

Stahlrohre für Transport und Verteilung von Trinkwässern

1. Einleitende Bemerkungen zum Werkstoff

Der Werkstoff Stahl gestattet eine wirtschaftliche Fertigung von Rohren in mannigfaltigen Abmessungen bis zu 16 m Längen und nahezu beliebigen Nennweiten mit sehr unterschiedlichen Festigkeitseigenschaften. Er kann je nach den betrieblichen Anforderungen optimal angepasst werden. Von grosser Bedeutung ist die Schweisseigenschaft der Röhrenstähle, die die Herstellung von Rohrleitungssystemen mit überall gleichwertigen Festigkeitseigen-



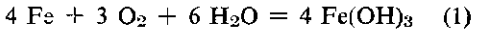
DR. RER. NAT.
WILHELM SCHWENK
Mannesmann-Forschungsinstitut
GmbH, Duisburg-Huckingen. BRD

schaften ermöglicht. Hier sind die guten elastischen Eigenschaften bei vergleichsweise hoher Festigkeit hervorzuheben. Bei einem E-Modul um 2.10^5 N/mm² liegen die Streckgrenzenwerte bei 240 N/mm² für die Güte St 35 bis über 500 N/mm² bei höherfesten Röhrenstählen, wie sie für Transportleitungen für komprimierte Gase und Produkte heute gefordert werden. Festigkeit und Elastizität erfüllen bei hoher Beanspruchung die geforderten Sicherheitsbedingungen. Aufgrund der guten mechanischen Eigenschaften haben Stahlrohre vergleichsweise geringe Wanddicken und somit auch geringe Transportgewichte, die bei Auslieferung und Verlegung günstig sind. Für die Rohrverbindungen gibt es mehrere Verfahren, die vom Durchmesser abhängen können und sich nach den Anforderungen richten. Sie sind heute bestens erprobt und Stand der Technik in der Rohrverlegung. Neben diesen optimalen

Eigenschaften des Werkstoffs Stahl gibt es allerdings einen weniger günstigen Punkt: die Korrosionsbeständigkeit. Wie die meisten Gebrauchsmetalle reagieren un- oder niedriglegierte Stähle mit Wässern. Je nach dem Reaktionsausmass und den technischen Anforderungen müssen Korrosionsschutzmassnahmen ergriffen werden.

2. Grundlagen zum Korrosionsverhalten

Die Korrosionsreaktion zwischen den Partnern Fe, O₂ und H₂O



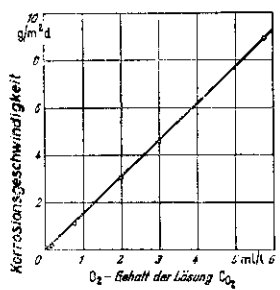
führt zu einem Metallabtrag an der Rohrwand und zu einer Belastung des Füllgutes Wasser mit Fe(OH)₃. Letzteres ist instabil und spaltet sofort Wasser ab. Die so erzeugten Eisen(III)-Oxidhydrate sind schwerlöslich, rostfarben und in grösseren Mengen im Wasser unerwünscht.

Der Materialabtrag kann gleichförmig flächig und örtlich bevorzugt erfolgen. Im allgemeinen ist der gleichförmige Flächenbetrag sehr gering und technisch vernachlässigbar. Ein örtlich bevorzugter Angriff ist insbesondere in stagnierenden Wässern und bodenseitig möglich. Dann ist ein Wanddurchbruch im Laufe einiger Jahre möglich und unerwünscht. Beide Schadensarten, Rostabgabe an das Wasser und Wanddurchbruch, müssen durch Korrosionsschutzmassnahmen vermieden werden.

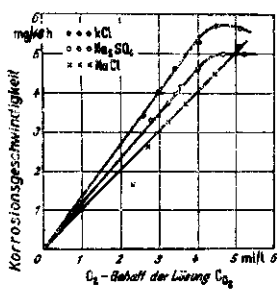
2.1. Wasserseitige 'Innenkorrosion'

Nach Gl. (1) wird für den Korrosionsvorgang O₂ benötigt. Die Untersuchungsergebnisse in Bild 1 zeigen, dass dieser sich wie eine Reaktion erster Ordnung in bezug auf O₂ verhält [1]. Unabhängig von Art und Konzentration gelöster Salze sind die Reaktionsgeschwindigkeiten der Sauerstoff-

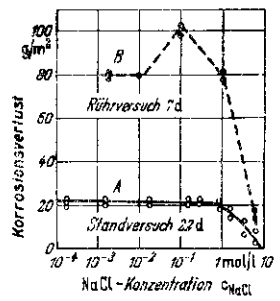
Bild 1 - Korrosion von unlegiertem Stahl Einfluss des Sauerstoffgehaltes.



43 h, 165 mg CaCl₂/l
(Uhlig, Triades u. Stern)



O₂-gesättigte Lösungen unterschiedlicher Salzkonzentration (Evans u. Hoar)



luftgesättigt
(Schikorr)

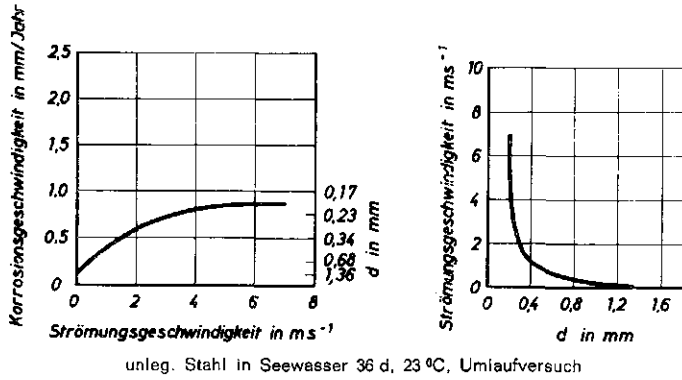


Bild 2 - Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit.

