

Transport von Sole in Rohrfernleitungen—Stand der Technik

Ortwin Lopau

Salzgewinnungsgesellschaft

Bruck 9

D-4422 Ahms-Graes

ZUSAMMENFASSUNG

Einleitende Darstellung der in der Bundesrepublik betriebenen Fernleitungen für Sole. Leitungslänge, Durchmesser, Werkstoffe, rechtliche Grundlagen, wie Wasserhaushaltsgesetz, Technische Regeln mit allen Einschränkungen und in Zukunft zu erwartenden Erleichterungen, Betriebsplanverfahren entsprechend den bergbehördlichen Vorschriften, technische Auslegung, Werkstoffauswahl mit Berechnungsverfahren, verwendete Armaturen, Auswahlkriterien und Betriebserfahrungen, Pumpen, Sicherheitseinrichtungen nach RFF, wie Drucküberwachung, Einrichtung zur Erkennung von Verlusten während des stationären Betriebes, Einrichtungen zur Erkennung schleichender Undichtheiten, Leckortung, Funktionsprüfungen und wiederkehrende Prüfungen durch Sachverständige, Korrosionsverhalten einzelner Werkstoffe und Maßnahmen zur Bekämpfung von Innen- und Außenkorrosion nach chemischen und physikalischen Verfahren, wie Einsatz verschiedener Inhibitoren, Innenkathodenschutz, Auskleidungen etc., Messung der Innenkorrosion in Fernleitungen nach unterschiedlichen Verfahren, Ausblick auf zu erwartende Entwicklungen.

EINLEITUNG

Bei flüssigen und gasförmigen Massengütern hat sich die Rohrfernleitung in den letzten 20 Jahren zum sichersten und wirtschaftlichsten Transportmittel entwickelt. Energieträger wie Erdgas und Mineralöl, Wasser und chemische Produkte werden in Rohrfernleitungen befördert, nicht zuletzt wegen geringer Beeinträchtigung und Gefahren für die Umwelt bei raumordnerisch sinnvoller Leitungsführung und technisch einwandfreier Gestaltung.

Salzlösungen, in erster Linie Natrium-Chlorid-Lösungen, werden in der Bundesrepublik in zahlreichen Rohrfern- und Feldleitungen folgender Industrien transportiert:

1. Solegewinnungsbetriebe zur Versorgung der chemischen Industrie mit dem Rohstoff Natriumchlorid (Chlorelektrolyse, Sodaproduktion nach dem Solvay-Verfahren).
2. Kavernenspeicherbetriebe zur Solung von Steinsalzkaavernen zwecks Speicherung von Mineralölen, Gasen, Druckluft zur Spitzenlastdeckung bei der Stromerzeugung

und zwecks Deponierung pumpbarer Abfallprodukte.

3. Erdölförderbetriebe zur Einpressung von salzhaltigen Lagerstättenwässern zwecks Verbesserung des Entölungsgrades einer Erdöllagerstätte (Sekundärverfahren).
4. Steinkohlebergwerke zur Ableitung salzhaltiger Grubenwässer.
5. Kaliwerke zur Ableitung der bei der Verarbeitung von Kalisalzen entstehenden Ablauge.

400 km entfallen auf Solefernleitungen und ca. 2.100 km auf Feldleitungen für Sole und Salzwasser. 80% der Fernleitungslängen sind Stahlleitungen mit Durchmessern von 400 bis 1.100 mm. Es werden jährlich ca. 150 Mill. m³ Sole- und Salzwasser durch Fern- und Feldleitungen transportiert.

In vielen Fällen handelt es sich um Leitungen, die bereits mehrere Jahrzehnte in Betrieb sind, vornehmlich um Gußrohrleitungen mit Längen bis zu 10 km. Leitungen größeren Durchmessers und großer Länge werden erst

5–10 Jahre betrieben. Bekanntgewordene Schadensfälle, speziell Rohrleitungsbrüche, gliedern sich auf in einen 30 %igen Anteil aufgrund Einwirkungen Dritter von außen (Baumaschinen usw.) und in einen 40 %igen Anteil aufgrund von Korrosionsschäden.

Bei allen diesen Rohrleitungsschäden traten keinerlei nennenswerte Beeinträchtigungen der Umwelt auf.

TRANSPORT VON SOLE IN ROHRFERNLEITUNGEN —STAND DER TECHNIK—

Gesetzliche Grundlagen für Errichtung und Betrieb von Solefernleitungen. Der Stand der Technik wird nicht zuletzt durch Gesetze und Verordnungen geprägt. Da die Sole bis vor kurzem noch als nicht grundwassergefährdend anzusehen war, hat sich in den letzten fünf Jahren im Rahmen der Umweltschutzdiskussion behördlicherseits ein Wandel vollzogen. Durch Verordnung vom 5. 4. 1976 stufte die Legislative Salzlösungen insoweit als wassergefährdend ein, als in ihnen enthaltene Salze geeignet sind, Gewässer zu verunreinigen oder in ihren Eigenschaften nachteilig zu verändern.

