

# Technische Zustandsbewertung für Versorgungsleitungen

**Betriebsoptimierung** ■ Begriffe wie „Pipeline-Integrity, Zustandsbewertung, zustandsorientiertes Betreiben usw.“ werden zunehmend zu Schlagworten, ohne dass eindeutig definiert wird, was darunter verstanden wird. So wird nur allzu gern eine subjektive Punkte- oder Zensurenansammlung oder das Zusammentragen von Erfahrungsberichten als „Pipeline-Integrity-Management-System“ ausgewiesen, obwohl es sich doch nur um ein erstes Ordnen und Zusammentragen technischer Daten handelt. Es ist also an der Zeit, grundlegende Definitionen anzubieten, um die anstehenden Entwicklungen auf diesem Gebiet entsprechend zu beeinflussen.

## Grundlegende Anforderungen

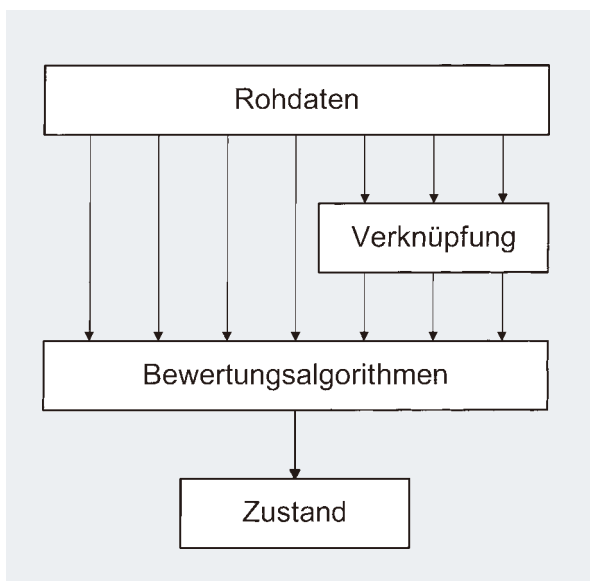
Unter technischer Zustandsbewertung (TZB) sollen im Folgenden alle schlüssigen Aktivitäten, die sich mit dem Erheben und Verarbeiten der Daten, den Bewertungsalgorithmen, den Ergebnissen und deren Umsetzung befassen, verstanden werden. Der grundlegende Ablauf einer solchen TZB ist für sämtliche Systeme immer gleich und schematisch in **Bild 1** dargestellt. Die Rohdaten werden direkt oder in verknüpfter Form bewertet, und diese Systembewertung führt zu Ergebnissen, aus denen Maßnahmen abgeleitet werden bzw. der Integritätsnachweis erstellt wird. Für diesen Integritätsnachweis müssen die Ergebnisse an einem nachvollziehbaren Grenzkriterium gemessen werden, auf das später eingegangen wird.

Es ist selbstverständlich, dass die Datenerhebung und die Verarbeitungsalgorithmen den Kriterien einer objektiven Nachvollziehbarkeit genügen müssen. Insbesondere müssen alle Daten, die die Pipelineintegrität beeinflussen, für jeden Punkt der Leitung erhoben und verarbeitet werden.

Dass Daten bereichsweise nicht vorhanden oder von fraglicher Qualität

sind, steht einer TZB nicht im Wege, denn sie können – ggf. auf der sicheren Seite liegend – festgelegt werden. Es empfiehlt sich, die Güte der Datenqualität kenntlich zu machen und im Verarbeitungsprozess mitzuführen, sodass später bei den Ergebnissen nachvollzogen werden kann, auf welcher Datenbasis sie entstanden sind und evtl. über Parameterstudien der Einfluss dieser Daten auf das Ergebnis aufgezeigt werden kann.

Die wichtigste und grundlegende Anforderung an eine TZB ist allerdings, dass sich die Ergebnisse an Bewertungskriterien orientieren, die einerseits die gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber dem Gefährdungspotenzial einer Druckleitung widerspiegeln und andererseits harte Entscheidungskriterien sind, die im Zweifelsfall „gerichts-fest“ nachvollziehen lassen, warum ein Leitungsabschnitt trotz Mängeln und Fehlern die Integritätskriterien erfüllt und somit keiner besonderen Beachtung oder gar Sanierungsmaßnahmen bedarf und ein anderer nicht.



