

## **Geotechnische Risikoanalyse an Tagesbrüchen über Braunkohlentiefbau Mitteldeutschlands zur Sicherheitsbewertung von Gashochdruckleitungen\***

Günter Meier, Steffen Päßler, Manfred Veenker

### **ZUSAMMENFASSUNG :**

*Umfangreiche Gebiete Mitteldeutschlands weisen durch intensiven historischen Braunkohlentiefbau ein hohes Tagesbruchrisiko auf. Im Rahmen einer Neubewertung der Sicherheit von Gashochdruckleitungen in diesen Altbergbaugebieten stellen sich Fragen nach den maximalen Parametern der Tagesbrüche und ihre mögliche Einwirkungen auf die unterschiedlich dimensionierten Leitungssysteme. Nur eine differenzierte Analyse der Tagesbrüche aus genetischer Sicht bildet eine reale Grundlage von Risikoanalysen. Die Datenlage zu diesen Verbruchereignissen ist in vielen Fällen unzureichend. Erhebliche Einsparungspotentiale ergeben sich durch eine Reduzierung von Verdachtsflächen. Altbergbauliche und rohrstatische Einzeluntersuchungen sind jedoch in unsicher eingestuftten Bereichen des Altbergbaues unumgänglich.*

### **ABSTRACT:**

*In Middle Germany (Saxony, Saxony-Anhalt, Thuringia) extensive areas show a high-level risk of sinkhole emergence, caused by intensive ancient brown coal mining. Within a safety assessment of high pressure gas pipelines in the above mentioned old mining areas, questions arise to critical parameters of sinkholes and their potential effects to various dimensioned pipeline systems. Only a differentiated analysis of sinkholes, discussed from a genetic viewpoint, provides a real basis for risk analyses. In many cases the data available of sinkhole events are insufficient. Considerable savings potential are expected from reduction of potentially hazardous sites. However, individual studies, both old mining and pipe statics, are essential in regions of old mining activities, which to be seen as unsafe.*

---

\* Veröffentlicht in: Tagungsband 11. Altbergbau-Kolloquium, Wrocław 03. - 05.11.2011, S. 125 - 133, VGE Verlag GmbH, Essen 2011

## 1 Einleitung und Problemstellung

In Mitteldeutschland wurde vom 19. bis Anfang des 20. Jahrhunderts sehr umfangreich untertägig Braunkohle im Bruchbau abgebaut. Nach Einstellung des Bergbaues blieben die Schächte offen, wurden verfüllt oder abgeblüht. Die Streckensysteme wurden weitgehend unverändert hinterlassen. Der Zustand der abgeworfenen Bruchfelder (Abbildung 1), oft in mehreren Sohlen durch mächtige Flöze vertikal unterbaut, war durch unvollständige Verbruchereignisse geomechanisch unbestimmt.



Abb.1 : Bruchfeld im Zeitzer Revier um 1900 (historische Aufnahme)

Trotz des grundsätzlichen Sicherheitsrisikos, was von dieser Abbautechnologie ausgeht, wurden in der Vergangenheit oft Medienleitungen (Strom, Wasser, Gas) über diese Flächen verlegt. Der Grund dafür ist einerseits, dass es beispielsweise im Großraum Halle/Saale kaum bergbaufreie Trassen gibt, die ehemaligen Bergbauflächen meist von jeglicher Bebauung freigehalten wurden (wichtig für eventuelle Mindestabstände) und der Wegerechterwerb meist unproblematisch war. Das Risiko einer Leitungsbeschädigung durch den Altbergbau wurde bei der Planung als akzeptabel eingeschätzt und großflächige Umtrassierungen als unwirtschaftlich verworfen.

Durch den Verschleiß der Leitungen, verschärfte Normen / technische Regeln für den Leitungsbetrieb und bei neuen Erkenntnissen über das Grubengebäude kann es zu einer Änderung der Risikoeinschätzung kommen. Kritisch für den Leitungsbetreiber ist, wenn einerseits viele Verdachtsflächen vorhanden sind und andererseits nur lückenhafte Informationen über diese ehemaligen Grubenbaue vorliegen. In diesem Fall bedeutet die Detailuntersuchung und ggf. Hohlraumerkundung jeder Verdachtsfläche eine erhebliche finanzielle Belastung. Durch eine Grobabschätzung anhand einer Gegenüberstellung bergbaulicher und rohrstatischen Einflussgrößen kann der Aufwand begrenzt und ein fundierter Prioritätenplan erarbeitet werden.

