

Anlagensicherheit und Zuverlässigkeit

– Der Einfluss der Zuverlässigkeitsanforderungen auf die Nutzungsdauer/Rehabilitationsrate bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit



Quelle: Christian Schwiier – Fotolia.com

Der nachfolgende Beitrag widmet sich der **Wechselwirkung** zwischen der Veränderung von Anforderungen an die Anlagensicherheit, hier im Sinne der Zuverlässigkeit, und der zustandsbedingten **Nutzungsdauererwartung**, die wiederum den Instandhaltungs- bzw. Rehabilitationsbedarf beeinflusst.

von: Dr. Dietmar Schmidt

Die **Anlagensicherheit** steht zunehmend im Vordergrund bei der Formulierung von Anforderungen an Versorgungssysteme und bei der Harmonisierung von diesbezüglichen Regelungen in der EU. Diese Anforderungen an die Sicherheit bzw. Zuverlässigkeit der Anlagen gelten auch für die vorhandenen und meist über Jahrzehnte gewachsenen Infrastruktursysteme mit ihren Anlagenbeständen, die durch geeignete Instandhaltungs-/Rehabilitationsmaßnahmen in einem entsprechenden Zustand zu halten sind. Neben der Steigerung der Kosteneffizienz und Wirtschaftlichkeit sind in den letzten Jahren auch verstärkte Aktivitäten der Unternehmen zur Beschreibung und Erfüllung der Anforderungen an die Anlagensicherheit/Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit bei der Instandhaltung des Anlagenbestandes zu verzeichnen. So werden beispielsweise in den technischen Regelwerken zunehmend Mindestanforderungen definiert und Handlungsanleitungen zur Erstellung und Umsetzung der notwendigen Strategien und Maßnahmen gegeben [1, 2]. Den Schwerpunkt bei diesen Aktivitäten bilden die Infrastrukturnetze, nicht zuletzt weil sie in den meisten Fällen den höchsten Anteil am Anlagevermögen, an den Instandhaltungskosten und am Ressourcenbedarf haben [3]. Sowohl für Instandhaltungs- bzw. Rehabilitationsstrategien zur Erfüllung bestimmter Anforderungen an die Zuverlässigkeit als auch an die Nachhaltigkeit kann es kein Pauschalrezept geben. Vielmehr sind die konkreten Rahmenbedingungen und Anforderungen im betrachteten Gebiet zu berücksichtigen und die Entscheidung zur Umsetzung einer Strategie im Rahmen einer Abwägung hinsichtlich der langfristigen Entwicklung der Zuverlässigkeit, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit zu treffen.

Am Beispiel eines Wasserrohrnetzes wird diese Wechselwirkung und die Vorgehensweise zur Analyse des Bestandes und Zustandes unter

Beachtung der gegebenen Rahmen- bzw. Nutzungsbedingungen in einem definierten Versorgungsgebiet einer Großstadt beschrieben.

Bestandsanalyse und Differenzierung von Anlagen- bzw. Betriebsmittelgruppen

Zunächst werden die Anlagenbestände in abgegrenzten Untersuchungsgebieten nach bestimmten Merkmalen differenziert.

In welcher Tiefe der Anlagenbestand mit seinen Komponenten im ersten Schritt differenziert wird, hängt nicht zuletzt von der Verfügbarkeit und Differenziertheit der für die Strategierechnung benötigten Daten ab, die aus den nachfolgend genannten Datenquellen gewonnen werden können:

- Geografisches Informationssystem (GIS),
- Kostenrechnung,
- Anlagenbuchhaltung,
- Ereignis- und Zustandsstatistiken [4, 5] sowie
- geologische Karten.

In Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der Daten für die identifizierten Komponenten eines Systems bzw. Netzes werden diese z. B. zu Anlagen- bzw. Betriebsmittelgruppen zusammengefasst [6].

Grundsätzlich sollte die Datenerhebung und Strategierechnung zur Erreichung einer ausreichenden statistischen Sicherheit hinsichtlich der Bewertung der Zustandsveränderung von Anlagen (Betriebsmitteln) oder Anlagengruppen für einen entsprechenden Mindestbestand von Anlagen durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist es nicht zweckdienlich, Einzelanlagen oder einzelne Leitungsabschnitte (Elemente) zu betrachten. Es ist anzustreben, keine „heterogene“, sondern eine „homogene Grundgesamtheit“ (d. h. Einheiten mit vergleichbaren Eigenschaften) für die gemeinsame Bewertung auszuwählen und deren Elemente in Anlagen-/Betriebsmittelgruppen zusammenzufassen.

Es wird empfohlen, jeweils innerhalb der identifizierten Anlagen eines Systems bzw. Netzes die Betriebsmittelgruppen aus Anlagen zu bilden, die

- ähnliche Nutzungsbedingungen,
- vergleichbare Anforderungen an die Zuverlässigkeit/den Zustand,
- ähnliche Eigenschaften (Werkstoff, Korrosionsschutz, Wanddicke, ...) und
- vergleichbare Reparaturkosten sowie Herstellungs- bzw. Sanierungskosten

aufweisen und die daher ähnliche Nutzungsdauern erwarten lassen [6, 7].

Sofern Anlagen- bzw. Betriebsmittelbestände betrachtet werden, deren Nutzungsverhalten bzw. Zustandsveränderung neben der Nutzungsdauer bzw. dem Alter auch maßgebend von der Betriebsart oder vom Nutzungsumfang beeinflusst wird (z. B. Hochdrucknetze, hoch beanspruchte Armaturen, hochfrequentierte Schienen- und Straßennetze), sind die Anlagen zusätzlich nach ihrer Betriebsart und/oder ihrem Nutzungsumfang zu differenzieren und zu Gruppen zusammenzufassen. Gleiches gilt z. B. für besondere Lage- bzw. Bettungsbedingungen (korrosive Böden u. Ä.). Auf diese Weise können auch für diese Anlagen(-gruppen) die Zustandsveränderungen in Abhängigkeit vom mittleren Alter bzw. von der Nutzungsdauer analysiert und prognostiziert werden.

