Sprengung der Rahmedetalbrücke: Beeinflussung einer querenden Gashochdruckleitung

Von Hendrik Schoppen und Henning Brüggemann

Die Westnetz GmbH, Verteilnetzbetreiber im Westen Deutschlands und Tochtergesellschaft der Westenergie AG, betreibt eine Gashochdruckleitung, die im Rahmedetal bei Lüdenscheid die Bundesautobahn A 45 unterhalb der Rahmedetalbrücke quert. Die Brücke war abgängig und wurde im Mai 2023 gesprengt, um an derselben Stelle eine neue Brücke errichten zu können. Dieser Fachbeitrag berichtet über die Sicherungsmaßnahmen an der Gashochdruckleitung. Während der Brückensprengung wurden Schwingungsmessungen im Umfeld sowie Dehnungsmessungen direkt auf der Rohrleitung ausgeführt, deren Ergebnisse und daraus gewonnenen Erkenntnisse im Folgenden dargestellt werden.

Das Ende der Rahmedetalbrücke

Die Vollsperrung der viel genutzten Rahmedetalbrücke im Verlauf der A 45 bei Lüdenscheid war deutschlandweit Thema in den Medien. Aufgrund der Abgängigkeit der Brücke durfte diese nicht mehr befahren werden. Sämtlicher Verkehr auf dieser Route muss seitdem durch das Stadtgebiet von Lüdenscheid umgeleitet werden. Der Ersatzneubau der Brücke hat entsprechende Priorität.
Bevor mit der Errichtung einer neuen Brücke begonnen werden konnte, musste die alte Brücke abgerissen werden, was nur durch einen sogenannten Sprengabbruch möglich war. Bei dieser Sprengung wurden die Brückenpfeiler kontrolliert zum Einsturz gebracht, so dass der Brückenüberbau senkrecht nach unten stürzte und im speziell präparierten Talgrund aufkam. Die Sprengung wurde erfolgreich am 7. Mai 2023 vorgenommen und verlief planmäßig (***Bild 1*** und ***Bild 2***).

Bei der Brücke handelt es sich um eine einteilige Stahlverbund-Konstruktion mit einer Breite von ca. 32 m und einer Gesamtlänge von ca. 450 m. Sie überspannt das Rahmedetal in einer maximalen Höhe von ca. 78 m. Im Talgrund verlaufen neben einer Straße viele Infrastrukturobjekte, die es zu schützen galt. Von der Autobahn GmbH des Bundes, die für die Brückenerneuerung zuständig ist, wurde ein Sprengkonzept vorgelegt. Aus der Brückenmasse, den Abständen zwischen den Pfeilern und den daraus resultierenden Segmentlängen wurden – bezogen auf die Geländeoberkante – potenzielle Energien zwischen 500 MJ und 3.100 MJ erwartet. Das Sprengkonzept sah vor, im Talgrund sogenannte Fallbetten und Stützwälle zu errichten, um den Aufprall der Brücke zu dämpfen. Für die im unmittelbaren Aufprallbereich verlaufenden Rohrleitungen konnte jedoch eine Beschädigung nicht sicher ausgeschlossen werden.

***Bild 1**: Ein Blick auf die Rahmedetalbrücke vor der Sprengung*

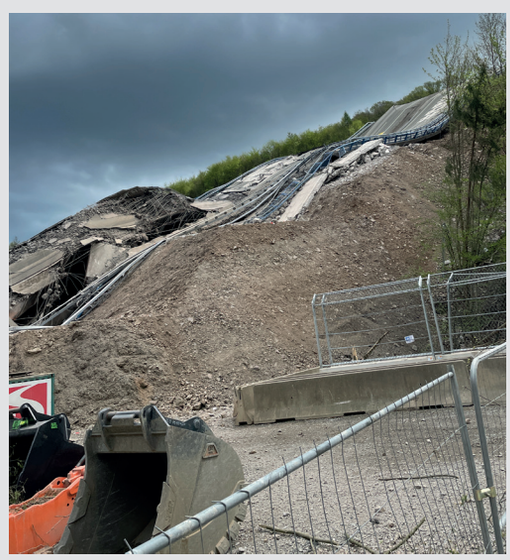

***Bild 2**: Die kontrolliert gesprengte Brücke liegt im Fallbett*

***Bild 3**: An der Leitung montierte Dehnungsmessstreifen dokumentieren die Schwinggeschwindigkeiten während der Brückensprengung*