Der vorliegende Artikel entstand in Vorbereitung eines Forschungsprojektes über Tagesbrüche im Braunkohlentiefbau für die VNG-Verbundnetz Gas AG, Leipzig. Die Ergebnisse des Forschungsprojektes sollen ein Eckpfeiler bei der Festlegung von Art und Reihenfolge zukünftiger Erkundungs- bzw. Sanierungsarbeiten bilden.

## 2 Grundlagen der Risikobewertung von Tagesbrüchen

Das Risiko ist ein Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß. In einer Empfehlung des Arbeitskreises 4.6 „Altbergbau“ der DGGT e. V wird diese Herangehensweise auf die Risikoanalyse im Altbergbau grundlegend dargestellt (MEIER et al., 2004). Im Bereich der Erdöl- und Erdgasindustrie hat die Risikobewertung anhand von Eintrittswahrscheinlichkeiten den Status einer Norm (DIN EN ISO 16708).

Für die konkrete Risikoeinschätzung für Hochdruckgasleitungen sind die Eintrittswahrscheinlichkeit revierspezifisch und das Schadensausmaß objektspezifisch einzugrenzen. Im vorliegenden Fall ist die Eintrittswahrscheinlichkeit definiert als die erwartete Häufigkeit, dass es durch einen Tagesbruch im Braunkohletiefbau Mitteldeutschlands (sachliche und revierspezifische Eingrenzung) zu einem Versagen der Rohrleitung mit Gasaustritt (objektspezifische Eingrenzung) kommt. Sie ergibt sich aus dem Produkt von drei Einzelwahrscheinlichkeiten. Der Tagesbruch muss zeitlich und örtlich mit der Rohrleitung im Zusammenhang stehen sowie der Verbrauch so groß sein, dass er die Leitung beschädigt (PÄBLER & VEENKER 2010).

Das Risiko für Hochdruckgasleitungen muss nach DIN ISO 16708 geringer als  $10^{-6}$  Ereignisse pro Leitungskilometer und Jahr sein. Bezogen auf alle tagesbruchgefährdeten Leitungsabschnitte der VNG wäre statistisch gesehen ein Schadensfall aller 2.000 Jahre zulässig, was aber bei einer Lebensdauer einer Leitung von ca. 50 Jahren einen eher theoretischen Charakter hat.

Für eine konservative Abschätzung des Risikos wird im Rahmen dieser Untersuchung der statische Lastfall angenommen. Bei dieser „worst case“ Betrachtung wird die Eintrittswahrscheinlichkeit mit 1 festgelegt und geprüft, ob die Leitung dem maximal möglichen Tagesbruch noch standhält.

## 3 Abschätzung der Tagesbruchparameter

Der Begriff Tagesbruch ist ein Sammelbegriff für sehr unterschiedliche Verbrauchmechanismen, die über anthropogen hergestellten Hohlräumen ablaufen können (Abbildung 2), woraus sich auch sehr verschiedene Wirkungsparameter ergeben.

Grundsätzlich handelt es sich bei einem Tagesbruch um ein Volumen- bzw. Massendefizit, welches sich ausgehend von dem bergmännischen Hohlraum bis zur Tagesoberfläche durchschlägt und dabei verschieden labile Gleichgewichtszustände durchläuft. Im bergbaulich überprägten Braunkohlengebirge bestimmen folgende Rahmenbedingungen maßgeblich das Tagesbruchgeschehen:

- Vorherrschen von sandigen Sedimenten und deren Mächtigkeiten
- Fließsandeinlagerungen
- Größe, Art, Form und Zustand der zum Verbrauch neigenden Hohlräume
- Lufterfüllte Grubenbaue (Holzzersetzung des alten Sicherungsausbaues)
- Grundwasserverhältnisse

