

„Lebensdauerabschätzung einwandiger unterirdischen Rohrleitungen in komplexen / komplizierten Rohrleitungsnetzen – Rechnerischer Ansatz zur Erstauswahl „

Im Anlagensicherheitsreport 2013 wurde bereits im Beitrag „Möglichkeiten der Berücksichtigung des Standes der Technik bei der Entwicklung von Prüfkonzepten zur Lebensdauerabschätzung von einwandigen unterirdischen Rohrleitungen nach TRwS 789 und einwandigen unterirdischen Behältern nach TRwS 790“ auf das Erfordernis eines (dauerhaften) schlüssigen Prüfkonzeptes eingegangen.

Mit diesem Beitrag soll eine Handlungshilfe für ein Vorauswahlverfahren von Rohrleitungsabschnitten für weiterführende meßtechnische Untersuchungen innerhalb von komplexen und/oder komplizierten Strukturen einwandiger unterirdischer Rohrleitungen als Bestandteil eines solchen Prüfkonzeptes aufgezeigt werden,

Ein Prüfkonzept sollte möglichst viele Prüfkriterien beinhalten und diese sinnvoll miteinander verknüpfen, so dass sich daraus ein möglichst hohes Maß an statistischer Sicherheit bei der Abschätzung der Entwicklungsprognose der unterirdischen Rohrleitungsanlagen ergibt.

Die Prognose ist nicht nur eine wesentliche Voraussetzung für die Einschätzung eines sicheren Weiterbetriebs, sondern auch Grundlage für die erforderliche behördliche Zustimmung dazu.

Spektakuläre Schadensfälle in den letzten Jahren werfen immer wieder die Frage nach der Sicherheit von Prognosen und damit auch nach der Qualität der angewandten Prüfkonzepte auf.

Die Sicherheit der Entwicklungsprognose einer Anlage steht zweifelsfrei in direktem Zusammenhang mit dem betriebenen Prüfaufwand und verfügbaren Stützinformationen. Im Spagat zwischen möglichst sicherer Prognose und der Verhältnismäßigkeit zu dem dafür erforderlichen Prüfaufwand werden nach meiner Auffassung häufig verfügbare Informationen gar nicht oder nur intuitiv genutzt.

Zur Sicherheit der Entwicklungsprognose trägt aber auch der Betreiber bei, der ggf. zusätzliche Anforderungen einhalten muss, die Besonderheiten, sowie die Betriebsbedingungen seiner Anlage kennt und letztere auch für den Weiterbetriebszeitraum beeinflussen kann.



Rohrleitungsfreilegung zur Prüfung

Im Bereich von Großanlagen, mit verzweigtem einwandigen unterirdischen Rohrleitungssystem, das z.T. über Jahrzehnte gewachsener ist, besteht die Möglichkeit, für differenzierte Gefährdungen auch die Prüfkonzepte zu differenzieren.

Es ist sinnvoll, die Planungen von Prüfung und Instandhaltung und/oder Erneuerung von Anlagenbestandteilen auf der Basis von möglichst gesicherten Erkenntnissen zu betreiben.

Mit dem hier aufgezeigten Berechnungsverfahren können Rohrleitungsabschnitte mit potentiell höherer Gefährdung, von denen mit nicht so hoher Gefährdung unterschieden werden. Auf der Basis dieser Erkenntnisse können die Rohrleitungen dann in Abhängigkeit von der ermittelten Gefährdung sowohl in zeitlich als auch meßtechnisch abgestufter Weise weiter untersucht, oder ggf. auch erneuert werden.

Wesentlichster Bestandteil eines solchen Vorauswahlverfahrens ist die rechnerisch sinnvoll Verknüpfung von bereits bekannten oder (leicht) verfügbar zu machenden Informationen die auch als Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Rohrleitungsabschnitte untereinander dienen.

