

## Prüfung von Rohrumhüllungen

Dr. G. Heim, Hilden

Zum sicheren und wirtschaftlichen Korrosionsschutz von Stahl- und Gußrohrleitungen gegen Korrosionsangriffe werden Rohrumhüllungen vorwiegend als passive, teilweise als aktive Korrosionsschutzmaßnahme angewendet. Die Wirkung des Korrosionsschutzes hängt von der Qualität der Umhüllungen ab; die Umhüllungsqualität muß so gut sein, daß ein Langzeitschutz über Jahrzehnte gegeben ist. Zur Sicherstellung der Umhüllungsqualität sind in den letzten Jahren eine Reihe von Normen aufgestellt worden. In diesen Normen werden Anforderungen der wichtigsten Eigenschaften des jeweiligen Umhüllungssystems aufgeführt und die hierzu notwendigen Prüfungen im einzelnen beschrieben /1/ bis /10/.

Bei der Bewertung dieser Normen muß man sich darüber im klaren sein, daß die Prüfung von Rohrumhüllungen immer nur eine notwendige Bedingung für die Schutzwirkung darstellen. Im Sinne einer hinreichenden Bedingung ist es Aufgabe der Hersteller der Umhüllungen durch fachgerechte Einrichtungen und ständige Qualitätskontrollen für die Auslieferung von qualitativ guten Umhüllungen zu sorgen. Aufgabe der Rohrverleger ist es die Verlegungsarbeiten mit der gebotenen Sorgfalt auszuführen. Es sei vermerkt, daß der Begriff notwendige und hinreichende Bedingung aus dem Sprachgebrauch der Mathematik bei einer Beweisführung übernommen wurde.

Zur Erfüllung der als notwendig bezeichneten Bedingung sind in den Normen sogenannte Typenprüfungen an umhüllten Rohrabschnitten in Abständen von 3 Jahren vorgesehen. Von den Herstellern der Umhüllungen werden in den Normen Prüfungen verlangt, die die Umhüllungsqualität sicher stellen. Die Art

dieser Prüfungen ist für die verschiedenen Rohrumhüllungen unterschiedlich. Entscheidend ist, daß der Hersteller in seinem Ermessen so viele Prüfungen durchführt, daß die Forderung der Sicherstellung erfüllt ist. Es muß betont werden, daß der Hersteller nur zerstörungsfrei arbeitende Prüfungen wie zB. Schichtdicke und Porenfreiheit, laufend durchführen kann. So kann zB. der Schälwiderstand nur stichprobenweise durch zerstörende Untersuchungen geprüft werden.

Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Normung von Rohrumhüllungen bestand in dem Bestreben, vorzugsweise die fertige Rohrumhüllung zu prüfen. Hierdurch ist es möglich den Einfluß des Beschichtungsvorganges und der Oberflächenvorbereitung zu erfassen. Dieses Vorhaben läßt sich aber nicht konsequent in allen Fällen durchführen. So wurde zB in DIN 30673 /4/, insbesondere aber in DIN 30672 /3/, die Prüfung von Ausgangsstoffen in die Normen aufgenommen.

Bei allen Normen wurde darauf geachtet, den Prüfumfang auf den notwendigen Umfang zu begrenzen. Man kann sicher sehr viel mehr Prüfungen in die Normen aufnehmen, wodurch die Übersichtlichkeit erheblich leidet. Letzten Endes müssen aber auch wirtschaftliche Gesichtspunkte, dh. die aufzuwendenden Prüfkosten, ihre Berücksichtigung finden.

Für die technisch angewendeten Umhüllungssysteme werden sowohl organische als auch anorganische Beschichtungsstoffe - in einigen Fällen auch als Kombination - eingesetzt. Da die Anforderungen und damit auch die Prüfungen - je nach der Beschichtungsart - unterschiedlich sind, sollen diese getrennt besprochen werden.

Rohrumhüllungen auf der Basis organischer Beschichtungsstoffe  
Organische Beschichtungsstoffe für Rohrumhüllungen sind Polyethylen (PE) /1/ /5/, Epoxidharz (EP) /2/ /10/, Polyurethan (PUR) /2/ /10/. Polyurethan-Teer (PUR-Teer) /2/ /10/ und Bitumen /4/.

Außerdem gehören hierzu die organischen Beschichtungsstoffe für Korrosionsschutzbinden /3/. Umhüllungen auf dieser Basis sollen die Rohroberflächen gegen die Einwirkung von aggressiven Böden abschirmen. Sie müssen eine ausreichend hohe Widerstandsfähigkeit bei mechanischen Belastungen aufweisen. Eine wichtige Kenngröße der Abschirmwirkung ist der spezifische Umhüllungswiderstand  $r_u$ , der in sämtlichen in Betracht kommenden Normen /1/ bis /5/ und /10/, aufgeführt ist. Bei dieser Prüfung wird der Flächenwiderstand  $r_u$  als Produkt von Umhüllungswiderstand und Prüffläche ( $\Omega \text{ m}^2$ ) gemessen. Die Ermittlung von  $r_u$  ist eine Typenprüfung, die mit umhüllten Rohrabschnitten während 100 Tage durchgeführt wird. Die Wahl der Versuchsdauer von 100 Tagen ist ein Kompromiß zwischen Kurzzeit- und Langzeitprüfung. Die Erfahrungen der Prüfpraxis und des Verhaltens im erdverlegten Zustand haben aber gezeigt, daß hiermit die Beurteilung einer guten elektrischen Abschirmwirkung möglich ist.

Die  $r_u$ -Prüfung erfolgt an Proben, deren Umhüllungen porenfrei sind. Somit bedeutet diese Prüfung - im Sinne der DIN 53482 /11/ - die Bestimmung des Durchgangswiderstandes bezogen auf die Flächeneinheit. Die abweichend von DIN 53482 in sämtlichen Umhüllungsnormen gewählte Bezeichnung spezifischer Umhüllungswiderstand soll zum Ausdruck bringen, daß sowohl bei der Typprüfung als auch vor allem später im erdverlegten Einsatz, Fehlstellen in den Umhüllungen auftreten können. Wenn Fehlstellen, zB. durch Schwachstellen in der Umhüllung oder durch mechanische Einwirkung auftreten, dann wird nicht mehr der Durchgangswiderstand gemessen. Man mißt den Gesamtwiderstand, der sich aus der Parallelschaltung von  $r_u$  und dem Ausbreitungswiderstand bzw. aus den Ausbreitungswiderständen der Fehlstellen ergibt. Nähere Einzelheiten über diese Zusammenhänge vermittelt das Schrifttum /12/.

