

II/1 Zustandsbewertung von Hochdruckleitungen – Probabilistische Verfahren zur Bewertung von Leitungen und Optimierung von Betriebsprozessen

Dipl.-Ing. Jörg Himmerich

1. Überblick

Eingeerdete Rohrleitungen sind der direkten einfachen Überwachung durch die Erdüberdeckung entzogen und ändern zudem ihren Gesamtzustand so langsam, dass der Eindruck entsteht, sie seien insgesamt unveränderlich. Erst wenn ein solches Netz über längere Zeit beobachtet wird, offenbart sich, dass auch bei diesem System langsam laufende, aber kontinuierliche Zustandsveränderungen stattfinden.

Da ein eingeerdetes Transportnetz einen unschätzbaren Wert darstellt und – insbesondere beim Transport von trockenem Süßgas – eine praktisch unbegrenzte Lebenserwartung hat, liegt es nahe, mit Hilfe von Zustandsdokumentation und Zustandsbewertung die LeitungsinTEGRITÄT zu sichern und die aufzubringenden Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungskosten sowie deren Steuerung zu optimieren.

Im Folgenden werden die Grundsätze eines Zustandsdokumentations- und Zustandsbewertungssystems skizziert. Dabei muss an dieser Stelle schon betont werden, dass eine Zustandsbewertung, die sich ausschließlich auf die Bewertung der Korrosion konzentriert, zwar einen wichtigen Parameter berücksichtigt, von einer wirklichen und umfassenden Zustandsbewertung jedoch weit entfernt ist.

2. Konzept einer Zustandsbewertung

Hochdruckleitungen werden nach der geltenden europäischen Norm EN 1594 ausschließlich für den Lastfall Innendruck ausgelegt. Die Vielfalt der Belastungen ist in Wirklichkeit größer (**Bild 1**), aber dieses Vorgehen ist dennoch richtig, da gegenüber dem hohen Innendruck die Auswirkungen der anderen Belastungen vernachlässigbar gering sind. Üblicherweise führen sie zu Spannungserhöhungen bzw. Tragfähigkeitsminderungen in der Größenordnung von 5 %, verglichen mit den Auswirkungen des Innendruckes. Wenn einzelne Belastungen oder Lastkollektive signifikante Größenordnungen erreichen, weil z. B. außergewöhnlich hohe Verkehrslasten bei geringer Erdüberdeckung auftreten, in der Nähe der Leitung dynamische

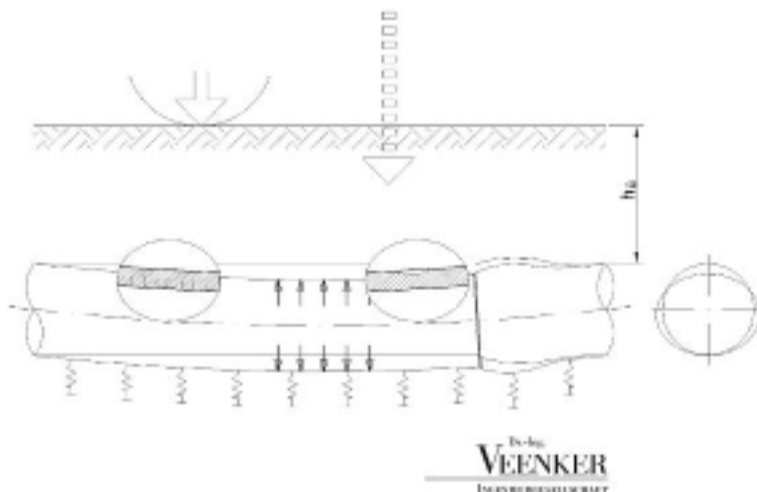


Bild 1: Sonderlasten an Hochdruckleitungen

Lasten eingetragen werden (Rammen) oder starker Korrosionsangriff die Tragfähigkeit herabsetzt, so ist der Integritätsnachweis zu führen und zwar für das Zusammenwirken aller Beanspruchungen und nicht nur für einzelne ausgewählte Einflüsse, wie z. B. Innendruck und Korrosion.

3. Bewertungsverfahren

Diese Forderungen führen unmittelbar zu der Frage, mit welchem Bewertungsverfahren eine Zustandsbewertung durchgeführt werden soll. Natürlich ist es möglich, für die anzusetzenden Lastkollektive mit Hilfe genauer Berechnungsverfahren die Beanspruchung der Hochdruckleitung örtlich und temporär zu ermitteln. Dieses Verfahren wäre jedoch zum einen äußerst aufwendig, da komplexe Berechnungsverfahren (z. B. Finite-Element-Methode) angewendet werden müssten und andererseits bestimmte Einflüsse, wie z. B. verminderte Überdeckung, nicht mit Hilfe der deterministischen Spannungsanalyse erfasst werden können. Außerdem ist durch die volle Auslastung der Tragfähigkeit der Leitung infolge Innendruck die zulässige Spannung nach dem deterministischen Konzept erreicht und weitere Tragreserven könnten nur mobilisiert werden, wenn die Sicherheitszahlen herabgesetzt würden.

