die Bodenbewegungen annehmen können. Parallel wird das Leitungsnetz in Rohrklassen eingeteilt und berechnet, bei welcher Belastung Grenzzustände der Rohrleitungen erreicht werden. Der Abstand zwischen möglicher Belastung und Widerstandsfähigkeit der Rohrleitung (vergleichbar mit dem Sicherheitsbeiwert) bestimmt im Wesentlichen den Rang im Prioritäten- und Maßnahmenplan.

Die übrig bleibenden Flächen werden dann in Detailuntersuchungen bergbaulich genauer untersucht (vgl. Punkt 3 in **Tabelle 1**) und durch ein rohrstatisches Gutachten bewertet (Punkt 4). Sind Gefährdungen nicht auszuschließen, werden im letzten Schritt Sicherungs- und Überwachungsmaßnahmen festgelegt (Punkt 5). Von Bearbeitungsschritt zu Bearbeitungsschritt sinkt die Anzahl der Verdachtsflächen, während der (finanzielle) Aufwand für Untersuchungen und Maßnahmen immer weiter steigt.

3. Bergbauliche Beeinflussungen

Art und Ausmaß der bergbauinduzierten Bodenbewegungen hängen im Wesentlichen von der Geologie und Abbautechnologie ab. Im Folgenden sollen typische Beeinflussungen der Erdoberfläche kurz aufgezeigt werden.

3.1 Senkungen

Bei jeglicher Gewinnung im Tiefbau entsteht ein Hohlraum, der entweder bewusst zu Bruch geworfen wird oder sich später durch den Gebirgsdruck langsam verkleinert. In den darauf folgenden Jahren führt das zu großflächigen Senkungen der Tagesoberfläche. Besonders kritisch für Rohrleitungen ist, wenn die Senkungen nicht gleichmäßig, sondern sprungartig auftreten, was meist auf geologische Störungen oder plötzliche Änderungen der Gesteinseigenschaften zurückzuführen ist (**Bild 2**, linke Seite).

3.2 Tagesbrüche

Bleiben die Hohlräume auch nach Einstellung des Bergbaus intakt, kann es noch Jahrzehnte später plötzlich zu trichterförmigen Brucherscheinungen (sog. Tagesbrüchen) kommen (**Bild 2**, rechts). Problematisch ist, dass Ort, Ausmaß und Zeitpunkt des Auftretens nicht zu prognostizieren sind, was zu erheblichen Problemen bei der Bewertung führt.

Aus empirischen Erfahrungen kann abgeschätzt werden, dass beispielsweise im Braunkohlentiefbau sowie dem Erzbergbau der Durchmesser der Tagesbrü-

Tabelle 1. Prinzipielle Herangehensweisen.

Bearbeitungsschritt	Anzahl der Verdachtsflächen	Bearbeitungstiefe
1. Übersichtsstudie des gesamten Leitungsnetzes	Hoch	Niedrig
2. Grobbewertung und Prioritätenplan	↓	↓
3. Detailuntersuchungen von besonders gefährdeten Verdachtsflächen		
4. Bewertung anhand der bergbaulichen Beanspruchungen und dem technischen Zustand des Rohres		
5. Festlegung von Überwachungs- und Sicherungsmaßnahmen	Niedrig	Hoch

