

Wichtige Kenngrößen für die Zustandsbewertung von Rohrleitungen ¹

Hans-Christian Sorge

Wasserversorgung, Rehabilitationsplanung, Rohrnetzbewertung, Prognose der technischen Nutzungsdauer

Die Instandhaltung der städtischen Trinkwassernetze ist Aufgabenschwerpunkt der Wasserversorgungsunternehmen bzw. Netzbetreiber. Dazu notwendige Rehabilitationsplanungen stützen sich zurzeit weitgehend auf die Trendprognose von Schadensraten und die Erfahrungen der Mitarbeiter. Der Einfluss wesentlicher Kenngrößen wie Werkstoffeigenschaften oder die Resttragfähigkeit des Rohres bleiben hierbei größtenteils unberücksichtigt. Über materialtechnische Untersuchungen werden die notwendigen Kenngrößen ermittelt, die eine zuverlässige Bewertung des technischen Zustands des Rohrstrangs ermöglichen. So lassen sich die Prognose der technischen Nutzungsdauer und Rehabilitationsplanungen auf eine solide Basis stellen.

The maintenance of water supply systems is the main task for water utilities. The requisite planning of rehabilitation/ maintenance is based on forecasting methods of failure frequency of water mains and the experience of the staff. But the influences of important parameters like material characteristics or remaining structural load capacity are mostly unconsidered. Technical tests and the analysis of the properties of the pipe material provide for the parameters that allow putting the forecasting methods of the operating life and the planning of rehabilitation on a sound basis.

1. Gegenwärtige Situation

Der Auf- und Ausbau städtischer Wasserversorgungsnetze ist weitestgehend abgeschlossen. Daher haben sich die Wasserversorgungsunternehmen künftig verstärkt mit der Instandhaltung ihrer Netze zu beschäftigen [1]. Rund zwei Drittel des deutschen Trinkwassernetzes bestehen aus metallischen Rohrleitungen, welche besonders in den Stadtkerngebieten inzwischen eine Betriebszeit von mehr als 100 Jahren aufweisen [2]. Da das Rohrleitungsnetz der Teil mit dem größten Anlagevermögen eines Wasserversorgungsunternehmens ist, bestimmen der Zustand und die zu erwartende Nutzungsdauer des Netzes maßgeblich dessen Qualität und Wirtschaftlichkeit. Eine sichere und wirtschaftliche Versorgung mit Trinkwasser setzt demzufolge eine gezielte Instandhaltung der Netze voraus und bedarf der fundierten Kenntnis über deren Zustand [3].

Eine allgemeine Zustandsverschlechterung an Leitungen und Armaturen verursacht steigende Schadensraten und reduziert die technische bzw. betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer und somit die Funktionsfähigkeit der Netze [4]. Maßnahmen zur Erhaltung bzw. Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Netze sind entsprechende Rehabilitationsplanungen als eine Option der Instandsetzung (Reinigung, Sanierung und Erneuerung) entsprechend den Empfehlungen in DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 und DVGW-Hinweis W 401 [5; 6]. Eine weitere Option der Instandsetzung ist die Reparatur als Zwischenlösung. Bevorzugte Instandsetzungsmaßnahme ist häufig die Reparatur von Rohrschäden mittels Rohrschellen oder der Austausch von kurzen Teilstücken. Der Netzzustand wird jedoch durch Reparaturen – gleichgültig ob planbar oder nicht planbar – nicht verbessert und die technische Nutzungsdauer nicht verlängert [4]. Längerfristig wird ein Rehabilitationsstau verursacht, da die Sanierung bzw. Erneuerung des

¹ Die Arbeit beruht auf der Dissertation des Autors, Weimar 2007 [12]

Rohrnetzes hinausgezögert wird. Kurzfristige wirtschaftliche Vorteile führen also zu längerfristigen Mehrausgaben.