Eine umfassende und richtige Zustandsbewertung ergibt sich nur, wenn probabilistische Konzepte angewendet werden und risikobasierte Methoden, nämlich das Ermitteln der Versagenswahrscheinlichkeit, angewendet werden. Eine Versagenswahrscheinlichkeit lässt sich für alle Einflüsse ermitteln, die ein System beanspruchen, bzw. seine Tragfähigkeit herabsetzen. Beispielhaft ist in **Bild 2** für den Lastfall „Innendruck“ aufgezeigt, dass die Versagenswahrscheinlichkeit aus der Verteilung der Belastung und der Werkstoffkennwerte ermittelt wird und in **Bild 3** wird gezeigt, dass sich für die Überdeckung einer Leitung die Versagenswahrscheinlichkeit aus Erfahrungswerten von Netzbetreibern ergibt.

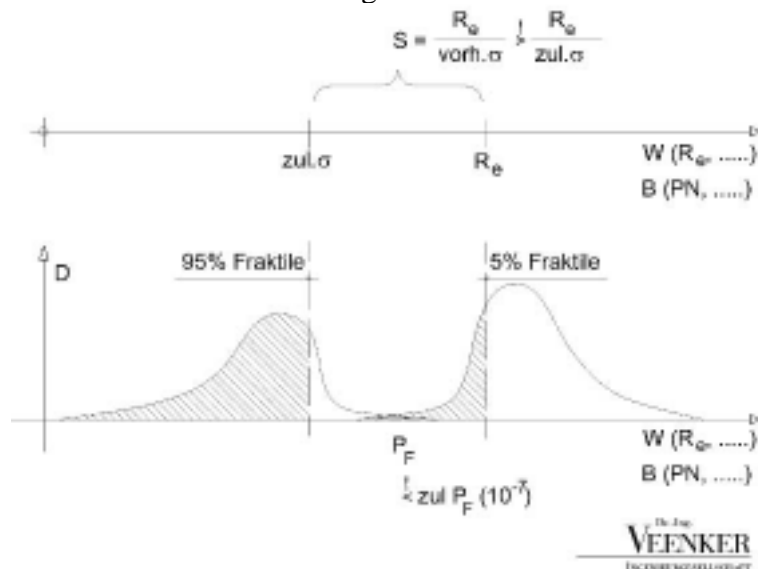


Bild 2: Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit für den Lastfall „Innendruck“

4. Beurteilung von Korrosionsabträgen

Unter den in **Bild 1** aufgezeigten Einflüssen hat die Korrosion zweifellos den höchsten Stellenwert. Dennoch muss auch hier noch einmal betont werden, dass die Bewertung der Korrosion nur im Zusammenhang mit den anderen Einflüssen eine vollständige und reale Zustandsbewertung ergibt.

Der Einsatz intelligenter Molche hat zwar beim Auffinden äußerer und innerer Wanddickenverschwächungen infolge Korrosion und anderer Einflüsse zu einer signifikanten Verbesserung geführt, leider fehlte dazu bisher ein schlüssiges und richtiges Verfahren, diese