Setzt man bei Na-/K-Chlorid-Lösungen solche Eigenschaften voraus, sind Rohrfernleitungen nach § 19a des Wasserhaushaltsgesetzes genehmigungspflichtig *neben* der bergrechtlichen Betriebsplanpflicht für Errichtung und Betrieb bei dem der Bergaufsicht unterstehenden Bergbau- und Speicherbetrieben. Für nach § 19a WHG genehmigungspflichtigen Rohrleitungen bestimmt aber die Richtlinie für Fernleitungen zum Befördern gefährdender Flüssigkeiten—RFF genannt—der Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten—TrbF genannt—die sicherheitstechnischen Anforderungen an Errichtung und Betrieb solcher Anlagen. Diese Richtlinie wurde ursprünglich für Mineralölleitungen konzipiert, durch den per Verordnungen erweiterten Katalog gefährdender Flüssigkeiten in § 19a WHG aber immer mehr auf andere Stoffe ausgedehnt.

Letztlich bleibt es nun der Gesetzgebung der Länder vorbehalten, inwieweit Natriumchloridlösungen als wassergefährdend eingestuft werden. Um in Zukunft nicht den gleichen sicherheitstechnischen Anforderungen wie Mineralölleitungen genügen zu müssen, wurde auf Drängen der Industrie durch den Beirat "Lagerung und Transport gefährdender Flüssigkeiten" beim Bundesinnenministerium eine Arbeitsgruppe mit der Erstellung Technischer Richtlinien für Soleleitungen in Anlehnung an die zitierte RFF beauftragt, gleichzeitig sollte die Arbeitsgruppe "Bewertung wassergefährdender Stoffe" für Sole den Grad ihrer möglichen Wassergefährdung bestimmen. Es muß erwartet werden, daß Natrium-/Kaliumchlorid-Lösungen oberhalb einer Konzentration von 30 g/l als leicht wassergefährdend eingestuft werden.

Diese leichte Wassergefährdung bedeutet, daß nach dem "Katalog wassergefährdender Flüssigkeiten" der "Län-

derarbeitsgemeinschaft Wasser—LAWA—"diese Stoffe in der Regel nur in sehr großen Mengen wassergefährdend sind. Der Entwurf Technischer Richtlinien für Soleleitungen der erwähnten Arbeitsgruppe liegt dem Beirat beim BMI vor und ist in seinen Auswirkungen im folgenden berücksichtigt worden.

Im Vergleich zur RFF sind entscheidende Erleichterungen aufgrund des geringen Gefährdungsgrades von Sole zu erwarten, einschränkend muß aber erwähnt werden, daß der Entwurf noch nicht die ungeteilte Zustimmung des BMI-Beirates gefunden hat.

Rohrleitungstechnische Auswahlkriterien Allgemeines: Im folgenden werden einige spezifische, technische Besonderheiten von Solefernleitungen gegenüber dem Standard von Rohrfernleitungen zum Transport brennbarer Flüssigkeiten unter Beachtung der einschlägigen technischen Verordnungen und Richtlinien erläutert. Dabei wird das allgemein gültige know-how des Transportes in Fernleitungen als bekannt vorausgesetzt.

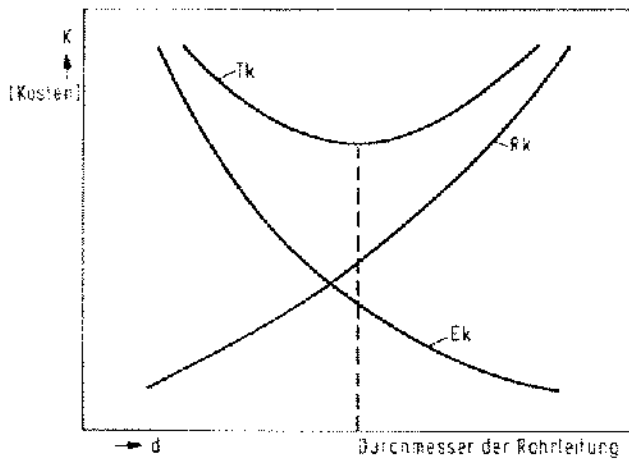
Werkstoffwahl und Dimensionierung: Die Werkstoffwahl sowie die Dimensionierung der Fernleitung ist aufgrund spezifischer Eigenschaften des zu fördernden Mediums von grundsätzlicher Bedeutung. Die in diesem Zusammenhang relevanten Eigenschaften von Sole sind: 1) Korrosivität, 2) Feststoffanteil, 3) Stabilität der Lösung gegen Rekristallisation durch Temperaturveränderung, und 4) Stabilität der Lösung gegen Veränderungen der chemisch-physikalischen Eigenschaften bei Druckveränderungen.