Es gibt eine untere Grenze für  $r_u$  von Umhüllungen ohne Fehlstellen, die nicht unterschritten werden darf. Der Grenzwert liegt etwa bei  $r_u \sim 10^4 \Omega \text{ m}^2$ . Wird dieser Wert unterschritten, so kann die umhüllte Fläche ohne Anwendung des kathodischen

Schutzes als Kathode wirken und somit Anlaß zur elektrochemischen Elementbildung geben. Aus diesem Grund wird in DIN 50928 /13/, ein unterer Grenzwert  $r_u \geq 10^5 \Omega \text{ m}^2$  genannt.

Der Grenzwert von  $r_u \geq 10^5 \Omega \text{ m}^2$  erscheint auch in DIN 30671 /2/ bei der Prüfung bei  $70^\circ\text{C}$ . Es hat sich gezeigt, daß der  $r_u$ -Wert der in /2/ genormten duroplastischen Umhüllungen mit steigender Temperatur abnimmt /14/. Somit ist eine obere Temperaturgrenze für die Anwendung duroplastischer Umhüllungen gegeben.

Fehlstellen in einer Umhüllung können - wie bereits erwähnt - durch mechnische Einwirkungen, wie zb. durch Schlag- und Druckbeanspruchung, auftreten. In den Normen /1/ bis /5/ und in /10/ sind daher Anforderungen und Prüfungen für die Schlagbeständigkeit und den Eindruckwiderstand aufgenommen worden.

Zur Ermittlung der Schlagbeständigkeit wurde einheitlich ein Fallkörper gewählt, dessen Auftreff-Fläche Teil einer Kugeloberfläche mit 25 mm Durchmesser darstellt. In den ersten Rohrumhüllungsnormen wurde die statistische Auswertung dieser Prüfung, die mit sehr vielen Schlägen ausgeführt wurde, vorge-schrieben. Die Prüfpraxis hat gezeigt, daß es genügt 30 Schläge bei der jeweils vorgegebenen Schlagarbeit durchzuführen. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn bei der Porenprüfung mit Hochspannung keine Fehlstellen auftreten.

Der Eindruckwiderstand wird durch Belastung der Umhüllung mit einem Druckstempel ermittelt. Für die Umhüllung auf der Basis PE, EP, PUR und PUR-Teer konnte einheitlich eine Druckbelastung von  $10 \text{ N mm}^{-2}$  bei einer Druckfläche von  $2,5 \text{ mm}^2$  gewählt werden. Für die Bitumenumhüllung wurde die Druckbelastung auf  $0,1 \text{ Nmm}^{-2}$  bei einer Stempelfläche auf  $100 \text{ mm}^2$  verringert. Bei der Prüfung von Korrosionsschutzbinden nach /3/ mußte den unterschiedlichen Eigenschaften der Bindensysteme, durch Einführung von Beanspruchungsklassen mit unterschiedlichen Druckbelastungen und Druckflächen, Rechnung getragen werden.

Als Anforderung für den Eindruckwiderstand ist die Angabe der Eindringtiefe bzw. der Restschichtdicke vorgesehen. Mit Ausnahme der Korrosionsschutzbinden ist diese Vorgabe unproblematisch. Bei den Korrosionsschutzbinden bestehen bei der Angabe der Restschichtdicken wegen der Vielfalt der Korrosionsschutzmaterialien Schwierigkeiten. In den zur Zeit noch laufenden Normverhandlungen wird versucht, eine der Prüfpraxis gerechte Lösung dieses Problems zu finden.

Bei der Normung der Schlagbeständigkeit und des Eindruckwiderstandes konnten verständlicherweise nicht alle praktisch vorkommenden Varianten der mechanischen Beanspruchungen berücksichtigt werden. Die Praxis hat aber auch hier gezeigt, daß durch die vorgesehenen Prüfungen eine Beurteilung der Widerstandsfähigkeit für die meisten vorkommenden mechanischen Beanspruchungen gegeben ist.

Ein vieldiskutiertes Thema ist die Haftung von organischen Umhüllungen auf Rohren. Weitgehende Einigkeit besteht über die Notwendigkeit eines guten Haftvermögens im Anlieferungszustand. In DIN 50928 /13/ wird hierzu folgendes ausgesagt:

**"Ein gutes Haftvermögen im Anlieferungszustand ist immer erforderlich und Voraussetzung dafür, daß bei Lagerung, Transport, Montage und Verlegung das Ausmaß möglicher Verletzungen der Beschichtungen gering gehalten wird."**

Im Sinne dieser Aussage wurde in allen in Betracht kommenden Normen die Prüfung der Haftfähigkeit aufgenommen. Diese Normen gelten primär für Werksumhüllungen - Ausnahme /3/ -, dh. für den Anlieferungszustand.

Die Frage der Haftung im erdverlegten Zustand wird kontrovers diskutiert. Bei dichten, formstabilen Umhüllungen, wie zB. bei der PE-Umhüllung, haben Aufgrabungen an erverlegten

kathodisch geschützten Rohrleitungen gezeigt, daß fehlende oder geringe Haftung die Korrosionsschutzwirkung nicht beeinträchtigt /15/ /16/.

Die Prüfung der Haftung hängt sehr stark von der Umhüllungsart ab. Bei PE-Umhüllungen /1/ /3/ /5/ gibt das Abschälen von Streifen unter definierten Bedingungen genügende Information über die Haftung der Rohrumhüllung. Bei den Umhüllungen mit Duroplasten und bei Bitumen sind aber nur qualitative Prüfungen durch Abheben der Umhüllung an Einschnitten in der Umhüllung möglich.