konzentration proportional, falls der Salzgehalt nicht die Sauerstofflöslichkeit, wie bei NaCl-Konzentrationen über 1 mol/l, verringert. Aber auch der Bewegungszustand hat einen Einfluss, wie das rechte Teilbild oben und Bild 2 zeigen. Dies verdeutlicht, dass für den Reaktionsablauf der Transport des Sauerstoffs an die Phasengrenzfläche Fe/H₂O geschwindigkeitsbestimmend ist. Näherungsweise kann für die Abtragsrate folgende Abhängigkeit angegeben werden:

$$j = 16 \mu m \text{ Fe-Abtrag/Jahr}$$

$$\frac{O_2\text{-Konzentr. (mg/l)}}{d \text{ (mm)}} \quad (2)$$

Hierbei ist 'd' ein Reaktionswiderstand, dessen Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit für Seewasser in Bild 2 rechts angegeben ist. Vermutlich handelt es sich hierbei um eine komplexe Grösse, die Diffusion and Reaktion des Sauerstoffs an und innerhalb einer Rostschicht berücksichtigt. Mit den üblichen Werten 10 mg O₂/l und $d = 0,4 \text{ mm}$ ergibt sich eine Abtragsrate um 0,4 mm/Jahr. In der Praxis werden aber in Trinkwasser wesentlich kleinere Raten beobachtet. Die Ursache hierfür ist die Ausbildung von schützenden Deckschichten. Bei diesen Deckschichten handelt es sich um gealtertes Eisenoxidhydrat mit kleinen Mengen an Wasserinhaltsstoffen, z.B. CaCO₃, SiO₂, Al₂O₃ und Phosphate [2]. Da diese Schichten vorzugsweise in Wässern entstehen, die sich im CaCO₃/CO₂-Gleichgewicht befinden, wurden die Deckschichten auch als Kalkrost-Schutzschichten bekannt. Wichtig ist, dass sich Rost-Schutzschichten nur in strömenden Wässern ausbilden können, vgl. Bild 3 [3]. Die Ursache hierzu ist in den Details des Reaktionsablaufs zu suchen, der wie folgt angenommen werden darf, wenn man Gl. (1) in die elektrochemischen Teilreaktionen zerlegt (vgl. auch Bild 4):

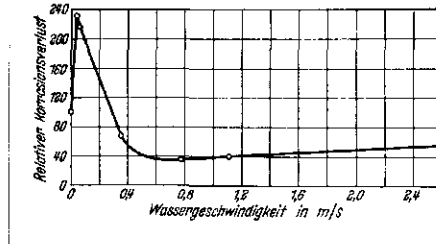
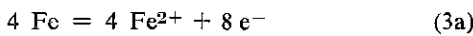
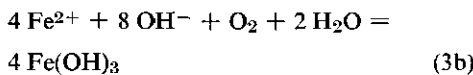


Bild 3 - Abhängigkeit der Korrosion von der Wassergeschwindigkeit nach J. A. N. Friend.

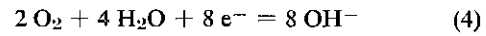
anodische Teilreaktion:



Folgereaktion:



kathodische Teilreaktion:

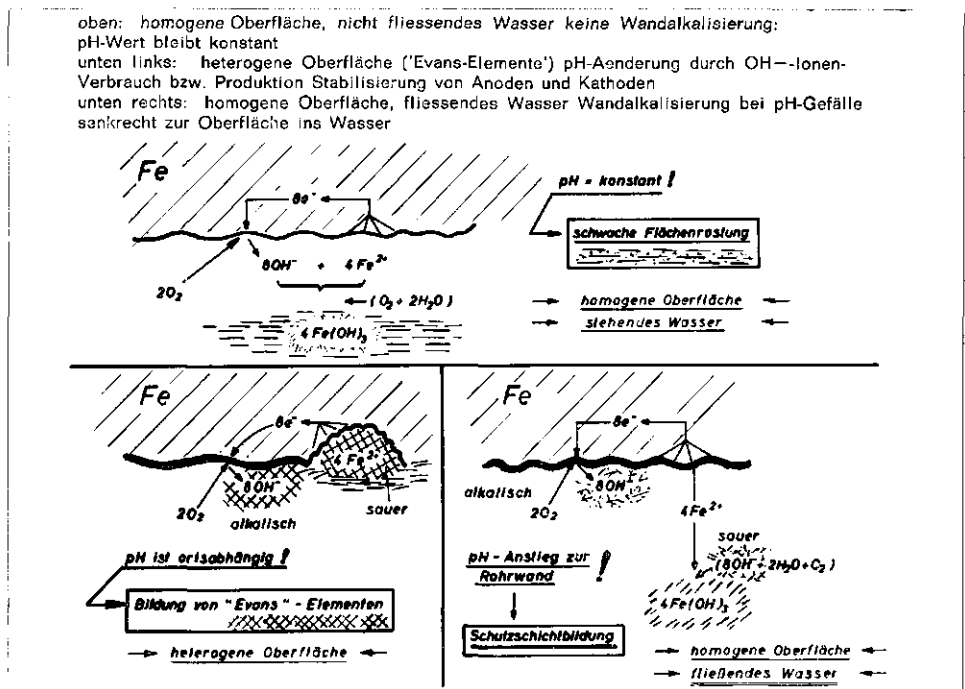


Wie ersichtlich, werden anodisch für die Folgereaktion die gleiche Menge OH⁻-Ionen verbraucht, wie sie kathodisch erzeugt werden. Eine örtliche pH-Erhöhung, an der Stahloberfläche (Wandalkalität) ist durch Reaktion (4) bei stationären Bedingungen in stagnierenden Wässern nicht möglich¹⁾, wenn man von einer örtlichen Trennung der Orte für kathodische und anodische Teilreaktionen absieht, wobei sich Anoden für den Ablauf der Reaktionsfolge (3a/b) durch pH-Absenkung und Kathoden für den Ablauf der Reaktion (4) durch pH-Erhöhung stabilisieren, da eine pH-Erhöhung die Ausbildung von Schutzschichten fördert. Dieser Fall der örtlichen Trennung anodischer und kathodischer Bereiche ist als Belüftungselement oder 'Evans'-Element bekannt und führt zu örtlichem Korrosionsangriff in allen stagnierenden Wässern²⁾. Seine Ausbildung kann durch hohe Pufferung zur Vermeidung von pH-Unterschieden erschwert oder sogar vermieden werden [4]. Seine Wirksamkeit steigt mit der elektrischen Leitfähigkeit bzw. mit dem Salzgehalt. Die für die Elementwirkung erforderlichen örtlichen Konzentrationsunterschiede können auch durch Wasserströmung verhindert werden. In fließenden Wässern kann auch die Folgereaktion (3b)

¹⁾ Siehe Bild 4 oben.

²⁾ Siehe Bild 4, unten links (heterogene Oberfläche).