Die die Werkstoffwahl sowie den wirtschaftlichen Durchmesser ohnehin beeinflussenden Faktoren bei der Konzipierung von Rohrleitungen wie Länge und Topographie der Trasse, sowie die notwendige Kapazität der Transportleitung behalten selbstverständlich ihre Bedeutung.

Die Beantwortung der Frage der Korrosivität—im einzelnen wird auf Korrosivität von Sole und Korrosionsschutz von Rohrleitungen zu einem späteren Zeitpunkt zurückgekommen—in Verbindung mit der notwendigen Transportkapazität sowie der Länge der konzipierenden Fernleitung engt die mögliche Werkstoffauswahl bereits stark ein.

Die Wassergefährdung des Mediums selbst kann ebenfalls in diese Betrachtung einbezogen werden, da einige Werkstoffe unterschiedlich zu bewertende Rohrverbindungen zulassen. Eine Auflistung technisch herstellbarer Rohre verschiedener Werkstoffe sowie deren Festigkeitsverhalten beschränkt die Auswahl im weiteren.

Da der Durchmesser einer Leitung die Transportkosten maßgeblich beeinflusst, kann letztendlich nur die Ermittlung des wirtschaftlichen Durchmessers der noch zur Auswahl stehenden Werkstoffe sowie der Transportkostenvergleich dieser optimierten Rohrdurchmesser die Wahl entscheiden. Die Transportkosten setzen sich zusammen aus 1) Rohrleitungskosten einschließlich notwendiger Stationen und 2) Energiekosten.



Figur 1. Die Ermittlung des optimalen Durchmessers aus Rohrleitungskosten (R_k) und Energiekosten (E_k) für einen bestimmten Werkstoff.

Die Rohrleitungskosten errechnen sich aus Verzinsung und Abschreibung des Anlagekapitals der Rohrleitung sowie der zugehörigen Stationen, die Energiekosten aus der angesetzten Maschinenleistung unter Berücksichtigung der Durchsatzmenge.

Die für den Werkstoff zu verschiedenen Durchmessern ermittelten Rohrleitungskosten kann man graphisch addieren, um den wirtschaftlichen Durchmesser zu bestimmen.

Der Kostenvergleich der wirtschaftlichen Durchmesser unterschiedlicher Werkstoffe gibt den kostengünstigsten Werkstoff sowie den optimalen Durchmesser an. Ist die Werkstoffwahl getroffen, muß selbstverständlich die exakte Berechnung der notwendigen Wandstärken aufgrund der materialspezifischen Kennwerte des Werkstoffes sowie der Beanspruchung des Werkstoffes durch Betriebsdruck und Zusatzbeanspruchungen nach einschlägigen Normen durchgeführt werden. Besonders beachtet werden muß hierbei das Zeitstandsverhalten des gewählten Werkstoffes.

Bei Soleleitungen kann nun allgemein davon ausgegangen werden, daß bei größeren Leitungslängen als 20 km und größeren Nennweiten als DN 250 der Werkstoff Stahl, bei kleineren Durchmessern als DN 250, aber Kunststoffe, vor allem Thermoplaste aufgrund ihrer Schweißbarkeit, die wirtschaftliche Alternative darstellen.

Armaturen. Die als Auswahlkriterien des Werkstoffes genannten spezifischen Eigenschaften der Sole gelten auch bei der Wahl von Armaturen. Besonders zu beachten sind bei Abschlußarmaturen:

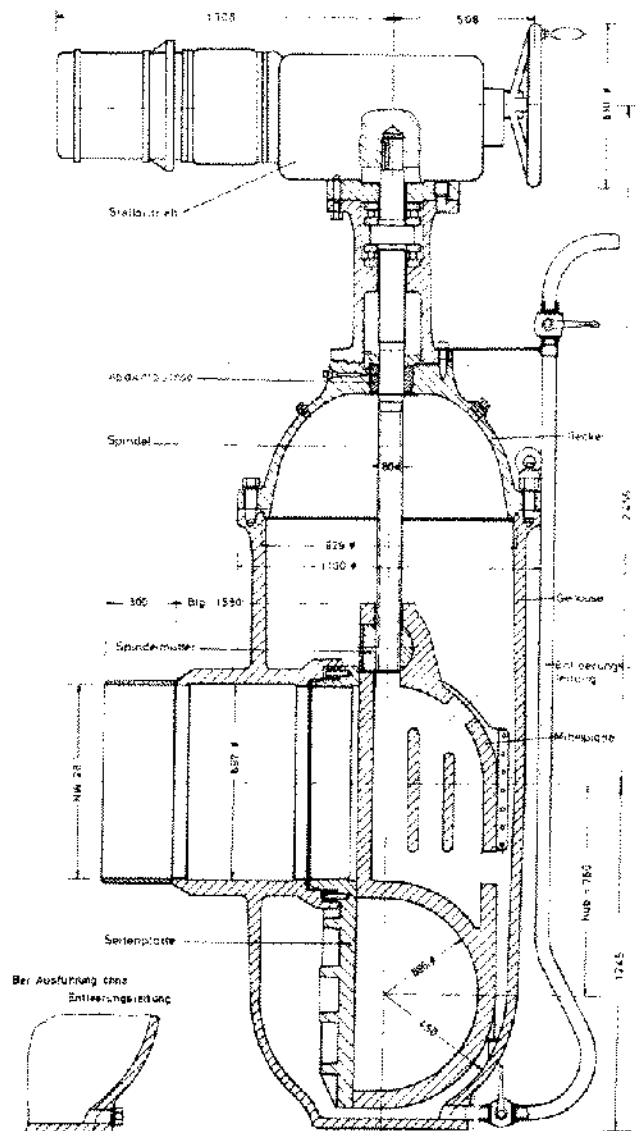
1. die Sicherheit gegen Beschädigung der Dichtelemente durch Rekristallisation des NaCl und durch Feststoffe,
2. die Korrosionsbeständigkeit aller verwendeten Werkstoffe unter noch stärkerer Beanspruchung durch Stillstands- und Spaltkorrosion,
3. eine geringe Neigung der Armaturen zum Festwerden durch Sedimentation von Feststoffen, oder durch Ad-

häsion der Werkstoffe, also geringes "Losbrechmoment", und

4. einfache Bauart.

Grundsätzlich haben sich Armaturen bewährt, die hartdichtend konstruiert wurden, d. h. deren Dichtelemente aus Metall-Legierungen bestehen. Je nach verwendeter Legierung kann eine Vernickelung sowie eine Kunststoffbeschichtung im Mikrometerbereich der aufeinander gleitenden Oberflächen zusätzliche Betriebssicherheit bieten.

Auf die der Sole ausgesetzten Gehäuseteile und Durchgänge läßt man zweckmäßigerweise eine Kunstharzbeschichtung aufbringen. Es haben sich zwei verschiedene Absperrprinzipien durchgesetzt, nämlich der Einplatten-Parallelschieber mit Leit- oder Schutzplatten, d. h. mit spaltfreier Bewegung über den gesamten Hub, und der besonders für den Einsatzzweck getrimmte Kugelhahn.



Figur 2. Einplatten-Parallelschieber.

ten größeren Wartungsaufwandes. Die Hersteller sind bemüht, diesen notwendigen Aufwand durch geeigneten Materialeinsatz herabzusetzen.

Von der Schließcharakteristik der eingesetzten Armaturen her müssen anhand einer Druckstoßuntersuchung die Armaturantriebe entsprechend den allgemeinen Regeln der Rohrfernleitungstechnik ausgewählt werden. Im allgemeinen verwendet man beim Schließen von Plattenschiebern bis zu 85% des Querschnitts den Schnellauf, von 85% bis 100%, also bis Totalabschluß, eine von der Hydraulik der Fernleitung abhängige wesentlich langsamere Schließgeschwindigkeit (High-low-Antriebe).

Pumpen und Zubehör. Gegenüber dem Fernleitungsstandard sind einige konstruktive Besonderheiten der Pumpen bei der Beförderung von Sole zu beachten. Je nach Auslegung und Betriebsart der Leitung wie intermittierende Fahrweise und wechselnde Durchsatzraten können Horizontalgliederkreispumpen oder ebenso doppelflutige, meist 2-stufige Kreispumpen mit horizontal geteiltem Gehäuse in Parallel- oder Reihenanordnung eingesetzt werden. Als Werkstoffe für Saug-, Druck- und Stufengehäuse hat sich Stahlguß GS-C25, für Lauf- und Leiträder Cr-Ni-Molybdän-Stahl (deutsche Bezeichnung nach DIN: 1.4408) bewährt.