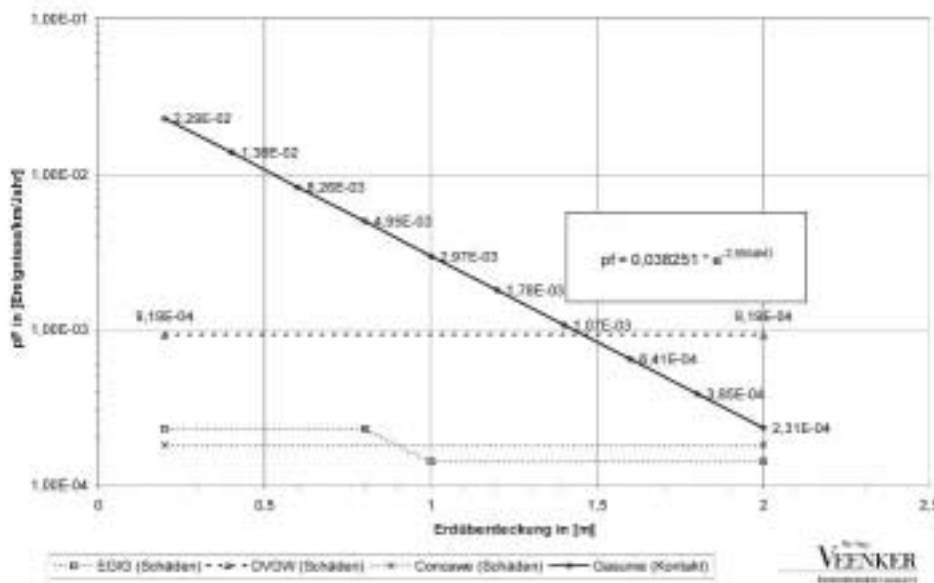


Bild 3: Wahrscheinlichkeit für Schädigung durch Dritte

Korrosionserscheinungen zu bewerten und festzulegen, ob umgehend eine Reparatur erfolgen muss oder die Standsicherheit der Leitung noch nicht gefährdet ist. Fast durchgängig wird für diese Bewertung ANSI ASME B31G herangezogen, obwohl schon im Vorwort dieser Norm auf Einschränkungen hingewiesen wird. So ist sie, wenn Sonderbauteile wie z. B. Bögen vorliegen, nicht anwendbar. Ebenso ist sie nicht anwendbar in der Nähe von Schweißnähten oder bei gleichzeitigem Auftreten von Korrosion und Zusatzbeanspruchung. Auch das Studium der Normen und der dazugehörigen Literaturstellen nährt den Verdacht, dass nicht sämtliche Einflüsse richtig berücksichtigt worden sind. So geht z. B. die Ausdehnung einer Korrosionsstelle in Umfangsrichtung gar nicht ein und auch der Werkstoff, insbesondere die für die Lastumlagerung im Bereich einer Korrosionsstelle wichtige Duktilität, spielt in B31G keine Rolle.

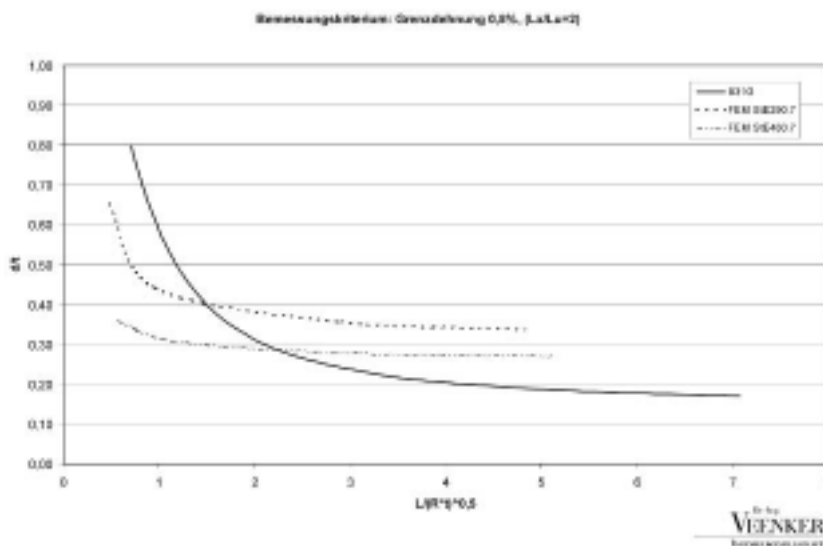


Bild 4: Vergleich der Grenzkurven für Wanddickenverschwächungen Rohr DN 400, Werkstoff StE 290.7 und StE 480.7

Mit der Finite-Element-Methode (FEM) gibt es ein Rechenverfahren, das die genaue Bewertung von Wanddickenverschwächungen durch Korrosion zulässt und die Anwendung empirisch gefundener Entscheidungshilfen unnötig macht. Die Überprüfung der Festlegungen nach ASME B31G mit Hilfe der FEM zeigt, dass sich erhebliche Abweichungen ergeben. In **Bild 4** ist für die geometrischen Parameter die Trennkurve nach B31G angegeben, die zulässige Wanddickenverschwächung von unzulässigen trennt. Weiterhin sind in dieses Diagramm Kurven eingetragen, die aus der genauen FEM-Berechnung entstanden sind und insbesondere das Verhältnis der Ausdehnung einer Korrosionsstelle in Längs- und Umfangsrichtung be-

rücksichtigen und die Auswirkung unterschiedlicher Werkstoffe aufzeigen. Die Abweichungen sind offenkundig und es lässt sich unmittelbar ablesen, dass die Anwendung von B31G bei langen Verschwächungen zu unwirtschaftlichen Entscheidungen führt, was noch erträglich wäre, bei kurzen Verschwächungen aber zu gefährlichen und unsicheren Fehlentscheidungen führt.