Solche Unterscheidungsmerkmale lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Unterscheidungsmerkmale die zustandskennzeichnend sind oder zustandsbeeinflussend sein können (s. A und B)
- Unterscheidungsmerkmale die sich aus Vorsorgekriterien ergeben (s. C)

A) zustandsbezogene Parameter, wie z.B.:

- der auf die Rohrleitungsoberfläche normierte kathodische Schutzstrom
- das Ergebnis von Spannungstrichtermessungen über den Rohrleitungsverlauf
- das Alter der Rohrleitung
- die Wandstärke der Rohrleitung

B) umgebungsbezogene Parameter, wie z.B.:

- geologische Besonderheiten im Bereich des Rohrleitungsverlaufes, u.a.
 - die Bodenaggressivität (Bodensalzgehalt)
 - das Vorliegen von Wasserwechselbereichen im Boden oder
 - das Vorliegen von bindigen Schichten mit oder ohne Wasserführung
- weitere Einflüsse durch Umgebung oder bekannte Nachbaranlagen

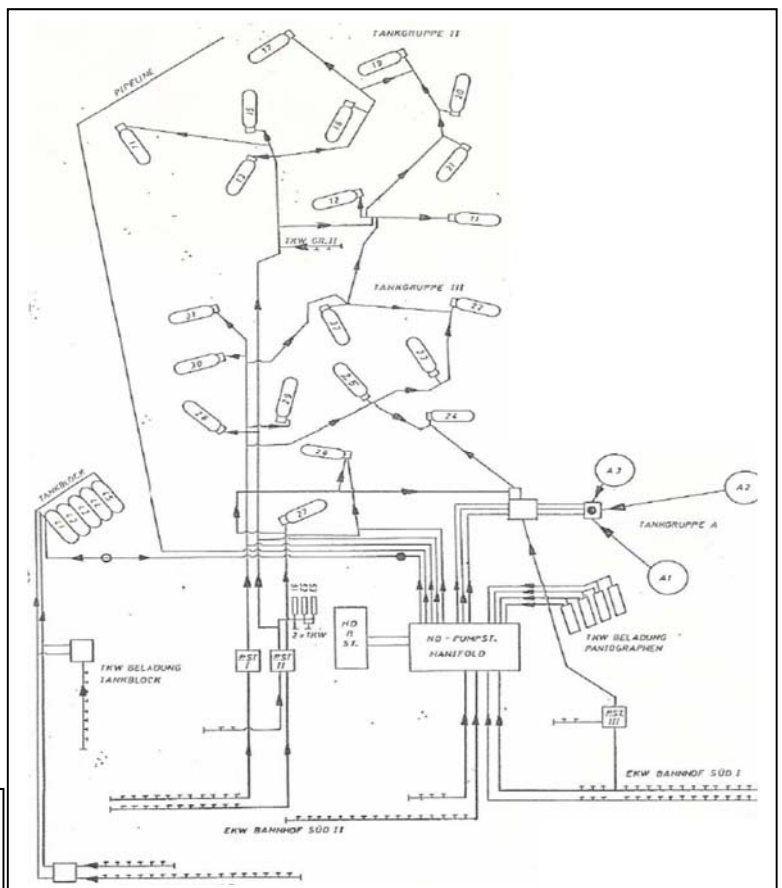
C) gefahren- bzw. vorsorgebezogene Kriterien, wie z.B.:

- Volumen der Rohrleitung zwischen zwei Absperrarmaturen oder
- Lage eines Rohrleitungsabschnittes innerhalb oder außerhalb eines Wasserschutzgebietes

Sicherlich ließen sich, je nach Besonderheiten der Anlage, neben diesen allgemeingültigen auch noch weitere Unterscheidungsparameter finden und entsprechend wichten, die dann weitere Differenzierungen in der Bewertung einzelner Bestandteile des Rohrleitungsnetzes zulassen und damit auch zu weiteren unterschiedlichen (z.B. meßtechnischen) Schritten innerhalb des Prüfkonzeptes führen können.

Ein wesentlicher Einflussparameter kann z.B. auch die elektrische Fremdbeeinflussung von unterirdischen Rohrleitungen durch Bahnanlagen oder Kabeltrassen sein. Diese hängt allerdings von vielen Faktoren ab und ist meßtechnisch auch nur sehr eingeschränkt erfassbar.