**Bild 1** ■ Struktur einer Zustandsbewertung.

## Unterscheidung zwischen Hoch- und Niederdruckleitungen

Der Aufbau von Zustandsbewertungen für Hoch- und Niederdruckleitungen ist grundsätzlich verschieden, da die gesellschaftliche Akzeptanz im Umgang mit diesen Leitungen vollkommen unterschiedlich ist. Da bei Niederdruckleitungen Störungen, wie z. B. Leckagen, häufig auftreten, die in der Regel ohne große Auswirkungen sind und schnell behoben werden, gibt es hier eine gewisse gesellschaftliche Akzeptanz und direkt daraus resultierend gesicherte Statistiken.

Bei Hochdruckleitungen ist es undenkbar, vergleichsweise viele Schäden zu haben, die dann zu einer gesicherten Statistik führen, auf der Bewertungsverfahren aufgebaut werden könnten. Hier muss vielmehr mit mathematisch-physikalischen Modellen der hinreichende Abstand von Versagensszenarien aufgezeigt werden.

Formal liegt die Grenze zwischen Hoch- und Niederdruckleitungen bei 1 bar. Im Folgenden sollen jedoch unter Hochdruckleitungen solche verstanden werden, bei denen eine wirkliche statische Auslastung des Materials durch den Innendruck und weitere Zusatzbeanspruchungen vorliegen, während unter Niederdruckleitungen solche verstanden werden, bei denen aus konstruktiven Gründen eine Überbemessung vorgenommen wurde und somit die statische Auslastung keine Rolle spielt, sondern andere Einflüsse – im Allgemeinen die Korrosion bzw. die Dichtheit der Verbindungsstellen – die maßgebende Rolle für die Leitungintegrität spielen.

Die führenden Parameter für beide Leitungsarten sind in **Bild 2** zusammengestellt, und es ist im Allgemeinen davon auszugehen, dass zwischen 1 bar und 4 bar eine Übergangszone besteht.

### Bewertungsverfahren

Wenn die bisher zusammengestellten Grundlagen und Forderungen erfüllt werden sollen, kommt nur noch eine kleine Gruppe von Bewertungsverfahren als Kern einer Zustandsbewertung

in Frage. Alle Arten von Klassifizierung und Kategorisierung von einfließenden Daten durch Punkte- oder Zensuren-systeme, ausschließlich basierend auf Erfahrungen und subjektiven Einschätzungen, sind allenfalls geeignet, kleine, übersichtliche und homogene Netze zu klassifizieren. Für eine objektivierte und ausbaufähige Bewertung haben sich die folgenden Verfahren bewährt.

### Bewertung von Referenzzuständen/Fuzzy-Logik

Die Bewertung von Datenkombinationen kann so organisiert werden, dass realistische Referenzzustände, also bestimmte Parameterkombinationen, zusammengestellt und als Ganzes bewertet werden. Aus Erfahrung sind die Zusammenhänge bekannt. Das hat einen Vorteil für die Bewertungsqualität und die Nachvollziehbarkeit der Bewer-

eindeutigen mathematischen Gesetzmäßigkeit verläuft, EDV-gerecht zu beschreiben und mit unscharfen (unge-rundeten) Zwischenergebnissen weiter zu arbeiten. Damit werden bei mehreren hintereinander geschalteten Bewertungsebenen Rundungsfehler vermieden.

Bei der Fuzzy-Methode wird die Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussgrößen nicht formelmäßig definiert; es werden lediglich Referenzwerte festgeschrieben und für diese Regeln aufgestellt (WENN ... UND ... WENN ..., DANN ...). Die Bewertungsalgorithmen sind in beliebiger Weise nicht linear und können somit dem Wissen und der Erfahrung der Fachleute optimal angepasst werden. Die Aufstellung von Bewertungsalgorithmen mit Hilfe der Fuzzy-Logik ist dem üblichen verbalen Umgang der Fachleute untereinander

Niederdruck	Hochdruck
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe statische Auslastung</li> <li>• Verteilernetz</li> <li>• unterschiedliche Werkstoffe (z.B. Guss, Stahl, PE)</li> <li>• kleine Durchmesser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe statische Auslastung</li> <li>• Transportnetz</li> <li>• moderne Werkstoffe z.B. X70</li> <li>• große Durchmesser</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfahrungen</li> <li>• Punkte / Zensuren</li> <li>• Neuronale Netze / Fuzzy-Logik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Physikalische Modelle (Probabilistik)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine scharfen Bewertungskriterien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• scharfe Bewertungskriterien</li> </ul>

**Bild 2** ■ Charakteristik von Hoch- und Niederdrucknetzen.

tungsinhalte. Der menschliche Erfahrungsschatz bezieht sich immer auf Gesamtzustände. Ein Stahlrohr mit einem bestimmten Durchmesser, einer bestimmten Wanddicke und einem bestimmten Medium gut verlegt im Erdreich ist vorstellbar und damit bewertbar.