Zustands- und Trendanalyse

Da die Zustandsveränderung einer Infrastruktur neben der Nutzungsdauer und Bestandsentwicklung maßgebend von den durchgeführten Rehabilitationsmaßnahmen (Elimination/Erneuerung von z. B. schadensintensiven Leitungsabschnitten mit hohem Ausfallrisiko) beeinflusst wird, können eindeutige Trendentwicklungen einer alters- bzw. Nutzungsdauerabhängigen Zustandsverschlechterung in der Regel nur an relativ unberührten, d. h. nicht bzw. wenig rehabilitierten Altanlagenbeständen ermittelt werden. Dieser Zusammenhang darf keinesfalls außer Acht gelassen werden, da sonst leicht unrealistische Veränderungen von Zustandsparametern, z. B. degressive Trends bei Schadensraten, sowie Fehlinterpretationen entstehen können.

Der Zustand bzw. die Zuverlässigkeit eines Wasserrohrnetzes wird durch die Schadensrate bzw. deren Erwartungswert beschrieben, die sich mit der Nutzungsdauer bzw. dem Alter der einzelnen Komponenten verändert. Die Entwicklung des mittleren Alters wird wiederum durch die Erneuerung und Erweiterung der Anlagenbestände beeinflusst [6] (Abb. 1 und 2).

Sofern bei der Analyse der Trendentwicklung auf historische Daten zu Schäden und Beständen zurückgegriffen werden kann, lässt sich das mittlere

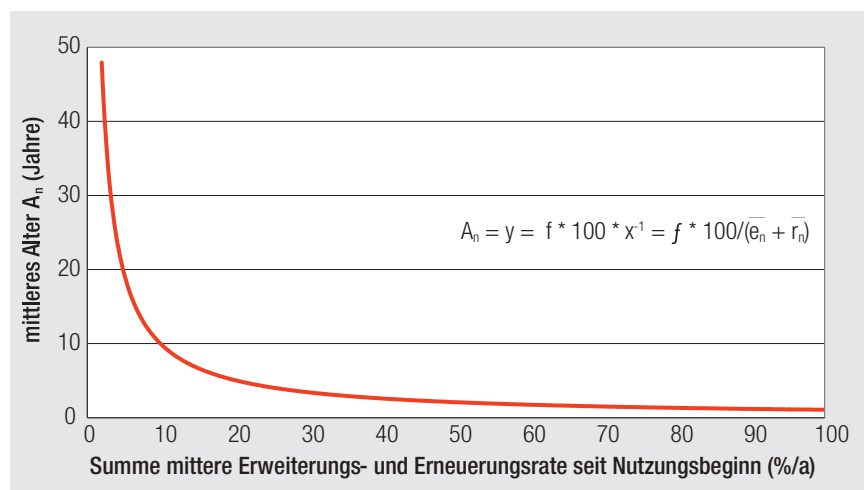


Abb. 1: Abhängigkeit zwischen dem mittleren Alter und der Summe der mittleren Erweiterungs- und Rehabilitationsrate seit Inbetriebnahme (bei geringer Schwankung der Parameter)

re Alter A_n im Jahr n rückwirkend aus der mittleren Erweiterungs- und Rehabilitationsrate näherungsweise wie folgt berechnen (Abb. 1 und 2):

$$A_n = f * 100 * x^{-l} = f * 100 / (\bar{e}_n + \bar{r}_n)$$

mit

f Korrekturfaktor zum Abgleich mit dem realen Alter im Jahr n

mittlere Rehabilitationsrate bis zum Jahr n in %/a

$$\bar{r}_n = \frac{\sum_{n=1}^x L_{r_n}}{\sum_{n=1}^x L_{N_n}}$$

und

mittlere Erweiterungsrate bis zum Jahr n in %/a

$$\bar{e}_n = \frac{\sum_{n=1}^x L_{e_n}}{\sum_{n=1}^x L_{N_n}}$$

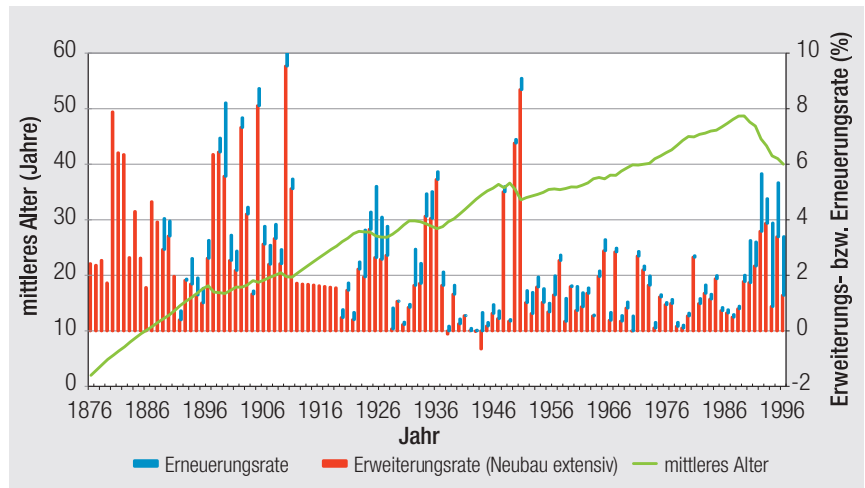
mit

- L_{r_n} Anteil Erneuerung (Annahme: ältester Bestand) im Jahr n in m
- L_{e_n} resultierende Erweiterung im Jahr n in m
- L_{N_n} resultierender Gesamtbestand im Jahr n in m

Das mittlere Alter und die Entwicklung der mittleren Schadensrate einer Anlagengruppe wird hierbei wie folgt beeinflusst (Abb. 2):

- von der Erneuerungsrate durch Verjüngung und Reduzierung der Schadenszahl bei gleicher Gesamtlänge,
- von der Erweiterungsrate durch Verjüngung und Erhöhung der Länge bei (zunächst) gleicher Gesamtschadenszahl,
- von der Alterung bzw. Abnutzung mit zunehmender Nutzungsdauer.

