

Risikobewertung von Rohrleitungen in tagesbruchgefährdeten Bergbaugebieten

Von Steffen Päßler und Manfred Veenker

Im Artikel wird ein Konzept zur Bewertung des Risikos in tagesbruchgefährdeten Gebieten am Beispiel der Braunkohlengruben Mitteldeutschlands vorgestellt. Anhand von statistischen Untersuchungen von 55 Tiefbaugruben wird eine Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Tagesbrüchen vorgestellt. Abschließend wird das Verfahren an zwei Fallbeispielen angewendet, um zu prüfen, ob nach Stand der Technik ein sicherer Betrieb von Rohrleitungen in diesen Gebieten möglich ist.

EINLEITUNG

Die Sicherheitsbewertung von Rohrleitungen unter Zusatzbeanspruchungen, die über den Lastfall Innendruck hinausgehen, kann grundsätzlich deterministisch oder probabilistisch erfolgen. Bei der Bewertung von Zusatzbeanspruchungen in Bergbaugebieten ist die deterministische Herangehensweise Stand der Technik, was beim Auftreten von sog. Tagesbrüchen zu Problemen führen kann. Tagesbrüche sind lokale Brucherscheinungen über Hohlräumen des Bergbaus (z. B. alte Strecken und Schächte). Die trichterförmigen Einsenkungen können einen Durchmesser und eine Tiefe von mehreren Metern erreichen und so die Rohrleitung signifikant belasten. Während die Größenordnung eines Tagesbruchs relativ gut abzuschätzen ist, kann das zeitliche und örtliche Auftreten dieses Bergschadens nicht vorausgesagt werden.

Um die Gefahr des „unnötigen Totrechnens“ der Rohrleitung für dieses relativ seltene Phänomen zu vermeiden, ist es zweckmäßig, auch probabilistische Bewertungsansätze zu prüfen. Dafür muss die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Tagesbruchs unter der Rohrleitung und die Größenordnung der auftretenden Zusatzbelastung ermittelt werden.

DETERMINISTISCHE UNTERSUCHUNGEN

Eine klassische deterministische Bemessung geht immer von dem „Worst-Case“ aus, dass der als „nicht auszuschließen“ erkannte Fall wirklich eintritt. Für Imponderabilien sind dann noch die Lasten mit einem Sicherheitsfaktor zu multiplizieren bzw. die Widerstandsseite durch den Sicherheitsfaktor zu dividieren. Die anzusetzenden Sicherheiten liegen im Formelwerk für Hochdruckleitungen in der Bandbreite von $S = 1,2$ bis $S = 2,0$ und es ist unmittelbar einsichtig, dass eine Hochdruckleitung, die im Allgemeinen zu 100 % für den Lastfall Innendruck ausgelegt ist und keine nennenswerte Tragreserve für äußere Lasten (Biegung, Zwängung, Freespan usw.) hat, nur kleinere Tagesbruchdurchmesser überspannen kann.

Hier gibt es allerdings schon die Möglichkeit, das deterministische Konzept nicht zu verlassen und trotzdem Tragreserven zu mobilisieren, indem für diesen Sonderfall „Tagesbruch“ das Sicherheitskonzept verändert wird. Die im Folgenden aufgezeigten Szenarien verdeutlichen das:

Im **Szenario 1** wird davon ausgegangen, dass die Hochdruckleitung im Bereich des Freespan die zulässigen Spannungen gemäß Regelwerk einhält. Zusätzlich zu der Umfangsspannung aus Innendruck tritt nun eine Längsspannung im Freespanbereich auf, die mit der Umfangsspannung zur Vergleichsspannung zusammengefasst wird. Die Forderung, dass die zulässige Spannung auch im Tagesbruchbereich nicht überschritten werden darf, führt damit zu der Forderung, dass es einen Tagesbruch von signifikanter Größe im Bereich der Leitung nicht geben darf.

Im **Szenario 2** wird davon ausgegangen, dass das Auftreten eines Tagesbruchs im Bereich einer Leitung relativ



Quelle: Spiegel Online

Bild 1: Durchhängende Leitungen über einem Bruch

schnell entdeckt wird und dann Sicherungsmaßnahmen ergriffen werden können. Unter diesem Aspekt kann es zugelassen werden, dass an den Rändern des Biegebalkens Fließen auftritt. Das bedeutet, dass die Sicherheit gegen Fließen lokal auf 1,0 gesetzt wird. Die Leitung hält dann zwar nicht mehr bestimmungsgemäß die zulässigen Spannungen ein, die Tragfähigkeit (äußere Sicherheit) und die Funktionsfähigkeit (innere Sicherheit) der Leitung sind jedoch nach wie vor gegeben.