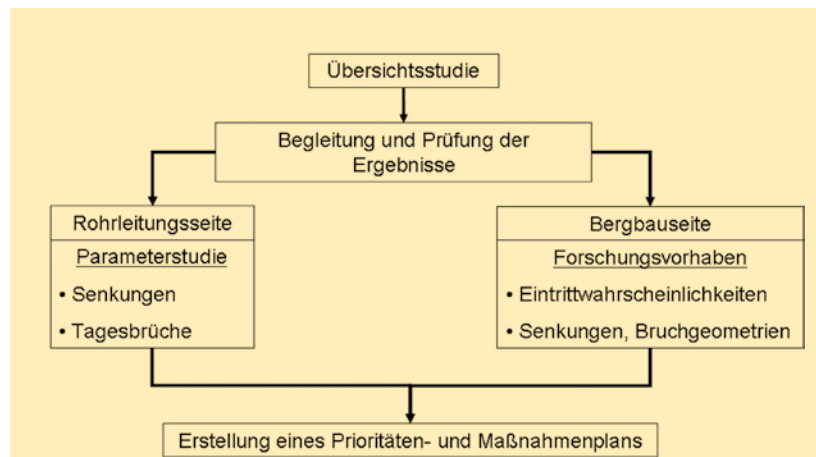


Bild 1. Schema Grobbewertung Bergbaueinfluss.

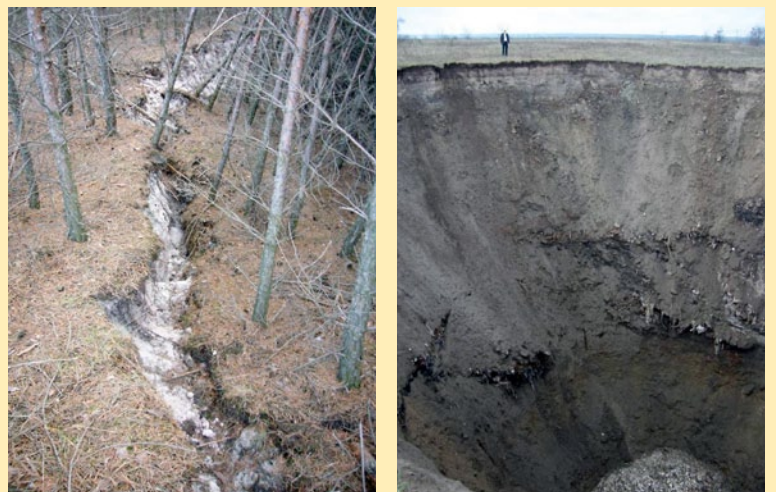


Bild 2. Sprunghafte Senkungen (links) und großer Tagesbruch (rechts).

che in der Regel kleiner als 10 m ist. Auf der anderen Seite traten im Kalibergbau Tagesbrüche mit Durchmessern von deutlich über 100 m auf.



Bild 3. Lastfall Zwängung.



Bild 4. Lastfall Setzungsdifferenz.

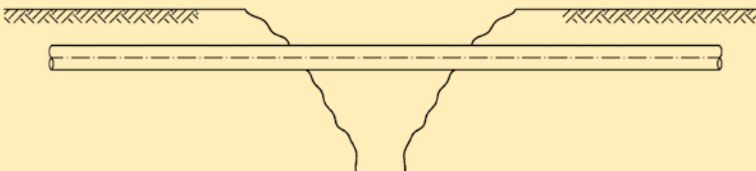


Bild 5. Lastfall Freespan.

3.3 Setzungsfließbrutschungen

Ein Sonderfall in ehemaligen Braunkohlentagebauen Mitteldeutschlands und der Lausitz stellt das Setzungsfließen dar. Dabei wird die Scherfestigkeit der gleichförmigen und locker gelagerten Sande durch ansteigendes Wasser sowie ein zusätzliches Initial (z. B. Erschütterung) aufgehoben und es beginnt ein Fließprozess. Die nun folgende Kettenreaktion kann in nur wenigen Minuten mehrere hundert Meter einer Böschung zum Versagen bringen und erfasst auch mehrere hundert Meter des Hinterlandes.

4. Interaktion Rohr/Boden: Statische Systeme

Bei den oben aufgezeigten Beeinflussungen entzieht der Boden durch Setzungen, und Tagesbrüche der Leitung die bestimmungsgemäße, durchgängige und gleichmäßige Bettung. Dies kann durch die im Folgenden aufgezeigten statischen Systeme beschrieben werden.