Die Fuzzy-Logik erlaubt es, komplexe Zusammenhänge von Einflussgrößen, deren Wechselwirkung nicht nach einer

optimal angepasst und führt somit zu schneller Einigung über die grundlegenden Bewertungsstrukturen. Der Einsatz der Fuzzy-Logik ist in dem Moment sinnvoll, wo Einflüsse miteinander verknüpft werden sollen, deren Zusammenhang sich einer Formulierung durch eine mathematische Rechenvorschrift entzieht. Beispielhaft kann hier die Verknüpfung von dem Zwischenergebnis **Verkehrsbelastung** und der **Bauart** des Rohres zu einer Aussage über die **Bruchanfälligkeit** (gering, mittel, hoch) dargestellt werden. Dieses Beispiel ist in **Bild 3** aufgeführt. ▶

WENN	Verkehrsbelastung	UND	Bauart Rohr	DANN	Bruchanfälligkeit
	= „gering“		= Klasse 1, 2		= „gering“
	= „normal“		= Klasse 1		= „gering“
	= „normal“		= Klasse 2-4		= „leicht erhöht“
	= „erhöht“		= Klasse 1-3		= „mittel“
	= „erhöht“		= Klasse 4		= „hoch“
	= alle		= Klasse 5		= „hoch“

**Bild 3** ■ Beispiel für einen Fuzzy-Regelblock.

Die hier zusammengestellten Bedingungen werden als Regelblock bezeichnet. Ein Bewertungsergebnis erfolgt jetzt in Abhängigkeit der Einflussgrößen **Verkehrsbelastung** und **Bauart Rohr**, wobei die Ergebnisse für die **Bruchanfälligkeit** zwischen den angegebenen Referenzpunkten interpoliert werden.

Der Einsatz der Fuzzy-Logik ist immer dann sinnvoll, wenn sich:

- kein eindeutiger formelmäßiger mathematischer Zusammenhang definieren lässt und
- sich Zustände über wenige Referenzzustände sinnvoll beschreiben lassen.

Ein Bewertungssystem ausschließlich auf der Fuzzy-Logik aufzubauen, ist nicht zielführend, da sich viele Einflüsse einfacher rechnerisch erfassen lassen. Die Zuhilfenahme der Fuzzy-Logik in oben geschilderten Problemfällen ist jedoch sehr hilfreich für die Aussagekraft der Bewertung.

**Neuronale Netze**

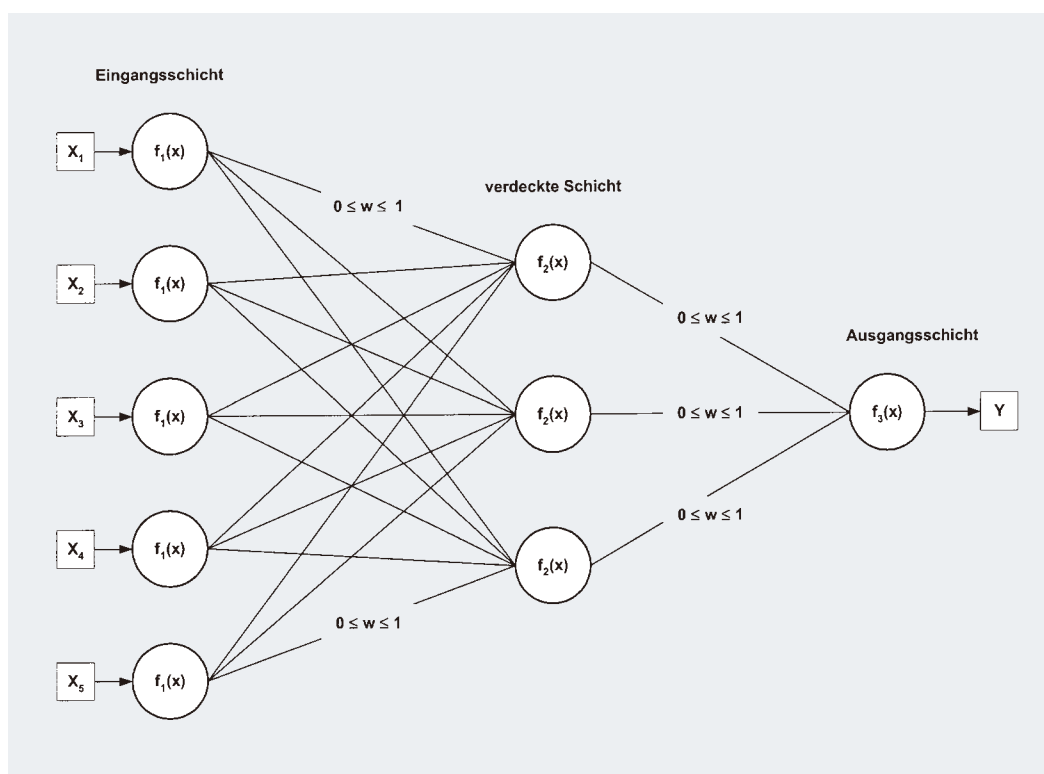
Neuronale Netze sind mathematische Prozesse, die geeignet sind, menschliche Denk- und Entscheidungsprozesse nachzuahmen. Dies erfolgt