Bild 4 - Sauerstoffkorrosion von Eisen nach Gleichungen 3a, 3b und 4.



in grösserem Abstand von der Rohrwand erfolgen. Dann sind die Orte für Entstehung und Bildung der OH⁻-Ionen getrennt, so dass Wandalkalisierung eintritt, die die Schutzschichtbildung ermöglicht³⁾. Für die Güte der Schutzschichten ist eine Porendichtung durch Fällungen von CaCO₃ wichtig, wobei auch die anderen o. gen. Stoffe möglicherweise über kolloidchemische Reaktionen wirksam werden. Folglich sind hohe Neutralsalzgehalte wegen ihrer peptisierenden Wirkung schutzschichtschädlich.

Nach diesen Vorstellungen ergeben sich folgende Hinweise für die Beurteilung der Wasseraggressivität bzw. der Neigung zur Ausbildung von Schutzschichten (vgl. auch die alte Fassung DIN 50930) [6]: hoher pH-Wert und hohe Pufferkapazität [7] (Karbonathärte), niedrige Leitfähigkeit, wenig Neutralsalze (Chloride, Sulfate, Nitrate), Vorhandensein von Kalkhärte, SiO₂, Al₂O₃ und Phosphat. Wesentlich ist der Fließzustand, wobei die Einstellung des Kalk-Kohlesäure-Gleichgewichts zwar günstig, aber nicht notwendig ist, falls die Karbonathärte genügend hoch ist [8].

Nach neueren Erfahrungen bei der Verteilung von Mischwässern ist es auch von grosser Wichtigkeit, dass die Konzentration des wesentlichen Wasserinhaltsstoffe zeitlich annähernd konstant bleibt [9]. Bei Aenderung der Wasserbeschaffenheit erfahren auch die Schutzschichten Umwandlungen, die mit einer Rostabgabe verbunden sein können. Ein häufiger Wechsel bewirkt dann Korrosionsschäden, auch wenn die einzelnen Wässer für sich langfristig nicht zu Beanstandungen führen. Bei diesen Betrachtungen wurde mit Gl. (1) die Gegenwart von Sauerstoff vorausgesetzt. In sauerstoffarmen und -freien Wässern ist eine Schutzschichtbildung nicht möglich. Sie ist auch nicht erforderlich, wenn kein anderes Oxidationsmittel wirksam wird, das entsprechend Gl. (4) in einer kathodischen Teilreaktion Elektronen aufnimmt. Hierzj zählt z.B. Sulfat in Gegenwart von sulfatreduzierenden Bakterien in stagnierenden anäroben Wässern [3]. Sie können örtliche Korrosion bewirken und vor allem durch Geruchsbelästigung stören. Diese Korrosionsart kann durch Chlorung o. ä. bekämpft werden. Ein anderes Oxidationsmittel ist Säurewasserstoff. Kohlensäure zerstört nicht nur durch Kalklösung Deckschichten, sondern wirkt ähnlich wie O₂ eisenlösend. Anstelle Gl (2) kann hierfür angenommen werden:

$$j = 3 \mu\text{m Fe-Abtrag/Jahr} \frac{\text{CO}_2\text{-Konz. (mg/l)}}{d \text{ (mm)}}$$

³⁾ Siehe Bild 4, unten rechts [5].

In CO₂-reichen und O₂-freien Tieferwässern kann der Eisenabtrag erheblich werden, zumal 'd' wegen fehlender Deckschichten klein ist. Eine Eisenauflösung ist auch durch Reaktion mit reinem H₂O unter H₂-Bildung denkbar. Jedoch ist diese Reaktion derartig gehemmt, dass die Auflösungsrate < 10 μm Fe-Abtrag/Jahr völlig vernachlässigbar ist [1].

2.2. Bodenseitige 'Aussenkorrosion'

Für die Aussenkorrosion gelten die gleichen Merkmale wie für die Innenkorrosion bei stagnierenden Wässern. Von entscheidender Bedeutung sind alle Faktoren, die eine Elementbildung begünstigen. Hierbei ist zu bedenken, dass wegen der Bodenausdehnung die elektrische Leitfähigkeit des Erdbodens selbst nur geringe Bedeutung hat. Diese ist aber von Interesse, weil anodische Bereiche sich häufig in Böden hoher Leitfähigkeit ausbilden. Insofern gibt eine Analyse des Leitfähigkeitsprofils längs einer Rohrleitung Hinweise für korrosionsgefährdete Stellen [10]. Abgesehen von der Elementbildung infolge unterschiedlicher Bodenarten ist die Ausbildung von Anoden in anäroben durch sulfatreduzierende Bakterien und die Gefährdung durch galvanische Ströme [11] und Streuströme von besonderer Bedeutung. Grundsätzlich bietet der Korrosionsschutz gegen diese Gefahren keine Schwierigkeiten, wobei eine Kombination von Rohrumhüllung und kathodischem Schutz optimal ist. Die vielseitigen Erfahrungen aus dem Gasfach können hierbei genutzt werden [12].

3. Korrosionsschutzverfahren

3.1. Rohrauskleidungen für den Innenschutz

An den Innenschutz von Trinkwasserleitungen sind folgende Anforderungen zu stellen: Die Auskleidung darf keine gesundheitlich bedenklichen sowie Geruch und Geschmack beeinträchtigenden Stoffe an das Wasser abgeben [13]. Sie muss zum Korrosionsschutz langfristig erhalten bleiben und den Eisenabtrag verhindern. Technisch erprobt sind bituminöse Stoffe und Zementmörtel.

3.1.1. Bituminöse Stoffe

Je nach der Innenbeanspruchung unterscheidet man die Bemestungsgrade I (kalte nichtaggressive Wässer), II (kalte aggressive Wässer) und III (warme Wässer bis 40 °C) [14]. Es gibt folgende Ausführungsarten:

a. Innenanstrich, Dicke um 50 μm: für Grad I. Hierbei handelt es sich um einen

temporären Schutz, der nicht porenfrei ist. Langzeitig erfolgt eine gleichmässige Durchrostung und Schutzschichtbildung.

b. Bitumenauskleidungen mit Schichtdicken über 2,5 mm (Grad II) und über 4 mm (Grad III). Nähere Angaben über die Herstellung und Anforderungen sind der Mitteilung 13 der niederl. Korrosionskommission II und z.B. DVGW Arbeitsblättern zu entnehmen [14, 15]. Zur Vermeidung von Blasen darf bei der Druckprüfung der Luftdruck 1 bar nicht überschreiten und nicht länger als 6 h aufrecht erhalten werden. Bei Ausserbetriebsnahme (Reparaturarbeiten) darf die Bitumenauskleidung zur Vermeidung von Rissen nicht austrocknen. Dies kann durch Abdichten, z.B. mit Abschlussblasen, erreicht werden.