Mit steigendem Feststoffanteil sollte auf eine reduzierte Umfangsgeschwindigkeit des Fördermediums an den Lauf- und Leiträdern geachtet werden. Eine Eliminierung der Feststoffanteile durch vorgeschalteten Filter verursacht aufgrund der notwendigen Feinmaschigkeit der Filtereinsätze hohe Druckverluste, steht daher in keinem Verhältnis zum ohnehin fragwürdigen Erfolg.

Die Wahl der Wellenabdichtung der Pumpe entscheidet bei Sole weitgehend über die betriebliche Verfügbarkeit dieser Maschine.

Geteilte Gleitringdichtungen—sog. Tandemdichtung mit der Materialpaarung Hartmetall/Hartmetall/Hartmetall/Keramik und einer Sperrwasserspülung des Dichtungsraumes zwischen der inneren und der äußeren Dichtung haben sich als die standsicherste Dichtungsart für dieses Medium nach langwierigen und aufwendigen Betriebsversuchen erwiesen.

Zur Vermeidung von Ablagerungen, Rekristallisation und Spaltkorrosion pumpt man eine geringe Menge Sole auch während der Stillstandszeiten ständig durch die Maschine, eine kostengünstige, sehr wirkungsvolle Methode zur Standzeitverbesserung von Dichtungen und Lager.

Sonstige rohrleitungstechnische Einrichtungen. Aus Gründen der Reinigung und der Entlüftung sollte eine Solefernleitung grundsätzlich molchbar konzipiert werden. Bauartmäßig eignen sich die bereits bekannten Schleusen, der im Betrieb gebräuchlichste Molch wird der Entlüftungsmolch, der Ball, sein, daher sind die Hilfseinrichtungen in erster Linie auf den Einsatz dieser Bälle abzustimmen. Dieses Entlüftungsmolchen wird in erster Linie in roh-

schwarzen Leitungen angewendet, nicht unproblematisch ist der Vorgang in Leitungen mit Innenauskleidung und kann daher nicht uneingeschränkt empfohlen werden.

Zur Ableitung von Gaspoistern aus der Leitung während des Molchens benutzt man auf die Fernleitung aufgesetzte Entlüfter. In diesen domartigen Entlüftern mit verriegelten Absperrorganen fängt sich das von den Molchen transportierte Gas und kann von Hand abgelassen werden.

Besonders sorgfältig sind die möglichen stationären und instationären Betriebszustände zu untersuchen. Ausgekleidete Leitungen gelten besonders gefährdet durch Unterdruck, wie er beispielsweise beim unplanmäßigen Stillsetzen der Förderpumpen durch Stromausfall z. B. eintreten kann. Düsenrückschlagventile zwischen Niederdruck- und Hochdruckseite verhindern zuverlässig ein Abreißen der Strömung im Rohr, damit das Entstehen von Unterdruck und die daraus resultierende Zerstörung der Innenauskleidung.