auf Grundlage einer Mustererkennung. Der grundsätzliche Aufbau eines neuronalen Netzes ist in **Bild 4** dargestellt. Die Kreise stellen Knoten, die so genannten Neuronen, dar, die miteinander verbunden sind. Ein neuronales Netz besteht grundsätzlich aus einer Eingangsschicht, einer Ausgangsschicht und beliebig vielen Zwischenschichten (verdeckte Schichten).

Die Funktionsweise eines neuronalen Netzes ist dergestalt, dass in einer Lernphase dem Netz zunächst beliebig viele Datensätze präsentiert werden, die aus Eingangswerten sowie den erwarteten Ausgangswerten bestehen.

Das hier dargestellte neuronale Netz hat fünf Eingangswerte, die zu einem Ausgangswert verknüpft werden. In den einzelnen Netzknoten (den Neuronen) wirken Übertragungsfunktionen, die den Eingangswert des Knotens in einen Ausgangswert umrechnen. Die Verbindung zwischen den Knoten stellt eine Wichtung dar. Die Ausgangswerte der Knoten der ersten Schicht werden mit einem Faktor zwischen 0 und 1 gewichtet und dem Knoten der folgenden Schicht als Eingangswert zur Verfügung gestellt. Treffen hier die Ergebnisse mehrerer Knoten zusammen, werden diese zuvor verknüpft und dann dem Knoten der nächsten Schicht übergeben, woraufhin wieder eine Übertragungsfunktion Anwendung findet und erneut eine Wichtung. Dieses wird solange durchgeführt, bis der Ausgangsknoten erreicht ist, der das Endergebnis des neuronalen Netzes liefert.

Im Lernprozess wird dieses Ist-Ergebnis mit dem geforderten Soll-Ergebnis verglichen. In Abhängigkeit des sich ergebenden Fehlers werden die Wichtungen an den einzelnen Verbindungen solange korrigiert, bis das Ist-Ergebnis dem Soll-Ergebnis gemäß einer zuvor definierten Genauigkeit entspricht.



**Bild 4** ■ Struktur eines Neuronales Netzes.

Nachdem ein Netz erfolgreich angelernt wurde, können ihm neue, noch unbekannte Eingangswerte präsentiert werden. Das Netz ermittelt dann aus seiner im Lernprozess gewonnenen Erfahrung ein Ergebnis.

Wurde das Netz mit repräsentativen Daten und hinreichend vielen Datensätzen angelernt, so ist es in der Lage, für weitere Eingangswerte ein hinreichend genaues Ergebnis zu liefern. Zu beachten ist jedoch, dass neuronale Netze nicht geeignet sind zu extrapolieren. Weitere Bedingung für die Funktionstüchtigkeit eines neuronalen Netzes ist, dass die ihm präsentierten Parameter tatsächlich in einem kontinuierlichen und logisch beschreibbaren Zusammenhang stehen.

Die Anwendung neuronaler Netze setzt voraus, dass eine große Anzahl die Problematik beschreibender Referenzzustände vorliegt. Dies würde beispielsweise bedeuten, dass hinreichend viele Undichtigkeiten oder Leitungsversagen **und** die hierzu führenden Ursachen detailliert bekannt sind. Aufbauend auf diesen Daten könnte ein neuronales Netz dann zu erwartende Versagensfälle aus der Vielzahl der unterschiedlichen Einflussfaktoren ermitteln.

Hieraus wird unmittelbar deutlich, dass ein neuronales Netz für die Anwendung im Gashochdruckbereich, wo in der Regel nur begrenzt Undichtigkeiten und andere Schadensfälle auftreten, nicht geeignet ist.