In **Szenario 3** wird davon ausgegangen, dass die Leitung wegen der großen Verformungen in das statisch günstigere Tragwerk „Seiltragwerk“ übergeht, was zu einem Durchplastizieren und Abplatten der Leitungsbereiche an den Freespanrändern führt. Dieses Tragwerk ist dann mit sehr großen Verformungen verbunden (siehe **Bild 1**). Die Tragfähigkeit des Systems ist zwar noch gegeben, die Gebrauchsfähigkeit (Fluidtransport) selbstverständlich nicht mehr.

Für den bergbaulichen Laien, der mit Sicherheitsfragen von Hochdruckleitungen befasst ist, ist erstaunlich, mit welcher Präzision Geotechniker die räumliche Ausdehnung von Tagesbrüchen aufzeigen können (Fenk 1979). Wenn in gemeinsamem Konzept mit diesen Fachleuten erreicht werden kann, dass sie ihre geotechnische Analyse durchführen, ohne selbst „versteckte Sicherheiten“ einzubringen, dann führen diese Untersuchungen zu erstaunlich kleinen Tagesbruchdurchmessern. Aus grundsätzlichen Erwägungen sollten diese dann jedoch mit einem einheitlichen Sicherheitsfaktor belegt werden, der nach längeren Untersuchungen zunächst auf $S = 1,3$ festgelegt wurde (Päßler, Veenker 2010). Schon das Zulassen von Szenario 2 hat in durchgeführten Untersuchungen dazu geführt, dass in Gefährdungsbereichen, in denen Hochdruckleitungen in Braunkohletiefbaugebieten verlegt sind, 80 bis 90 % der potenziellen Gefährdungen als zulässig aussondert wurden.

Die restlichen 10 bis 20 %, die Zustände gemäß Szenario 3 generieren würden, führen allerdings bei Sicherungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen zu exorbitanten Kosten, da von Online-Überwachung über Ertüchtigung der Leitung bis hin zur Komplettverlegung, Maßnahmen zur Verfügung stehen, die mit hohen Baukosten verbunden sind.

In diesem Zusammenhang ergibt sich praktisch von selbst die Frage, ob das deterministische Konzept zwangsläufig und ausschließlich angewandt werden muss oder ob eine probabilistische Bewertung hier ergänzend durchgeführt werden kann.

GRUNDLAGEN DES PROBABILISTISCHEN KONZEPTE

Die Bemessung von Tragwerken geschieht weltweit in allen Regelwerken nach dem deterministischen Konzept. Bei diesem Konzept kann trotz relativ hoher Sicherheitszahlen nicht ausgeschlossen werden, dass es zu Schäden und Unfällen kommt. Dies bedeutet allerdings nicht, dass das deterministische Konzept mangelhaft wäre, sondern dass in Ausnahmefällen das zufällige Zusammentreffen mehrerer Imponderabilien zu einem Versagen führt. In den letzten drei

Jahrzehnten sind deshalb Verfahren entwickelt worden, die im Nachgang zur deterministischen Bemessung eine Systembewertung vornehmen. Auf der Grundlage der Eintretenswahrscheinlichkeit von Schäden und deren Auswirkungen lassen sich Risiken errechnen und wenn es für diese Risiken Grenzwerte gibt, so lässt sich die wirkliche Sicherheit eines Systems mathematisch darstellen. Für Hochdruckleitungen sind probabilistische Bewertungen dieser Art in der Schweiz, in den Niederlanden und in Großbritannien bereits gesetzlich vorgeschrieben. In Deutschland ist mit der DIN EN ISO 16708 eine Norm eingeführt, in der – abhängig von den Parametern der Hochdruckleitung – Grenzwerte festgeschrieben sind.

In Anlehnung an diese Verfahren ist es möglich, die Zuverlässigkeit einer bergbaulichen Situation zu bewerten, sofern die Geotechniker in der Lage sind, die Eintretenswahrscheinlichkeit und die räumliche Ausdehnung des Bergbaugebietes vorzugeben.