Es ist bekannt, daß die Haftung mit steigender Temperatur abnimmt. Die Temperaturabhängigkeit ist bisher noch nicht in allen Normen berücksichtigt worden. Es muß das Ziel sein, die Haftung bei den im Anwendungsbereich angegebenen maximalen Betriebstemperaturen zu prüfen.

Beim Einsatz von thermoplastischen Kunststoffen, wie zB Polyethylen, muß das Phänomen der Alterung bedacht werden. Alterungsvorgänge sind hierbei durch Abbau der polymeren Ketten und durch Vernetzungserscheinungen gekennzeichnet. Eine Alterung kann sowohl durch UV-Einwirkung, als auch durch Wärme hervorgerufen werden. Zur Feststellung der ausreichenden Stabilisierung der organischen Umhüllungen wird die Wärmealterung bei einer Temperatur oberhalb der Betriebstemperatur geprüft. Hierdurch ist eine Zeitraffung gegeben, die es ermöglicht, innerhalb relativ kurzer Prüfzeiten von 100 Tagen, signifikante Aussagen über die Beständigkeit gegen Wärmealterung zu machen.

Prüftechnisch werden unterschiedliche Kriterien bei der Prüfung der Wärmealterung herangezogen. Für PE /1/ /5/, ist es die Änderung des Schmelzindex MFI 190/2,16 gegenüber dem Ausgangszustand. Bei der Wärmealterungsprüfung von Korrosionsschutzbinden sowie bei PUR und PUR-Teer, wird die Änderung der Reißdehnung als Kriterium verwendet. Bei EP-Umhüllungen werden beschichtete Stahlbleche vor der Prüfung gebogen und das Auf-

treten von Poren nach der Alterung festgestellt.

Die Prüfung der Lichtalterung für PE ist sehr aufwendig; durch die gewählte Prüfvorschrift, die von der bei Kunststoffen sonst angewendeten Prüfbedingungen stark abweicht, ist die Prüfmöglichkeit vornehmlich auf die Kunststoffhersteller beschränkt.

Eine weitere bisher kontrovers diskutierte Prüfung ist die Ermittlung der kathodischen Unterwanderung. Bei der Erarbeitung der neueren Normen /2/ /3/ /10/ wurde diese Prüfung in die Normen aufgenommen. Entscheidend hierfür war u.a. die Tatsache, daß in ausländischen Spezifikationen der "Disbonding-Test" vorgeschrieben wird. Bei Lieferungen ins Ausland mußte ohnehin dieser Test durchgeführt werden, so daß die Einführung in unsere Normen im Sinne unseres lebensnotwendigen Exportes geboten erschien. Die Grundlage dieser Prüfung ist in DIN 50928 /13/ beschrieben, was die Aufnahme in die Umhüllungsnormen sehr erleichterte.

Bisher wurde vorzugsweise von Rohrumhüllungen gesprochen. In letzter Zeit ist aber auch ein Normentwurf für die Außenbeschichtung von erdverlegten Armaturen erarbeitet worden /10/. Wegen der gegenüber den glatten Rohroberflächen wesentlich komplizierteren Ausbildung der Oberflächen von Armaturen, mußte in dieser Norm die Forderung der vollkommenen Porenfreiheit an allen Stellen fallengelassen werden. Es werden an nichtdrucktragenden Teilen je Armatur bis zu 10 Fehlstellen zugelassen, während an drucktragenden Oberflächenbereichen die vollkommene Porenfreiheit verlangt wird. Weiterhin mußte berücksichtigt werden, daß die Schichtdickenprüfung nicht an allen Stellen der Armaturen möglich ist. An nach außen konvexen Kanten wurde daher die zerstörende Prüfung an Hand von Schliffen oder nach der Keilschnittmethode als Typenprüfung vorgesehen. Eine weitere Besonderheit dieser Norm ist die Prüfung an beschichteten, in der Produktion mitlaufenden Platten aus dem gleichen Werkstoff wie die Armatur.

Diese Festlegung ergab sich aus der Undurchführbarkeit einiger Prüfungen an beschichteten Armaturen.

Rohrumhüllungen auf der Basis anorganischer Beschichtungsstoffe

Für erdverlegte Rohre aus duktilem Gußeisen wurde die Zementmörtelumhüllung in DIN 30674, Teil 2, /6/ und der Zinküberzug mit Deckbeschichtung in DIN 30674, Teil 3, /7/ genormt.

Eine wichtige Prüfung der Zementmörtel-Umhüllung (ZM-Umhüllung) ist die Feststellung der korrosionschemischen Wirksamkeit. In einem Makroelementversuch muß geprüft werden, ob die zwischen Rohroberfläche und Umhüllung vorgesehenen Zwischenschichten in der Lage sind, die anodische Polarisierung von blanken Fehlstellen in der ZM-Umhüllung zu verhindern. Die Einschaltung von Zwischenschichten ist notwendig, da zementmörtelbedeckte Eisenoberflächen als Kathoden wirken und somit zur starken anodischen Eisenauflösung der Fehlstellen führen können.

Die Wirkungsweise des Umhüllungssystems Zinküberzug mit Deckbeschichtung beruht sowohl auf der kathodischen Schutzwirkung des Zinks, als auch auf der Bildung von abdeckenden Schutzschichten aus Zinkreaktionsprodukten. Die bituminöse Deckbeschichtung hat die wesentliche Aufgabe, die Zinkauflösung in Grenzen zu halten und die sich bildenden Deckschichten an an der Rohroberfläche festzuhalten. Entsprechend dieser Aufgabenverteilung werden nach /7/ die Zinkqualität und die Dicke des Zinküberzuges geprüft. Die Anforderungen an die bituminöse Deckbeschichtung und deren Prüfungen sind in DIN 30674, Teil 4 /8/, aufgeführt. In dieser Norm wird die Prüfung einiger charakteristischer Eigenschaften des bituminösen Beschichtungsstoffes beschrieben. Da die bituminöse Deckbeschichtung für sich allein nur in nichtaggressiven Böden der Bodenklasse I nach dem DVGW Arbeitsblatt GW 9 /17/ eingesetzt werden darf, ist eine Prüfung der Schutzwirkung in /8/ nicht vorgesehen.