Sofern historische Daten nicht in dem notwendigen Umfang zur Verfügung stehen, kann die aktuelle Alters- und



Quelle: Dr. Dietmar Schmidt

Abb. 2: Beispiel – Entwicklung des mittleren Alters einer Anlagen- bzw. Betriebsmittelgruppe in Abhängigkeit von der Erweiterungs- und Erneuerungsrate (Historie)

Bestandsstruktur als Grundlage für die Zustands- und Trendanalyse genutzt werden (Abb. 3 und 4).

Hierbei wird zunächst zum Anlagenbestand der einzelnen Jahrgänge die Anzahl der Schäden und hieraus wiederum die Schadensrate (Mittelwert über mehrere Jahre) ermittelt. Trägt man in einem Diagramm die Schadensrate (Zustand) gegen das mittlere Alter (Nutzungsdauer) auf, so zeigen die Datenpunkte eine Korrelation zwischen beiden Größen. Die hieraus abgeleitete Regressionsfunktion beschreibt das sogenannte Nutzungsverhalten bzw. den Trend der Schadensraten (Abb. 4). Bei der Analyse des Nutzungsverhaltens von Anlagen- bzw. Betriebsmittelgruppen ist gemäß DVGW-Merkblatt G 403 u. a. folgender Grundsatz zu beachten [2]: „Ein Datenpunkt genießt hohes Vertrauen, wenn eine hohe Wissenslänge vorliegt. Punkte mit weniger Wissenslänge sind weniger vertrauenswürdig und es ist zu prüfen, ob dieser Punkt – gerade bei einem „Nullpunkt“ – mit in die Ermittlung der Ausgleichsfunktion einbezogen werden soll.“

Abbildung 3 zeigt in einem Lebensbaum den zeitlichen Verlauf von Neubau und Erneuerung (Historie) sowie den aktuellen Bestand der Rohrleitungen. Es wird deutlich, dass die Jahrgänge mit steigendem Alter zunehmend in ihrem ursprünglichen Bestand reduziert bzw. „ausgedünnt“ werden (gerin-

ge Wissenslänge). Da jede Ausdünnung, d. h. z. B. eine intensive Erneuerung von schadensanfälligen Leitungsabschnitten (im Beispiel speziell von 1949 bis 1953, d. h. bei dem gewählten Basisjahr die Jahrgänge 56 bis 60), zu einer deutlichen Verringerung der mittleren Schadensrate am Restbestand des Jahrganges führen kann (0-Werte, fallender Trend), die Trendanalyse jedoch auch möglichst alte Leitungen einschließen soll, wird die Veränderung des Trends für verschiedene Anschaffungs- bzw. Nutzungszeiträume analysiert (Abb. 4). Bei der Trendanalyse werden jeweils Jahrgänge mit geringem Restbestand und extrem hohen Schadensraten ausgeschlossen. Werden z. B. ältere, bereits stark „ausgedünnte“ Jahrgänge bei der Analyse nicht berücksichtigt, so „korrigiert“ sich im Normalfall der gegebenenfalls zunächst unlogisch degressive Trend zu einem progressiven Trend.

Im Beispiel gemäß Abbildung 4 zeigt sich ein eindeutig progressiver Trend, wenn insbesondere die Jahrgänge über 80 Jahre nicht in die Auswertung einbezogen werden. Sofern der Analyse eine ausreichende Datenmenge zu Grunde liegt, ist die Funktion mit dem steilsten Anstieg am vertrauenswürdigsten und sollte daher bei der Erstellung von Prognosen bevorzugt werden. Die Funktionen mit einem geringeren Anstieg würden zu einer zu optimistischen Prognose führen.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass selbst die Trendfunktionen mit dem steilsten Anstieg noch verhältnismäßig optimistisch sein können, da die Trendanalyse gerade bei den ältesten Jahrgängen die Schäden der gegebenenfalls bereits ausgetauschten „schlechten“ Leitungsschnitte nicht mit erfasst hat. Dieser Sachverhalt ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Sofern die Trendanalyse ein unplausibles Ergebnis zeigt, sollten die Basisdaten geprüft werden.

Ein degressiver oder sehr unstabiler Trend kann z. B. folgende Ursachen haben, die bei der Bildung von Anlagen-/Betriebsmittelgruppen (s. Abschnitt „Bestandsanalyse und Differenzierung von Anlagen- bzw. Betriebsmittelgruppen“) ebenfalls berücksichtigt werden müssen:

- falsche Differenzierung der Anlagengruppen, d. h., z. B. mehrere verschiedene Werkstoffe wurden in einer Anlagengruppe zusammengefasst (der Trend zeigt anfangs einen gegebenenfalls relativ schnellen Anstieg der Schadensrate bei den jüngeren Jahrgängen, der später abklingt bzw. wiederum von einem geringeren Niveau aus erneut ansteigt)
- Verringerung der Alterungsbeständigkeit des eingesetzten Werkstoffes bzw. schlechterer Korrosionsschutz bei den jüngeren Jahrgängen (degressiver Trend)

In beiden zuvor genannten Fällen sind die Leitungen aus den verschiedenen und/oder alterungsbeständigeren Werkstoffen in einer separaten Anlagengruppe zusammenzufassen und die Jahrgänge abzugrenzen. In jedem Fall ist die Qualität bzw. die Vertrauenswürdigkeit der in die Analyse einbezogenen Daten zu prüfen.

- „Ausgedünnte“ Jahrgänge (nicht repräsentativ, geringe Wissenslänge) wurden in die Analyse einbezogen.

In diesem Fall sind diese Jahrgänge nicht zu berücksichtigen (Abb. 3).