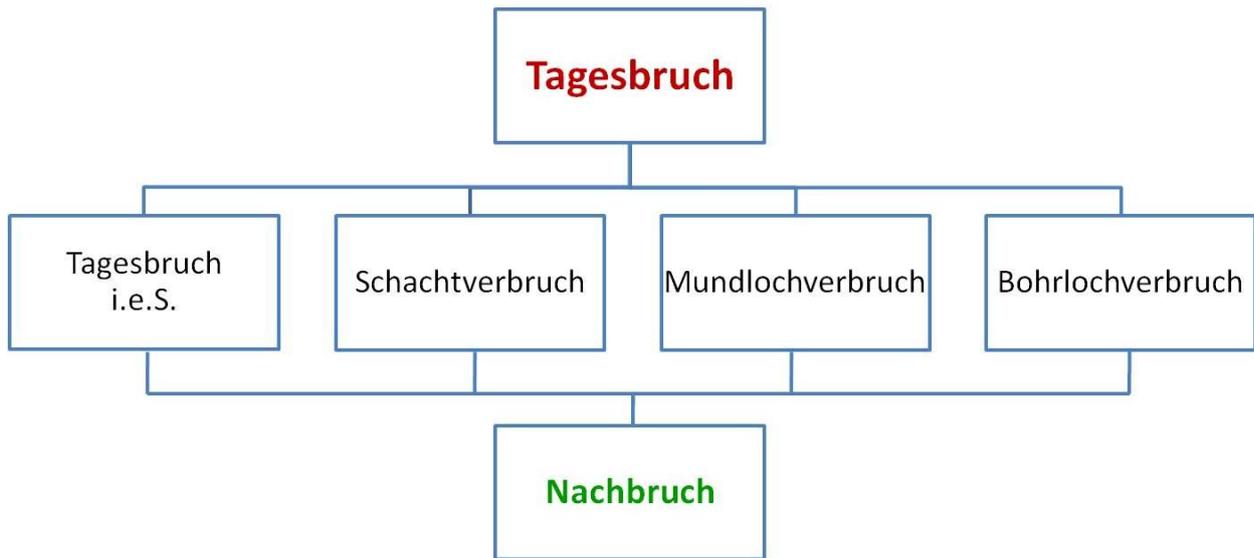


Abb.2 : Einteilung der Tagesbrüche aus genetischer Sicht

Bei überwiegend tonigen Sedimenten sind flexurartige Deckgebirgsverformungen über den verbrechenden Grubenbauen vorherrschend. Eine besondere Rolle spielen Fliesandablagerungen, die zu besonders großen Verbruchereignissen führen können. Eine nicht fassbare Größe bei der Bewertung von Verbruchereignissen im Braunkohlentiefbau sind die Nachbrüche. In einer Vielzahl der Fälle handelt es sich bei Tagesbrüchen um Teilverbrche, die nach längerer Verweilzeit neue Verbruchpotentiale aufbauen und zu einem erneuten Ereignis führen.

Die Eingrenzung von Parametern bei Tagesbrüchen i. e. S. kann grundsätzlich durch analytische, numerische und empirische Modelle erfolgen. Bei den anderen Tagesbruchformen ist eine numerische Analyse bei ausreichender Kenntnis nur im Einzelfall zielführend. Problematisch für die analytischen und numerischen Modelle ist, dass viele Eingangsfaktoren nicht bekannt sind oder stark streuen (MEIER, J., 2003).

Die wesentlichen Parameter für eine Sicherheitsbewertung sind dabei der Tagesbruchdurchmesser und -tiefe sowie die Latenzzeit der Grubenbaue. Die Latenzzeit ist definiert als Zeit zwischen der Auffahrung des Grubenbaues, dem Verbruch des Hohlraumes und dem Durchbrechen an die Tagesoberfläche (FENK, 1979).

Eine Möglichkeit für die numerische Abschätzung der Tagesbruchwahrscheinlichkeit ist das Hohlraum-Bruchvolumen-Bilanz-Modell nach Meier (MEIER, 2001). Mit Hilfe der folgenden Formel und Parameter lässt sich für den Einzelfall ermitteln, ob es zu einem Tagesbruch kommt oder dieser im Deckgebirge „totluft“. Grundsätzlich gilt diese numerische Betrachtung jedoch nur für Tagesbrüche i. e. S.

$$H_{\max} = \frac{h}{s-1} \left( 1 + \frac{h}{l * \tan \varphi} \right)$$

- Auflockerungsfaktor (Schttungszahl) s [-]
- Höhe des bergmännischen Hohlraumes h [m]
- Breite des Bruchschlotes ( $\approx$  Abbau- bzw. Streckenbreite) l [m]
- Halbe Breite des Bruchschlotes ( $l = 2 b$ ) b [m]
- Schttungswinkel  $\varphi$  [°]

Die berechnete Grenzdeckgebirgsmächtigkeit  $H_{\max}$  wird anschließend mit der vorliegenden Deckgebirgsmächtigkeit ( $H_{\text{Gebirge}}$ ) verglichen. Für den Fall, dass  $H_{\max} \geq H_{\text{Gebirge}}$  ist, kommt es zur Entstehung eines Tagesbruches an der Geländeoberfläche. Ist  $H_{\max} \leq H_{\text{Gebirge}}$ , läuft sich der Verbruch im Deckgebirge „tot“.