Die Polyethylen-Folienumhüllung von duktilen Gußrohren ist eine Baustellenumhüllung, die vorzugsweise in bestimmten Fällen bei stark aggressiven Böden eingesetzt wird /9/. In dieser



Norm werden schwerpunktmäßig einige Eigenschaften der Polyethylen-Folien geprüft. Diese Prüfungen sind notwendig, um zu vermeiden, daß von den vielen auf dem Markt befindlichen Folien nur diejenigen ausgewählt werden, die den vorgeschriebenen Normqualitäten entsprechen.

Zusammenfassung

Rohrumhüllungen auf Stahl- und Gußrohren müssen für einen langzeitigen Korrosionsschutz konzipiert werden. Zur Erfüllung von guten Umhüllungsqualitäten wurden in den letzten Jahren DIN-Normen aufgestellt. Bei der Erarbeitung dieser Normen sind folgende Grundsätze zu berücksichtigen:

- Die Anforderungen und Prüfungen sind für die verschiedenen Umhüllungssysteme unterschiedlich; es kann nur das genormt werden, was der Beschichtungsstoff bzw. das Beschichtungssystem auf Grund seiner Eigenschaften leisten kann. Gegen diese Bedingung wird in ausländischen Normen häufig verstoßen
- Prüfpraxis und die Erfahrungen mit Rohrumhüllungen im erdverlegten Zustand zeigen, daß die Normen der ständigen Entwicklung angepaßt werden müssen. Es gilt der Satz von Dr. C.L. Kruse "die Neubearbeitung einer Norm beginnt mit der Verabschiedung zum Weißdruck"
- Das ursprüngliche Ziel nur fertige Rohrumhüllungen zu prüfen, konnte nicht konsequent durchgeführt werden. Es hat sich vielmehr in einigen Fällen als notwendig erwiesen einige Eigenschaften von Ausgangsstoffen für die Umhüllung zu prüfen
- Bei sämtlichen Rohrumhüllungsnormen wurde darauf geachtet den Umfang der Prüfungen zu begrenzen. Dies kommt der Effektivität jeder Norm zu gute.
- Es ist notwendig einen Kompromiß zwischen Kurzzeit- und Langzeitprüfungen zu finden. In diesem Sinn haben sich die maximalen Prüfdauern bis zu 100 Tagen bewährt.
- Die Prüfphilosophie der Umhüllungsnormen unterscheidet zwischen laufenden Prüfungen durch den Hersteller der Umhüllungen und den in Abständen von 3 Jahren zu wieder-

holenden Typenprüfungen. Auf die Problematik einiger Prüfungen wurde im einzelnen eingegangen.

Durch die erarbeiteten Normen sind Grundlagen für die Prüfung von Rohrumhüllungen geschaffen worden. Sie ermöglichen bei konsequenter Anwendung eine hohe Qualität, die Voraussetzung für einen langzeitigen wirksamen Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen ist.

## Schrifttum

- /1/ DIN 30670, Polyethylen-Umhüllung von Stahlrohren und - formstücken  
Juli 1980
- /2/ DIN 30671 Umhüllung (Beschichtung) von Stahlrohren mit Duroplasten  
zum Weisdruck verabschiedet 1986
- /3/ DIN 30672 Korrosionsschutzbinden und schrumpffähiges Material  
Umhüllungen aus Korrosionsschutzbinden und schrumpffähigem Material für erdverlegte Rohrleitungen, Normvorlage Februar 1986
- /4/ DIN 30673 Umhüllung und Auskleidung von Stahlrohren, - formstücken und-behältern mit Bitumen  
Oktober 1985
- /5/ DIN 30674, Teil 1, Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen  
Polyethylen-Umhüllung  
September 1982
- /6/ DIN 30674, Teil 2, Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen  
Zementmörtel-Umhüllung  
Juli 1981
- /7/ DIN 30674, Teil 3, Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen  
Zink-Überzug mit Deckbeschichtung  
September 1982
- /8/ DIN 30674, Teil 4, Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen  
Beschichtung mit Bitumen  
Mai 1982
- bei Korrosionsbelastung durch wässrige Korrosionsmedien  
September 1985
- /14/ W.v. Baeckmann und N. Tenzer. gwf-gas/erdgas 126 (1985) Heft 4, S. 209/213
- /15/ W. Schwenk, 3 R international 19 (1980) Heft 10, S 586/593
- /16/ P. Dieckmann, gwf-gas/erdgas 116 (1975) Heft 6

/17/ DVGW Arbeitsblatt GW 9, Beurteilung von Böden  
hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens  
auf erdverlegte Rohrleitungen und  
Behälter aus unlegierten und niedrigle-  
gierten Eisenwerkstoffen  
März 1986

Prüfung von Rohrumhüllungen

Dr. G. Heim, Hilden

Zum sicheren und wirtschaftlichen Korrosionsschutz von Stahl- und Gußrohrleitungen gegen Korrosionsangriffe werden Rohrumhüllungen vorwiegend als passive, teilweise als aktive Korrosionsschutzmaßnahme angewendet. Die Wirkung des Korrosionsschutzes hängt von der Qualität der Umhüllungen ab; die Umhüllungsqualität muß so gut sein, daß ein Langzeitschutz über Jahrzehnte gegeben ist. Zur Sicherstellung der Umhüllungsqualität sind in den letzten Jahren eine Reihe von Normen aufgestellt worden. In diesen Normen werden Anforderungen der wichtigsten Eigenschaften des jeweiligen Umhüllungssystems aufgeführt und die hierzu notwendigen Prüfungen im einzelnen beschrieben /1/ bis /10/.

Bei der Bewertung dieser Normen muß man sich darüber im klaren sein, daß die Prüfung von Rohrumhüllungen immer nur eine notwendige Bedingung für die Schutzwirkung darstellen. Im Sinne einer hinreichenden Bedingung ist es Aufgabe der Hersteller der Umhüllungen durch fachgerechte Einrichtungen und ständige Qualitätskontrollen für die Auslieferung von qualitativ guten Umhüllungen zu sorgen. Aufgabe der Rohrverleger ist es die Verlegungsarbeiten mit der gebotenen Sorgfalt auszuführen. Es sei vermerkt, daß der Begriff notwendige und hinreichende Bedingung aus dem Sprachgebrauch der Mathematik bei einer Beweisführung übernommen wurde.