Formteile und Rohrverbindungen können vergleichbar beschichtet werden. Bei nicht-begehbaren Abmessungen (NW ≤ 500) müssen besondere Muffen oder Flanschrohr eingesetzt werden.

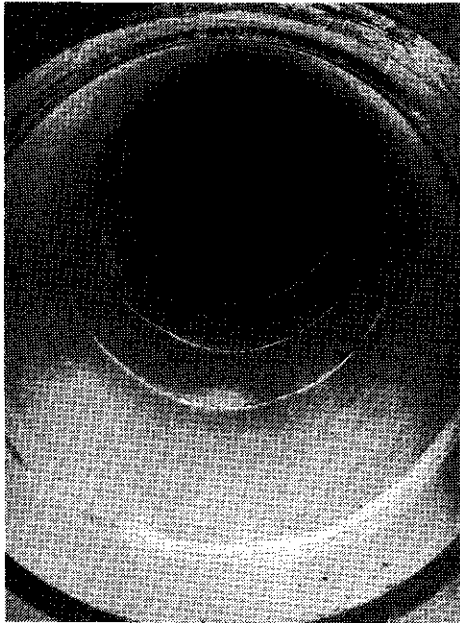
Die Bitumenauskleidung hat bei Fernwasserleitungen mit starken Höheunterschieden infolge von Druckdifferenzen Schwierigkeiten durch Blasenbildung mit nachfolgenden Ablösungen gegeben. Es ist hierbei anzunehmen, dass letztlich Luftblasen im Wasser nach Diffusionsvorgängen im Butimen die Blasenbildung gefördert haben. Für derartige Fernwasserleitungen werden heute weitgehend Zementmörtel-auskleidungen eingesetzt. Demgegenüber ist eine verstärkte Bitumenauskleidung mehr für saure Rohwässer gefragt. Zur Verbesserung der Auskleidungsqualität ist dann Strahlen der Rohinnenfläche vor dem Bituminieren mit Stahlkies notwendig. Bei bituminierten Leitungen ist zur Vermeidung mechanischer Abscherungen, z.B. an exponierten Stellen im Bereich der Nachisolierung bzw. an Rohrverbindungen, die Wasserfließgeschwindigkeit auf rd. 2 m/s zu begrenzen. Dieser Wert ist aber nicht als genaue Grenze zu betrachten, weil er stark temperaturabhängig sein muss. Mit steigender Temperatur ist bei erhöhter Fließgeschwindigkeit auch mit Riffelbildung zu rechnen.

3.1.2. Zementmörtel-auskleidung

Eine Auskleidung mit Zementmörtel in einer Dicke von rd. 4 bis über 16 mm je nach Nennweite ist hygienisch optimal. Abgesehen von kalklösender Kohlensäure ist die Auskleidung gegen praktisch alle Trinkwässern beständig. Die Karbonathärte sollte über rd. 1 °dH liegen. Eine Begrenzung hinsichtlich der Temperatur und der Wasserfließgeschwindigkeit besteht praktisch nicht. Zementmörtel-auskleidungen haben neben der passiven auch eine aktive

Korrosionsschutzwirkung. Durch Abgabe kleiner Mengen an Zementinhaltsstoffen werden Spalte in der Auskleidung oder an Nachisolationsstellen im Laufe der Zeit abgedichtet. Dieser 'Selbsteffekt' ist bei Spaltbreiten von einigen mm selbst in kalklösenden Wässern möglich [16], wenn innerhalb des Spaltes Wasser stagniert und sich an Kalk sättigt. Der Selbsteffekt ist nur bei grossen Innenschäden und bei Solewässern eingeschränkt. Auf diese

Bild 5 - Risse in ZM-Auskleidung Selbstheilung nach 7 Mon. in Wasser mit 12° d k H.



Weise ist zu verstehen, dass die Zementmörtelauskleidung auch bei mechanischer Ueberbeanspruchung des Zementmörtels innerhalb des elastischen Bereiches der Stahlrohre in ihrer Korrosionsschutzwirkung nicht beeinträchtigt wird. Bild 5 zeigt hierzu ausgeheilte Risse in einem Rohr der NW 700, die durch statischen Innendruck mit einer rechnerischen Beanspruchung von rd. 100 % der Streckgrenze bei einem Innendruck von rd. 60 bar erzeugt wurden. Das Rohr wurde 7 Monate stagnierendem Wasser mit rd. 12 °dKH zur Selbstheilung ausgesetzt. Ähnliche Erscheinungen wurden auch in der Praxis beobachtet. Wegen dieser Eigenschaften können Stahlrohre mit Zementmörtelauskleidung im Strang verschweisst und in den Rohrgraben herabgelassen werden, wenn der Biegeradius den 500 fachen Rohrdurchmesser nicht unterschreitet. Auch Düker können im Strang verweisst und über einen Bogen in ein vorher ausgebagertes Flussbett eingezogen werden, vgl. Bild 6. Die Zementmörtelauskleidung trägt auch zur Erhöhung der Verformungs- und Beulsteifigkeit der Rohre bei. Hier kann näherungsweise 7 mm Zementmörtelschichtdicke einer Wanddickenerhöhung des Stahlrohres um 1 mm äquivalent gesetzt werden. Aus Gründen der Rohrflexibilität sollte bei Grossrohren die mittlere Zementmörtelauskleidung

Bild 7. Sand/Zement = 3,0 bis 3,5; Wasser/Zement-Faktor < 0,40. Körnung 0,3 bis 3 mm.

Zementmörtel-Auskleidung Querschliff.