In DVGW-Hinweis W 401 wird der Begriff Instandhaltung als „Maßnahme zur Bewahrung und Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes der Verteilungsanlagen“ definiert. Für die Planung und Durchführung von Rehabilitationsmaßnahmen werden „detaillierte Netzkenntnisse nach Bestand und Zustand“ gefordert. Die vorbeugende und zustandsorientierte Instandhaltung nach DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 soll sich am Ist-Zustand der Leitungen orientieren [5; 6]. Konkrete Untersuchungsverfahren zur technischen Zustandsbestimmung von Netz und Rohrleitung werden aber nicht genannt. Meistens beschränkt man sich in der Praxis auf die Auswertung der sog. Schadensstatistik entsprechend DVGW-Merkblatt W 395 [7]. Der Schadensstatistik als Grundlage für Rehabilitationsplanungen sind jedoch Grenzen gesetzt, da die Daten der Statistik keine hinreichende Auskunft über den tatsächlichen materialtechnischen Zustand der betreffenden Rohrleitungen geben (Zustand der Rohrsubstanz). So ist eine wichtige Kenngröße zur Beurteilung des Rohrzustands, welche nicht aus der Schadensstatistik ableitbar ist, die Resttragfähigkeit. Sie gibt Auskunft darüber, bis zu welcher Belastung (Spannungen) der Rohrquerschnitt noch tragfähig ist. Bisher ist aber das Abschätzen der statischen Resttragfähigkeit eine Ermessensfrage, da keine einheitlichen Regelungen existieren. (Bild 1)

2. Methoden der Rehabilitationsplanung

Die Qualität einer Rehabilitationsplanung ist von den zur Verfügung stehenden Daten zu Rohrleitungsbestand und Zustand der Rohrsubstanz abhängig. Das Alter allein reicht nicht zur Beurteilung des Rohrleitungszustands aus [8]. Die in den vergangenen rd. 100 Jahren erfolgte Weiterentwicklung der Rohrherstellungsverfahren, der Verbindungstechnik und der Ausführung des Korrosionsschutzes führen zu Unterschieden im Alterungsverhalten (z. B. Verschleiß, Korrosionsrate). Dies lässt sich durch die Einteilung in Rohrgenerationen berücksichtigen. Des Weiteren sind die Unterschiede in der Tragfähigkeit und der Korrosionsbeständigkeit zwischen den Rohrwerkstoffen bei bereits verlegten und neu verlegten Rohrleitungen zu ermitteln; Kenngrößen dazu sind z.B. E-Modul, Zugfestigkeit, und Korrosionsschutz. Das Vorgehen und die maßgebenden Kriterien werden in [12] erläutert.

Bild 2 zeigt, wie sich die Rohrnetzbewertung zur Rehabilitationsplanung stufenweise entwickelt hat. Die Prognose von Schadensraten, der Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. der mittleren Nutzungsdauer allgemein und die darauf basierende Rehabilitationsplanung bzw. Rohrnetzbewertung erfolgen zum überwiegenden Teil nach dem in Bild 2 gezeigten Ansatz C unter Zuhilfenahme verschiedener Alterungsfunktionen bzw. Trendfunktionen [9]. Die statische Resttragfähigkeit des einzelnen Rohres und damit verbunden der technische Abnutzungsvorrat als Kennwerte des technischen Zustands werden in diesen Trendfunktionen nicht berücksichtigt. Die Ansätze A und B sind aufgrund der geringen Aussagefähigkeit allenfalls bei kleinerem Netzbestand ausreichend.

Ansätze und Methoden einer technischen Zustandsbeurteilung an erdverlegten Druckrohrleitungen wurden z. B. von Brussig beschrieben [3]. Innerhalb dieser Beurteilung erfolgt aber noch keine Bestimmung und Überprüfung werkstoffspezifischer Eigenschaften wie Zug- oder Druckfestigkeiten. Diese Daten sind für die Beurteilung der statischen Resttragfähigkeit bzw. der Sanierungsfähigkeit jedoch notwendig. Eine weitere Möglichkeit

einer technischen Analyse zur Bestimmung des Ist-Zustands des Rohrleitungssystems (Gas/Wasser) ist die Bewertung korrosionstechnischer Kriterien mit Hilfe der Korrosionsdiagnostik [10]. In Anlehnung an DVGW-Arbeitsblatt GW 9 sind der spezifische Erdwiderstand und damit verbunden die Bodenaggressivität wichtige Kenngrößen zur Beurteilung der Korrosionsgefährdung erdverlegter metallischer Rohrleitungen [11]. Da die Bestandsdaten deutscher Wasserversorgungsnetze meist nur unzulängliche Angaben zur Bodenaggressivität enthalten, wird auch die Korrosionsgefährdung im Zuge von Rehabilitationsplanungen nur unzureichend berücksichtigt [12].