Zur Erfüllung der als notwendig bezeichneten Bedingung sind in den Normen sogenannte Typenprüfungen an umhüllten Rohrabschnitten in Abständen von 3 Jahren vorgesehen. Von den Herstellern der Umhüllungen werden in den Normen Prüfungen verlangt, die die Umhüllungsqualität sicher stellen. Die Art

dieser Prüfungen ist für die verschiedenen Rohrumhüllungen unterschiedlich. Entscheidend ist, daß der Hersteller in seinem Ermessen so viele Prüfungen durchführt, daß die Forderung der Sicherstellung erfüllt ist. Es muß betont werden, daß der Hersteller nur zerstörungsfrei arbeitende Prüfungen wie zB. Schichtdicke und Porenfreiheit, laufend durchführen kann. So kann zB. der Schälwiderstand nur stichprobenweise durch zerstörende Untersuchungen geprüft werden.

Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Normung von Rohrumhüllungen bestand in dem Bestreben, vorzugsweise die fertige Rohrumhüllung zu prüfen. Hierdurch ist es möglich den Einfluß des Beschichtungsvorganges und der Oberflächenvorbereitung zu erfassen. Dieses Vorhaben läßt sich aber nicht konsequent in allen Fällen durchführen. So wurde zB in DIN 30673 /4/, insbesondere aber in DIN 30672 /3/, die Prüfung von Ausgangsstoffen in die Normen aufgenommen.

Bei allen Normen wurde darauf geachtet, den Prüfumfang auf den notwendigen Umfang zu begrenzen. Man kann sicher sehr viel mehr Prüfungen in die Normen aufnehmen, wodurch die Übersichtlichkeit erheblich leidet. Letzten Endes müssen aber auch wirtschaftliche Gesichtspunkte, dh. die aufzuwendenden Prüfkosten, ihre Berücksichtigung finden.

Für die technisch angewendeten Umhüllungssysteme werden sowohl organische als auch anorganische Beschichtungsstoffe - in einigen Fällen auch als Kombination - eingesetzt. Da die Anforderungen und damit auch die Prüfungen - je nach der Beschichtungsart - unterschiedlich sind, sollen diese getrennt besprochen werden.

Rohrumhüllungen auf der Basis organischer Beschichtungsstoffe  
Organische Beschichtungsstoffe für Rohrumhüllungen sind Polyethylen (PE) /1/ /5/, Epoxidharz (EP) /2/ /10/, Polyurethan (PUR) /2/ /10/. Polyurethan-Teer (PUR-Teer) /2/ /10/ und Bitumen /4/.

Außerdem gehören hierzu die organischen Beschichtungsstoffe für Korrosionsschutzbinden /3/. Umhüllungen auf dieser Basis sollen die Rohroberflächen gegen die Einwirkung von aggressiven Böden abschirmen. Sie müssen eine ausreichend hohe Widerstandsfähigkeit bei mechanischen Belastungen aufweisen. Eine wichtige Kenngröße der Abschirmwirkung ist der spezifische Umhüllungswiderstand  $r_u$ , der in sämtlichen in Betracht kommenden Normen /1/ bis /5/ und /10/, aufgeführt ist. Bei dieser Prüfung wird der Flächenwiderstand  $r_u$  als Produkt von Umhüllungswiderstand und Prüffläche ( $\Omega \text{ m}^2$ ) gemessen. Die Ermittlung von  $r_u$  ist eine Typenprüfung, die mit umhüllten Rohrabschnitten während 100 Tage durchgeführt wird. Die Wahl der Versuchsdauer von 100 Tagen ist ein Kompromiß zwischen Kurzzeit- und Langzeitprüfung. Die Erfahrungen der Prüfpraxis und des Verhaltens im erdverlegten Zustand haben aber gezeigt, daß hiermit die Beurteilung einer guten elektrischen Abschirmwirkung möglich ist.

Die  $r_u$ -Prüfung erfolgt an Proben, deren Umhüllungen porenfrei sind. Somit bedeutet diese Prüfung - im Sinne der DIN 53482 /11/ - die Bestimmung des Durchgangswiderstandes bezogen auf die Flächeneinheit. Die abweichend von DIN 53482 in sämtlichen Umhüllungsnormen gewählte Bezeichnung spezifischer Umhüllungswiderstand soll zum Ausdruck bringen, daß sowohl bei der Typprüfung als auch vor allem später im erdverlegten Einsatz, Fehlstellen in den Umhüllungen auftreten können. Wenn Fehlstellen, zB. durch Schwachstellen in der Umhüllung oder durch mechanische Einwirkung auftreten, dann wird nicht mehr der Durchgangswiderstand gemessen. Man mißt den Gesamtwiderstand, der sich aus der Parallelschaltung von  $r_u$  und dem Ausbreitungswiderstand bzw. aus den Ausbreitungswiderständen der Fehlstellen ergibt. Nähere Einzelheiten über diese Zusammenhänge vermittelt das Schrifttum /12/.

Es gibt eine untere Grenze für  $r_u$  von Umhüllungen ohne Fehlstellen, die nicht unterschritten werden darf. Der Grenzwert liegt etwa bei  $r_u \sim 10^4 \Omega \text{ m}^2$ . Wird dieser Wert unterschritten, so kann die umhüllte Fläche ohne Anwendung des kathodischen



Schutzes als Kathode wirken und somit Anlaß zur elektrochemischen Elementbildung geben. Aus diesem Grund wird in DIN 50928 /13/, ein unterer Grenzwert  $r_u \geq 10^5 \Omega \text{ m}^2$  genannt.