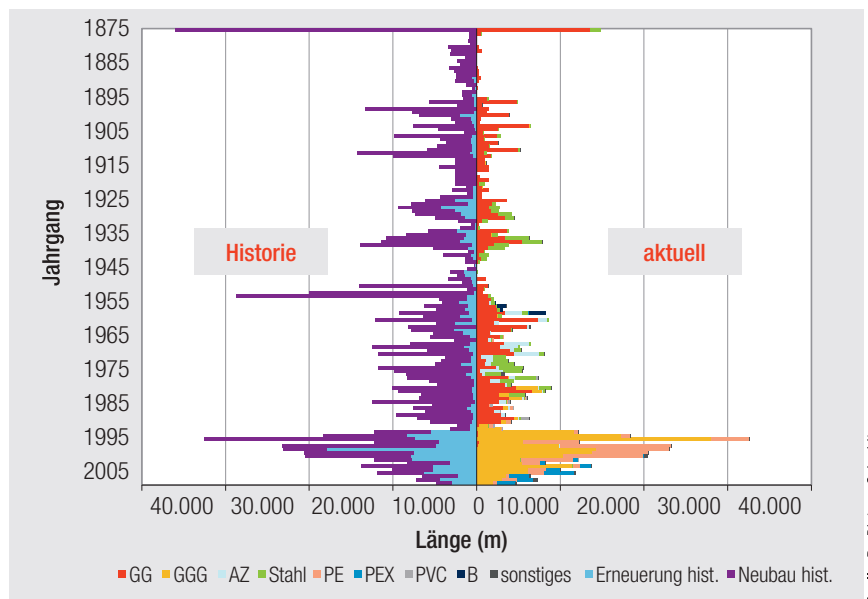


Abb. 3: Beispiel – Bestandsentwicklung nach Jahrgängen – Historie und Stand 2008 (Lebensbaum)

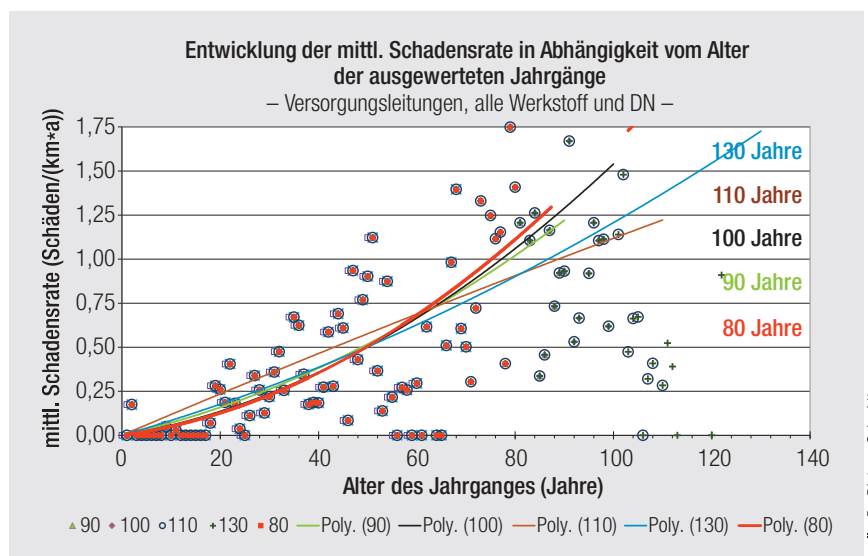


Abb. 4: Trend der Schadensrate bei Variation der Auswerteziträume (Basisjahr 2008)

Falls keine auswertbare Datenmenge zur Verfügung steht, kann z. B. gemäß DVGW-Merkblatt W 403 [8] als grobe Näherung auch angenommen werden, dass die Schadensrate progressiv mit 1 Prozent pro Jahr (schadensunauffällig) bis 3 Prozent pro Jahr (hohen Schadensraten) steigt, oder es können gemäß DVGW-Merkblatt G 403 [2] in Ausnahmen auch Ersatzverfahren zur Herleitung der Wahrscheinlichkeit von Reparaturen (Schäden) zum Einsatz kommen. Bei diesen Verfahrenswegen können jedoch die Ergebnisse der Prognosen stark von den tatsächlichen Entwicklungen abweichen (s. Abschnitt „Vergleich Weibull-Funktion und Trendanalyse“).

Bei den durchgeführten Untersuchungen bzw. Trendanalysen konnte eine Zunahme der Rohrschadensrate mit steigendem mittleren Alter bzw. mit steigender Nutzungsdauer nachgewiesen werden [6, 9, 10]. Die Steilheit der Trendfunktionen hängt sehr stark von der Güte der eingesetzten Werkstoffe ab, wodurch wiederum die Nutzungsdauer maßgebend beeinflusst wird (Abb. 5). Über die Nutzungsdauer kann so z. B. ein vergleichsweise höherwertiges und in der Anschaffung teureres Rohr die geringeren Gesamtkosten aufweisen. Die mittlere Schadensrate verändert sich demnach in Abhängigkeit vom mittleren Alter und den übrigen Rah-

menbedingungen (s. Abschnitt „Bestandsanalyse und Differenzierung von Anlagen- bzw. Betriebsmittelgruppen“), z. B. bei Haupt-, Versorgungs- und Hausanschlussleitungen, gemäß folgender polynomischen Trendfunktion:

$$y = S(t) = a \cdot x \cdot t + b \cdot x \cdot t^2$$

mit:

- $S(t)$ mittlere Schadensrate (Schäden/[km*a]) mit $S(t) \geq 0$
- t mittleres Alter (Jahre)
- a, b Parameter bzw. Koeffizienten

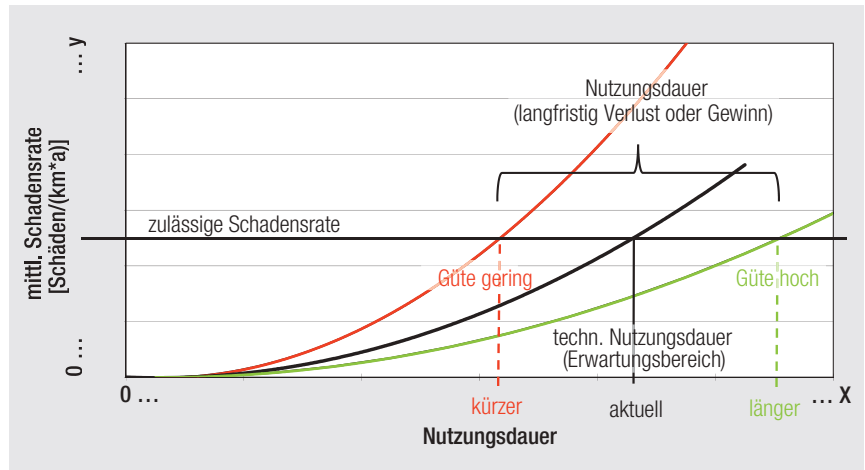


Abb. 5: Abhängigkeit zwischen hoher/geringer Materialgüte, Schadenshäufigkeit und Nutzungsdauererwartung