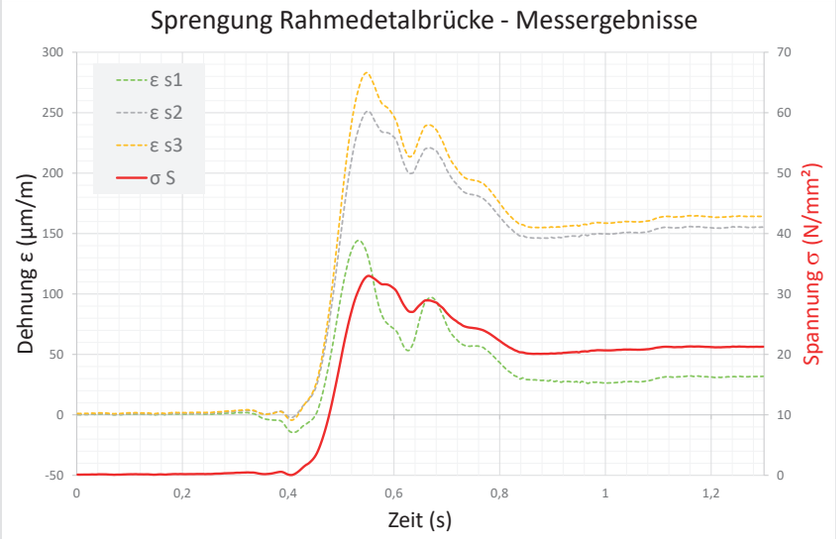

***Bild 4**: Leitungsbeanspruchungen während der Brückensprengung*

Die Gashochdruckleitung im Rahmedetal

Die Westnetz GmbH betreibt dort eine Gashochdruckleitung (DN 150, DP 8, Stahl St 37-2, Baujahr 1954, Überdeckung ca. 1 m). Die Rohrverbindungsnähte sind autogen geschweißt. Im Rahmen einer Sicherheitsstudie wurde – basierend auf den Angaben aus dem Sprengkonzept – untersucht, ob die durch den Aufprall zu erwartenden Beanspruchungen der Leitung zugewiesen werden können, ohne eine Beschädigung derselben befürchten zu müssen. Dieser Nachweis konnte nicht erbracht werden. Dies hat mehrere Gründe: Zum einen waren die technischen Möglichkeiten der Qualitätskontrolle der Rundnähte zum Errichtungszeitpunkt der Rohrleitung nicht so fortgeschritten wie im aktuellen Rohrbau, woraus gewisse Unsicherheiten bei der Bewertung speziell der Längstragfähigkeit der Schweißverbindungen der Rohre resultieren. Zum anderen ist eine Prognose der zu erwartenden Beanspruchungen infolge des Brückenaufpralls nur sehr eingeschränkt möglich, was zwangsläufig zu sehr konservativen Annahmen für die statische Berechnung führt.

Das Sicherheitskonzept für die Leitung

Eine temporäre Außerbetriebnahme der Leitung mit anschließender Inspektion war aufgrund der zu gewährleistenden Versorgungsrelevanz keine Option. Die Westnetz entschied daher, im Vorfeld der Brückensprengung die Leitung aufgrund fehlender Alternativmöglichkeiten in gleicher Trasse, aber deutlich tiefer im Horizontalspülbohrverfahren (HDD) und mit einer Überdeckung von ca. 10 m im Aufprallbereich sowie verstärktem Rohr neu zu errichten. Die alte Leitung wurde außer Betrieb genommen, aber nicht zurückgebaut.