Der Grenzwert von  $r_u \geq 10^5 \Omega \text{ m}^2$  erscheint auch in DIN 30671 /2/ bei der Prüfung bei 70°C. Es hat sich gezeigt, daß der  $r_u$ -Wert der in /2/ genormten duroplastischen Umhüllungen mit steigender Temperatur abnimmt /14/. Somit ist eine obere Temperaturgrenze für die Anwendung duroplastischer Umhüllungen gegeben.

Fehlstellen in einer Umhüllung können - wie bereits erwähnt - durch mechnische Einwirkungen, wie zb. durch Schlag- und Druckbeanspruchung, auftreten. In den Normen /1/ bis /5/ und in /10/ sind daher Anforderungen und Prüfungen für die Schlagbeständigkeit und den Eindruckwiderstand aufgenommen worden.

Zur Ermittlung der Schlagbeständigkeit wurde einheitlich ein Fallkörper gewählt, dessen Auftreff-Fläche Teil einer Kugeloberfläche mit 25 mm Durchmesser darstellt. In den ersten Rohrumhüllungsnormen wurde die statistische Auswertung dieser Prüfung, die mit sehr vielen Schlägen ausgeführt wurde, vorge-schrieben. Die Prüfpraxis hat gezeigt, daß es genügt 30 Schläge bei der jeweils vorgegebenen Schlagarbeit durchzuführen. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn bei der Porenprüfung mit Hochspannung keine Fehlstellen auftreten.

Der Eindruckwiderstand wird durch Belastung der Umhüllung mit einem Druckstempel ermittelt. Für die Umhüllung auf der Basis PE, EP, PUR und PUR-Teer konnte einheitlich eine Druckbelastung von  $10 \text{ N mm}^{-2}$  bei einer Druckfläche von  $2,5 \text{ mm}^2$  gewählt werden. Für die Bitumenumhüllung wurde die Druckbelastung auf  $0,1 \text{ Nmm}^{-2}$  bei einer Stempelfläche auf  $100 \text{ mm}^2$  verringert. Bei der Prüfung von Korrosionsschutzbinden nach /3/ mußte den unterschiedlichen Eigenschaften der Bindensysteme, durch Einführung von Beanspruchungsklassen mit unterschiedlichen Druckbelastungen und Druckflächen, Rechnung getragen werden.

Als Anforderung für den Eindruckwiderstand ist die Angabe der Eindringtiefe bzw. der Restschichtdicke vorgesehen. Mit Ausnahme der Korrosionsschutzbinden ist diese Vorgabe unproblematisch. Bei den Korrosionsschutzbinden bestehen bei der Angabe der Restschichtdicken wegen der Vielfalt der Korrosionsschutzmaterialien Schwierigkeiten. In den zur Zeit noch laufenden Normverhandlungen wird versucht, eine der Prüfpraxis gerechte Lösung dieses Problems zu finden.

Bei der Normung der Schlagbeständigkeit und des Eindruckwiderstandes konnten verständlicherweise nicht alle praktisch vorkommenden Varianten der mechanischen Beanspruchungen berücksichtigt werden. Die Praxis hat aber auch hier gezeigt, daß durch die vorgesehenen Prüfungen eine Beurteilung der Widerstandsfähigkeit für die meisten vorkommenden mechanischen Beanspruchungen gegeben ist.

Ein vieldiskutiertes Thema ist die Haftung von organischen Umhüllungen auf Rohren. Weitgehende Einigkeit besteht über die Notwendigkeit eines guten Haftvermögens im Anlieferungszustand. In DIN 50928 /13/ wird hierzu folgendes ausgesagt:

"Ein gutes Haftvermögen im Anlieferungszustand ist immer erforderlich und Voraussetzung dafür, daß bei Lagerung, Transport, Montage und Verlegung das Ausmaß möglicher Verletzungen der Beschichtungen gering gehalten wird."

Im Sinne dieser Aussage wurde in allen in Betracht kommenden Normen die Prüfung der Haftfähigkeit aufgenommen. Diese Normen gelten primär für Werksumhüllungen - Ausnahme /3/ -, dh. für den Anlieferungszustand.

Die Frage der Haftung im erdverlegten Zustand wird kontrovers diskutiert. Bei dichten, formstabilen Umhüllungen, wie zB. bei der PE-Umhüllung, haben Aufgrabungen an erverlegten

kathodisch geschützten Rohrleitungen gezeigt, daß fehlende oder geringe Haftung die Korrosionsschutzwirkung nicht beeinträchtigt /15/ /16/.

Die Prüfung der Haftung hängt sehr stark von der Umhüllungsart ab. Bei PE-Umhüllungen /1/ /3/ /5/ gibt das Abschälen von Streifen unter definierten Bedingungen genügende Information über die Haftung der Rohrumhüllung. Bei den Umhüllungen mit Duroplasten und bei Bitumen sind aber nur qualitative Prüfungen durch Abheben der Umhüllung an Einschnitten in der Umhüllung möglich.

Es ist bekannt, daß die Haftung mit steigender Temperatur abnimmt. Die Temperaturabhängigkeit ist bisher noch nicht in allen Normen berücksichtigt worden. Es muß das Ziel sein, die Haftung bei den im Anwendungsbereich angegebenen maximalen Betriebstemperaturen zu prüfen.

Beim Einsatz von thermoplastischen Kunststoffen, wie zB Polyethylen, muß das Phänomen der Alterung bedacht werden. Alterungsvorgänge sind hierbei durch Abbau der polymeren Ketten und durch Vernetzungserscheinungen gekennzeichnet. Eine Alterung kann sowohl durch UV-Einwirkung, als auch durch Wärme hervorgerufen werden. Zur Feststellung der ausreichenden Stabilisierung der organischen Umhüllungen wird die Wärmealterung bei einer Temperatur oberhalb der Betriebstemperatur geprüft. Hierdurch ist eine Zeitraffung gegeben, die es ermöglicht, innerhalb relativ kurzer Prüfzeiten von 100 Tagen, signifikante Aussagen über die Beständigkeit gegen Wärmealterung zu machen.