Ähnliche Beobachtungen der alters- bzw. nutzungsdauerabhängigen Veränderung der Schadenszahl an Rohrleitungen konkreter Altersgruppen wurden auch durch andere Autoren für Rohrnetze in den USA, in Deutschland, Frankreich und Österreich mit e-, Potenz- oder Wahrscheinlichkeitsfunktionen beschrieben [6], die gemäß den DVGW-Arbeits- und Merkblättern W 400-3, W 403 und G 403 [1, 2, 8] eine wesentliche Grundlage für die Aufstellung von Instandhaltungs-/Rehabilitationsstrategien bilden.

Sowohl die aus den eigenen als auch aus den vorgenannten Untersuchungen an Rohrnetzen abgeleiteten Funktionen belegen den progressiven Anstieg der Schadenshäufigkeit mit zunehmendem Alter. Vergleichbare Untersuchungsergebnisse hinsichtlich einer Zustandsverschlechterung mit zunehmender Nutzungsdauer sind auch für andere Infrastruktursysteme bekannt.

Die Trendanalyse eignet sich z. B. auch für die vergleichende Bewertung der Alterungsbeständigkeit von Rohrwerkstoffen und zur Aufstellung von „Referenzfunktionen“ als Mindestanforderung für neue Rohrwerkstoffe (Abb. 5). Mit Hilfe von vorhandenen Referenzfunktionen (Bestwerte bzw. Vergleichswerte der bisher verlegten Rohrwerkstoffe) lässt sich ebenfalls der Alterungsprozess neuer Rohrwerkstoffe z. B. mit verbessertem Korrosionsschutz abschätzen. Sofern keine auswertbaren Daten zur Verfügung stehen, können Referenzfunktionen alternativ für Prognoserech-

nungen in anderen Netzen genutzt werden. Hierbei ist der Istzustand des betrachteten Netzes zu berücksichtigen, indem eine „Eichung“ der Referenzfunktion auf einen Mittelwert der Schadensrate aus den letzten Jahren erfolgt.

Zuverlässigkeit und Nutzungsdauer Trendfunktion und Eingriffsgrenzen

Mit Hilfe der gemäß Kapitel „Zustands- und Trendanalyse“ ermittelten Trendfunktionen sowie definierter Eingriffsgrenzen, d. h. Anforderungen an die Zuverlässigkeit (z. B. zulässige Schadensraten), kann die zukünftige Entwicklung der Schadensrate bei einer Veränderung des mittleren Alters und die daraus resultierende Nutzungsdauererwartung bzw. die Ausfallwahrscheinlichkeit des Anlagenbestandes prognostiziert werden [1, 6].

Die Nutzungsdauererwartung steht hierbei in direkter Wechselwirkung mit der Intensität der Instandhaltung/Rehabilitation des Anlagenbestandes und der hieraus resultierenden Zuverlässigkeit der Anlagen. So verringern hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit bzw. Anlagensicherheit und die dadurch bedingte hohe Instandhaltungsintensität logischerweise die Nutzungsdauererwartung und umgekehrt. Dieser Zusammenhang wird bei den meisten Prognosemodellen vernachlässigt, denn es werden z. B. Nutzungsdauern oder Ausfallwahrscheinlichkeiten anhand von Erfahrungen (z. B. Außerbetriebnahmestatistiken)

geschätzt bzw. prognostiziert. Auf dieser Grundlage werden oft auch die genutzten Wahrscheinlichkeitsfunktionen (z. B. Weibull-Funktion) parametrisiert, ohne dass der tatsächliche Grund für Außerbetriebnahmen in der Vergangenheit bekannt ist und ohne dass z. B. eine Anpassung an sich zukünftig verändernde Anforderungen an die Zuverlässigkeit erfolgt.

Bei allen Entscheidungen zu Anforderungen an die Anlagensicherheit bzw. Zuverlässigkeit und zu einer Instandhaltungs- bzw. Rehabilitationsstrategie sollte uns daher Folgendes immer bewusst sein:

- Es besteht eine Wechselwirkung zwischen den Anforderungen an die Zuverlässigkeit/Sicherheit und der Nutzungsdauererwartung.
- Höhere Anforderungen an die Zuverlässigkeit/Sicherheit führen, statistisch gesehen, zu einer Verringerung der Nutzungsdauer.
- Höhere Anforderungen an die Zuverlässigkeit/Sicherheit führen demzufolge zu einem erhöhten Ressourcenbedarf, den es jedoch einzuschränken gilt.
- Die Anforderungen sollten nicht über ein tatsächlich notwendiges Maß hinausgehen.

Bei der Festlegung der zulässigen Schadensrate (Mittelwert in einem Versorgungsbereich) ist zu berücksichtigen, dass die mittlere Schadensrate einer Grundgesamtheit erreicht wird, wenn

jeweils die Elemente ausgesondert werden, die etwa das Doppelte dieser Schadensrate überschreiten (Annahme Gleichverteilung). Wird also eine mittlere Schadensrate eines Rohrleitungsbestandes von 0,5 angestrebt und ist der Bestand beispielsweise kontinuierlich angeschafft worden, so sind laufend alle Leitungsabschnitte mit einer Schadensrate von ≥ 1 zu rehabilitieren. Im vorliegenden Beispiel wird diese Schadensrate durchschnittlich im Alter von ca. 78 Jahren erreicht, wobei die „besten“ Abschnitte bei der gewählten zulässigen Schadensrate von 1,0 für den einzelnen Abschnitt (= mittlere Schadensrate des Gesamtbestandes 0,5) ein Alter von deutlich über 150 Jahren erreichen können (Abb. 6 und 7).