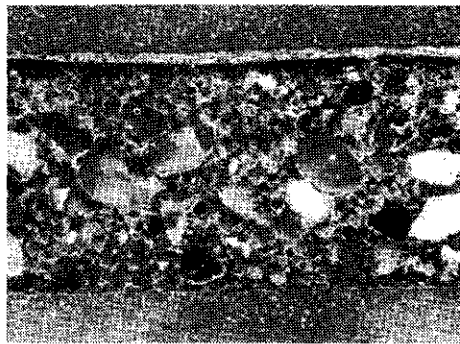
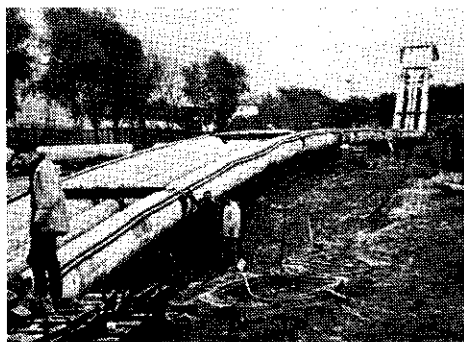


Bild 6 - Düker-Verlegung NW 800 mit ZM-Auskleidung für Trinkwasser.

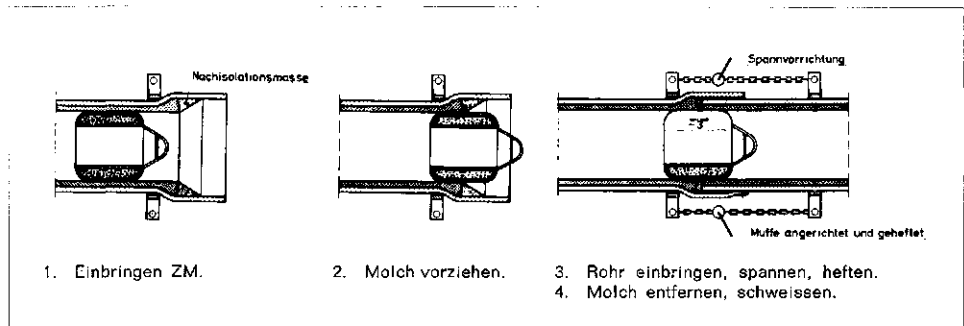


1,5 % des Durchmessers nicht überschreiten [17].

Die Eigenschaften der Zementmörtelauskleidungen für Guss- und Stahlrohre werden in Spezifikationen beschrieben [18, 19]. Bei richtiger Sandkörnung und Mörtelmischung muss bei werksseitiger Auskleidung ein dichtes gleichmässiges Gefüge ohne Entmischung der Grob- und Feinteile erzielt werden, wozu eine besondere Schleudertechnik erforderlich ist. Bild 7 vermittelt einen Eindruck über den Aufbau der Auskleidung mit einer nur geringen Feinschicht, die eine glatte Oberfläche der Auskleidung mit einem optimal kleinen Reibungsbeiwert gewährleistet. Formteile und Rohrverbindungen werden mit einer besonderen Mörtelmasse unter Verwendung ausgesuchter Zusatzmittel zum besseren Verbund mit der ausgehärteten Werkauskleidung beschichtet oder nachisoliert. Bei nichtbegehbaren Abmessungen können besondere Muffenverbindungen eingesetzt oder eine Nachisolierung unter Verwendung eines Glättmolches erfolgen, vgl. Bild 8. Auch bereits verlegte Rohrleitungen können mit Hilfe besonderer Maschinenmolche 'in situ' beschichtet werden, z.B. nach dem Centrilin-Verfahren [20].

Einsatzgrenzen hat die Zementmörtelauskleidung bei hohen Gehalten an kalklösender Kohlensäure. Erfahrungsgemäss können je nach Karbonathärte um 30 mg/l kalklösende Kohlensäure zugelassen werden. Es erfolgt dann im Laufe der Zeit eine Entkalkung an der Oberfläche, wodurch die Auskleidung zwar etwas aufweicht, ihre Korrosionsschutzwirkung aber beibehält. Bei vollständig durchgehender Entkalkung nach sehr langer Zeit liegt letztlich ein Sand-Silikat-Gerüsts vor, das an der Stahloberfläche Rost nach der Art einer Schutzschicht einbaut [21]. Im Betrieb zeigen Zementmörtelauskleidungen in kalklösenden Wässern meist eine dunkle Färbung, weil die entkalkte Oberflächenschicht begierig Eisen- und Manganoxide aus dem Wasser adsorbiert. Bei Ausserbetriebnahme von Leitungen

Bild 8 - ZM-Auskleidung Nachisolierung Schweissverbindung kleine NW.