4.1 Zwängung der Leitung bei vollständiger Bettung

Wenn es im Boden zu relativ harmonischen Bewegungen kommt, wie sie z. B. bei Setzungen im Bereich von Braunkohletiefbau oder bei der Belastung von relativ weichen Böden (Torf und Klei) auftreten, wird die Leitung zwangsweise so verformt, wie sich die Bodensetzungen einstellen, da die Leitung das Setzungsverhalten

des Bodens nur geringfügig beeinflussen kann (**Bild 3**).

Dabei handelt es sich um den klassischen Fall einer Zwängung. Der Boden zwingt der Leitung die Verschiebungen auf, ohne dass die Leitung als Gleichgewichtssystem eine Last trägt. Wenn in diesem Fall Fließzonen in der Leitung auftreten, so kann die Leitung diesen Zwängungen weiter folgen, ohne dass ein Systemzusammenbruch erfolgt. Insbesondere bleibt die Fähigkeit der Leitung, den Innendruck zu ertragen, erhalten. Es handelt sich dabei um den klassischen Fall des Bauteilfließkonzeptes und die aufgetretenen Fließzonen stellen einen bestimmungsgemäßen Spannungszustand dar, der keiner Sanierung bedarf, so lange die auftretenden Dehnungen keine zulässigen Werte überschreiten.

4.2 Freie Überspannungen von Setzungsdifferenzen

Wenn es zu Setzungsdifferenzen infolge von Sprüngen oder Sackungen (Übergang Kippe/ gewachsener Boden) kommt, so wird eine Hochdruckleitung infolge ihrer Eigensteifigkeit diese Setzungsdifferenz lokal überbrücken können (**Bild 4**).

In diesem Fall findet keine Zwängung statt, sondern die Leitung trägt im frei gespannten Bereich ihr Eigengewicht und ggf. noch Bodenaufasten. Wenn nunmehr durch die äußeren Kräfte Fließzonen im Leitungsstahl entstehen, kann es zu kritischen Zuständen kommen, die die innere Betriebssicherheit (Fluidtransport) und die äußere Sicherheit der Leitung (Bruch) beeinträchtigen. Für diese Zustände gelten strenge Kriterien und falls der Spannungszuwachs nicht gering ist, entsteht unmittelbar Handlungsbedarf.

4.3 Überspannen von Tagesbrüchen

Bei der Überspannung von Tagesbrüchen stellt sich der klassische Balken auf zwei Stützen mit elastischer Einspannung ein. Auch hier sind durch das Bemessungskonzept für Hochdruckleitungen nur geringe Tagesbruchdurchmesser durch das deterministische Sicherheitskonzept abgedeckt (**Bild 5**).

Bei größeren Tagesbruchdurchmessern ergeben sich – abhängig von den Festigkeitseigenschaften der konkreten Leitung – Fließgelenke, die wiederum die innere, betriebliche oder die äußere Sicherheit der Leitung beeinträchtigen können.

5. Sicherheitsbewertung für Rohre unter bergbaulichen Lasten

Für Hochdruckleitungen gilt grundsätzlich, dass sie ihren ursprünglichen elastischen Zustand mit dem vorgegebenen Sicherheitsabstand zu Fließspannungen nicht verlassen dürfen. Es gibt allerdings Belastungs- und Verformungsfälle, die unter Umständen zulässig sind, wenn ein Mindestmaß an Sicherheit gewährleistet ist.

Mit dieser Thematik befasst sich z. B. die DIN EN 16348 [2]. Diese berücksichtigt die Tatsache, dass keine dem betrieblichen Alltag ausgesetzte Hochdruckleitung den ursprünglichen Bau- und Verlegezustand über die gesamte Lebensdauer beibehalten kann. Korrosionen, Einwirkungen Dritter und die hier beschriebene Interaktion Rohr/Boden können den ursprünglichen Verlegezustand erheblich beeinträchtigen. In der zitierten Norm wird gefordert, dass Sicherheits- und Integritätsmanagementsysteme zur Bewertung dieser Zustände eingerichtet werden. Das zitierte System der ONTRAS „trascue. PIMS“ arbeitet nach dem Prinzip der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Zusatzbeanspruchung und es wird nicht der Spannungsnachweis, sondern der Nachweis, dass die Grenzwerte nach [1] eingehalten werden, maßgebend. Selbstverständlich ist für sämtliche erweiterte Zustände der Gleichgewichtszustand nachzuweisen.