Es wird erwartet, dass vergleichbare Problemstellungen noch öfter an die Westnetz und auch andere Leitungsbetreiber herangetragen werden. Daher beschloss Westnetz, die noch vorhandene, aber nicht mehr in Betrieb befindliche Leitung durch die Veenker-Ingenieure mit Messtechnik zu bestücken und die Leitungsbeanspruchungen während der Sprengung zu erfassen und anschließend zu bewerten. Hierzu wurden in der Brückenachse auf der Leitung drei über den Umfang unter 120° verteilte Dehnungsmessstreifen (DMS, ***Bild 3***) appliziert. Diese erlauben es, die Dehnungsänderungen des Rohres zu erfassen und daraus auf statische Beanspruchungen zu schließen. Im Fokus stand die Ermittlung von Biegebeanspruchungen, da diese für die Bewertung der Rohrverbindungsnähte die relevanten Beanspruchungen darstellen.

Im Aufprallbereich der Brücke wurden entsprechend dem Sprengkonzept Fallbetten aus lose aufgeschüttetem Erdreich errichtet. Im Bereich der Gashochdruckleitung betrug die Mächtigkeit dieses Fallbetts ca. 7 m. Die DMS wurden vor der Herstellung der Fallbetten im November 2022 auf der Leitung installiert. Am Tag der Sprengung wurden bauseits zusätzlich Schwingungsaufnehmer an verschiedenen Punkten im Umfeld des Aufprallbereiches positioniert.

Das Sicherungskonzept der Westnetz sah weiterhin eine Druckabsenkung in der neuen Leitung während der Sprengung vor. Der Druck in der Leitung wurde während der Sprengung kontinuierlich mittels Manometer überwacht. Nach der Sprengung wurde die Leitungstrasse mit Gasspürgeräten begangen.

Die Messergebnisse der Brückensprengung

Die Sprengung am 7. Mai 2023 verlief planmäßig, wie auch umfangreich in den Medien berichtet wurde. Der WDR war mit einer Livesendung vor Ort und auch der Bundesverkehrsminister Volker Wissing war anwesend.

In ***Bild 4*** ist der Verlauf der Leitungsbeanspruchungen während des Brückenaufpralls dargestellt. In diesem Diagramm stellen die gestrichelten Linien die gemessenen Dehnungen in µm/m dar. Klar zu erkennen ist der Impuls beim Aufschlag der Brücke, der über einen Zeitraum von ca. 0,5 Sekunden abklingt. Da die Messwerte zu Beginn der Messung auf Null tariert wurden, lässt sich unmittelbar die durch den Aufprall induzierte Dehnung ablesen.

Die durchgezogene rote Linie stellt die aus den gemessenen Dehnungen berechneten resultierenden Längsspannungen in der Rohrleitung dar. Hierbei handelt es sich um eine Kombination aus einer Längsdehnung der Leitung, überlagert mit einer Biegebeanspruchung. Dargestellt sind die jeweils maximalen Beanspruchungswerte. Hier ist zu erkennen, dass zum Zeitpunkt des Aufpralls eine maximale Spannung von knapp 33 N/mm² gewirkt hat, die nach Abklingen des Impulses auf einen Wert von knapp 22 N/mm² sinkt. Diese Längsspannung verbleibt als eingefrorener Spannungszustand in der Leitung.
Ein Abgleich dieser ermittelten Spannungsbeanspruchungen mit dem Rohrwerkstoff (St 37.2) mit einer Streckgrenze von 235 N/mm² zeigt, dass die maximale Beanspruchung während des Aufpralls ca. 14 % der Werkstoffstreckgrenze betrug. Dies ist ein geringer Wert, wie er auch schon z. B. nach einer Freilegung und Reparatur der Umhüllung infolge einer möglichen Lageveränderung der Pipeline auftreten kann.
Die während des Aufpralls der Brücke bauseits dokumentierten Schwinggeschwindigkeiten im Umfeld der Leitung stützen diese Interpretation der Messergebnisse. Abgesehen von den Werten im unmittelbaren Aufprallbereich der Brücke wurden Schwinggeschwindigkeiten < 5 mm/s gemessen. In der Nähe zum Aufprallbereich betrug die maximal gemessene Schwinggeschwindigkeit ca. 33 mm/s. Dieser Wert entspricht ca. einem Drittel der zuvor prognostizierten Schwinggeschwindigkeit. Erfahrungsgemäß liegen die gemessene Schwinggeschwindigkeiten unter günstigen Bedingungen regelmäßig in der Größenordnung von etwa 50 % der zuvor prognostizierten Werte. Insofern entspricht die Beobachtung den Erwartungen. Die Dämpfung durch die Fallbetten kann nur abgeschätzt werden, da naturgemäß keine Vergleichsmessungen mit und ohne Fallbett existieren. Eine theoretische Ableitung der maximal übertragbaren Schwinggeschwindigkeit im Boden und damit die tatsächlich auf die Leitung übertragbare Schwingung ist nach DIN 4150, Teil 1 begrenzt möglich. Diese Abschätzung liefert Werte in der Größenordnung von 50 mm/s.