Prüftechnisch werden unterschiedliche Kriterien bei der Prüfung der Wärmealterung herangezogen. Für PE /1/ /5/, ist es die Änderung des Schmelzindex MFI 190/2,16 gegenüber dem Ausgangszustand. Bei der Wärmealterungsprüfung von Korrosionsschutzbinden sowie bei PUR und PUR-Teer, wird die Änderung der Reißdehnung als Kriterium verwendet. Bei EP-Umhüllungen werden beschichtete Stahlbleche vor der Prüfung gebogen und das Auf-

treten von Poren nach der Alterung festgestellt.

Die Prüfung der Lichtalterung für PE ist sehr aufwendig; durch die gewählte Prüfvorschrift, die von der bei Kunststoffen sonst angewendeten Prüfbedingungen stark abweicht, ist die Prüfmöglichkeit vornehmlich auf die Kunststoffhersteller beschränkt.

Eine weitere bisher kontrovers diskutierte Prüfung ist die Ermittlung der kathodischen Unterwanderung. Bei der Erarbeitung der neueren Normen /2/ /3/ /10/ wurde diese Prüfung in die Normen aufgenommen. Entscheidend hierfür war u.a. die Tatsache, daß in ausländischen Spezifikationen der "Disbonding-Test" vorgeschrieben wird. Bei Lieferungen ins Ausland mußte ohnehin dieser Test durchgeführt werden, so daß die Einführung in unsere Normen im Sinne unseres lebensnotwendigen Exportes geboten erschien. Die Grundlage dieser Prüfung ist in DIN 50928 /13/ beschrieben, was die Aufnahme in die Umhüllungsnormen sehr erleichterte.

Bisher wurde vorzugsweise von Rohrumhüllungen gesprochen. In letzter Zeit ist aber auch ein Normentwurf für die Außenbeschichtung von erdverlegten Armaturen erarbeitet worden /10/. Wegen der gegenüber den glatten Rohroberflächen wesentlich komplizierteren Ausbildung der Oberflächen von Armaturen, mußte in dieser Norm die Forderung der vollkommenen Porenfreiheit an allen Stellen fallengelassen werden. Es werden an nichtdrucktragenden Teilen je Armatur bis zu 10 Fehlstellen zugelassen, während an drucktragenden Oberflächenbereichen die vollkommene Porenfreiheit verlangt wird. Weiterhin mußte berücksichtigt werden, daß die Schichtdickenprüfung nicht an allen Stellen der Armaturen möglich ist. An nach außen konvexen Kanten wurde daher die zerstörende Prüfung an Hand von Schliffen oder nach der Keilschnittmethode als Typenprüfung vorgesehen. Eine weitere Besonderheit dieser Norm ist die Prüfung an beschichteten, in der Produktion mitlaufenden Platten aus dem gleichen Werkstoff wie die Armatur.

Diese Festlegung ergab sich aus der Undurchführbarkeit einiger Prüfungen an beschichteten Armaturen.

Rohrumhüllungen auf der Basis anorganischer Beschichtungsstoffe

Für erdverlegte Rohre aus duktilem Gußeisen wurde die Zementmörtelumhüllung in DIN 30674, Teil 2, /6/ und der Zinküberzug mit Deckbeschichtung in DIN 30674, Teil 3, /7/ genormt.

Eine wichtige Prüfung der Zementmörtel-Umhüllung (ZM-Umhüllung) ist die Feststellung der korrosionschemischen Wirksamkeit. In einem Makroelementversuch muß geprüft werden, ob die zwischen Rohroberfläche und Umhüllung vorgesehenen Zwischenschichten in der Lage sind, die anodische Polarisierung von blanken Fehlstellen in der ZM-Umhüllung zu verhindern. Die Einschaltung von Zwischenschichten ist notwendig, da zementmörtelbedeckte Eisenoberflächen als Kathoden wirken und somit zur starken anodischen Eisenauflösung der Fehlstellen führen können.

Die Wirkungsweise des Umhüllungssystems Zinküberzug mit Deckbeschichtung beruht sowohl auf der kathodischen Schutzwirkung des Zinks, als auch auf der Bildung von abdeckenden Schutzschichten aus Zinkreaktionsprodukten. Die bituminöse Deckbeschichtung hat die wesentliche Aufgabe, die Zinkauflösung in Grenzen zu halten und die sich bildenden Deckschichten an an der Rohroberfläche festzuhalten. Entsprechend dieser Aufgabenverteilung werden nach /7/ die Zinkqualität und die Dicke des Zinküberzuges geprüft. Die Anforderungen an die bituminöse Deckbeschichtung und deren Prüfungen sind in DIN 30674, Teil 4 /8/, aufgeführt. In dieser Norm wird die Prüfung einiger charakteristischer Eigenschaften des bituminösen Beschichtungsstoffes beschrieben. Da die bituminöse Deckbeschichtung für sich allein nur in nichtaggressiven Böden der Bodenklasse I nach dem DVGW Arbeitsblatt GW 9 /17/ eingesetzt werden darf, ist eine Prüfung der Schutzwirkung in /8/ nicht vorgesehen.

Die Polyethylen-Folienumhüllung von duktilen Gußrohren ist eine Baustellenumhüllung, die vorzugsweise in bestimmten Fällen bei stark aggressiven Böden eingesetzt wird /9/. In dieser

Norm werden schwerpunktmäßig einige Eigenschaften der Polyethylen-Folien geprüft. Diese Prüfungen sind notwendig, um zu vermeiden, daß von den vielen auf dem Markt befindlichen Folien nur diejenigen ausgewählt werden, die den vorgeschriebenen Normqualitäten entsprechen.