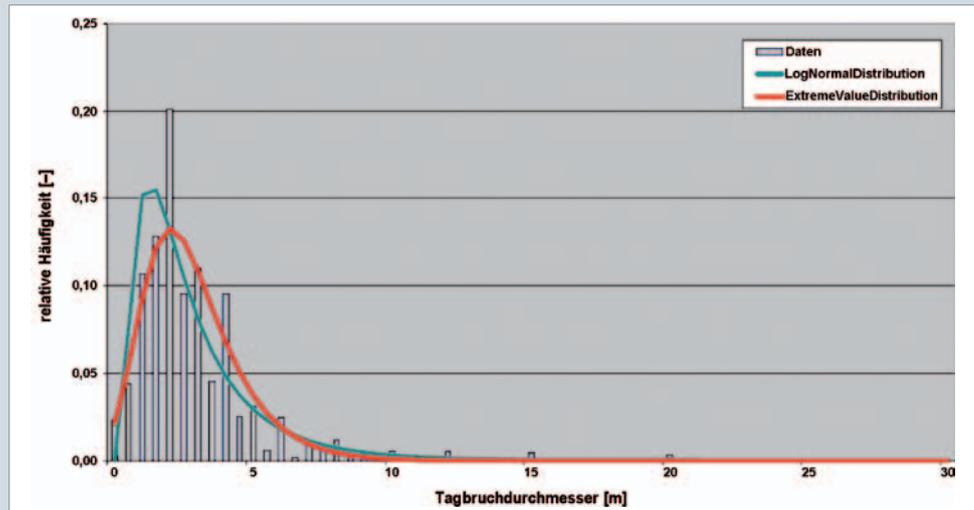
Ein Problem bei der Übertragung der probabilistischen Bewertung nach DIN EN ISO 16708 auf bergbauliche Problemstellungen ist die Frage nach der Bezugsgröße des akzeptablen Restrisikos (empfohlene Zielsicherheitsniveaus). Hier wurden die in der Vergangenheit im gesamten Versorgungsgebiet aufgetretenen Versagensfälle auf den Leitungskilometer und das Jahr bezogen. Wenn der betroffene Leitungsabschnitt länger als 1 km ist, muss selbstverständlich die ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit für Tagesbrüche durch die Abschnittslänge in Kilometern dividiert werden, um dann das Ergebnis mit dem Grenzwert der DIN EN ISO 16708 zu vergleichen. Anders verhält es sich in den häufig auftretenden Fällen (insbesondere in Bergbaugebieten), wenn der betroffene Leitungsabschnitt kürzer als 1 km ist. In diesen Fällen darf die dort gewonnene Eintrittswahrscheinlichkeit keineswegs auf die Länge von 1 km hochgerechnet werden, da in den Nachbarbereichen der betroffenen Leitungslänge keine Tagesbruchgefährdung besteht. Auf dem kurzen, gefährdeten Abschnitt entspricht hier die ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit dann der Eintrittswahrscheinlichkeit bezogen auf den Leitungskilometer.

Die so aufgestellte Untersuchung stellt eine „Structural Reliability Analysis“ (SRA) dar, bei der nur die Versagenswahrscheinlichkeit der Struktur (hier: Hochdruckleitung) untersucht wird. Die in DIN EN ISO 16708 angegebenen Grenzwerte beziehen sich auch nur auf eine solche SRA. Allerdings gehen Abstand zur Bebauung, Bevölkerungsdichte und Art des Fluids in den Grenzwert ein.

STATISTISCHE UNTERSUCHUNGEN

Im Bergbau ist aufgrund der komplexen Einflussfaktoren eine empirische Herangehensweise oft unumgänglich. Für die vorliegende Arbeit wurden im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier insgesamt 55 Tiefbaugruben untersucht und statistisch ausgewertet. Es zeigt sich, dass nur bei ca. 40 % der Gruben überhaupt Tagesbrüche aktenkundig sind. Die Verteilung der Bruchdurchmesser für rund 1.100 ausgewertete Stichproben ist in **Bild 2** dargestellt.