ELEKTROTECHNISCHE UND ELEKTRONISCHE EINRICHTUNGEN —SICHERHEITSSYSTEME—

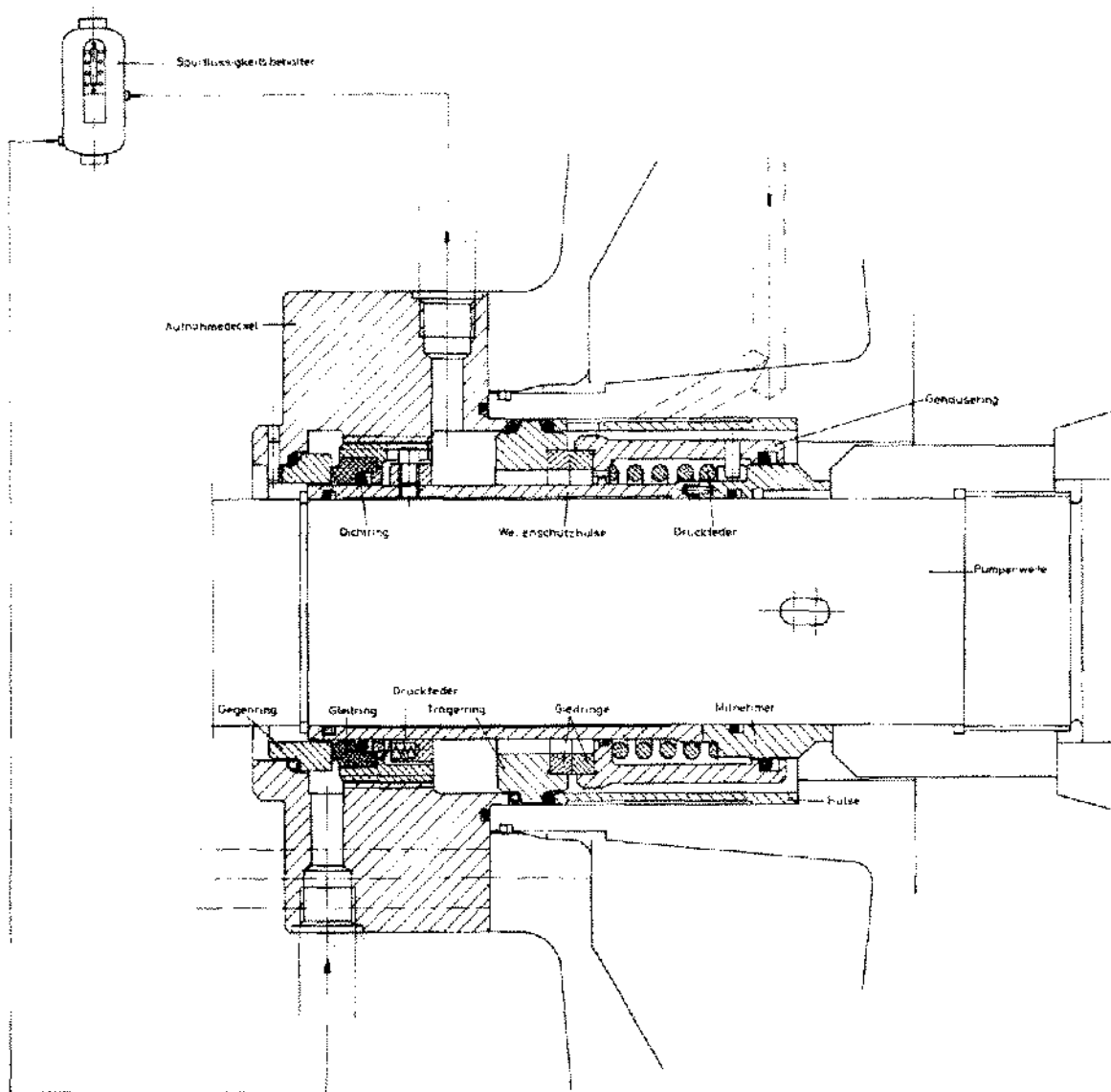
Fernwirkssysteme. Ohne Beeinflussung durch die spezifischen Besonderheiten des Transportes von Sole greift man auf die bewährten Systeme der Fernwirktechnik zurück. Allgemein ist dabei festzustellen, daß Daten und Befehle in neuerer Zeit per Postleitung oder mit eigenem, zur Rohrleitung parallel verlegten Kabel übertragen werden. Für den vor kurzem noch sehr gebräuchlichen Richtfunk erzielt man aufgrund zu starker Belastung zugelassener Frequenzen keine Genehmigungen mehr.

Meß- und Regeltechnik. Für die Mengenummessung verwendet man in erster Linie Induktive Durchflußmeßgeräte. Aufgrund der berührungslosen Wirkungsweise dieser Geräte beeinflussen Feststoffe die Messungen nicht. Es muß aber Sorge getragen werden, daß das Meßgerät im Bereich annähernd laminarer Strömung im Rohr eingebaut ist und daß Gasansammlungen auszuschließen sind. Die Mengenummessung mit Hilfe von Blenden scheitert an der Meßwertverfälschung durch Feststoffe.

Zur Drucküberwachung setzt man heute Dehnungsmeßstreifensysteme mit Meßumformern in Chip-Technik ein. Durch die Halbleiter- und Chip-Technik hat sich der elektronische Aufwand dieser Meßsysteme reduziert, die Sicherheit aber um ein Vielfaches erhöht.

Sicherheitssysteme: Die für Mineralölfernleitungen bestehenden, bereits erläuterten Richtlinien für Errichtung und Betrieb sind nach wie vor der Maßstab für die technische Auslegung und den Betrieb von Solefernleitungen in der Bundesrepublik.

Die aufgrund der geringen Grundwassergefährdung der Sole wahrscheinlich zu reduzierenden Anforderungen betreffen zu einem großen Teil die Sicherheitssysteme. So schreibt die erwähnte RFF zwei voneinander unabhängige,