Beispiel eines auf ca. 180 ha Fläche bestehenden einwandig unterirdischen Rohrleitungssystems für WGK 2 – Stoffe.



Nachstehend sind ein beispielhaftes Berechnungsverfahren und die dafür verwendeten einzelne Parameter für ein komplexes System unterirdischer Rohrleitungen einer realen Anlage näher beschrieben:

Beispiel:

Am Beispiel der nachstehend überschlägig beschriebenen einwandigen unterirdischen Rohrleitungsanlage eines Großtanklagers sei dargestellt, dass sich bei sinnvoller Verknüpfung innerhalb eines Berechnungsverfahrens und einer Wichtung der (oft vorhandenen) Einzelparameter durchaus differenzierte Gefährdungen abschätzen lassen, so dass da heraus auch weiter differenzierte Vorgehensweisen bezüglich messtechnischer Untersuchungen festgelegt werden können.

Anlagenbeschreibung:

Flächenausdehnung der Rohrleitungsanlage:	ca. 320 ha
Baujahr der Rohrleitungen:	Ende der 60-er bis Mitte der 80-er Jahre
Anzahl der Rohrleitungen:	ca. 250 (z.T. in gemeinsamen Trassen verlegt)
Rohrleitungsdurchmesser:	DN 32 – DN 400
Anzahl der Absperrarmaturen:	>> 500
Produkte:	Mineralölkohlenwasserstoffe max. WGK 2
Rohrleitungslängen der einzelnen Abschnitte:	10 m – 1.590 m
Gesamtvolumen der Rohrleitungsanlage:	ca. 3.200 m ³
Besonderheiten:	industrielle PE-Isolation der Rohrleitungen (außer Schweißnähte) aktiver kathodischer Korrosionsschutz Anlage z.T. im Wasserschutzgebiet

Verwendet Parameter

1. Faktor Volumen:

„F_V“

- ✧ Der Volumenfaktor bewertet die Gefährdung durch das in der Rohrleitung enthaltene Volumen bei undichter, aber an beiden Seiten abgesperrter Rohrleitung. (maximale Auslaufmenge)
- ✧ Je größer das Rohrleitungsvolumen, desto größer die potentielle Gefährdung (in Anlehnung an die Gefährdungsstufen A - D in der Muster-VAWS).
- ✧ Es wurde nur von einer Wassergefährdungsklasse (2) ausgegangen. Wenn Rohrleitungen Produkte mit verschiedenen Wassergefährdungsklassen fest zugeordnet werden können, ergibt sich hier als zusätzliches Kriterium die Wassergefährdungsklasse.

2. Faktor Bodenbeschaffenheit:

„F_{BB}“

- ✧ Der Faktor Bodenbeschaffenheit bewertet die Gefährdung die durch Aggressivität des Umgebungsbodens auf die Isolation der Rohrleitung oder möglicherweise schon auf die Rohraußenwand wirkt.
- ✧ Eine hohe Bodenleitfähigkeit deutet auf hohen Gesamtsalzgehalt des Bodens hin und damit auf eine hohe Bodenaggressivität gegenüber Metallen.

- ✧ Voraussetzung für diese Messungen ist eine ausreichende Bodenfeuchte.
- ✧ Weitere Kriterien könnten sein, ob die Rohrleitung möglicherweise im Grund- oder Schichtenwasser liegt, oder gar im Wechselbereich des Grund- oder Gezeitenwasserstandes. Dann würden auch Wasseruntersuchungen Aufschluss über die Umgebungsaggressivität geben.