Ein großes Problem für die Abschätzung der Tagesbruchparameter besteht darin, dass eine exakte Dokumentation und eine systematische Erfassung aller entstandenen Tagesbrüche nicht vorliegt. Eine Meldepflicht von Verbrüchen besteht erst seit den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts. In zahlreichen Fällen wurden Tagesbrüche durch den Eigentümer oder Nutzer des Grundstückes, insbesondere auf landwirtschaftlichen Nutzflächen, selbstständig verfüllt. Zusätzlich geht aus den meist unvollständigen historischen Grubenrissen und Betriebsakten nicht immer eindeutig hervor, zu welchem Zeitpunkt ein Tagesbruch eingemessen wurde und welche Parameter er aufwies.

Es lassen sich daher keine konkreten Prognosen zu den Tagesbrüchen durchführen, denn mit Hilfe der Modelle kann nur ein Trend abgeschätzt werden. Zudem kommt erschwerend hinzu, dass aktuelle Zustandsdaten und Informationen zu den Grubenbauen nicht verfügbar sind. Aufgrund der erheblichen Abstraktion bei der Auswahl von Parametern ist nur eine grobe Bewertung möglich.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Tagesbruchdurchmesser und Tagesbruchtiefe

Der Tagesbruchdurchmesser und die Tagesbruchtiefe unterliegen unmittelbar nach dem Verbruchereignis fortschreitenden Veränderungen. Für eine numerische Bewertung wird im Allgemeinen der Zustand mit senkrechten Verbruchrändern zugrunde gelegt. Als Datenbasis für das Forschungsprojekt wurden beispielsweise die Tagesbrüche der drei Grubenreviere Tröbitz/Domsdorf (149 Tagesbrüche), Aschersleben (17 Tagesbrüche) und Zscherben (35 Tagesbrüche) analysiert. Genutzt werden auch die Daten der Untersuchungen von FENK, 1979 (450 Tagesbrüche) und MEIER, J., 2003 (1.100 Datensätze) sowie die zahlreichen aktuellen Verbrüche von 2011.

In der Abbildung 3 sind als ergänzende Beispiele die Beziehungen zwischen Tagesbruchdurchmesser und Tagesbruchtiefe unter Berücksichtigung der Art des verbrochenen Grubenbaues aus dem Braunkohlenrevier Borna grafisch dargestellt.

Insgesamt wurden 94 Verbruchereignisse von mehreren Tiefbaugruben bei annähernd gleichen ingenieurgeologischen Verhältnissen ausgewertet. In diesem Gebiet herrschen sandige Deckgebirgsschichten vor. Die besonders große Streuung der Ereignisse über Strecken mit den scheinbar sehr großen Durchmessern bis zu 15 m ist dadurch zu erklären, dass zusammenhängende Tagesbruchserien über Strecken (Pingenzüge) auftraten. So konnten Pingenzüge über tagesnahe Strecken sogar mit einer Länge von 60 m und 6 m Breite sowie 54 m Länge und 5,4 m Breite ausgehalten werden. Diese Pingenzüge bestehen zwar anfänglich aus einzelnen Verbruchereignissen mit allerdings sehr verschiedenen breiten Restschweben zwischen den Einzelereignissen, die jedoch mit der weiteren Verbruchentwicklung ebenfalls einbrechen werden. Für die Sicherheitsbetrachtungen von Gashochdruckleitungen sind diese Beispiele von besonderem Interesse, da hier nicht nur der einzelne Tagesbruch, sondern auch die Lage des Grubenbaues zum Rohrleitungsverlauf sicherheitsrelevante Bedeutung erlangt.