3. Umfassender Ansatz der Rehabilitationsplanung

Eine Beurteilung des Zustands der Rohrsubstanz (Tragfähigkeit) und die Auswahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens sind nach Strategie C in Bild 1 nicht möglich. Erst die Rehabilitationsplanungen nach Strategie D bis F berücksichtigen neben dem Trend der Schadensrate eine technische Zustandsbeurteilung. Das notwendige Werkzeug hierzu ist die materialtechnische Zustandsuntersuchung, mit deren Hilfe die Materialeigenschaften des Rohrwerkstoffs und der Grad der technischen Zustandsverschlechterung (Verschleiß/Korrosion) ermittelt werden (Bild 3). Diese Daten werden zur Beurteilung des technischen Zustands, der Prognose des Ausfallzeitpunkts und zur Auswahl eines passenden Sanierungsverfahrens herangezogen. Im Verhältnis zur Netzgröße kann der Untersuchungsaufwand durch Ergänzung und Verfeinerung der Untersuchungsmethoden (Strategie D bis F) angepasst werden. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte anfangs auf gemittelte Tabellenwerte zurückgegriffen werden und eine Übertragbarkeit weniger Daten auf Rohrleitungsstränge mit ähnlichen Bedingungen durch die Einteilung in Rohrgenerationen vorgenommen werden [12]. Bei kontinuierlicher Untersuchung der Rohrsubstanz erhöht sich über die Zeit der verfügbare Datenumfang, der dementsprechend präzisere Prognosen ermöglicht.

Gemäß Definition in DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 ist das Ende der technischen Nutzungsdauer eines Rohrleitungsstrangs dann erreicht, wenn die tatsächliche Schadensrate einen vom Versorgungsunternehmen festgelegten Schwellenwert der Schadensrate dauerhaft überschreitet [5]. Einen solchen Schwellenwert sachgerecht festzulegen, ist nicht zuletzt durch die Schwächen der Schadensstatistik problematisch. Innerhalb des vorgestellten Prognosekonzepts ist das Ende der technischen Nutzungsdauer dann erreicht, wenn die Tragfähigkeit der Leitung unterschritten wird. Die Tragfähigkeit wird durch Verschleiß, hauptsächlich Korrosion, beeinträchtigt.

In [12] wird ein neues Konzept vorgeschlagen, wie die Prognose bzw. Korrektur der technischen Nutzungsdauer zweckmäßigerweise erfolgt. Dabei wird der Verlauf einer annähernd linearen Zustandsverschlechterung mit dem technischen Ist-Zustand und dem mittleren statistischen Leitungsalter je Rohrgeneration abgeglichen (Bild 4). Befindet sich der festgestellte technische Ist-Zustand in Bereich A, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Verlängerung der technischen Nutzungsdauer gegenüber der statistisch ermittelten Nutzungsdauer zu erwarten. Im Bereich B ist die technische Nutzungsdauer mit dem mittleren statistischen Leitungsalter der entsprechenden Generation gleichzusetzen. Befindet sich dagegen der festgestellte technische Ist-Zustand in Bereich C, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit eine deutlich kürzere technische Nutzungsdauer zu erwarten. Der entsprechende Rohrstrang wird bereits vor dem Erreichen des zugehörigen mittleren statistischen Leitungsalters ausfallen. An den in Bild 4 eingetragenen Beispielen ist zu erkennen, dass bereits ein Großteil der untersuchten Stahlrohre zum Zeitpunkt der Untersuchung (Rohralter im Bereich zwischen Punkt a und Punkt b) den tragfähigen

Mindestzustand unterschritten hatten (Linie c). Das Ende der technischen Nutzungsdauer war theoretisch zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits erreicht.

4. Nutzen und Wirtschaftlichkeit

Die Ermittlung des technischen Zustands durch die materialtechnische Zustandsuntersuchung und die damit verbundene Ermittlung der statischen Resttragfähigkeit lässt im Gegensatz zur Bestimmung des Trends von Schadensraten die Auswahl von Sanierungsmaßnahmen zu. So sind im Schadensfall Sanierungsverfahren auswählbar, welche auf den technischen Zustand der entsprechenden Leitung abgestimmt sind. Durch diese Alternative erschließen sich im Vergleich zu einer Leitungserneuerung Kosteneinsparpotenziale von ca. 15 – 50 % und eine Verlängerung der technischen Nutzungsdauer um ca. 30 – 50 Jahre [13].