3. Faktor Kathodische Schutzstromdichtedifferenz: „F_{KKS}“

- ✧ Die kathodische Schutzstromdifferenz, I in [mA] trifft eine Aussage darüber, wie sich die Stromaufnahme des kathodischen Korrosionsschutzes im Verlaufe der Zeit verändert hat.
- ✧ Die Hauptursache kann Außenkorrosion sein, aber auch Strombrücken über die Isolierflansche. (Bei auffälliger Schutzstromdifferenz sollte die aktuelle Messung wiederholt werden, nachdem zuvor Sediment-Strombrücken über die Isolierflansche eliminiert wurden)
- ✧ Es kann davon ausgegangen werden, dass während der ersten drei Jahre des Bestehens eines aktiven Kathodenschutzes die Rohrleitung noch eine Sättigung erfährt. Deshalb sollten als Basiswerte zur Bildung der Schutzstromdifferenz einmal der Schutzstrom drei Jahre nach Errichtung des Kathodenschutzes, sowie die letzte aktuelle Messung dienen.
- ✧ Um die Rohrleitungen trotz unterschiedlicher Oberflächen auch bezüglich ihres Schutzstromes untereinander vergleichen zu können, ist es erforderlich, den Schutzstrom auf die Rohrleitungsoberfläche zu normieren.
- ✧ Die dadurch erhaltene kathodische Schutzstromdichte I in [$\mu\text{A}/\text{m}^2$] lässt sich wie oben beschrieben zur Differenzbildung heranziehen (Schutzstromdichtedifferenz) und kann zur Bewertung der Gefährdungsentwicklung auf die Rohrleitung von außen dienen.

4. Faktor Wasserschutzgebiet: „F_{Wsg}“

- ✧ Der Faktor Wasserschutzgebiet wurde mit einer Wichtung von 1,25 : 1,00 angenommen. (Die Ermittlung erfolgte empirisch um Über- oder Unterbewertung gegenüber anderen Faktoren möglichst zu vermeiden)
- ✧ Er soll bewirken, dass Rohrleitungen, die in Wasserschutzgebieten liegen und technisch gleich bewertet sind, wie Rohrleitungen außerhalb von Wasserschutzgebieten, früher einer näheren Untersuchung zugeführt werden.
- ✧ Hiermit wird einer direkten Gefährdung von Wassergewinnungsbioten bei einem Schaden Rechnung getragen.

5. Summand Alter der Rohrleitungen: „S_A“

- ✧ Mit dem „Summand Alter“ soll die Gefährdung durch Verschleiß, infolge Nutzung und Lastwechsel ersatzweise bewertet werden, da in der Regel reale Betriebsbedingungen nicht über den Lebensdauerzeitraum dokumentiert und damit bewertbar sind.

6. Summand Wandstärke der Rohrleitungen: „S_{WS}“

- ✧ Der Summand Wandstärke ergänzt als Komplement den „Summand Alter“.
- ✧ Damit sind Rohrleitungen unterschiedlichen Alters und gleicher Wandstärke, sowie unterschiedlicher Wandstärke und gleichen Alters durch Bildung einer Summe aus beiden bewertbar.
- ✧ Der Einfachheit halber wurde hier Alter mit Wandstärkenverlust gleich gesetzt.
- ✧ Als Wandstärke wird die Nennwandstärke der Rohrleitung, verwendet, sofern nicht von allen zu vergleichenden Rohrleitungen Messergebnisse aus Wandstärkenmessungen vorliegen.

Verknüpfung der Parameter zum Berechnungsverfahren

Ergebnis „N“: $N = F_V * F_{BB} * F_{WSG} * (S_A - S_{WS}) * F_{KKS} / 299,2$ in [%]

- ✧ Das Ergebnis liefert die zeitliche **Notwendigkeit** der näheren Untersuchung als Vergleich zwischen verschiedenen Rohrleitungen.
- ✧ Der besseren Verständlichkeit wegen erfolgt die Darstellung in Prozent.
- ✧ 100 % bedeuten, dass alle Faktoren mit ihrem jeweils ungünstigsten Einzelkriterium eingetroffen sind.
- ✧ Der Divisor 299,2 ergibt sich durch mathematische Limesbildung der Grenzwerte aller einzelnen Parameter und dient nur der prozentualen Darstellung.