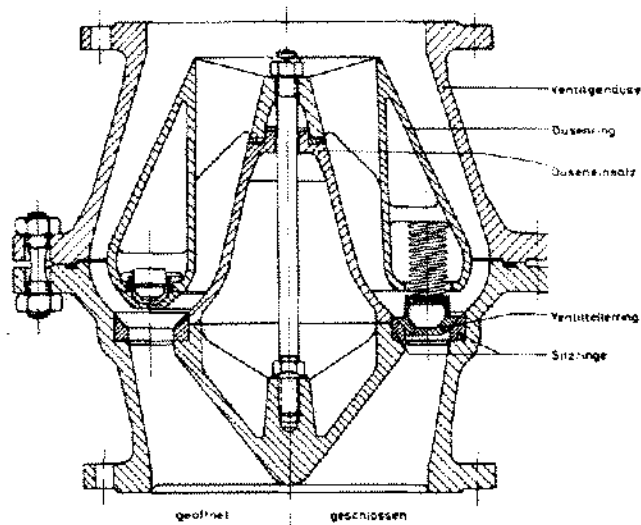


Figur 4. Gleitringdichtungen (Beispiel) von Hochdruckpumpen zur Beförderung von Salzlösungen.

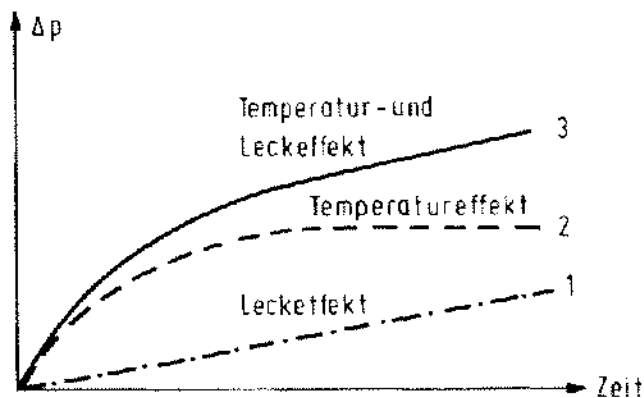
kontinuierlich arbeitende Einrichtungen, die im stationären Zustand die Verluste feststellen, vor. Es kann damit gerechnet werden, daß eine solche Einrichtung für Solefernleitungen genügt. Bewährt haben sich hierfür das Mengenvergleichsverfahren oder das Druckfallverfahren. Das Mengenvergleichsverfahren beruht auf den Vergleich der Fördermengen, die in einem Leitungsabschnitt eingegeben werden, mit denen, die diesen Abschnitt verlassen.

Eine Differenz der Fördermengen deutet während eines stationären Betriebszustandes auf ein Leck hin. Beim Druckfallverfahren messen Druckgeber den statischen Druck in regelmäßigen Abständen entlang der Fernleitung. Die im Leckagefall am Leckort entstehende Druckabsenkung breitet sich stromauf- und stromabwärts als negative

Druckwelle mit Schallgeschwindigkeit aus und erreicht die nächstgelegenen Druckmeßstellen. Das Absinken des Druckes wird zur Leckalarmgebung verwendet. Dieses sehr gebräuchliche Verfahren kann durch die Kombination mit Differenziergeräten erweitert und verbessert werden. Jedes dieser erwähnten Verfahren kann nur größere Leckmengen erkennen. Auf Systeme der Erfassung schleichender Undichtheiten, wie sie bei Mineralölleitungen verlangt werden, wird bei Soleleitungen verzichtet, vor allem deshalb, weil das gebräuchliche Druck-Differenz-Verfahren bautechnische Anforderungen an die Dichtheit von Absperrarmaturen stellt, die aufgrund anderer Zeilsetzung für Sole nicht erreicht werden. Als Ersatz wird verlangt, daß an Solefernleitungen Einrichtungen vorhanden sind, die Lei-



Figur 5. Düsentrückschlagventil.



Figur 6. Druck-Temperatur-Verhalten einer Fernleitung.

tung bei Verdacht von Undichtheiten einer Dichtheitsprüfung zu unterziehen.

Im Hinblick auf den geringen Grundwassergefährdungsgrad von Sole wird auf die Einrichtung zur schnellen Ortung der Schadensstelle ebenfalls verzichtet. Geeignete Maßnahmen wie z. B. eine Trassenbegehung ersetzen bei Solefernleitungen die aufwendige Leckortung.

Wiederholungsprüfungen. Neben den einmaligen Prüfungen beim Bau der Fernleitung sind vor allem die Prüfungen während des Betriebes, die wiederkehrenden Prüfungen, von sicherheitstechnischer sowie wirtschaftlicher Bedeutung. Die vom Betreiber und den Sachverständigen zu prüfenden Einrichtungen faßt man am besten in einem Prüfkatalog zusammen. Die Richtlinie für Mineralölfornleitungen—RFF—nennt die für die sicherheitlichen Belange relevanten Einrichtungen und deren Prüfzeiten.