Die Interpretation der Messergebnisse

Ein Vergleich dieser Werte mit den Anhaltswerten gemäß DIN 4150, Teil 3, Tabelle 3 zeigt, dass die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten den Anhaltswert für geschweißte Stahlrohrleitungen von 100 mm/s deutlich unterschreiten und somit unter Heranziehung dieses Bewertungsansatzes als unkritisch einzustufen sind. Es ist davon auszugehen, dass die geschütteten Fallbetten im Leitungsbereich einen Großteil der dynamischen Energie aufgenommen und somit die Leitung effektiv vor großen Beanspruchungen abgeschirmt haben.

Bei der Interpretation sind jedoch folgende Aspekte zu beachten:

- Die vorliegenden Messergebnisse spiegeln lediglich eine räumlich sehr begrenzte Betrachtung der Leitungsbeanspruchung wider.
- Aufgrund des Baujahrs der Leitung (1954) ist keine sichere Bewertung der Rohrverbindungsnähte hinsichtlich ihrer Längstragfähigkeit möglich. Insofern ist nicht auszuschließen, dass auch diese hier dokumentierte, relativ geringe Beanspruchungsspitze zu einer Beschädigung an einer Schweißnaht, die nicht den heutigen Herstellungsanforderungen entspricht, führen kann.

Video-Tipp der 3R

Die WDR-Lokalzeit berichtete über die Sprengung der Rahmedetalbrücke in Lüdenscheid. Mit Hilfe des QR-Codes gelangen Sie direkt zum Video in der ARD-Mediathek.

Learning für künftige Brückensprengungen

Grundsätzlich ist eine Messung an einer Leitung bei einer dynamischen Erregung infolge der Brückensprengung nicht als statistisch repräsentativ anzusehen. Insofern ist es unzulässig, aus den hier gewonnenen Erkenntnissen abzuleiten, dass zukünftig bei vergleichbaren Sprengungen keine Leitungsumverlegungen erforderlich wären. Dennoch sind die Ergebnisse ein Indiz dafür, dass nach aktuellem Stand der Technik errichtete Stahlleitungen solche Beanspruchungen schadenfrei tragen können. Es wäre sinnvoll, bei zukünftigen vergleichbaren Maßnahmen weitere Messungen unter im Vorfeld gezielt konstruierten Randbedingungen vorzunehmen und öffentlich verfügbar zu machen. So können die Erkenntnisse vertieft werden und eventuell bei zukünftigen vergleichbaren Fragestellungen ein vorsorglicher Leitungsneubau vermieden werden.

SCHLAGWÖRTER: Brückensprengung, Schwingungsmessung, Dehnungsmessung, Sicherheitskonzept, Leitungsbeanspruchung

AUTOREN

M.Sc. **HENDRIK SCHOPPEN**
Westnetz GmbH, Dortmund
Tel. +49 152 5794 2545
hendrik.schoppen@westnetz.de

Dipl.-Ing. **HENNING BRÜGGEMANN**
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
Tel. +49 511 2 84 99 12
henning.brueggemann@veenkergmbh.de
: Stand Nr.: HA1-S.06