Sofern die Vermutung besteht, dass bergbauliche Zusatzbeanspruchungen von der Leitung aufgenommen werden können, sind diese nach den im Folgenden aufgeführten Szenarien zu berechnen und dann einer Bewertung der Versagenswahrscheinlichkeit der Leitung unter dem Gesamtbeanspruchungszustand zuzuführen.

Die Problematik der Beanspruchung durch kontinuierliche Bodensetzungen ist durch gezielte Überwachung (z. B. Setzungs- bzw. Dehnungsmessung) beherrschbar.

Plötzlich auftretende Erscheinungen wie Setzungsfließrutschungen und Tagesbrüche bzw. Erdfälle erfordern eine dezidierte bergbauliche Bewertung hinsichtlich der erwarteten Parameter und deren Auftretenswahrscheinlichkeit und ggf. ein Verlegen der Leitung.

Die folgende Beschreibung der Szenarien geschieht am Beispiel des Tagesbruchs.

So können abhängig vom Durchmesser des Erdalles und den Leitungsdaten 4 unterschiedliche Szenarien für die Leitungsbeanspruchung beschrieben werden, die sich wesentlich unterscheiden.

- **Szenario 1: Bestimmungsgemäßer Leitungszustand**
In diesem Fall ist der Durchmesser des Tagesbruchs so klein, dass trotz der zusätzlichen Längsspannungen aus Biegung die in der Norm festgelegten Grenzspannungen für den bestimmungsgemäßen Leitungsbetrieb nicht überschritten werden. Ein solcher Tagesbruch - wenn seine Größe denn gesichert ist - stellt somit eine zulässige Zusatzbeanspruchung dar, die Sicherheit der Leitung ist gewährleistet und Erdbaumaßnahmen und andere konstruktive Ertüchtigungen der Leitung werden nur aus grundsätzlichen Erwägungen vorgenommen.
- **Szenario 2: Auftreten von Fließspannungen**
Bei größeren Tagesbrüchen werden am Trichterrand, wo die größten Leitungsbeanspruchungen sind, Fließspannungen auftreten, die zunächst lediglich zu Fließgelenken werden, ohne dass der Leitungs-

querschnitt wesentlich beeinträchtigt wird. Es ist damit das bestimmungsgemäße Tragverhalten der Leitung nicht mehr gegeben, die Leitung ist allerdings noch sicher in dem Sinne, dass die Tragfähigkeit gegeben und insbesondere die Betriebssicherheit gewährleistet ist, da der Querschnitt nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Es ist selbstverständlich, dass zur Ertüchtigung der Leitung Maßnahmen ergriffen werden müssen, dieser Zustand kann jedoch grundsätzlich temporär zugelassen werden.

- **Szenario 3: Durchplastizieren**

Wird einer Leitung durch einen Tagesbruch ein noch größerer „Freespan“ zugewiesen, so ändert sich das Tragsystem. Die anfänglich am Rand des Tagesbruchs auftretenden Fließgelenke führen dazu, dass der Querschnitt an Steifigkeit verliert und die Leitung hier abplattet. Wegen der großen Verformungen geht das Balkentragwerk in ein „Seiltragwerk“ über, dessen Belastbarkeit grundsätzlich höher ist, so dass sich hier eine Steigerung der Tragfähigkeit ergibt, die allerdings damit verbunden ist, dass die betriebliche Sicherheit nicht mehr gegeben ist und auch die Sicherheit des Tragwerkes gegen Bruch weiter verringert wird. In diesem Zustand sind selbstverständlich Sofortmaßnahmen zu ergreifen.