Wichtung der Parameter

Kriterium	Formelzeichen	Bewertung			
-----------	---------------	-----------	--	--	--

Volumen nach VAwS (A-D)	F _V	10 ³ Liter			
WGK 2		0 bis 1	1 bis 10	10 bis 100	über 100
Wichtung		1	2	3	4

Bodenbeschaffenheit	F _{BB}	elektrische Leitfähigkeit [in Ohm*cm]			
		>20.000	10.000 - 20.000	5.000 - 10.000	3.000 - 5.000
Bodenaggressivität		keine	gering	mäßig	aggressiv
Wichtung		1	2	3	4

Kathodischer Schutzstrom	F_{KKS}	Schutzstromdifferenz			
[I in mA]		0 bis 10	10 bis 50	50 bis 100	100 bis 200
normiert auf RL-Fläche [I in $\mu\text{A} / \text{m}^2$]		> - 10	-10 bis -100	-100 bis -1000	< -1000
Wichtung		1	2	3	4

Wasserschutzgebiet	F_{WSG}	kein WSG = 1; WSG = 1,25
--------------------	-----------	--------------------------

Alter	S_A	neue Rohrleitung = 1; + 0,1 / a (Alter)
-------	-------	---

Wandstärke	S_{ws}	+ 0,1 / mm Nennwandstärke
------------	----------	---------------------------

Notwendigkeit der näheren Untersuchung	N	Ergebnis
--	---	----------

Erstaunlicherweise zeigten die Berechnungsergebnisse für die oben beispielhaft genannte Anlage,

- dass die Rohrleitung mit dem schlechtesten Gesamtberechnungsergebnis mit nur einem Prozentsatz von ca. 23 % alle maximal möglichen Negativkriterien erreichte. (Ohne Berücksichtigung der gefahren- bzw. vorsorgebezogene Kriterien sogar weniger als 10 %)
- dass die Rohrleitung mit dem besten Gesamtberechnungsergebnis bei nur 0,56 % aller maximal möglichen Negativkriterien lag.

Selbstverständlich wurden daraus auch jene Rohrleitungen ermittelt die für einen der Parameter den schlechtesten Einzelwert besaßen und entsprechende Ursachenforschung betrieben.

Nur sechzehn Rohrleitungen (von ca. 250) hatten ein schlechteres Gesamtergebnis als > 10%, nur vierzehn Rohrleitungen hatten ein besseres Ergebnis als < 1 %, alle anderen lagen dazwischen.



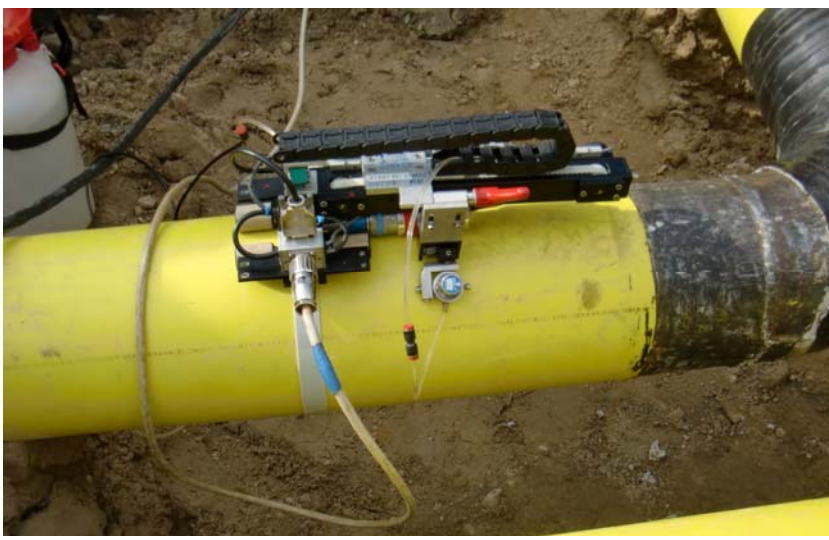
Bild oben: Erster Eindruck während des Abisolierens, in Vorbereitung der Messung einer unterirdischen Rohrleitung

Bild unten: Prüfgrube mit zur Messung vorbereiteten Rohrleitungen mit aufgesetzten automatischen 360°-Ultraschall-Messgerät





Oberes Bild: nachisolierte Rohrleitungen nach Ultraschallmessung
 Unteres Bild: Ultraschallmessung durch die industrielle Isolation