Zusammenfassung

Rohrumhüllungen auf Stahl- und Gußrohren müssen für einen langzeitigen Korrosionsschutz konzipiert werden. Zur Erfüllung von guten Umhüllungsqualitäten wurden in den letzten Jahren DIN-Normen aufgestellt. Bei der Erarbeitung dieser Normen sind folgende Grundsätze zu berücksichtigen:

- Die Anforderungen und Prüfungen sind für die verschiedenen Umhüllungssysteme unterschiedlich; es kann nur das genormt werden, was der Beschichtungsstoff bzw. das Beschichtungssystem auf Grund seiner Eigenschaften leisten kann. Gegen diese Bedingung wird in ausländischen Normen häufig verstoßen
- Prüfpraxis und die Erfahrungen mit Rohrumhüllungen im erdverlegten Zustand zeigen, daß die Normen der ständigen Entwicklung angepaßt werden müssen. Es gilt der Satz von Dr. C.L. Kruse "die Neubearbeitung einer Norm beginnt mit der Verabschiedung zum Weißdruck"
- Das ursprüngliche Ziel nur fertige Rohrumhüllungen zu prüfen, konnte nicht konsequent durchgeführt werden. Es hat sich vielmehr in einigen Fällen als notwendig erwiesen einige Eigenschaften von Ausgangsstoffen für die Umhüllung zu prüfen
- Bei sämtlichen Rohrumhüllungsnormen wurde darauf geachtet den Umfang der Prüfungen zu begrenzen. Dies kommt der Effektivität jeder Norm zu gute.
- Es ist notwendig einen Kompromiß zwischen Kurzzeit- und Langzeitprüfungen zu finden. In diesem Sinn haben sich die maximalen Prüfdauern bis zu 100 Tagen bewährt.
- Die Prüfphilosophie der Umhüllungsnormen unterscheidet zwischen laufenden Prüfungen durch den Hersteller der Umhüllungen und den in Abständen von 3 Jahren zu wieder-

holenden Typenprüfungen. Auf die Problematik einiger Prüfungen wurde im einzelnen eingegangen.

Durch die erarbeiteten Normen sind Grundlagen für die Prüfung von Rohrumhüllungen geschaffen worden. Sie ermöglichen bei konsequenter Anwendung eine hohe Qualität, die Voraussetzung für einen langzeitigen wirksamen Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen ist.



## Schrifttum

- /1/ DIN 30670, Polyethylen-Umhüllung von Stahlrohren und - formstücken  
Juli 1980
- /2/ DIN 30671 Umhüllung (Beschichtung) von Stahlrohren mit Duroplasten  
zum Weisdruck verabschiedet 1986
- /3/ DIN 30672 Korrosionsschutzbinden und schrumpffähiges Material  
Umhüllungen aus Korrosionsschutzbinden und schrumpffähigem Material für erdverlegte Rohrleitungen, Normvorlage Februar 1986
- /4/ DIN 30673 Umhüllung und Auskleidung von Stahlrohren, - formstücken und-behältern mit Bitumen  
Oktober 1985
- /5/ DIN 30674, Teil 1, Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen  
Polyethylen-Umhüllung  
September 1982
- /6/ DIN 30674, Teil 2, Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen  
Zementmörtel-Umhüllung  
Juli 1981
- /7/ DIN 30674, Teil 3, Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen  
Zink-Überzug mit Deckbeschichtung  
September 1982
- /8/ DIN 30674, Teil 4, Umhüllung von Rohren aus duktilem Gußeisen  
Beschichtung mit Bitumen  
Mai 1982
- bei Korrosionsbelastung durch wässrige Korrosionsmedien  
September 1985
- /14/ W.v. Baeckmann und N. Tenzer. gwf-gas/erdgas 126 (1985) Heft 4, S. 209/213
- /15/ W. Schwenk, 3 R international 19 (1980) Heft 10, S 586/593
- /16/ P. Dieckmann, gwf-gas/erdgas 116 (1975) Heft 6

/17/ DVGW Arbeitsblatt GW 9, Beurteilung von Böden  
hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens  
auf erdverlegte Rohrleitungen und  
Behälter aus unlegierten und niedrigle-  
gierten Eisenwerkstoffen  
März 1986

Schrifttum Blatt 2

- /9/ DIN 30674, Teil 5, Umhüllung von Röhren aus duktilem  
Gußeisen  
Polyethylen-Folienumhüllung  
März 1985
- /10/ DIN 30677, Teil 1, Korrosionsschutz von erdverlegten  
Armaturen, Außenbeschichtung mit Duroplasten  
verabschiedet zum Gelbdruck April 1986
- /11/ DIN 53482 Prüfung von Isolierstoffen, Bestimmung des  
elektrischen Widerstandes  
Januar 1976
- /12/ W.v. Baeckmann und W. Schwenk, Handbuch des kathodischen  
Korrosionsschutzes, 2. Auflage  
Verlag Chemie  
1980, S 128 ff
- /13/ DIN 50928, Prüfung und Beurteilung des Korrosionsschutzes  
beschichteter metallischer Werkstoffe  
bei Korrosionsbelastung durch wäßrige  
Korrosionsmedien  
September 1985
- /14/ W.v. Baeckmann und N. Tenzer, gwf-gas/erdgas  
126 (1985) Heft 4, S. 209/213
- /15/ W. Schwenk, 3 R international  
19 (1980) Heft 10, S 586/593
- /16/ P.Pickelmann. gwf-gas/erdgas 116 (1975) Heft 6  
S. 229/232

Schrifttum Blatt 2

- /9/ DIN 30674, Teil 5, Umhüllung von Röhren aus duktilem  
Gußeisen  
Polyethylen-Folienumhüllung  
März 1985
- /10/ DIN 30677, Teil 1, Korrosionsschutz von erdverlegten  
Armaturen, Außenbeschichtung mit Duroplasten  
verabschiedet zum Gelbdruck April 1986
- /11/ DIN 53482 Prüfung von Isolierstoffen, Bestimmung des  
elektrischen Widerstandes  
Januar 1976
- /12/ W.v. Baeckmann und W. Schwenk, Handbuch des kathodischen  
Korrosionsschutzes, 2. Auflage  
Verlag Chemie  
1980, S 128 ff
- /13/ DIN 50928, Prüfung und Beurteilung des Korrosionsschutzes  
beschichteter metallischer Werkstoffe  
bei Korrosionsbelastung durch wäßrige  
Korrosionsmedien  
September 1985
- /14/ W.v. Baeckmann und N. Tenzer, gwf-gas/erdgas  
126 (1985) Heft 4, S. 209/213
- /15/ W. Schwenk, 3 R international  
19 (1980) Heft 10, S 586/593
- /16/ P.Pickelmann. gwf-gas/erdgas 116 (1975) Heft 6  
S. 229/232