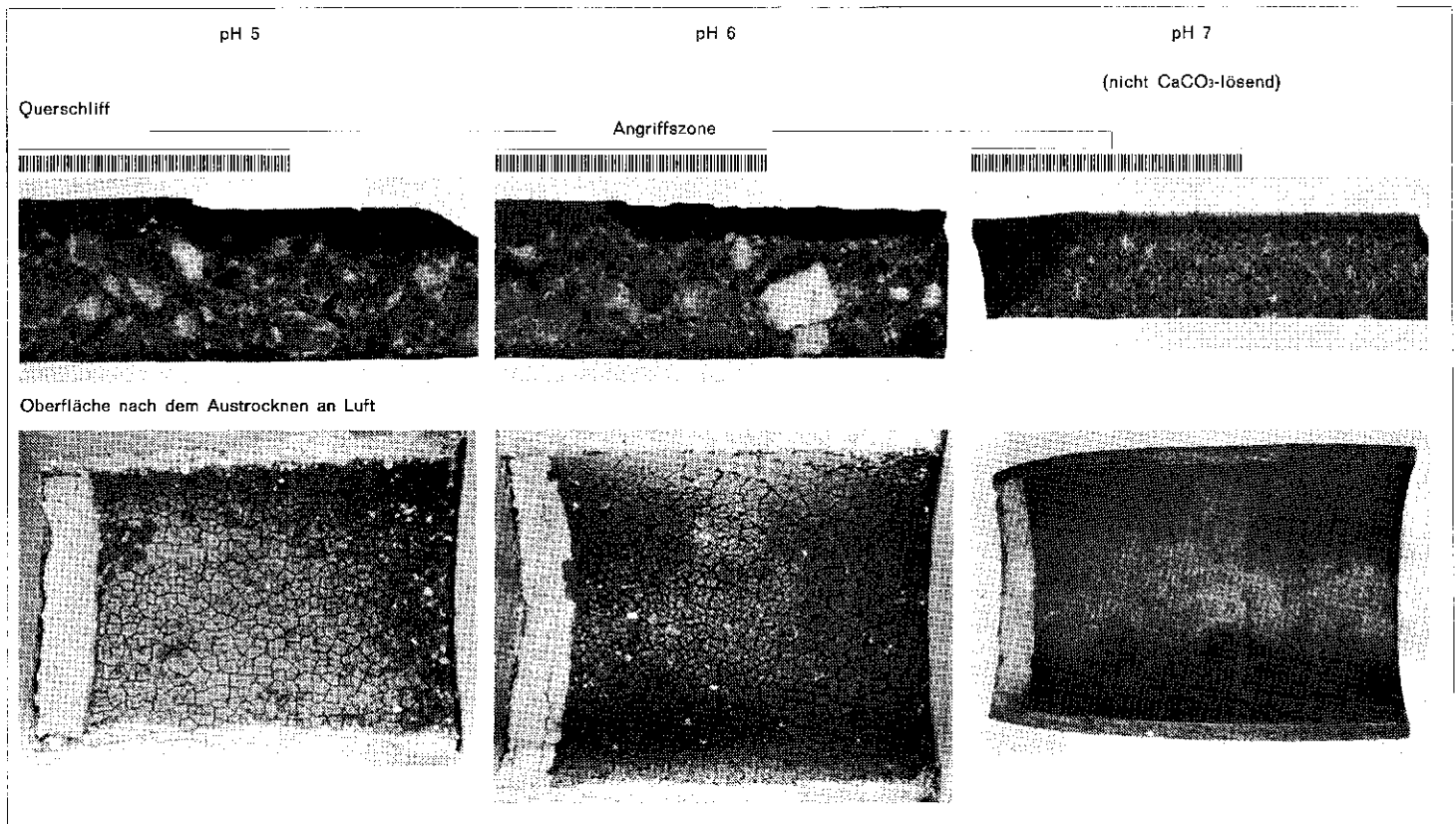


Bild 9 - CO₂-Angriff auf ZM-Auskleidung, 39 Monate 25 °C.

(z.B. bei Reparaturarbeiten), durch die einige Jahre kalklösende kohlensaure Wasser geflossen sind, muss wie bei der Bitumenauskleidung darauf geachtet werden, dass die gelartige entkalkte Schicht nicht austrocknet. Hierdurch würden nämlich Trockenrisse entstehen, vgl. Bild 9, was zu Absandungen bei Wiederinbetriebnahme führen kann [22]. Bei der Druckprüfung mit Wasser ist zu beachten, dass der Zementmörtel Wasser aufnehmen kann und somit einen Druckabfall bewirkt [23].

3.1.3. Kunststoffauskleidungen

Für kalkaggressive Wasser werden mitunter Kunststoffauskleidungen für den Korrosionsschutz erfordert. Neben Kosten- und Applikationsfragen sowie den Problemen der Nachisolierung an Schweissverbindungen müssen auch die hygienischen Fragen sowie die Langzeitbeständigkeit gelöst bzw. beantwortet werden. Alle bekannten Kunststoffe sind nicht wasserdampfdiffusionsfest. Sie verlieren im Laufe der Zeit ihren elektrischen Isolationswiderstand, so dass an Poren Lochfrassgefahr durch Elementbildung der Art Anode (Fe an der Pore)/Wasser/Kathode (Fe unter der Beschichtung) besteht [24]. Hier muss langfristig auch mit Unterwanderung der Beschichtung von Poren ausgehend

gerechnet werden, wobei neben den Eigenschaften der Auskleidung vor allem die Korrosionsreaktion an der Pore und somit die Wasserzusammensetzung Einfluss nehmen [25]. Es ist fraglich, ob im Vergleich zu dickschichtigen Bitumenauskleidungen dünne Kunststoffbeschichtungen sicher porenfrei appliziert und verarbeitet werden können.

3.2. Rohrumhüllungen für den Aussen-schutz

Die Rohrumhüllung muss zur Vermeidung von Korrosionselementen einen möglichst hohen elektrischen Widerstand und gute mechanische Festigkeit aufweisen. Ferner wird oft eine Verträglichkeit mit dem kathodischen Korrosionsschutz gefordert, der im allgemeinen bei Dickbeschichtungen über 1 mm mit Bitumen oder Kunststoff gegeben ist. Zwar besteht hier grundsätzlich an Verletzungen die Gefahr einer Unterwanderung, d.h. örtlicher Aufhebung der Haftfestigkeit. Diese führt aber nachweisbar nicht zur Beeinträchtigung der Korrosionsschutzwirkung [25]. Dies mag bei Dünnbeschichtungen andere Folgen haben, wenn Blasenbildung und flächige Zerstörung der Beschichtung möglich sind. Derartige Beschichtungen zeigen aber bereits auch aus mechanischen Gründen keine Vorteile.

Für die Rohrumhüllung sind Bitumen und Polyäthylen technisch erprobt.

3.2.1. Bitumen

Bitumen-Umhüllungen werden durch die Mitteilung 13 der niederländischen Korrosionskommission II und z.B. durch DVGW-Arbeitsblätter spezifiziert [14, 15]. Es gibt eine Normalausführung mit rd. 4 mm Schichtdicke und eine verstärkte Ausführung mit rd. 7 mm. Die Eigenschaften der Bitumenumhüllung sind seit Jahrzehnten bekannt und bedürfen keiner weiteren Würdigung. Die Einsatzgrenzen ergeben sich ausschließlich von den mechanischen Eigenschaften her. Bitumenumhüllungen sind langfristig nicht wurzelfest. Bei rauhem Transport und Verlegung, insbesondere in steinreichen Böden ohne sorgfältige steinfreie Erdbedeckung wurden in den letzten Jahren zunehmende Schäden beobachtet. Zwar lassen sich Verletzungen in gleicher Weise wie die Schweissnähte mit Binden beschichten. Es ist aber letztlich eine Frage der Sorgfalt bei der Rohrverlegung und der Reparaturkosten, die der Bitumenumhüllung Grenzen setzen.

3.2.2. Polyäthylen

Das polyäthylen hat gegenüber dem Bitumen den entscheidenden Vorteil der wesentlich besseren mechanischen Eigen-

schaft [25, 26]. Nachteilig sind die höheren Kosten sowie in der Vergangenheit zu geringe Alterungsbeständigkeit [27]. Heute bestehen derartige werkstoffseitige Probleme nicht mehr, da nur genügend alterungsbeständige stabilisierte Polyäthylen-Typen eingesetzt werden dürfen [28]. Für die Herstellung werden Schlauch- und Wickel-extrusionsverfahren unter Verwendung besonderer Kleber oder das Pulveraufschmelzverfahren — letztes insbesondere für Formteile — angewandt [29]. Nach allen Verfahren können sehr hohe Schäl-festigkeitswerte um 50 N/cm bei rd. 1 cm/min Abschälgeschwindigkeiten erzielt werden [26]. Die Schichtdicken liegen je nach Nennweite zwischen 1,8 bis 3 mm und u. U. noch höher. Für die Nachisolierung der Schweissverbindungen können selbstklebende Kunststoffbinden oder das werks-ähnliche Aufschmelzen von Polyäthylen-pulver angewandt werden.