Für die oben beschriebene Anlage wurde auf Grund der Berechnungsergebnisse und in Abstimmung mit der zuständigen unteren Wasserbehörde im weiteren Prüfkonzept festgelegt, dass:

- die sechzehn Rohrleitungen mit dem schlechtesten Ergebnis auf Ihrer gesamten Länge auf Spannungstrichter untersucht werden.
- im Bereich aufgefundener Spannungstrichter die jeweilige Rohrleitung freizulegen, abzuisolieren und mit Ultraschall auf dem kompletten Umfang über 500 mm Länge die Wandstärke zu vermessen und die Rohrleitung dann neu zu isolieren.
- Bei Öffnung von Rohrtrassen (wegen Spannungstrichter einer Rohrleitung) werden alle an dieser Stelle in der gleichen Tasse befindlichen Rohrleitungen an erkennbaren Nachisolationsstellen wie oben oder als Durchmesser zu untersuchen, um mit geringem Mehraufwand das statistische Untersuchungsrastrer zu vergrößern (an diesen Rohrleitungen wurden keine Öffnung von industrieller Isolation vorgenommen).

Sukzessive wurden über einen Zeitraum von fünf Jahren bei allen Rohrleitungen in der Reihenfolge der Berechnungsergebnisses, Spannungstrichtermessungen durchgeführt.

Bei vielen dieser Spannungstrichter konnten als Ursache Isolationsfehlstellen ermittelt und diese nach erfolgter Messung verbessert werden.

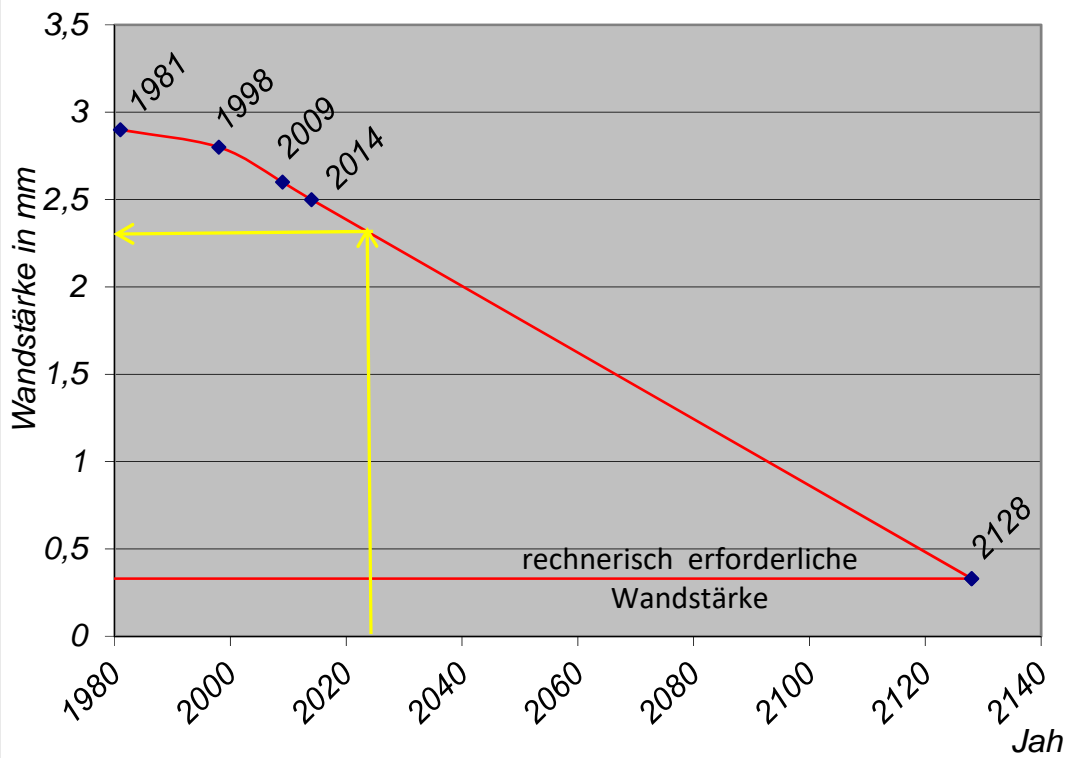
Mit Ausnahme einiger, weniger Rohrleitungen, deren Schutzstromdifferenz besonders auffällig waren und bei denen deshalb Sediment-Strombrücken vor Wiederholungsmessungen entfernt wurden, mußten keine Rohrleitungen außer Betrieb genommen werden und Betriebseinschränkungen blieben die Ausnahme.