Bild 2: Verteilung der Tagesbruchdurchmesser im mitteldeutschen Braunkohlenrevier



Die **Tabelle 1** zeigt, dass 90 % der gefallenen Tagesbrüche einen Durchmesser $\leq 5,0$ m aufweisen. Von den ausgewerteten Daten lagen 95 % der Tagesbrüche unter einem Durchmesser von 7,3 m. Das 99 %-Quantil liegt bei einem Tagesbruchdurchmesser von 14,9 m und besagt, dass 99 % der untersuchten Daten einen kleineren Durchmesser aufwiesen.

Die empirisch ermittelte Verteilung der Bruchdurchmesser kann mathematisch mit einer Lognormal oder Extreme-Value Verteilung beschrieben werden.

Bei der Lognormal-Verteilung werden die Durchmesser für das 99,9 %-Quantil sehr stark überschätzt, während die

anderen Werte nicht sehr von den empirisch ermittelten abweichen. Die Extreme-Value Verteilung weist für das 90 %- und das 99,9 %-Quantil eine gute Übereinstimmung auf und liegt mit dem Durchmesser von 21,2 m näher an dem tatsächlich dokumentierten, maximalen Tagesbruchdurchmesser von 22 m. Das 95 %- und 99 %-Quantil liegen mit den Werten deutlich unter dem empirischen Tagesbruchdurchmesser.

KONZEPT ZUR BESTIMMUNG DER BRUCHWAHRSCHEINLICHKEIT

Der Bruch eines Hohlraums kann hinsichtlich des Ortes und des Zeitpunktes derzeit kaum oder nur sehr ungenau vorhergesagt werden, da die Einflussfaktoren sehr komplex und die Parameter meist nicht vollständig bekannt sind. Unter der Annahme, dass jeder Einzelhohlraum (z. B. ein Meter unterirdische Tunnelstrecke) eine bestimmte (unbekannte) Bruchwahrscheinlichkeit hat, kann geschlussfolgert werden, dass sich für das gesamte Streckensystem eine (ebenfalls unbekante) Verteilung der Bruchwahrscheinlichkeit ausbildet.

Die Untersuchungen ergaben, dass die Bruchwahrscheinlichkeit bestimmt werden kann, wenn die Anzahl der Tagesbrüche auf die Abbaufäche bezogen werden. Das ist logisch, da es ein erheblicher Unterschied ist, ob beispielsweise zehn Tagesbrüche über einem Grubenfeld von 1 ha oder 100 ha Ausdehnung fallen.

Dazu sind die Akten (Risswerk) hinsichtlich folgender Informationen auszuwerten:

- » Anzahl der Tagesbrüche Anz (ohne Schachtverbrüche und ohne Brüche infolge von Versatzarbeiten)
- » Auswertzeitraum Z [a] bei dem davon ausgegangen kann, dass die überwiegende Anzahl der Tagesbrüche auch aktenkundig wird (meist ab dem Jahr 1970 bis heute, also in der Regel 40 Jahre)
- » Durch den Bergbau beanspruchte Fläche (Abbaufäche) A [ha]

Tabelle 1: Quantile der Verteilung des Tagsbruchdurchmesser

Quantile [-]	Tagesbruchdurchmesser		
	Empirisch [m]	Theoretisch	
		LogNormal [μ, σ] [m]	ExtremeValue [α, β] [m]
0,900000	5,0	5,7	5,1
0,950000	7,3	7,5	6,1
0,990000	14,9	12,3	8,4
0,999999	30,0	72,0	21,2

Tabelle 2: Fluidkategorie nach DIN EN ISO 16708

Kategorie des Fluides	Beschreibung
A	Typische nicht brennbare Fluide auf Wasserbasis
C	Nicht brennbare und nicht giftige Gase (z. B. N, CO ₂ , Ar, Luft)
B	Brennbare und/oder toxische Flüssigkeiten (z. B. Öl, Ölprodukte)
D	Nicht toxisches reines Erdgas
F	Brennbare und/oder toxische Gase (z. B. H, Ethan, Ethylen, Chlor)

Die spezifische Bruchwahrscheinlichkeit P_E wird dann auf die Abbaufäche bezogen werden und ergibt sich nach:

$$P_E = \frac{\text{Anz}}{Z \cdot A} \left[\frac{\text{Tagesbrüche}}{\text{Jahr} \cdot \text{Abbaufäche}} \right] \quad (1)$$

Die Formel berücksichtigt nicht die Tagesbruchursache (Strecke, Streckenkreuz, Abbau). Das ist möglich, wenn vergleichbare Bedingungen vorliegen und der Untersuchungsbereich dementsprechend revierspezifisch eingegrenzt wird. Da in Mitteldeutschland die Abbautechnologie in den meisten Fällen der Bruchbau war (Klein, 1933, Wagenbreth, 2011), stellt sich durch wetter- und fördertechnische Randbedingungen für die untersuchten Objekte ein vergleichbares Verhältnis von Strecken, Streckenkreuzen und Abbauen zueinander ein, so dass diese Abstraktion zulässig erscheint.