Durch die Verwendung der technischen Nutzungsdauer in Kombination mit der Bestimmung der sog. optimalen Nutzungsdauer (Kostenoptimum der Reparaturkosten und Investitionskosten; Prognose der Schadensrate über Trendfunktionen) ist der optimale Zeitpunkt einer Rohrerneuerung korrigierbar. Die optimale Nutzungsdauer muss korrigiert werden, wenn sie die technische Nutzungsdauer überschreitet oder ein auf den technischen Zustand abgestimmtes Sanierungsverfahren den Anstieg der Reparaturkosten verringert und sich somit die optimale Nutzungsdauer verlängert [1; 14].

Des Weiteren ist mit Hilfe der technischen Nutzungsdauer unter Beachtung der in DVGW-Arbeitsblatt W 400-3; Abschnitt 8.4.2 genannten Abwägungskriterien eine mittel- bis langfristige Rohrnetzernuerung planbar [5]. Zum Zeitpunkt des Totalausfalls muss dann die entsprechende Rohrleitung bei unterlassener Sanierung erneuert werden, da eine ausreichende Tragfähigkeit zur Aufrechterhaltung einer sicheren Wasserversorgung nicht mehr besteht (Wasserverluste, Trübungen, Folgeschäden).

5. Ergebnisse und Zusammenfassung

Das vorgestellte Prognosekonzept auf Basis der materialtechnischen Zustandsuntersuchung lässt eine Beurteilung und einen Vergleich der relativen Schädigung der Rohrsubstanz durch Korrosion und somit die Bestimmung des Ist-Zustands zu. Es wird vorausgesetzt, dass im Schadensfall und anschließender materialtechnischer Zustandsuntersuchung mit hoher Wahrscheinlichkeit die Stelle mit den größten Verschwächungen und somit dem ungünstigsten Korrosionsangriff am Rohrleitungsabschnitt analysiert wird. Erfolgt eine materialtechnische Zustandsuntersuchung an Rohrproben, welche ohne ein zugehöriges Schadensereignis geborgen wurde, sind folgende Ergebnisse zum technischen Rohrleitungszustand bestimmbar (präventive Beurteilung, Erhaltung der Anlagensubstanz):

- Prognose der technischen Nutzungsdauer bzw. Restnutzungsdauer
- Zeitpunkt erhöhter Wasserverluste aufgrund von Perforierungen

Voraussetzung ist die Probenbeschaffung am Rohrstrang beispielsweise im Zuge von Arbeiten am Netz (z.B. Armaturentausch, Einbindungen). Fällt die Rohrprobenbergung mit einem (echten) Schadensereignis zusammen, sind

- die statische Resttragfähigkeit der Rohrprobe
- ein auf den Rohrleitungszustand abgestimmtes Sanierungsverfahren

zusätzlich berechenbar bzw. auswählbar.

Die Übertragbarkeit der ungünstigsten Untersuchungsergebnisse auf den gesamten zugehörigen Rohrleitungsabschnitt bei annähernd gleichen Verlegebedingungen (Rohrwerkstoff, Korrosionsschutz, Bodenaggressivität) liegt somit auf der sicheren Seite.

Den Wasserversorgungsunternehmen wird über das oben erwähnte Konzept die Möglichkeit gegeben, Schadensereignissen vorzubeugen. Weiterhin wird die Rohrnetzbewertung mittels Trendprognose von Schadensraten auf Grundlage einer „weichen“ Datenbasis (z. B. mittleres statistisches Leitungsalter, Anzahl von Schäden) mit den Ergebnissen der materialtechnischen Zustandsuntersuchung und der darauf basierenden Prognose der technischen Nutzungsdauer präzisiert und erhärtet. Dadurch wird ein sinnvoller und nachhaltiger Finanzmitteleinsatz im Rahmen einer ganzheitlichen Rehabilitationsplanung für städtische Trinkwasserversorgungsnetze ermöglicht und eine hohe Versorgungsqualität gewährleistet.

Die Forschungsarbeiten zur Rehabilitation und zur materialtechnischen Zustandsuntersuchung sollen am Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. (FITR) weitergeführt werden.