### Empirisches Modell der Schadenswahrscheinlichkeit

Bei einer gut geführten Schadensstatistik ist es möglich, eine Schadenswahrscheinlichkeit zu prognostizieren. Im ersten Schritt wird eine statistische

Analyse der Rohr- und Schadensdaten durchgeführt, um die Rohrtypen mit ähnlichem Schadensverhalten zu identifizieren. Dabei wird grundlegend vorausgesetzt, dass für einen bestimmten Rohrtyp bei gleichen Randbedingungen eine vergleichbare Schadensentwicklung stattfindet, die durch eine Trendfunktion zu beschreiben ist.

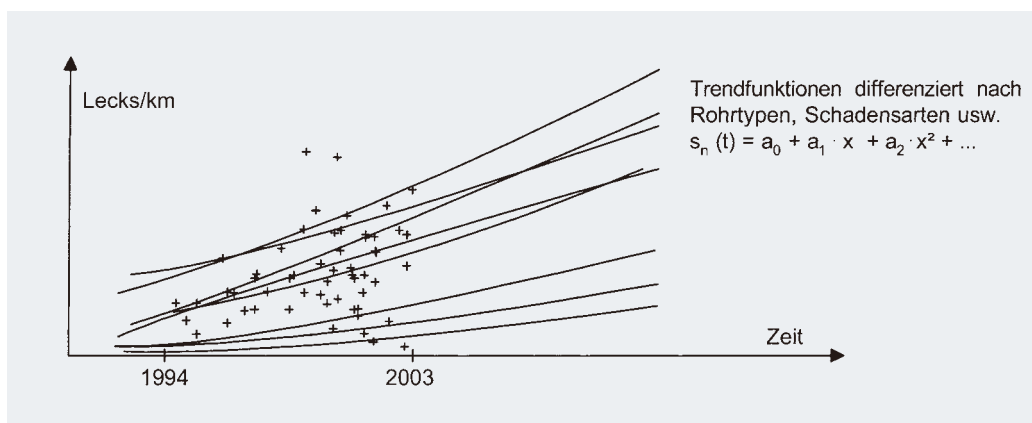
Die Einteilung der Leitungsabschnitte in Rohrtypen, -klassen oder Ähnliches bestimmt die Qualität der Aussage und diese ist wiederum von der Güte der Datenbasis abhängig. In einer Regressionsanalyse werden die Daten solange weiter differenziert, bis der Korrelationskoeffizient eine ausreichende Genauigkeit bestimmt.

Wenn aus den wesentlichen Einflussgrößen Rohrklassen gebildet wurden und die Trendfunktion bekannt ist, kann die Aussage systematisch auf alle Leitungsabschnitte angewandt werden.

Über eine Gesamtschadensanalyse des Netzes ist es weiterhin möglich, ein Mengengerüst als Basis von Erneuerungsstrategien zu definieren.

### Bewertung mit probabilistischen Bewertungsansätzen/ Versagenswahrscheinlichkeit

Das Ziel einer uneingeschränkt sicheren, aber nicht extrem konservativen Bemessung kann mit Berechnungs- und Bewertungsverfahren erreicht wer-



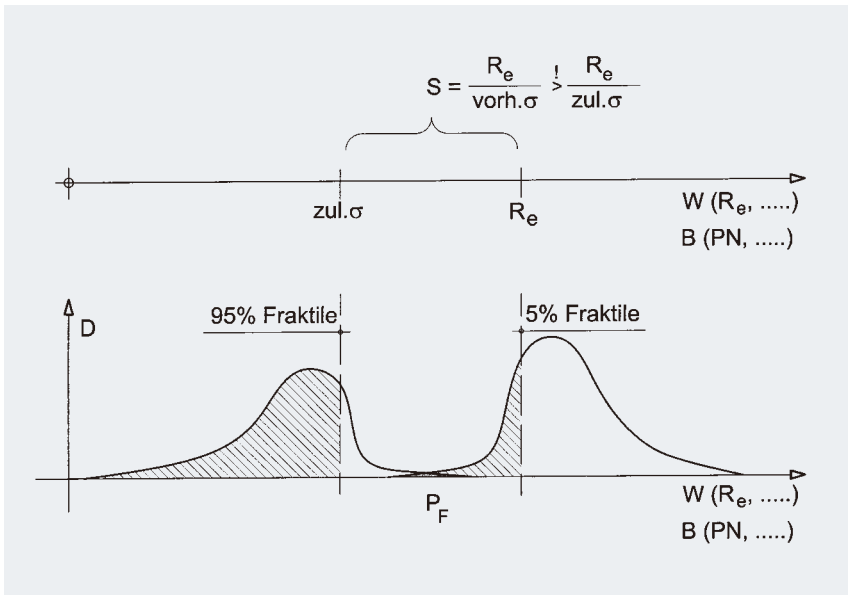
**Bild 5** ■ Umsetzen von Schadensstatistiken in Trendfunktionen.