Auf Basis der spezifischen Bruchwahrscheinlichkeit kann die absolute Bruchwahrscheinlichkeit P_{Abs} für ein konkretes Bewertungsobjekt (z. B. Rohrleitung) ermittelt werden, indem P_E mit der von der Rohrleitung gequerten Abbaufäche A^* multipliziert wird. Es gilt dann:

$$P_{Abs} = P_E \cdot A^* \quad [\text{Tagesbrüche/Jahr}] \quad (2)$$

Für die von der Rohrleitung beanspruchte Fläche A^* wurde ein Streifen von beidseitig je 5 m angenommen, womit 95 % der Tagesbrüche erfasst sind [Löbel 1996].

Die absolute Bruchwahrscheinlichkeit P_{Abs} für das Bewertungsobjekt kann dann mit Grenzwerten verglichen werden, die beispielsweise in der DIN EN ISO 16708 festgelegt sind. Die Grenzwerte sind streng genommen ein Grenzkrisiko, bei dessen Einhaltung die Anlage nach dem Stand der Technik sicher betrieben werden kann. Sie liegt für Gasleitungen in der Größenordnung von 10^{-6} Schadensfällen pro Leitungskilometer und Jahr.

RISIKOBEWERTUNG

Zur Bestimmung des Risikos ist neben der Bruchwahrscheinlichkeit auch das Schadensausmaß zu ermitteln (vgl. DIN EN ISO 16708, ISO 31000, DIN EN 60812). Nach DIN EN ISO 16708 ist für Rohrleitungen die Gefährlichkeit des transportierten Stoffes und die Sicherheitsklasse relevant. Die Gefährlichkeit des Stoffes ist in Fluidkategorien unterteilt (s. **Tabelle 2**).

Die minimale Sicherheitsklasse ergibt sich für landverlegte Pipelines aus der Bevölkerungsdichte und der Fluidkategorie (**Tabelle 3**).

Für landverlegte Pipelines ergibt sich die akzeptable Ausfallwahrscheinlichkeit $P_{f, \text{akzeptabel}}$ nach folgendem empirischen Zusammenhang (DIN EN ISO 16708):

$$P_{f, \text{akzeptabel}} = \frac{5 \cdot 10^{-(S+2)}}{P \cdot D^3} \quad [-] \quad (3)$$

Es bezeichnen:

S = Sicherheitsklasse aus Tabelle 3

P = Innendruck der Pipeline in bar

D = Außendurchmesser der Pipeline in m

Tabelle 3: Sicherheitsklassen nach DIN EN ISO 16708

Fluid-kategorie	Schadensausmaß/Örtlichkeit			
	vernachlässigbar	niedrig	moderat	hoch
	abgelegene Gebiete mit niedriger Bevölkerungsdichte	moderate Bevölkerungsdichte	hohe Bevölkerungsdichte	sehr hohe Bevölkerungsdichte
A, C	1 – niedrig			
B	1 – niedrig	1 – niedrig	2 – normal	3 – hoch
D, E	1 – niedrig	2 – normal	3 – hoch	4 – sehr hoch

Tabelle 4: Risikobewertung für verschiedene Fluide für die Grube Altscherben

Medium	Akzeptable Ausfallwahrscheinlichkeit $P_{f, \text{akzeptabel}}$	Absolute Bruchwahrscheinlichkeit P_{Abs}	Sicherheitsnachweis	Quotient $P_{f, \text{akzeptabel}}/P_{Abs}$
Wasser	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,47 \cdot 10^{-3}$	erbracht	entfällt
Öl	$4 \cdot 10^{-4}$	$1,47 \cdot 10^{-3}$	nicht erbracht	0,27 (27 %)
Erdgas	$4 \cdot 10^{-5}$	$1,47 \cdot 10^{-3}$	nicht erbracht	$2,7 \cdot 10^{-2}$ (2,7 %)