Dr.-Ing. Hans-Christian Sorge
Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V.
Georg-Haar-Straße 5
99427 Weimar
Telefon: + 49 (0) 36 34 – 82 68 57
E-Mail: christian.sorge@fitr.de

- [1] Roscher, H.: Das 21. Jahrhundert – Jahrhundert der Rehabilitation unserer Wasserversorgungsnetze. in: gwf Wasser Abwasser, 146 (2005), Nr. 12, S. 912-923.
- [2] Buckler, M.; Sattler, R.: DVGW-Statistik Wasser, erste Auswertung und Umsetzung. gwf Wasser Spezial, 140 (1999), Nr. 13, S. 48 - 53
- [3] Brussig, P.: Die Sanierung erdverlegter Druckwasserleitungen aus Stahl und Grauguss – Untersuchungs- und Entscheidungskriterien für eine Auskleidung mit Zementmörtel. 3R international, Jg. 33 (1994), Nr. 7, S. 350-355.
- [4] Roscher, H.; Sorge, H.-C.: Materialtechnische Zustandsuntersuchung von Wasserrohrleitungen. bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau. 56 (2005), Nr. 9, S. 18-24.
- [5] DVGW-Arbeitsblatt W 400-3: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen, Teil 3: Betrieb und Instandhaltung, Ausg. 09/06, WVGW- Verlag Bonn.
- [6] DVGW-Hinweis W 401: Entscheidungshilfen für Rehabilitation von Wasserrohrnetzen, Ausg. 07/97, WVGW-Verlag Bonn.
- [7] DVGW-Merkblatt W 395: Schadensstatistik für Wasserrohrnetze, Ausg. 07/98, WVGW-Verlag Bonn.

- [8] Rötsch, D.: Zuverlässigkeit von Rohrleitungssystemen. Fernwärme und Wasser, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1999.
- [9] Roscher, H u. a.: Vergleich von Bewertungssystemen für Rohrleitungen, Wasser- und Gasrohrnetze. Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben GW 3/04/02, Erfurt 2005.
- [10] Nowak, K.-E.: Korrosionsdiagnostik – Ein Beitrag zur qualifizierten Rehabilitation von Stahlrohrleitungen. 3R international, 42 (2003), Nr. 6, S. 409-414.
- [11] DVGW-Arbeitsblatt GW 9: Beurteilung von Böden hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens auf erdverlegte Rohrleitungen und Behälter aus unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen. Ausg. 03/86, WVGW-Verlag Bonn.
- [12] Sorge, H.-C.: Technische Zustandsbewertung metallischer Wasserversorgungsleitungen als Beitrag zur Rehabilitationsplanung. Dissertation Erfurt/ Weimar 2006 (müsste es nicht 2007 heißen??)
- [13] Conradin F., Hahn H.-H: Handbuch Wasserversorgungs- und Abwassertechnik, Band 1 – Rohrnetztechnik, 6. Ausgabe, Vulkan-Verlag, Essen 1999.
- [14] Ahrens, J.: Bestimmung der optimalen Rehabilitationsrate für das Wasserrohrnetz von Berlin, Vortrag zum 4. Thüringer Wasserkolloquium an der Fachhochschule Erfurt, 27.05.1999.



Bild 1: Stahlrohr mit mehreren Schäden durch Lochkorrosion – Reparieren, Sanieren oder Erneuern?