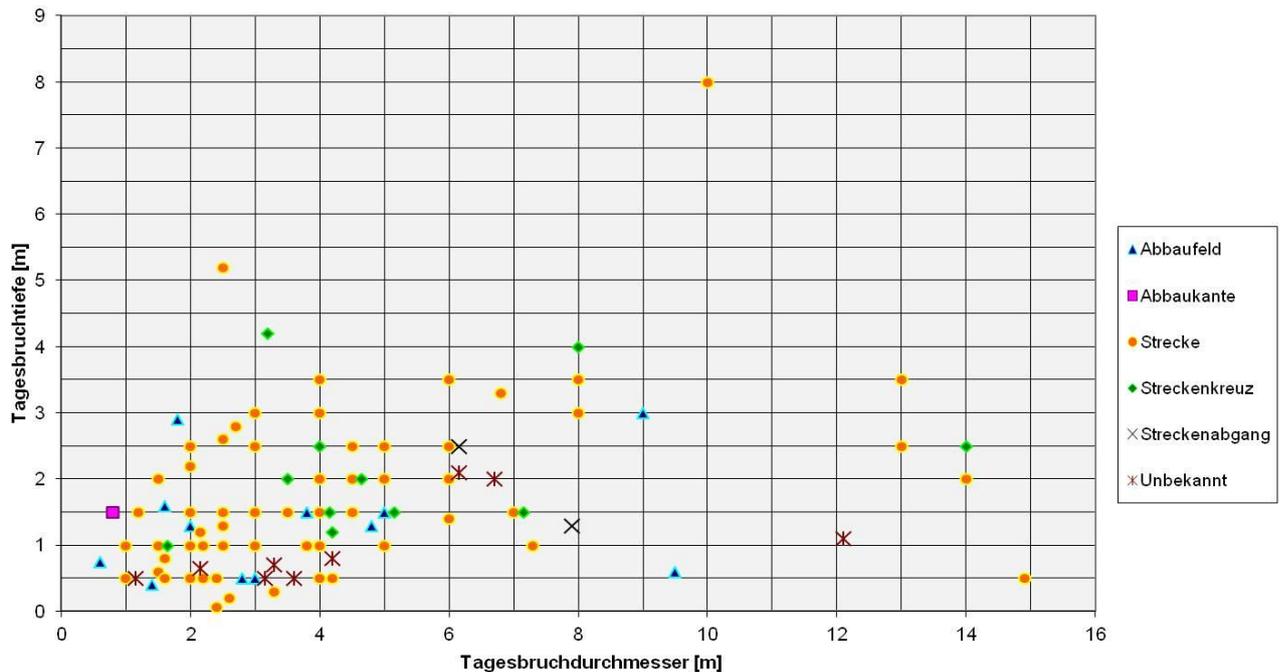


Abb.3 : Beziehung zwischen dem Tagesbruchdurchmesser und der Tagesbruchtiefe im Bornaer Revier

Eine Analyse der Häufigkeitsverteilung der Tagesbruchdurchmesser ergab, dass die Anteile  $< 5$  m bei 70 %,  $94 \% < 10$  m und  $6 \% > 10$  m liegen, vergleichbar mit den Angaben von PÄBLER ET VEENKER (2010) mit 75 %, 95 % und 5 %.

Die Häufigkeitsverteilung der Tagesbruchtiefen zeigt folgende Anteilswichtung:  $< 2$  m liegt bei 62 %,  $2 - 5$  m umfasst 36 % und  $> 5$  m beträgt 2 %.

## 4.2 Latenzzeit

Die Latenzzeit der tagesnahen Grubenbaue wird häufig eng mit der Prognose von Tagesbrüchen in Verbindung gebracht. Grundsätzlich gilt, dass eine exakte zeitliche Voraussage von Tagesbrüchen nicht möglich ist (MEIER, G., 2010). Insbesondere bei und nach extremen Witterungsereignissen häufen sich die Schadensfälle. Für den Braunkohlentiefbau gibt es verschiedene Angaben zum Erwartungswert von Verbruchereignissen. Grundsätzlich ist jedoch davon auszugehen, dass zu jedem Zeitpunkt ein Ereignis eintreten kann. In der Abbildung 4 sind auf der Grundlage von 1.100 Datensätzen aus dem südlichen Teil von Sachsen-Anhalt Angaben zur Latenzzeit enthalten (MEIER, J., 2003).