ANWENDUNG DES KONZEPTE

Fallbeispiel Grube Altscherben bei Zscherben

Westlich der Stadt Halle wurde im Grubenfeld Altscherben von 1885 bis 1936 Braunkohle auf 136 ha Abbaufäche in sieben Scheiben im Pfeilerbruchbau gewonnen. Die Deckgebirgsmächtigkeit beträgt 8 – 50 m (zwei Flöze). Von 1970 bis 2010 fielen acht Tagesbrüche mit einem Durchmesser von 0,6 – 4 m und Bruchtiefen von 0,3 bis 8,0 m (LAGB, 2011). Einer dieser Tagesbrüche fiel in der Leitungstrasse (**Bild 3**).

Die Analyse des Risswerkes ergab, dass die Leitungstrasse mit einem Streifen von beiderseitig fünf Metern auf einer Länge von 3 km insgesamt 265 m unverwahrte Strecken, aber keine Schächte kreuzt. Für die Grube Altscherben ergibt sich nach Formel 1 eine spezifische Bruchwahrscheinlichkeit $P_E = 1,47 \cdot 10^{-3}$ /ha/a. Für die Bewertung, ob der Betrieb einer Pipeline über dieses Grubenfeld nach Stand der Technik sicher ist, wurden eine Wasser-, eine Öl- und eine Erdgaspipeline (D = 0,5 m, P = 10 bar) betrachtet. Die Ergebnisse zeigt **Tabelle 4**.

Für die Wasserleitung wäre der Sicherheitsnachweis, trotz einer hohen Tagesbruchgefährdung, erbracht. Für die Öl- und Erdgasleitung wäre, bei reiner Berücksichtigung der Spezifischen Bruchwahrscheinlichkeit, der Sicherheitsnachweis nicht erbracht. Um die Leitung trotzdem sicher betreiben zu können, muss nachgewiesen werden, dass der Tagesbruchdurchmesser nicht so groß werden kann, dass er die Pipeline beschädigt. Im Fallbeispiel wäre mit den Bruchdurchmessern (**Bild 2**) für die Öl- bzw. Erdgasleitung der

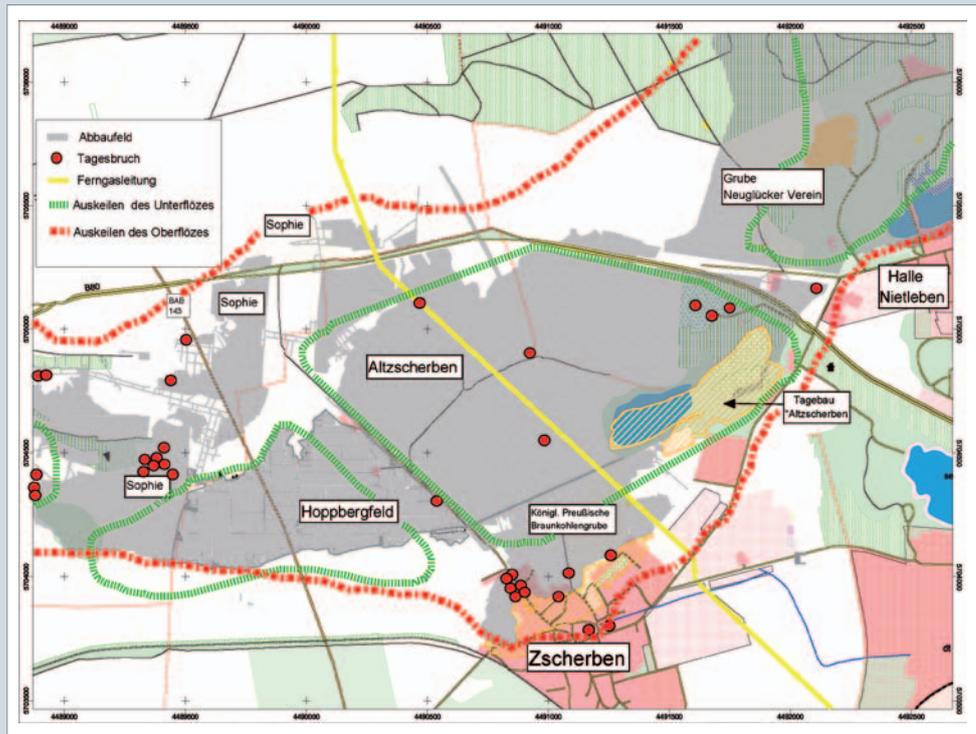


Bild 3: Grube Altscherben mit Leitungstrasse (Paessler et Veenker)