Vergleich Weibull-Funktion und Trendanalyse

Für die Beschreibung von Ausfallwahrscheinlichkeiten wird oft die Weibull-Funktion verwendet, die für den jeweiligen Anwendungsfall eine sachgerechte Parametrierung erfordert [2]. Dies setzt jedoch voraus, dass zuvor unter den tatsächlich vorherrschenden Bedingungen in einem abgegrenzten Untersuchungsgebiet eine Analyse des realen Nutzungsverhaltens bzw. der realen Entwicklung der Schadensrate über die Nutzungsdauer erfolgt ist und dass die zukünftigen Anforderungen an die Zuverlässigkeit definiert wurden. Die bisher in den meisten Fällen gebräuchliche Parametrierung der Wahrscheinlichkeitsfunktionen anhand von Schätzwerten bzw. Vorgaben wird diesen Anforderungen nicht gerecht.

Nachfolgend wird eine Methode zur Durchführung einer erweiterten Trendanalyse (s. Abschnitt „Zustands- und Trendanalyse“ und „Trendfunktion und Eingriffsgrenzen“) beschrieben, die zu einem erheblichen „Genauigkeitsge-

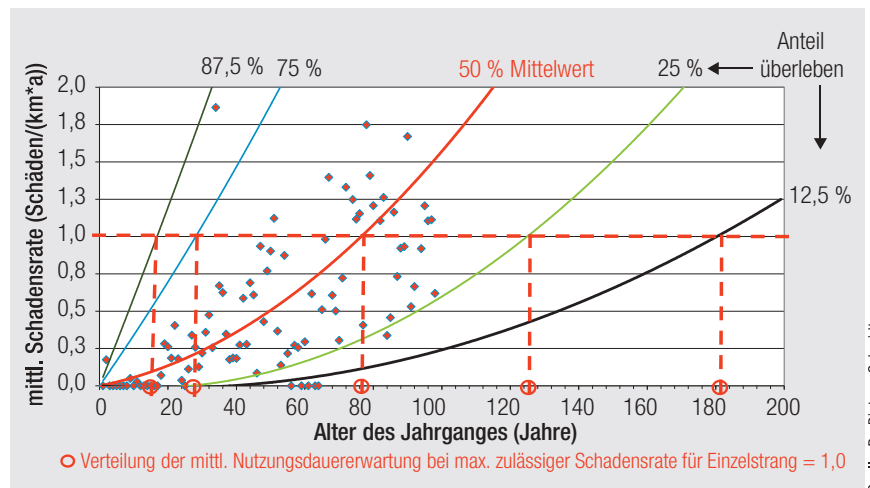


Abb. 6: Entwicklung der Schadensrate mit zugehörigen Streufunktionen in Abhängigkeit vom Alter mit zulässiger Schadensrate und resultierender Nutzungsdauererwartung – Versorgungsleitungen, alle Werkstoffe und DN, Analyse bis Jahrgang 100


winn“ bei der Aufstellung und Nutzung von Wahrscheinlichkeitsfunktionen für Prognoserechnungen beitragen kann.

Im Rahmen einer erweiterten Trendanalyse werden zunächst „Hüll- bzw. Streufunktionen“ ermittelt. Diese lassen sich mit Perzentilen einer statistischen Verteilung vergleichen. Die Perzentile beschreiben jedoch nur die Verteilung einer Wertemenge und nicht die Verteilung konkreter Werte wie z. B. Schadensraten als maßgebendes Zuverlässigkeitskriterium. Die hier dargestellten Hüllfunktionen grenzen Streubereiche ab (Abb. 6), in denen konkrete Schadensraten nach einer bestimmten Nutzungsdauer zu finden sind [6]. Hierbei handelt es sich wiederum um Mittelwerte für ein abgegrenztes Intervall. Die Streufunktionen geben daher Auskunft über die Entwicklung und die Verteilung der Schadensraten und ermöglichen zudem für unterschiedliche Zuverlässigkeitsanforderungen die Ermittlung der Nutzungsdauererwartung bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit. Eine vergleichende Bewertung von Instandhaltungs- bzw. Rehabilitationsstrategien

hinsichtlich der Nutzungsdauererwartung bei Variation der zulässigen Schadensraten wird so ermöglicht.

Die Parameter bzw. „Eichpunkte“ der gesuchten Funktionen zur Beschreibung der Nutzungsdauererwartung bzw. der Ausfallwahrscheinlichkeit für den jeweiligen Anwendungsfall sind in etwa die Schnittpunkte der Streufunktionen mit den zulässigen Schadensraten (Eingriffsgrenze, Abb. 6). Auf der Basis dieser Punkte lassen sich die Wahrscheinlichkeitsfunktionen ermitteln, die diese Entwicklung am besten beschreiben. Im dargestellten Beispiel sind das polynomische Funktionen (Abb. 7 und 8; 100-Prozent-Werte wurden extrapoliert). Es lassen sich somit die Trendfunktionen (Abb. 7) und die Wahrscheinlichkeitsfunktion (Abb. 7 + 8) ineinander überführen.

Die Mindestnutzungsdauer der schadensintensiven Komponenten einer Anlagen- bzw. Betriebsmittelgruppe, d. h. die Resistenzzeit in der keine Komponenten ausfallen, lässt sich ebenfalls mit Hilfe der Streufunktionen herleiten. Eine Orientierung hier-




SIR 3S

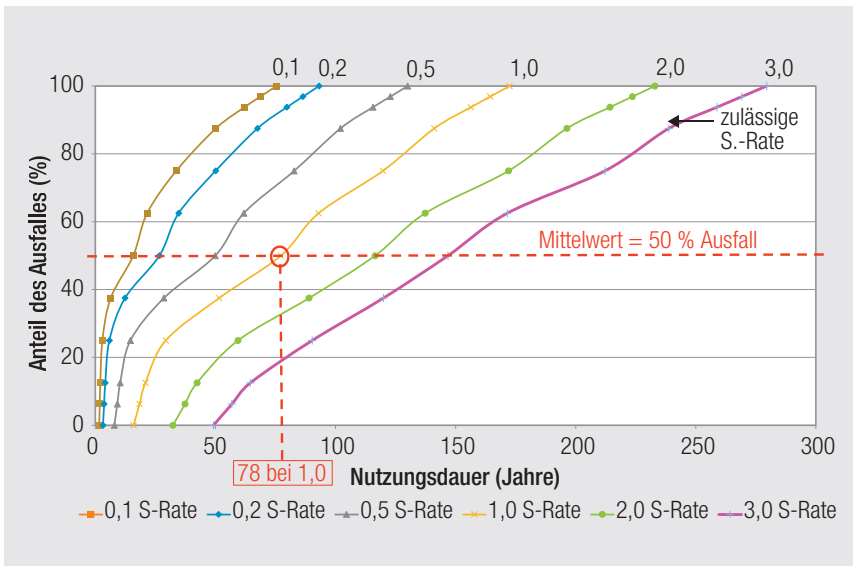
Betrieb und Instandhaltung von Rohrnetzen