Uns verbindet mehr als eine Leitung.

Die Dienstleistungen der EnBW Regional AG helfen, Ihre Gasnetze störungsfrei und wirtschaftlich zu betreiben. Profitieren Sie vom Know-how und der Erfahrung unserer Experten. Neugierig? Dann testen Sie unsere starke Leitung: 0711 289-46000.

EnBW

Energie
braucht Impulse

- **Szenario 4: Leitungsbruch**

Bei weiter vergrößertem Durchmesser kommt es unweigerlich zum Leitungsbruch und damit zum größten anzunehmenden Schaden.

Großflächige Setzungsfließerscheinungen, wie sie insbesondere durch Grundwasserwiederanstieg auf Kippen alter Tagebaue auftreten können, erfordern in der Regel eine Umverlegung betroffener Hochdruckleitungen. Dies wird nicht nur durch die nicht mehr ertragbaren Lasten in der Leitung, sondern auch aus Gründen der Gefährdung des Personals bei notwendiger Leitungsüberwachung bzw. Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich.

6. Arbeitsstand

Mitte der 1990iger Jahre kam es zur Stilllegung großer Tagebaue der Braunkohleförderung in der Lausitz und im Leipziger Umland. Die damit verbundene Abschaltung der Pumpen für die Grundwasserabsenkung führt zwangsläufig zur Wiederherstellung alter Grundwasserhorizonte, was auch umfangreiche bergbauliche Sicherungsmaßnahmen zur Folge hat. In Trassengebieten der ONTRAS wurden in Abstimmung mit dem Bergbausaniierer (LMVB) entsprechende begleitende und weiterführende Maßnahmen festgelegt und sind bis heute in der laufenden Überwachung.

Ausgehend von diesen Untersuchungen wurde die o.g. komplexe Überprüfung für das gesamte Netzgebiete der ONTRAS unter Beachtung aller möglichen bergbaulichen und natürlichen berglichen Beeinflussungen durchgeführt.

Im Rahmen von bergbaulichen Studien insbesondere zum Einfluss von weit zurückliegendem Erz- und Braunkohlebergbau konnten umfangreiche Verdachtsgebiete relativiert werden.

Inbesondere aktuelle Tagesbrüche durch alte Salzbergbaue im mitteldeutschen Raum führten zu den Überlegungen wie sie in den o.g. Szenarien beschrieben wurden. Im Zusammenhang mit den durchgeführten bergbaulichen Bewertungen und Sonderuntersuchungen konnte die Tragfähigkeit und Betriebsicherheit betroffener Leitungen nachgewiesen werden.

Die bergbaulich beeinflussten Trassenbereiche mit hoher Priorität befinden sich in der laufenden Überwachung. Detailuntersuchungen für weitere Verdachtsflächen befinden sich in der Detailuntersuchung entsprechend Prioritätenplan.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 16708 (August 2006): Erdöl- und Erdgasindustrie – Rohrleitungstransportsysteme – Zuverlässigkeitsanalysen
- [2] DIN EN 16348 (Entwurf November 2011): Gasinfrastruktur – Sicherheitsmanagementsystem (SMS) für die Gastransportinfrastruktur und Rohrleitungsintegritätsmanagementsystem (PIMS) für Gastransportleitungen – funktionale Anforderungen.

Autoren



Ulrich Hoffmann

ONTRAS – VNG Gastransport GmbH |
Leipzig |
Tel. +49 341 27111-2734 |
E-Mail: ulrich.hoffmann@ontras.com



Steffen Päßler

ONTRAS – VNG Gastransport GmbH |
Leipzig |
Tel. +49 341 27111-2875 |
E-Mail: steffen.paessler@ontras.com



Manfred Veenker

Veenker Ingenieurgesellschaft mbH |
Hannover |
Tel. +49 511 284-990 |
E-Mail: manfred.veenker@veenkermbh.de