5. Korrosionsprognose

Im Rahmen einer Zustandsbewertung ist eine Korrosionsbewertung zwar einer der wichtigsten Bausteine, sie ist allerdings wertlos, wenn sie nicht mit einer Korrosionsprognose einhergeht. Bei intelligenten Molchungen werden in der Regel so viele Wanddickenverschwächungen gefunden, dass kein Betreiber in der Lage ist, sie unmittelbar danach zu untersuchen bzw. zu sanieren.

Oftmals liegt nur das Ergebnis einer einmaligen intelligenten Molchung vor und leider sind die Ergebnisse aus intelligenten Molchungen nicht so genau, dass aus dem Vergleich von Fehlstellen, die in zwei Molchläufen gefunden wurden, eine 100%ige Korrosionsprognose abzuleiten wäre. Deshalb müssen hier theoretische Ansätze gefunden werden.

Das Aufstellen einer allgemein gültigen Korrosionsprognose, die sicher aber nicht zu konservativ ist, stößt an Grenzen und es kann allenfalls erreicht werden, die wichtigsten Einflüsse in Algorithmen zu fassen, die dann in einem Expertensystem von Fachleuten abgefragt und weiterverarbeitet werden. Die umfangreiche Literatur, die nur in Auszügen zitiert ist, und die Erfahrungen der Korrosionsschutzfachleute der Netzbetreiber lassen eine Eingrenzung zu, so dass sich brauchbare Ergebnisse für den Korrosionsfortschritt ermitteln lassen. Die Gesamtheit aller Algorithmen hier aufzuführen, würde den Rahmen dieser Veröffentlichung sprengen. Sie sind in dem Rechenprogramm KaRo zusammengefasst und mit diesem Programm werden dann zulässige Standzeiten für unbehandelte Verschwächungen ermittelt, in denen der volle Nenndruck der Fehlstelle zugewiesen werden kann. Die Abtragsraten, die sich für flächenhafte oder einzelne Korrosionsstellen ergeben, liegen in den Bereichen von 0,01 mm/a (z. B. Fehlstellen bei intaktem KKS) über 0,3 mm/a (z. B. Fehlstellen mit eingeschränktem KKS) bis zu Extremwerten von 1,2 mm/a (z. B. bei elektrischer Beeinflussung).

6. Anwendung der Zustandsbewertung im betrieblichen Alltag

Die Zustandsbewertung wird bei unterschiedlichen Rohrleitungsbetreibern mit verschiedenen Zielsetzungen eingesetzt.

Bei der VNG werden die Sanierungsmaßnahmen am Leitungsnetz zustandsorientiert mit einer technischen Zustandsanalyse (TZA) gesteuert. Das bedeutet, dass kostenintensive und umfangreiche Sanierungsmaßnahmen sich auf die Bereiche beschränken, bei denen präzise bewertete und lokalisierte Schwachstellen vorliegen. Weiterhin erfolgt die Einordnung der übrigen Schwachstellen in ein Stufenprogramm der Sanierung auf Grundlage der vorhandenen Standzeitreserven. Durch diese Maßnahmen erfolgt eine Kostenreduzierung auf das für Betriebs- und Versorgungssicherheit notwendige Maß.

Bei der Ruhrgas AG erfolgt eine zustandsorientierte Steuerung des Sanierungsprogramms von Leitungen mit Muffenverbindungen durch eine Pipeline Integrity Analysis (PIA). Im Rahmen dieser PIA werden die Rohdaten der Muffenleitungen einer probabilistischen Bewertung zugeführt und die Muffen mit Sanierungsbedarf identifiziert.

In einem ähnlichen Projekt steuert die Avacon AG die Sanierung ihrer Muffenleitungen durch das Muffenbewertungssystem (MBS). Auch hier erfolgt nach probabilistischen Bewertungsansätzen eine Identifizierung der zu sanierenden Muffen im Leitungsnetz.

Im Rahmen einer technischen Zustandsbewertung für die IVG wird ein Gesamtintegritätsnachweis der Ölferrleitung unter besonderer Berücksichtigung der durch eine Molchung aufgezeichneten Wanddickenverschwächungen durchgeführt.

Verfasser: Dipl.-Ing. Jörg Himmerich
Geschäftsführer der
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH
Heiligengestraße 19
30173 Hannover
Telefon: (05 11) 2 84 99 – 0
Telefax: (05 11) 28 25 07
e-mail : Joerg.himmerich@veenkermbh.de