Auslegen / Berechnen / Analysieren / Optimieren
 Fahrweisen / Regelungen / Zusammenhänge / Dynamik / Druckstoß
 Asset-Strategien / Spülplanung / Zielnetzplanung / Energieeffizienz

3S Consult GmbH — mehr als 25 Jahre Engineering und Software — www.3sconsult.de

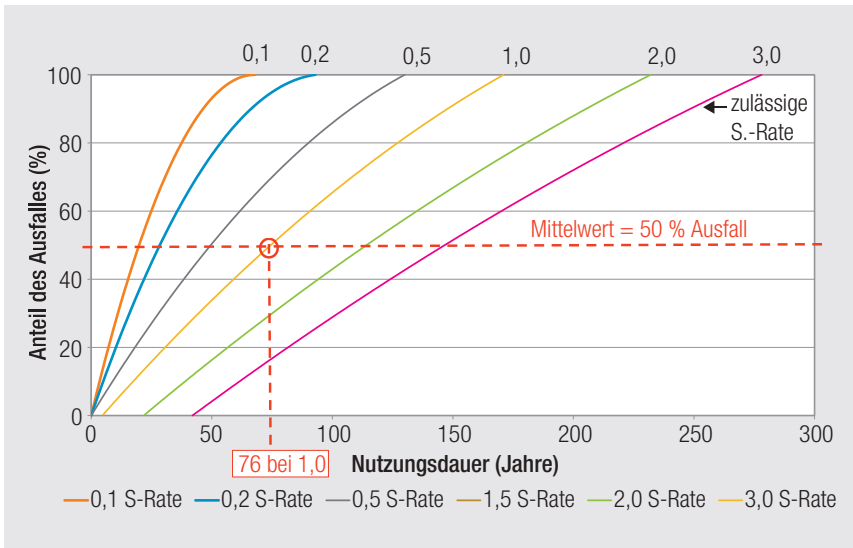


KANEW



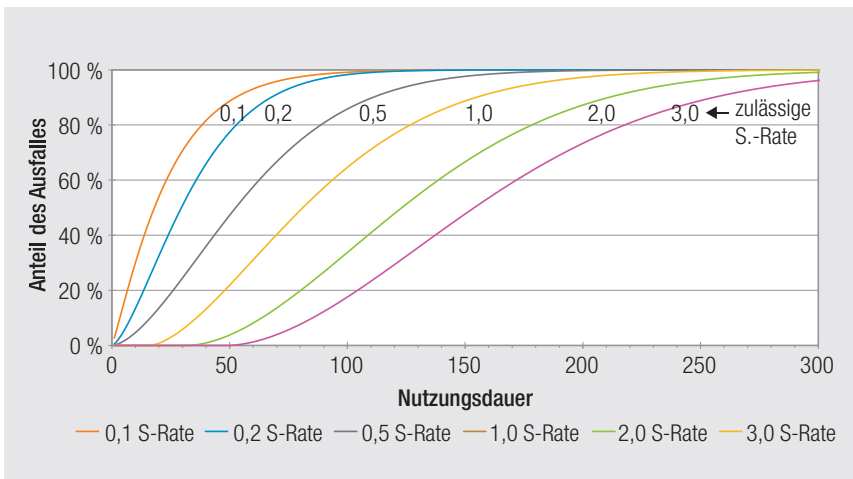
Quelle: Dr. Dietmar Schmidt

Abb. 7: Ausfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der zulässigen Schadensrate für einen einzelnen Leitungsabschnitt



Quelle: Dr. Dietmar Schmidt

Abb. 8: Ausfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der zulässigen Schadensrate für einen einzelnen Leitungsabschnitt gemäß erweiterter Trendfunktion



Quelle: Dr. Dietmar Schmidt

Abb. 9: Ausfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der zulässigen Schadensrate für einen einzelnen Leitungsabschnitt, Weibull-Verteilung, parametrisiert gemäß Trendanalyse

zu gibt der Schnittpunkt der oberen Streufunktion (z. B. 93,75 Prozent Überleben) mit den jeweils vorgegebenen zulässigen Schadensraten (Abb. 6). Der große Vorteil dieser Methode lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Parameter für die Ausgleichs- und Wahrscheinlichkeitsfunktion werden konkret für die untersuchte Anlagen- bzw. Betriebsmittelgruppe unter den gegebenen Rahmen- und Nutzungsbedingungen in einem definierten Versorgungsgebiet ermittelt.
- Der Zusammenhang zwischen höheren oder geringeren Anforderungen an die Versorgungssicherheit und der Nutzungsdauererwartung wird analysiert und beschrieben.
- Der vorab genannte Zusammenhang fließt in die Optimierung von Instandhaltungs- bzw. Rehabilitationsstrategien z. B. durch Variation der zulässigen Schadensraten oder der Nutzungsdauern ein.
- Die in den meisten Fällen schwer begründbare Vorgabe bzw. Schätzung von Nutzungsdauern und Resistenzzeiten entfällt bzw. kann für veränderbare Rahmenbedingungen direkt aus der Trendanalyse abgeleitet werden.
- Die Anschaffungs- bzw. Außerbetriebnahmehistorie dominiert nicht die Prognose der zukünftigen Nutzungsdauer, sondern liefert lediglich Vergleichswerte für eine Plausibilitätsprüfung bei älteren Werkstoffen.
- Die Trendanalyse kann für die Abschätzung des Nutzungsverhaltens jüngerer Werkstoffe herangezogen werden.