Für eine Extrapolation der Schadenshäufigkeit in die Zukunft wird eine Dokumentation der Entwicklung über die Zeit benötigt, die so genannte „Trendfunktion“. Die Zusammenhänge sind in **Bild 5** aufgezeigt.

Für die statistische Auswertung der Datenmenge ist zu beachten, ob die Ursache der Schäden über die Jahre beständig ist, was z. B. bei Rehabilitationsmaßnahmen oder der Einführung eines KKS nicht gegeben ist. Scheinkorrelationen auszuschließen erfordert entsprechendes Know-how über das Verhalten von Rohrleitungen bei der Analysearbeit. Weiterhin ist keine Zustandsdifferenzierung für bestimmte Rohrtypen bei gleichen Randbedingungen möglich, die entweder in zu geringer Zahl vorliegen oder an denen die Schäden in sehr ungleicher Verteilung auftreten.

den, die auf probabilistischen Methoden beruhen. In diesem Fall werden nicht für die Summe aller Lasten feste Sicherheiten gegen das Erreichen kritischer Zustände angesetzt, sondern es wird die Versagenswahrscheinlichkeit eines realistischen Lastkollektivs ermittelt und gegen einen Grenzzustand abgeglichen.

Bei der probabilistischen Untersuchung der mechanischen Beanspruchung des Werkstoffes kommen die aus der Statik bekannten Berechnungsmodelle (z. B. Kesselformel) zur Anwendung. Allerdings wird bei der Probabilistik im Gegensatz zur Statik nicht jede potenziell zu berücksichtigende Last mit ihrem Maximalwert zu jeder Zeit voll angesetzt, sondern es kann eine zeitliche und/oder eine örtliche Verteilung der ▶



**Bild 6** ■ Zusammenhang zwischen deterministischer und probabilistischer Bewertung.

Auftretenswahrscheinlichkeit sowie eine Verteilung der maximalen Größe der Last Berücksichtigung finden. Ebenso ist die Beanspruchbarkeit statistisch darstellbar. Die statistische Darstellung der Eingangsparameter erfolgt durch Angabe einer Verteilungsfunktion mit den entsprechenden Kennwerten (Mittelwert, Standardabweichung, ...). Hier sind Angaben aus der Literatur ebenso verwendbar wie spezifische Daten und Kenntnisse des Betreibers.

die hinreichend genau mit einer charakteristischen Größe angegeben werden können und bei denen eine statistische Verteilung keine nennenswerte Veränderung im Ergebnis liefern würde. Hier ist beispielsweise die Nennwanddicke eines Rohres zu nennen, die bei den heutigen Fertigungstoleranzen in einem sehr engen Bereich schwankt. Andere Einflussgrößen, wie beispielsweise der Innendruck, können sinnvoll statistisch verteilt werden, da bedingt

durch die Betriebszustände Druckschwankungen auftreten und die Leitung nicht dauerhaft mit ihrem Nenndruck gefahren wird. Ebenso kann die Auftretenshäufigkeit einer Oberflächenbelastung statistisch verteilt werden, da davon ausgegangen werden kann, dass sich beispielsweise ein Schwerlastfahrzeug nicht dauerhaft über einer Leitung auf der Geländeoberfläche aufhält.