Im Produkt mitgeführte Sedimente können sich als Brücke über dem Isolierflansch ablagern und damit den kathodischen Schutzstrom der Rohrleitungen beeinflussen.

Lebensdauerkennlinie für Meßstelle 2.13

September 2014



Die graphische Darstellung der zu verschiedenen Zeiten erzielten Messwerte veranschaulicht, auch die ermittelten Prognosewerte nach 10 Jahren.

Die Erfahrung zeigt allerdings, dass dem Betreiber häufig weder eine solche graphische noch eine tabellarische Darstellung der Meßwerte oder gar einen Meßstellenplan übergeben wird, sondern häufig nur der Prüfbericht mit dem Ergebnis der Befürwortung des weiteren Betriebes über die nächsten fünf Jahre.

Hier müssen die prüfenden Sachverständigenorganisationen ihrer Qualitätssicherungspflicht besser gerecht werden.

Die meisten der mir bekannten Betreiber von einwandigen unterirdischen Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen sind sich Ihrer Verantwortung und der sich für den Weiterbetrieb dieser Anlagen zusätzlich ergebenden Verpflichtungen bewußt, stehen der Umsetzung des Standes der Technik bei der Weiterentwicklung der Prüfkonzepte i.d.R. positiv gegenüber und beteiligen sich auch daran.

Für problematisch halte ich allerdings die Tendenz einiger Betreiber, die nicht nur die vor- und nachbereitenden Tätigkeiten einer Prüfung, sondern neben diesen auch die Prüftätigkeit und Lebensdauerabschätzung durch den Sachverständigen selbst, vollständig in die Hände von Subunternehmen zu legen.

Noch in 2013 war z.B. als Prüfkonzept in einer Ausschreibung, mit deren Umsetzung ein Subunternehmer durch einem Betreiber von einwandigen unterirdischen Rohrleitungen beauftragt war, zu lesen:

„Die Dichtheitsprüfung ist bei teilweise mit Lagergut (Kraftstoff) gefüllter Rohrleitung unter Verwendung von Stickstoff als Druckmittel auszuführen. Betriebsrohrleitungen auf 1,3-fachen Betriebsdruck (siehe Anlage) setzen und dem Sachverständigen des ZÜS / TÜV zur Sicherheitsbetrachtung / Lebensdauerabschätzungen gem. TRwS 789 vorstellen.“ Vorabstimmung zum Prüfkonzept mit dem Sachverständigen – Fehlanzeige !

Nachdem der (oftmals billigste) Subunternehmer den Zuschlag erhalten hat, sucht dieser nach dem Sachverständigen der nach den (durch den Subunternehmer kalkulierten) Vorgaben des Betreibers prüft.

Ein direkter Austausch zwischen Betreiber und Sachverständiger über ein aussagefähiges Prüfkonzept nach dem Stand der Technik kann hier schon aus vertraglichen Gründen nur noch eingeschränkt zustande kommen. Genau aber dieser enge Dialog zwischen Betreiber und Sachverständigen ist erforderlich, um ein speziell auf die Anforderungen der Anlage abgestimmtes Prüfkonzept zu entwickeln, mit dem aussagekräftige Prüfergebnisse erzielt werden können.

An dieser Stelle sei nochmals darauf verwiesen, dass die Technischen Regeln wassergefährdender Stoffe Mindeststandards darstellen, für deren Einhaltung sowohl der Betreiber einer Anlage zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, als auch die prüfenden Sachverständigen hier originäre Verantwortung tragen. Ein Austausch zwischen den Sachverständigenorganisationen zu Mindeststandards der Prüfkonzepte, wäre nach wie vor wünschenswert.