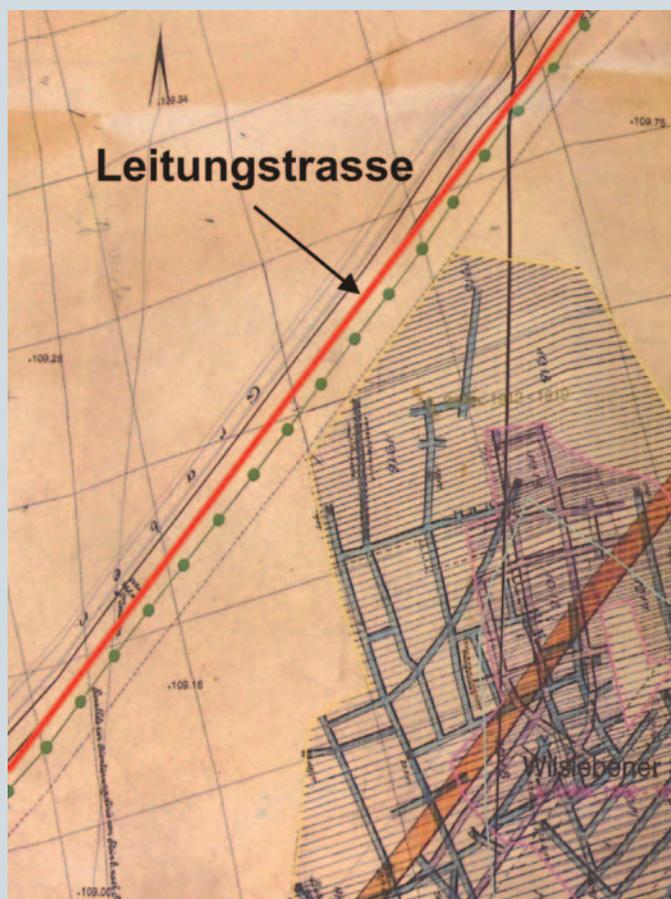


Bild 4: Lage der Leitungstrasse zum Grubenfeld (LAGB Halle, verändert)

Nachweis zu erbringen, dass Tagesbruchdurchmesser < 2 m (70 % Quantil) bzw. < 14,9 m (99 % Quantil) sicher überspannt werden.

Fallbeispiel Grube Friedrich-Christian bei Aschersleben

Nordwestlich der Stadt Aschersleben liegt das Grubenfeld Friedrich-Christian, wo von 1844 bis 1920 auf einer Fläche von insgesamt 115 ha Braunkohle im Pfeilerbruchbau gewonnen wurde. Neben der Absenkung durch den Bruchbau, wodurch der Wilslebener See entstand, ereigneten sich von 1970 bis 2010 insgesamt 16 Tagesbrüche, die im Wesentlichen willkürlich über das Grubenfeld verstreut auftraten. Nur im Bereich der Straße von Aschersleben nach Wilsleben kam es zu einer leichten Häufung, was vermutlich eher auf die Straßenbelastung als auf bergbauliche Einflüsse zurückzuführen ist. Die Tagesbruchmesser betragen 0,5 bis 10 m, die Tagesbruchtiefe 0,4 bis 4 m. Aus **Bild 4** ist ersichtlich, dass die Leitungstrasse das Grubenfeld nicht kreuzt, sondern nur tangiert.

Da Lageungenauigkeiten auftreten können, wird der ungünstigste Fall angenommen, dass die Leitungstrasse auf 50 m (Abbaufäche 0,05 ha) betroffen ist. Gemäß Formel 1 ergibt sich eine spezifische Bruchwahrscheinlichkeit $P_E = 3,47 \cdot 10^{-3} / \text{ha/a}$. Das Ergebnis der Risikobewertung für die Grube zeigt **Tabelle 5**.

Die Wasser- und die Ölleitung könnten trotz der Tagesbruchgefahr ohne weitere Maßnahmen sicher betrieben werden. Für die Erdgasleitung müsste der Nachweis erbracht werden, dass 77 % der Tagesbrüche abgefangen wer-

den können, was einem Tagesbruchdurchmesser < 4 m entspricht (vgl. **Bild 2**).