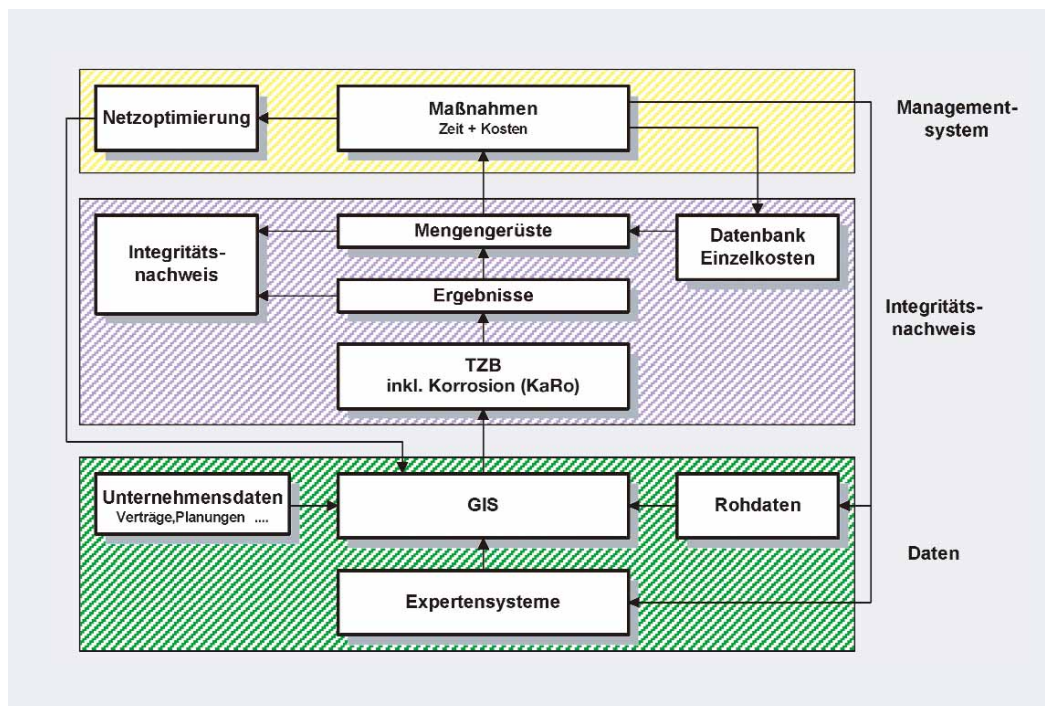
Unter Verwendung der zuvor beschriebenen Verfahren ergibt sich eine Eintretenswahrscheinlichkeit für ein Versagen der Leitung. Diese Eintretenswahrscheinlichkeit ist Grenzwerten gegenüberzustellen, die anhand von Literaturangaben im Einvernehmen mit dem Leitungsbetreiber festzulegen sind.

Sofern diese Charakteristik in allen Schritten einer Zustandsbewertung berücksichtigt wird, ist es möglich, für die Änderung eines jeden Zustandes die Auswirkungen auf das Gesamtsystem und damit die Zulässigkeit des Zustandes aufzuzeigen.

Obwohl die Grundgleichungen und Algorithmen einer solchen Zustandsbewertung allgemein gültiger Gesetzmäßigkeit genügen müssen, kann ein solches System sinnvollerweise nur den individuellen Anforderungen eines Be-

In **Bild 6** ist beispielhaft die Verfahrensweise des deterministischen und des probabilistischen Konzeptes dargestellt und aufgezeigt, dass für die Fraktilwerte der Belastungs- und der Widerstandsseite beide Verfahren direkt ineinander übergehen.

Die Erfahrung zeigt, dass es nicht zielführend ist, jedes zu bewertende Merkmal statistisch zu analysieren. Es lassen sich Merkmale definieren,



**Bild 7** ■ Struktur eines Pipeline-Integrity-Management-Systems.

treibers angepasst werden, da sowohl die Verteilungsfunktionen und Versagenswahrscheinlichkeiten netzspezifisch sind, als auch die Sicherheitsphilosophie des einzelnen Betreibers in das System Eingang findet.

### Einordnung der Bewertungsverfahren

Für Niederdruckleitungen ist das Arbeiten mit Schadensstatistiken sicherlich der beste Weg, sofern diese Schadensstatistiken nachvollziehbar gepflegt wurden und eine Differenzierung nach Leitungstypen einerseits und äußeren Einflüssen andererseits so weit möglich ist, dass von einer differenzierten Beurteilung gesprochen werden kann und Trendfunktionen aufgestellt werden können. Wenn diese Forderungen erfüllt werden, bleibt hier die Schwierigkeit, einen Grenzwert festzulegen; denn diese Festlegung bedeutet ja, dass für den bestimmungsgemäßen Betrieb einer Leitung eine gewisse Anzahl nicht bestimmungsgemäßer Zustände (Lecks) als zulässiger Grenzwert festgeschrieben wird. Juristisch mag das ein Problem sein, in der Praxis ist es relativ einfach möglich, sich am wirklichen Reparaturgeschehen der Netzbetreiber zu orientieren.