Den Unterschied zwischen Bitumen und Polyäthylenumhüllungen vermittelt Bild 10 am Beispiel der Druckbeständigkeit. Erfahrungsgemäss ist auch der kathodische Schutzstrombedarf um mind. eine Zehnerpotenz geringer. Dies entspricht nicht dem Verhältnis der Umhüllungswiderstände, das für porenfreie Beschichtungen bei mind. 10^4 liegt. Insofern ist Polyäthylen im Gegensatz zu Bitumen auch für lange Zeit ein derartig guter Isolator, dass auch grosse Flächen nicht kathodisch wirksam werden können [30]. Der technische Vorteil der Polyäthylenumhüllung besteht in der geringeren Verletzbarkeit bei Transport, Verlegung und Einarbeitung auch mit steinhaltigen Böden und bei verhältnismässig niedrigen Temperaturen. Die Umhüllungen sind völlig wurzelfest und zeigen auch eine erhöhte Beständigkeit gegen organische Lösungsmittel, die Bitumen in kurzer Zeit ablösen würden (z.B. bei Tankstellen). Wegen der guten Haftfestigkeit und mechanischen Beständigkeit wird die

Polyäthylenumhüllung auch bei Ramm- oder Durchpressrohren genutzt.

4. Schlussbetrachtung über Stahlrohre im Wasserfach

4.1. *Rohrnetze für die Wasserverteilung*
Für die Wasserverteilung in Gemeinden liegen noch häufig alte Leitungssysteme vor, die im Zuge eines erhöhten Trinkwasserbedarfs Korrosionsprobleme aufwerfen können, wenn nicht korrespondierende Fernwässer und Eigenwässer unkontrollierte Mischungen im Rohrnetz erfahren. Hier sind zum Korrosionsschutz neben einer korrosionsschutzgerechten Trinkwasseraufbereitung (z.B. Erhöhen des pH-Wertes) besondere Massnahmen bei Mischwässern zu ergreifen [9]. Sehr salzreiche Wässer können z.B. mit salzarmen Wässern verschnitten werden. Ferner ist von Fall zu Fall eine Unterteilung des Verteilungssystems in Bereiche mit zeitlich weniger schwankenden Wassergütern anzuraten. In besonders schwierigen Fällen kann eine nachträgliche 'in-situ'-Auskleidung mit Zementmörtel eine kostengünstigere Lösung darstellen. Für neue Leitungsabschnitte werden zunehmend für den Innenschutz werksseitige Zementmörtelauskleidungen eingesetzt. Eine Innenauskleidung ist unter allen Umständen für Endstränge mit häufig stagnierenden Wässern anzuraten.

Für Hausanschlussleitungen kleinerer Nennweiten werden leider keine Zementmörtelauskleidungen gefertigt, so dass für den Innenschutz Bitumenauskleidung gewählt werden muss. Wegen des erhöhten Fließzustandes ist hier auch eine Schutzschichtbildung begünstigt. Häufig werden hierzu auch Rohre aus Vollkunststoff eingesetzt, die gleichzeitig die Hausinstallation vom Rohrnetz galvanisch trennen und somit die Gefahr einer Aussenkorrosion durch Elementbildung — wie sie bei Gasleitungen bestand [11] — ausschliesst. Auf keinen Fall sollten Hausanschlussrohre aus blanken Kupfer wegen der erhöhten Gefährdung durch Aussenkorrosion eingesetzt werden!

Für den äusseren Korrosionsschutz genügen in den meisten Fällen Bitumenumhüllungen. Bei besonderen mechanischen Beanspruchungen und bei erhöhter Streustromgefährdung ergeben Polyäthylenumhüllungen Vorteile. Streustrombekämpfung und kathodischer Schutz ist bei Verteilungsleitungen schwierig und in den meisten Fällen nur durch eine hochwertige Umhüllung zu lösen.

4.2. Fernwasserleitungen

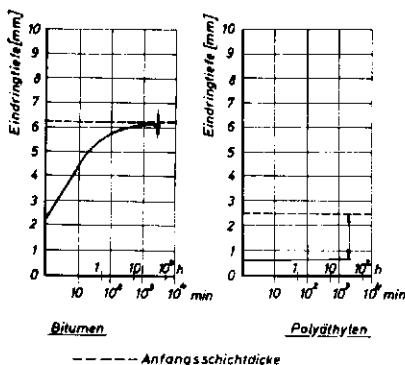
Für Fernwasserleitungen werden in erster

Linie hohe Leistungen benötigt, die erhöhte Geschwindigkeiten und Drücke fordern. Hierzu ist die Innenrauheit gering zu halten, was über lange Zeiten nur mit Zementmörtelauskleidungen sicher erreicht werden kann. Die Reibbeiwerte nehmen erfahrungsgemäss mit der Zeit wegen Ausbildung einer 'Sielhaut' ab. Bei den modernen Fernwasserleitungen mit Nennweiten um 1,5 m werden bei Innendrücken um 30 bar Fließgeschwindigkeiten um 3 bis 4 m/s erreicht. Höhere Fließgeschwindigkeiten sind im Gegensatz zu Ölleitungen wegen der rheologischen Eigenschaften des Wassers nicht wirtschaftlich. Infolgedessen werden hier die höheren Festigkeitsebenen der modernen Rohrstähle noch nicht benötigt. Eingesetzt werden für Fernwasserleitungen z.Z. Güten bis St 53 mit Streckgrenzen über 370 N/mm². Dass die Zementmörtelauskleidung bei der Verlegung im Strang und auch bei Dückern keine Probleme aufwirft, wurde bereits erwähnt. Für den Aussenschutz kann man je nach der mechanischen Beanspruchung Bitumen oder Polyäthylen wählen. Für Felsböden und Durchpressrohre sowie bei erhöhten Sicherheitsanforderungen ist auf jeden Fall Polyäthylen vorzuziehen. Auch der kathodische Aussenschutz ist wie bei Gas- und Produktenleitungen anwendbar. An Isolierflanschen kann bei hoher Leitfähigkeit des Wassers u.U. eine anodische Beeinflussung der Innenflächen des anschliessenden Rohres eintreten, wenn die Trennstrecke nicht genügend lang oder die Innenauskleidung nicht genügend isolierend ist. Auf eine derartige Gefährdung ist gegebenenfalls zu achten. Als Schutzmassnahme ist auch ein örtlicher kathodischer Innenschutz möglich [31].