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND WEITERE ARBEITEN

Auf den Flächen des früheren Braunkohlentiefbaus besteht ein grundsätzliches Sicherheitsrisiko durch Tagesbrüche. Bei der Nachnutzung dieser Gebiete ist abzuwägen, ob die beabsichtigte Nutzung aus sicherheitstechnischer Sicht vertretbar ist.

Das Konzept der spezifischen Bruchwahrscheinlichkeit basiert auf statistischen Untersuchungen von 55 Braunkohlentiefbaugruben in Mitteldeutschland. Trotz einiger Unsicherheiten zeigt das Konzept Vorteile gegenüber der herkömmlichen deterministischen Herangehensweise, wenn die spezifische Bruchwahrscheinlichkeit relativ gering ist oder das Grubenfeld nur im geringen Maße gequert wird. Wenn sehr viele Hohlräume gekreuzt werden oder das Tagesbruchrisiko sehr

Tabelle 5: Risikobewertung für verschiedene Fluide für die Grube Friedrich-Christian

Medium	Akzeptable Ausfallwahrscheinlichkeit $P_{f, \text{akzeptabel}}$	Absolute Bruchwahrscheinlichkeit P_{Abs}	Sicherheitsnachweis	Quotient $P_{f, \text{akzeptabel}}/P_{\text{Abs}}$
Wasser	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,74 \cdot 10^{-4}$	erbracht	entfällt
Öl	$4 \cdot 10^{-4}$	$1,74 \cdot 10^{-4}$	erbracht	entfällt
Erdgas	$4 \cdot 10^{-5}$	$1,74 \cdot 10^{-4}$	nicht erbracht	0,23 (23 %)

hoch ist, dann zeigen sich kaum noch Unterschiede zur herkömmlichen deterministischen Bewertung.

Die statistische Signifikanz soll durch weitergehende Untersuchungen ergänzt werden, um die Herangehensweise weiter zu untermauern und praktische Anhaltswerte für die spezifische Bruchwahrscheinlichkeit P_E vorschlagen zu können.

LITERATUR

- [1] Fenk, J. (1975): Über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Tagesbrüchen, Neue Bergbautechnik, 5 Jg. Heft 4, 1975
- [2] Fenk, J. (1979): Eine Theorie zur Entstehung von Tagesbrüchen über Hohlräumen im Lockergestein, Habilitation, TU Bergakademie Freiberg, 1979
- [3] DGGT (2004): Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Arbeitskreis 4.6, Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“, veröffentlicht auf dem 4. Altbergbaukolloquium, Leoben, 2004
- [4] Meier, J. (2003): Statistische Analyse von Tagesbrüchen über Abbaufeldern des Braunkohlentiefbaus und ein Versuch ihrer numerischen Simulation mit dem Programm FLAC; Tagungsband 14. Tagung für Ingenieurgeologie, Kiel 2003, S. 39-44
- [5] Klein, G. (1933): Handbuch für den deutschen Braunkohlenbergbau, 3. Auflage, Verlag W. Knapp, Halle, 1933
- [6] LAGB (2011): Unterlagen des Landesamtes für Geologie und Bergwesen, Halle, 2011
- [7] Löbel, K.-H.: Beiträge zur Integration tagesbruchgefährdeter Flächen in die Raumplanung mit GIS, Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, 1996
- [8] OBA FG (2012): Unterlagen des Sächsischen Oberbergamtes, Freiberg, 2012
- [9] Päßler, S., Veenker, M. (2010): Gefährdung von Gashochdruckleitungen durch Tagesbrüche, 10. Altbergbaukolloquium, Freiberg, 2010, S. 196 – 210, ISBN 978-3-86797-106-5
- [10] Wagenbreth, O. (2011): Die Braunkohlenindustrie in Mitteldeutschland: Geologie, Geschichte, Sachzeugen, Sax Verlag, 2011, ISBN 978-3-86729-058-6

AUTOREN



DR.-ING. MANFRED VEENKER
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
Tel. +49 511 28499-0
E-Mail: Manfred.Veenker@veenkermbh.de



DR. STEFFEN PÄSSLER
ONTRAS-VNG Gastransport GmbH, Leipzig
Tel. +49 341 27111-2875
E-Mail: steffen.paessler@ontras.com