Die Fuzzy-Logik ist immer dann das angemessene Bewertungsverfahren, wenn über das zu bewertende Netz einerseits keine hinreichenden oder hinreichend differenzierten Statistiken vorliegen, es andererseits genaueren Berechnungsverfahren wegen mangelnder Daten nicht zugänglich ist. Hier kann die langjährige Erfahrung des Betriebspersonals und das Sichten aussagekräftiger Unterlagen (z. B. Reparaturberichte) dazu führen, dass aus der relativ einfachen und weichen Aufstellung der Regelbasen eine brauchbare Leistungsbewertung resultiert. Der Nachteil bei diesem Verfahren ist, dass ein Grenzkriterium für die gefundenen Ergebnisse, das den oben aufgestellten Bedingungen genügt, nur schwer zu finden ist und somit mit der Fuzzy-Logik nur eine vergleichende Bewertung erreicht werden kann.

Das Arbeiten mit neuronalen Netzen führt dann zu schnellem und gutem Erfolg, wenn Statistiken vorliegen, die so weit differenziert sind, dass sie nach den dahinter liegenden physikalischen Gesetzen geordnet sind. Auf diese Weise geschult, wird ein neuronales Netz für einen neuen Datensatz genau das gewünschte Ergebnis (Lebensdauer, Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadens usw.) liefern. Es ist allerdings fraglich, ob das Datenmaterial zur Schulung dieser Netze ausreichend differenziert vorliegt. Entsprechende Erfahrungen mit diesem Verfahren konnten in der Praxis noch nicht gewonnen werden.

Das Arbeiten mit dem Ermitteln der Versagenswahrscheinlichkeit des Systems ist für Hochdrucknetze der Königsweg, da die entsprechenden Algorithmen und Statistiken in ausgezeichneter Form vorliegen und in anderen Ländern mit diesem Verfahren seit vielen Jahren Erfahrungen gesammelt werden. Auch das Grenzkriterium, die zulässige Versagenswahrscheinlichkeit, ist in der Literatur, in Normen und teilweise in Gesetzen festgelegt und als Anhaltswert soll hier nur zitiert werden, dass das Individualrisiko aus der Einwirkung einer technischen Anlage auf  $10^{-6}$ /Jahr festgelegt ist, woraus sich die zulässige Versagenswahrscheinlichkeit einer Druckleitung pro Kilometer und Jahr unmittelbar ableiten lässt. Für Niederdrucksysteme ist dieses Verfahren nur anwendbar, wenn die technischen Daten der Leitung und der Leitungsumgebung so weit bekannt sind, dass die Versagenswahrscheinlichkeit des jeweiligen Leitungsabschnittes mit hinreichender Genauigkeit ermittelt werden kann.

### Ausblick

Die Zustandsbewertung, die dem Betriebsingenieur gestattet, sein System einerseits einer vergleichenden Bewertung zu unterwerfen und andererseits mit scharfen Grenzkriterien die Systemteile zu identifizieren, die weiteren Untersuchungen bis hin zu Sanierungen oder Auswechslungen zu unterziehen sind, ist nur ein erster, grundlegender Schritt zum Aufbau eines Pipeline-Integrity-Management-Systems. Der strukturelle Aufbau eines solchen Sys-

tems ist in **Bild 7** aufgezeigt. Erst dann, wenn aus den Ergebnissen einer Zustandsbewertung automatisch ein Mengengerüst kritischer Systemteile generiert wird und für dieses Mengengerüst mögliche Maßnahmen durch das Management-System angeboten werden, die wiederum mit Zeit- und Kostendaten einer entsprechenden, intern gepflegten Datenbank belegt werden, kann von einem Pipeline-Integrity-Management-System gesprochen werden. Ein solches System unterstützt die Entscheidungen der verantwortlichen Betriebsingenieure so weit, dass eine Optimierung von Betrieb, Instandhaltung und Instandsetzung angestrebt werden kann.

Kein System wird allerdings einen Ausbauzustand erreichen, der es erlauben würde, auf den erfahrenen und gut geschulten Anwender zu verzichten, der die letzte Entscheidung über die wirklich zu treffenden Maßnahmen fällt. **LB**

Alle Abbildungen: Dr. M. Veenker

### Kontakt

Dr.-Ing. Manfred Veenker  
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH  
Heiligengeiststraße 19  
30173 Hannover  
Tel.: 0511 28499-0  
Fax: 0511 2825-07  
E-Mail: veenker@t-online.de

**Abdichtungstechnik von Rohrdurchführungen**  
**System 308**  
**Expandierende Verpressharze**



Der Hausanschluß ist gas- und druckwasserdicht sicher verschlossen und erfüllt höchste Anforderungen an die Auszugssicherheit  
Werksfoto: Büttig Koblenz

**BÜTTIG GmbH**  
Karl-Mand-Straße 9 • D-56070 Koblenz  
Telefon: (02 61) 9 84 29-0  
Telefax: (02 61) 9 84 29-50