4.3. Künftige Entwicklungen - Ausblick

Während durch die Kombination Rohrumhüllung und kathodischer Korrosionsschutz bodenseitig ein 100 %-iger Schutz grundsätzlich möglich ist, bestehen wasserseitig noch Wünsche. Zwar bietet die Zementmörtelauskleidung in Wässern mit nur wenig kalklösender Kohlensäure bei Karbonathärten über rd. 1 dH auch bei Vorliegen von Spalten einen praktisch 100 %-igen Schutz, kalklösende Kohlensäure ist aber nicht immer, insbesondere nicht bei Rohwasserleitungen, zu vermeiden. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, durch zusätzliche Massnahmen den Zementmörtel zu schützen. Wegen der wasserdampfdurchlässigen Eigenschaft aller Kunststoffe und aus osmotischen Gründen verbietet sich eine dichte zusätzliche Kunststoffauskleidung. Diese müsste vielmehr gleichzeitig mikroporös und schützend sein, was z.B. hochpigmentierte Einbrennharze vermögen

Bild 10 - Druckbelastung der Isolierschichten, Last: 2,5 t, Auflagebreite: 100 mm, Rohr: NW 200.



[23]. Andererseits liegt es nahe, dem Zementmörtel Kunststoffdispersionen beizugeben, die den Zement gegen Kohlen-säureangriff passivieren. Derartige Stoffe sind bekannt und grundsätzlich einsetzbar. Sie haben nur den entscheidenden Nachteil, dass sie nur in verhältnismässig hohen Konzentrationen wirken, die beim werks-seitigen Einschleudern nicht wirtschaft-lich erreicht werden können. Darüberhinaus bestehen noch weitere verfahrenstechnische Schwierigkeiten, die wahrscheinlich eine derartige Lösung verbieten. Weitere Wünsche bestehen in der Technik der Rohrverlegung. Da erfahrungsgemäss kleine Spalte toleriert werden dürfen, zeigen sich Wege für eine bequemere Schweiss-verbinding. Durch zweckmässige Enden-gestaltung der Rohre und der Auskleidung können Stumpfschweissverbindungen hergestellt werden, die einer nachträglichen Auskleidung des Schweissnahtbereiches nicht mehr bedürfen. Derartige Verfahren sind z.Z. in der Entwicklung bzw. in der Erprobung.

Literaturverzeichnis

1. Schwenk, W.: *Stahl & Eisen* 92 (1972) 1021/26.
2. Friehe, W. u. Schwenk, W. *Heizung-Lüftung-Haustechnik* 24 (1973) 13/19.
3. Klas, H. u. Steinrath, H.: *Die Korrosion des Eisens und ihre Verhütung*, Düsseldorf, 1956.
4. Skorochelletti, V. V. u. Colubeva, N. K.: *Corr. Sci.* 5 (1965) 203/09.
5. Kruse, C. L., pers. Mitteilung.
6. Vornorm DIN 50930, Fassung von Jan. 1966.
7. Stumm, W.: *J. San. Eng. Div., Proc. ASCE* 86 (1960) No. SA 6, S. 27/45.
Smiricz, G.: *Veröff. d. Abt. u. d. Lehrst. f. Wasserchemie d. Universität Karlsruhe*, H. 4 (1969), S. 296/328.
8. Werner, G., Wurster, E. u. Sontheimer, H.: *gwf* 114 (1973), S. 105/117.
9. Ausspracheveranstaltung DVGW-Fachaus-schuss 'Versorgung mit Wässern unterschied-licher Zusammensetzung', 11.10.1973 in Aumühle (DVGW-Arbeitsblatt in Vorberei-tung).
10. DVGW-Arbeitsblatt GW 9, Aug. 1971.
11. Schwenk, W.: *gwf* 113 (1972) 546/50.
12. Baeckmann, W. v. u. Schwenk, W.: *Handbuch des katholischen Korrosionsschutzes*, Wein-heim 1971.
13. Din 2000, Neufassung 1973.
14. DVGW-Arbeitsblatt GW 5, April 1971.
15. DVGW-Arbeitsblatt GW 6, Nov. 1969.
16. Heim, G.: *Werkst. u. Korrosion* 19 (1968) 786/92.
17. Bopp, A.: *Rohre-Rohrleitungsbau-Rohr-leitungstransport* 9 (1970) 26/32 u. 73/79.
18. Tessendorff, H.: *DVGW-Schriftenreihe Wasser*, Band 3, Frankfurt 1974.
19. DVGW-Arbeitsblatt W (in Vorbereitung).
20. Holtschulte, H.: *Neue DELIWA-Zeitschr.* 10 (1972) 449/54.
21. Chapell, E. L.: *Ind. Eng. Chem.* 22 (1930) 1203/06.
22. Holtschulte, H.: *Wasserfachl. Aussprache-tagung DVGW, Berlin, 1.11.1973, gwf dem-nächst.*
23. DIN 4597 Neubearbeitung 1973.
24. Schwenk, W.: *Polytechn. Tijdschr. Editie Procestechiek* 26 (1971) 345/56.
25. Schwenk, W.: *Rohre-Rohrleitungsbau-Rohr-leitungstransport* 12 (1973) 15/20.
26. Hauk, V., Landgraf, H. u. Schwenk, W.: *Bänder-Bleche-Rohre* 10 (1969) 274/79.
27. Fischer, H.: *gwf* 113 (1972) 283/90.
28. Vornom DIN 30670, Sept. 1972.
29. Hauk, V., Meyer, W. u. Schrenk, W.: *Materialprüfung*, im Druck.
30. Schwenk, W.: *Erörterung zu 25. in: Diskussionsheft Gasfachliche Aussprache-tagung DVGW, Aachen 1971.*
31. Funk, D. u. Löken, G.: *Rohre-Rohrleitungs-bau-Rohrleitungstransport* 12 (1973) 68/70.