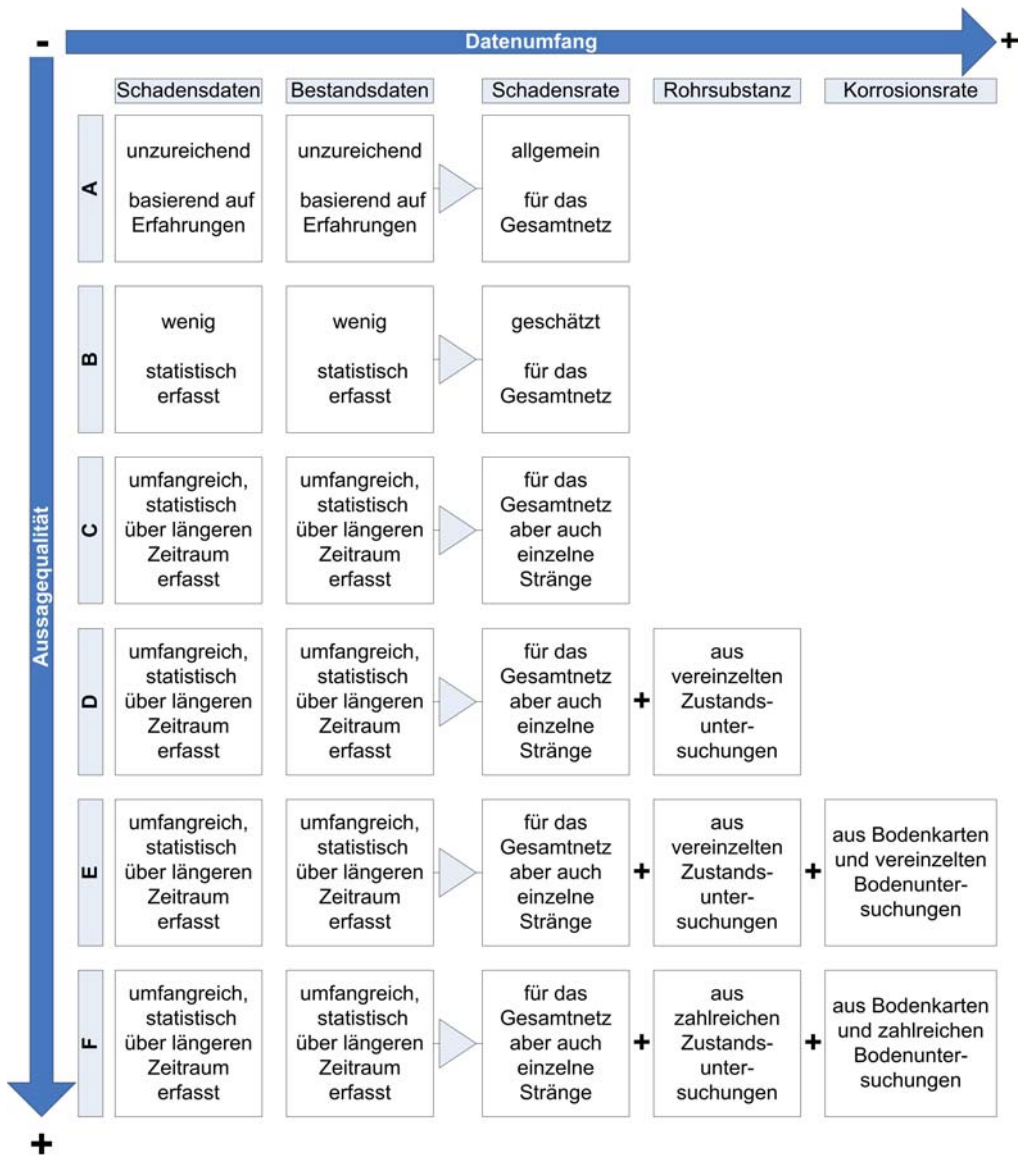


Bild 2: Stufenweise Verbesserung der Aussagequalität der Rehabilitationsplanung in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Daten zum Rohrleitungsbestand