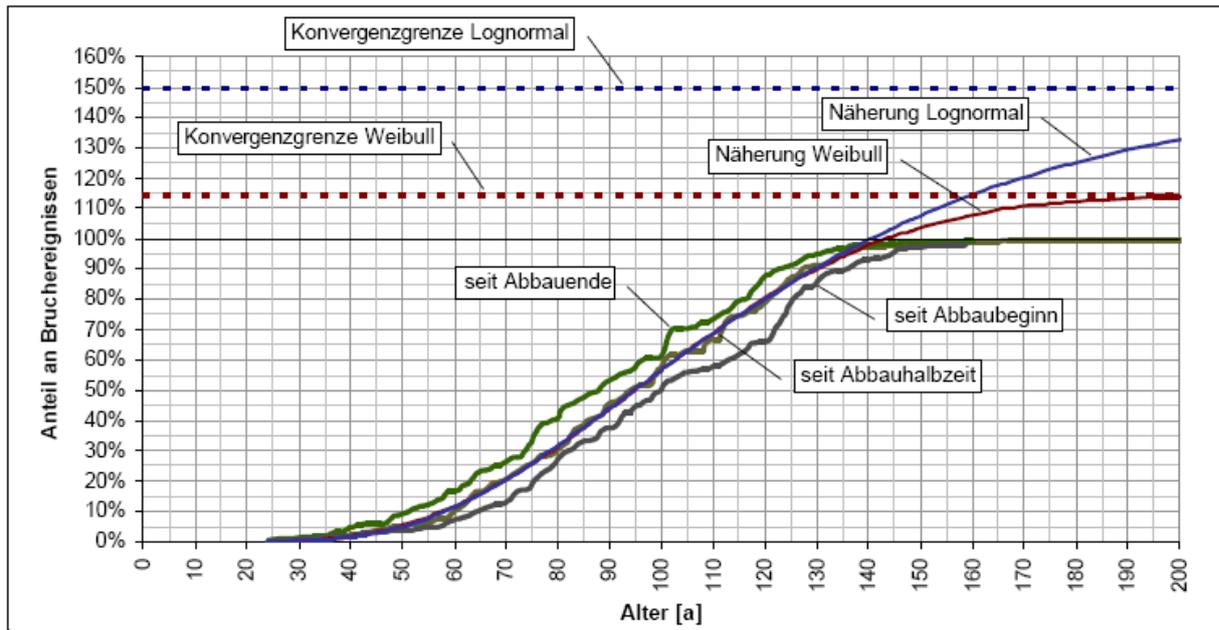


Abb.4 : Summenkurven der Zeitreihe über die Latenzzeit der Verbruchereignisse  
(MEIER, J. 2003)

### 4.3 Bruchverursachender Hohlraum

Nachweislich bestimmen die geometrischen Verhältnisse des bruchverursachenden Hohlraumes den Tagesbruchdurchmesser. Die Deckgebirgsmächtigkeit über den Hohlraum ist wiederum bestimmend für die Tagesbruchtiefe. In vielen Fällen ereignet sich kein vollständiger Tagesbruch, sondern es verbleiben Resthohlräume, die zu einem späteren Zeitpunkt zu Nachbrüchen führen. Daraus resultieren auch die unterschiedlichen Tagesbruchabmessungen auf einer Strecke (Pingenzug) oder über Abbaufeldern.

Im Braunkohlentiefbau wurde grundsätzlich mit Holz ausgebaut. Stollen, Füllörter und Maschinenkammern sowie Strecken unter Verkehrswegen wurden häufig in Ziegelmauerwerk gesetzt. Versatzarbeiten wurden nur in Ausnahmen durchgeführt, beispielsweise auf Anordnung der Bergbehörde. Folgende Grubenbaue sind tagesbruchauslösend:

- Einfach- und Doppelstrecken
- Tagesstrecken
- Stollen
- Nicht oder nur teilverbrochene Abbaukammern
- Schächte
- Blindschächte

Eine besondere Bedeutung bezüglich des Schadensausmaßes bei Tagesbrüchen besitzen Fließsandschichten im Deckgebirge. In der Leipziger Bucht ist die Fließsandzone bis zu 10 m mächtig. Das Braunkohlenflöz erreicht eine Mächtigkeit bis zu 12 m. Über Einfachstrecken sind Tagesbruchdurchmesser auch in vorwiegend tonigen Deckschichten von ca. 8 bis 10 m belegt, wobei hier die Fließsandschichten stets die Ursachen bilden.

Die größten bergmännischen Hohlräume stellen die Abbaukammern dar. Die Grundfläche beträgt 4 x 4 m bis 6 x 6 m bei einer maximalen Höhe von 5 m, in Ausnahmen erreichte die Abbauhöhe bis 6,9 m. Bei diesen Abbaugrößen sind maximale Tagesbruchdurchmesser von 8 bis

10 m zu erwarten. Eine kritische Situation für Gashochdruckleitungen ergibt sich, wenn die Leitung unmittelbar auf einem linear verlaufenden Grubenbau (z. B. Einfach- und Doppelstrecke, Stollen, Tagesstrecke) verläuft, wo Pingenzüge entstehen können.