Die aus der Trendanalyse für die verschiedenen zulässigen Schadensraten (S-Rate; Schäden/[km*a]) ermittelten Wahrscheinlichkeitsfunktionen mit den daraus resultierenden Ausfallwahrscheinlichkeiten zeigen die **Abbildungen 7 bis 9**.

Um einen Vergleich zu bekommen, wurde nachfolgend beispielhaft die Weibull-Funktion mit den nach der vorab genannten Methode ermittelten Datenpunkten (87,5; 63,2 und Resis-

tenzzeit) für die gegebenen Verhältnisse parametrisiert. Das Ergebnis zeigt auch hier die deutliche Veränderung der Ausfallwahrscheinlichkeit und der Ausfallrate bei Variation der zulässigen Schadensrate (Abb. 9). Prognoserechnungen mit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion, die nicht entsprechend den gegebenen Rahmenbedingungen und bei veränderten Anforderungen an die Zuverlässigkeit angepasst (parametrisiert) wurden, können daher zu einem erheblichen Fehler führen.

Vergleicht man die Ergebnisse aus beiden Analysen (Abb. 8 und 9), ist erkennbar, dass die Ergebnisse tendenziell ähnlich sind, jedoch im Einzelnen nicht unerhebliche Unterschiede hinsichtlich der Nutzungsdauererwartung bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit aufweisen.

Besonders deutlich wird dieser Unterschied bei den Nutzungsdauern im „letzten Lebensabschnitt“, die nach Weibull selbst bei sehr geringen zulässigen Schadensraten ins Unendliche laufen (Abb. 9) und die im Gegensatz hierzu gemäß der zuvor beschriebenen Trendanalyse endlich sind, sodass dieses Ergebnis der Realität näher kommt.

Fazit

Die steigenden Anforderungen an die Sicherheit bzw. Zuverlässigkeit des Anlagenbestandes lassen sich nur

durch die Umsetzung geeigneter Instandhaltungs-/Rehabilitationsstrategien erfüllen.

Die Zustandsentwicklung und die Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. Nutzungsdauererwartung technischer Anlagen als Kernaussage einer Strategie können nicht durch pauschale Annahmen beschrieben werden. Vielmehr sind die konkreten Ausgangsbedingungen im Untersuchungsgebiet und die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den sich gegebenenfalls verändernden Anforderungen an die Anlagensicherheit und der zustandsbedingten Nutzungsdauererwartung zu analysieren und durch geeignete Funktionen zu beschreiben, um den tatsächlichen Instandhaltungs- bzw. Rehabilitationsbedarf zu ermitteln.

Mit Hilfe einer erweiterten Trendanalyse lassen sich Ausfallfunktionen für konkrete Anwendungsfälle aufstellen, die diesen Anforderungen gerecht werden und die zu einem erheblichen „Genauigkeitserfolg“ bei der Aufstellung und Nutzung von Wahrscheinlichkeitsfunktionen für Prognoserechnungen beitragen können. ■

Literatur:

- [1] DVGW 2006: Arbeitsblatt W 400-3: Technische Regeln Wasserverteilung (TRWV). Teil 3: Betrieb und Instandhaltung. (September 2006)
- [2] DVGW 2013: Merkblatt G 403: Entscheidungshilfen für die Instandhaltung von Gasverteilungsnetzen (März 2013)

- [3] Schmidt D. 2005: Der Einfluss der Rehabilitations- und Finanzierungsstrategie auf die Netznutzungskosten und Versorgungssicherheit. In: gwf-Wasser/Abwasser 146 (2005) Nr. 12, S.930-937.
- [4] DVGW 2010b: Arbeitsblatt W 402: Netz- und Schadenstatistik – Erfassung und Auswertung von Daten zur Instandhaltung von Wasserrohrnetzen (September 2010)
- [5] DVGW 2011: Arbeitsblatt G 402: Netz- und Schadenstatistik – Erfassung und Auswertung von Daten zum Aufbau von Instandhaltungsstrategien für Gasverteilungsnetze (Juli 2011)
- [6] Schmidt, D. 2002: Trends, Benchmarks für die Rehabilitation und Bewertung von Wasserversorgungssystemen, dargestellt am Beispiel der Landeshauptstadt Erfurt. Dissertationsschrift, TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Lehrstuhl Stadtbauwesen, ISBN 3-86005-373-6
- [7] Schmidt, D. 2008: Benutzerhandbuch – Software „infrafit®“, Strategische Rehabilitationsplanung für Infrastruktursysteme
- [8] DVGW 2010a: Merkblatt W 403: Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen. (April 2010)
- [9] Schmidt, D. 1999a: Zulässige Schadensrate in Wasserrohrnetzen aus Sicht der Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit am Beispiel des Versorgungsgebietes Erfurt. In: gwf-Wasser/Abwasser 140 (1999) Nr. 1, S.45-50
- [10] Schmidt, D. 1999b: Inkorporating failure rate trends into strategic rehabilitation planning of water distribution networks, the case of Erfurt. In: gwf-Spezial IWA-Sonderheft Water/Wastewater, Jg. 141, Nr. 14 (2000), S.38-42

Der Autor

Dr. Dietmar Schmidt ist Mitglied des Technischen Komitees Wassertransport und -verteilung des DVGW und war langjährig als Gruppen-, Abteilungs- und Betriebsleiter/Prokurist bei der ThüWa ThüringenWasser GmbH tätig.

Kontakt

Dr. Dietmar Schmidt
Zu den Fuchshöhlen 16
99098 Erfurt
Tel.: 0361 4211796
E-Mail: wasser.schmidt.erfurt@gmx.de

25 Jahre

Quadro-Sicura[®] E

Eine für Alle.

Hauseinführung für Gas, Wasser, Strom oder Telekommunikation

DOYMA GmbH & Co
Industriestr. 43-57
D-28876 Oyten
Fon: (0 42 07) 91 66-300
Fax: (0 42 07) 91 66-199
WWW.DOYMA.DE

WEIL SICHER EINFACH SICHER IST.

DOYMA