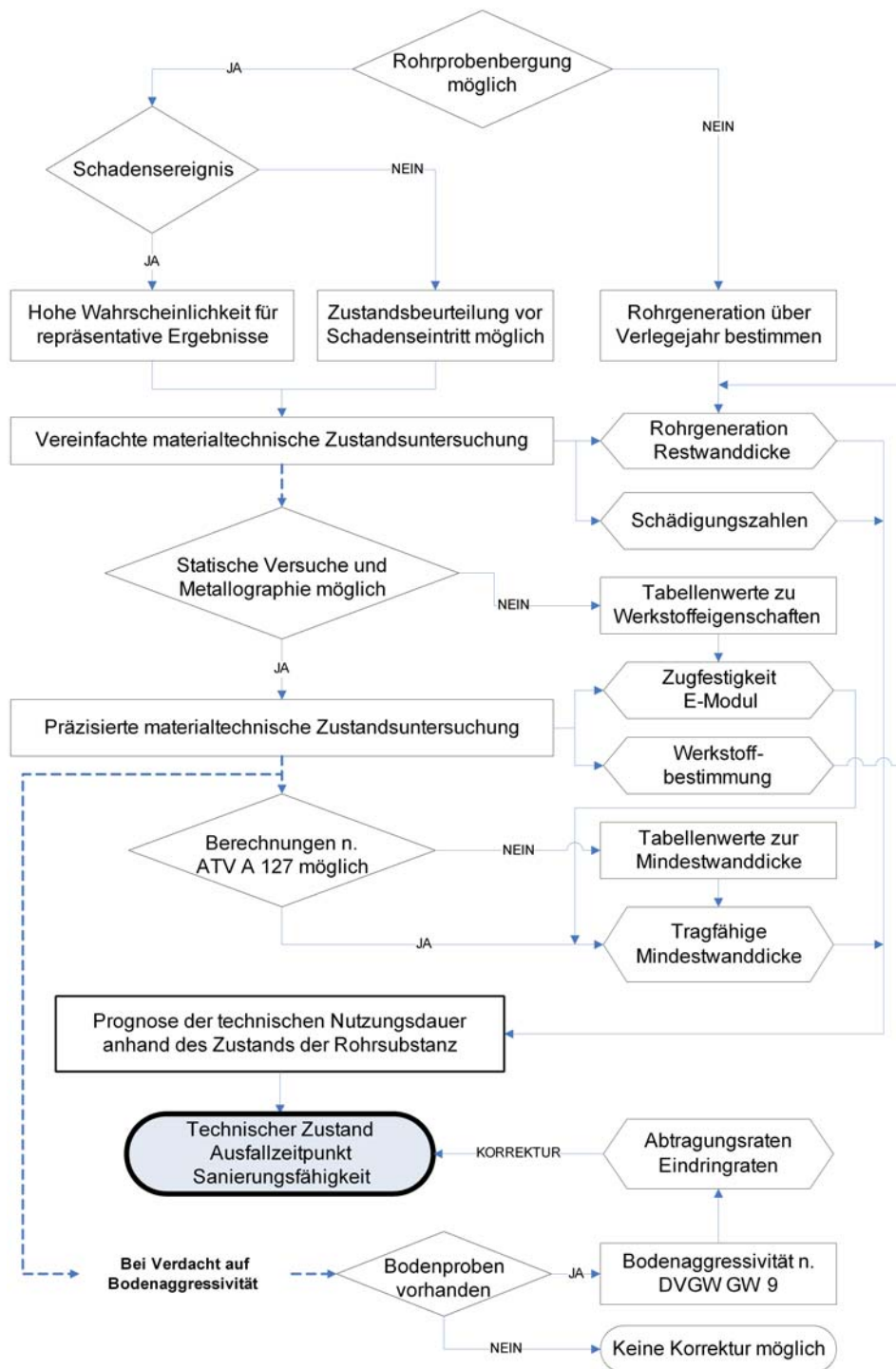


Bild 3: Ablaufschema zur Prognose der technischen Nutzungsdauer

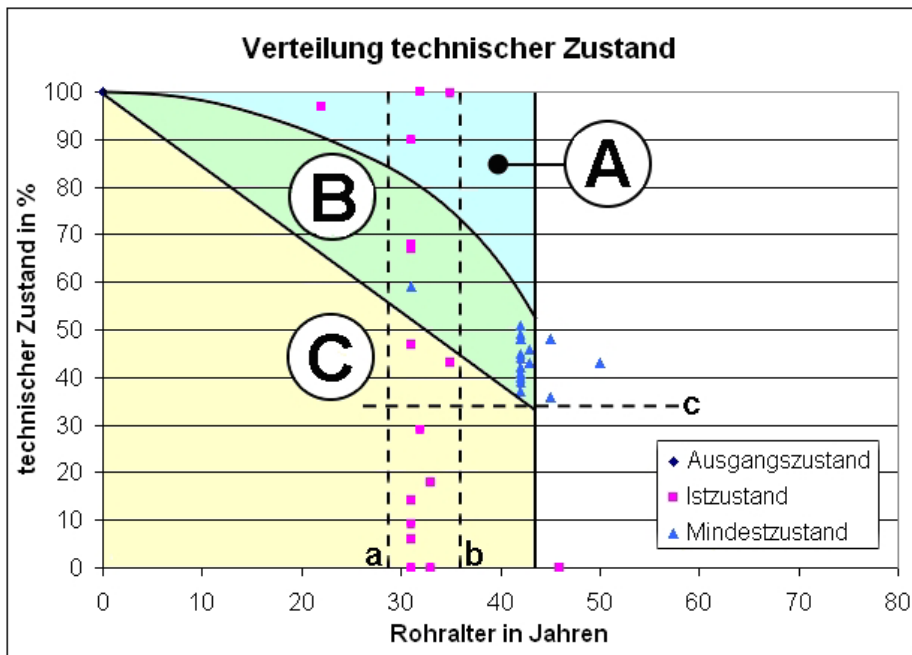


Bild 4: Verteilung der technischen Ist- und Mindest-Zustände untersuchter Stahlrohrproben