## 5 Auswirkungen auf Gashochdruckleitungen

Tritt ein Tagesbruch unter einer Rohrleitung auf, so hängt diese frei. Die Länge zwischen den elastischen Stützen wird „free span“ genannt und entspricht im Wesentlichen dem Tagesbruchdurchmesser.

Um Flächen mit einer möglichen Beeinflussung der Rohrleitungen zu identifizieren, wurden die free span Längen für verschiedene Rohrdurchmesser der VNG berechnet (Abbildung 5).

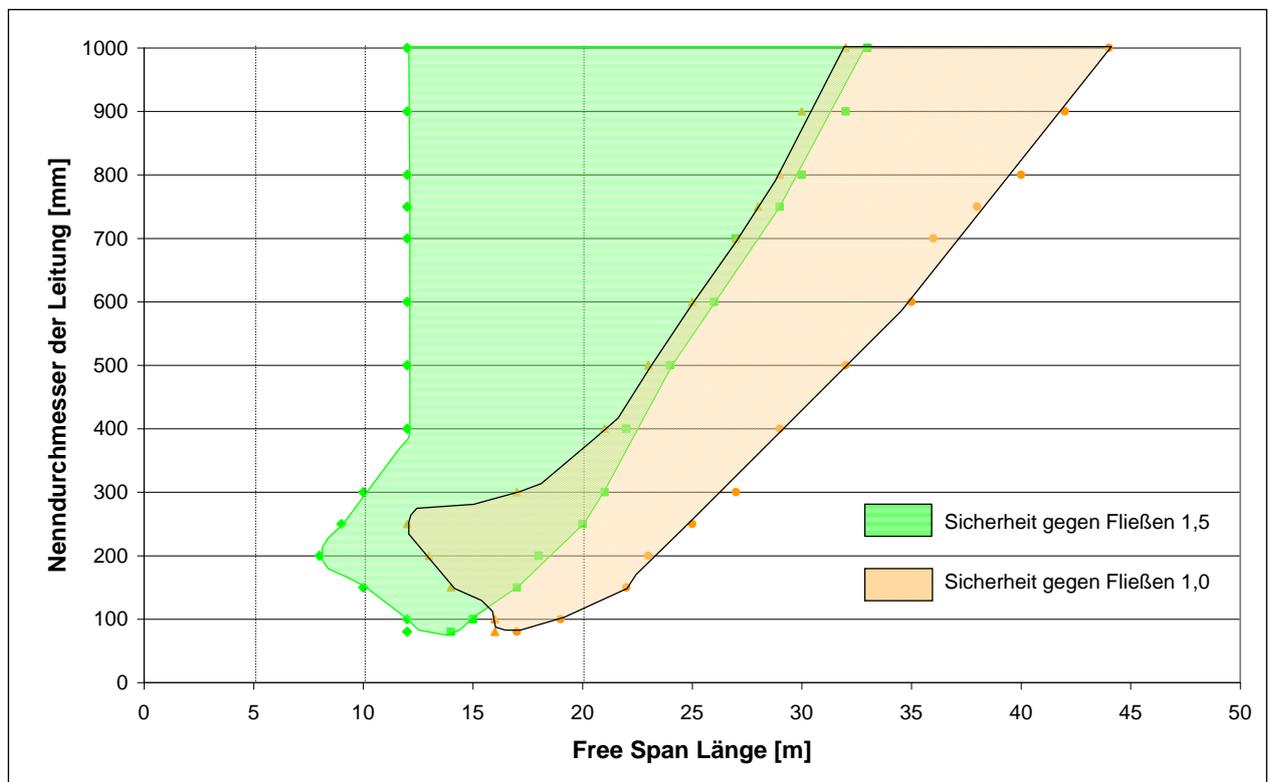


Abb.5 : Zulässiger free span für verschiedene Leitungsdurchmesser

Da sich die Rohre hinsichtlich der Stahlsorte, Wandstärke, Druckstufe usw. unterscheiden, werden in Abbildung 5 großflächige Bereiche ausgewiesen, wo Sicherheiten von 1,5 bzw. 1,0 gegen Fließen des Rohres erreicht werden.

Dabei zeigt sich bei Durchmessern von DN 150 bis 300 ein Minimum. Der Grund ist, dass größere Rohre steifer sind und so größere Längen überspannen können. Bei sehr kleinen Rohren ist die Auslastung durch den Innendruck sehr gering, so dass teilweise eine Wandstärke von 2 mm ausreichend wäre. Da Gashochdruckleitungen mit Wandstärken unter 3,5 mm nicht hergestellt werden, können die Tragfähigkeitsreserven dann zu einem Großteil dem free span zugewiesen werden.

Aus den in Abbildung 5 dargestellten Ergebnissen kann geschlossen werden, dass ein Tagesbruch < 5 m (75 % aller Tagesbrüche) nicht in der Lage ist, die Rohrleitungen zu beeinflussen. Im Auslegungszustand nach DIN 1594 ( $S = 1,5$ ) würde bei einem Tagesbruchdurchmesser < 10 m (95 % aller Tagesbrüche) und ungünstigen Materialparametern nur für Rohrdurchmesser DN 150 bis 300 die geforderte Sicherheit nicht erreicht. Bei einem

maximalen Bruchdurchmesser von 15 m ist es möglich, dass für Rohrleitungen unter DN 300 die Fließgrenze erreicht wird. Dabei ist aber anzumerken, dass selbst bei einer Überschreitung der Fließgrenze die Leitungen bis zum Verbruch noch größere Längen ertragen können, was aber über die bestehenden Normen nicht mehr abgedeckt ist. Der Nachweis der Betriebssicherheit kann in solchen Fällen über andere Sicherheitskonzepte geführt werden (PÄBLER & VEENKER, 2010, 2011).

## **6 Praktische Schlussfolgerungen für das Leitungsnetz der VNG**

Durch die Ergebnisse in Kapitel 5 konnte gezeigt werden, dass durch Tagesbrüche im Braunkohlentiefbau zu einem sehr hohen Prozentsatz nur Rohrleitungen unter einem Durchmesser von 300 mm beeinflusst werden. Vor allem Rohrtrassen auf linear verlaufenden Grubenbauen sind sicherheitsrelevante Bewertungsobjekte. Bei über 50 Gewinnungsflächen auf 7.600 km Rohrleitung bedeutet dies signifikante Einsparungen durch eine Reduzierung der Verdachtsflächen. Die verbleibenden Flächen können dann mit altbergbaulichen bzw. rohrstatischen Einzeluntersuchungen detailliert bewertet werden.

### **Literatur**

- FENK, J.: Eine Theorie zur Entstehung von Tagesbrüchen über Hohlräumen im Lockergebirge, Dissertation B, TU Bergakademie Freiberg 1979
- MEIER, G.: Numerische Abschätzung von Tagesbruchgefährdungen in Altbergbaugebieten. - Berichte 13. Nationale Tagung für Ingenieurgeologie, Sonderband Geotechnik, Karlsruhe, 2001, S. 95 bis 100
- MEIER, J.: Statistische Analyse von Tagesbrüchen über Abbaufeldern des Braunkohlentiefbaus und ein Versuch ihrer numerischen Simulation mit dem Programm FLAC, Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, 2003 (unveröffentlicht)
- MEIER, G.: Holz im Altbergbau. – Tagungsband 6. Altbergbau-Kolloquium, 09. bis 11.Nov. 2006, RWTH Aachen, VGE Verlag GmbH, Essen, 2006, S. 217 bis 229
- MEIER, G.: Abgrenzung von altbergbaulich bedingten Erscheinungsbereichen. – Tagungsband 9. Altbergbau-Kolloquium, 05. bis 07.Nov. 2009, Montanuniversität Leoben, VGE Verlag GmbH, Essen, 2009, S. 120 bis 130
- MEIER, G. ET AL. (2004): Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“. - Tagungsband 4. Altbergbau-Kolloquium, 04. bis 06.11.2004, Leoben, Anhang S. 1 bis 23, Verlag Glückauf, Essen
- PÄBLER, S., VEENKER, M.: Gefährdung von Gashochdruckleitungen durch Tagesbrüche. - Tagungsband 10. Altbergbau-Kolloquium, Freiberg 2010, ISBN 978-3-86797-106-5
- PÄBLER, S., VEENKER, M.: Interaktion Rohr/Boden: Bewertung von Hochdruckleitungen unter Bergbaueinfluss, Tagungsband 11. Altbergbau-Kolloquium, Breslau, 2011