Es ist zu erwarten, daß die in der RFF genannte Prüfzeit von einem Jahr für die Sicherheitssysteme bei Solefernlei-

tungen einschließlich einer Dichtheitsprüfung durch den Sachverständigen auf fünf Jahre erweitert wird. Die Dichtheitsprüfung durch den Betreiber ist im allgemeinen jährlich durchzuführen. Die Fernleitung wird auf Dichtheit nach dem Druck/Temperaturverfahren geprüft. Es werden die zeitlichen Änderungen von Druck und Temperatur in den einzelnen Leitungsabschnitten aufgezeichnet.

Bei Leitungen von weniger als 500 mm Nennweite reicht eine Prüfdauer von 24 h aus, um eine rechnerische Leckrate von 20 l/h zu unterschreiten. Leitungen größeren Durchmessers machen insofern Schwierigkeiten, als die Temperaturangleichung wegen des größeren spezifischen Volumens sehr viel langsamer erfolgt und die Gefahr einer Temperaturfehlmessung wegen des größeren Querschnittes sich erhöht.

Da aber andererseits die Temperatur auf das Druckverhalten der Leitung und damit auf die zu erreichende Leckrate von großem Einfluß ist, reicht häufig eine Fehlmessung von einem halben Grad aus, die Prüfdauer um weitere 24 h zum Nachweis der Dichtheit verlängern zu müssen.

Da Stillstände von mehr als 48 h nicht für jede Solefernleitung wegen der sicheren Versorgung der Verarbeitungsbetriebe akzeptabel sind, müssen in solchen Fällen andere Wege zum Nachweis der Dichtheit gefunden werden.

So sind anhand von Ablaßkosten Daten für das spezifische Verhalten der Fernleitung bei Leckagen zu sammeln, diese Ergebnisse kann man mit den erzielten bei der Druck-Temperatur-Prüfung graphisch vergleichen. Darüberhinaus hat in jüngster Zeit der Einsatz von Leckerkennungsmolchen solche Dichtheitsprüfungen ersetzt.

Aus den erläuterten, bei Mineralölfornleitungen noch zwingenderen Gründen wurden von mehreren Firmen gleichzeitig Molche entwickelt, die während des Molchlaufes, also während des Betriebes, Leckstellen in der Leitung aufspüren können.

Der Einsatz dieser nach dem Wirbelstromverfahren oder auf Ultraschallbasis arbeitenden Molche hat zwar Betriebsreife erreicht, ist aber dennoch von einigen Bedingungen abhängig und darüberhinaus teuer. So wird diese Methode sicherlich nur in Ausnahmefällen bei Solefernleitungen angewendet werden.

Die Prüfdauer und damit auch die Kosten solcher Dichtheitsprüfungen hängen selbstverständlich von der im Genehmigungsbescheid zu bestimmenden zulässigen Leckrate ab. So halte ich bei Solefernleitungen mit Nennweiten bis 500 mm eine Leckrate von 50 l/h, bei Nennweiten über 500 mm von 100 l/h für angemessen. Es ist davon auszugehen, daß die zulässige Leckrate die Meßungenauigkeiten der Prüfverfahren abdecken und nicht etwa ein tatsächliches Leck sanktionieren soll.

Korrosion. Wie bereits erwähnt, war bei der Wahl der Rohrleitungswerkstoffe eine mögliche Korrosivität des Mediums besonders zu beachten. Vor Wahl eines metallischen Materials muß man über das Korrosionsverhalten

der Sole und deren Begegnung durch aktive und passive Maßnahmen detaillierte Untersuchungen durchführen. Salzlösungen gelten allgemein sowohl wegen ihres Sauerstoffgehaltes als auch wegen ihrer Leitfähigkeit als aggressive Medien. Eine Schutzschichtbildung analog zur Kalk-Rost-Schutzschicht bei Wasser im Kalk-Kohlensäuregleichgewicht bleibt aufgrund des Chloridgehaltes ausgeschlossen.

Aus der Literatur ist bekannt, daß die Salzkonzentration einen indirekten Einfluß auf die Korrosionsgeschwindigkeit hat. So erreicht nach C. E. Borgmann eine sauerstoffgesättigte Salzlösung bei 30 g/l NaCl in der Lösung ein Maximum in Korrosivität, mit zunehmender Salinität nimmt sie langsam wieder ab. Bis zum Maximum, die zugehörige Salinität liegt im Bereich von Meerwasser, verstärkt die zunehmende Leitfähigkeit die ursprüngliche Sauerstoffkorrosion. Andererseits verringern sich die absolute Sauerstoffsättigung aber aufgrund der geringeren Löslichkeit mit zunehmenden Salzgehalt.

Die Sauerstoffsättigung voll aufgesalzener Na-Chlorid-Lösung beträgt nur noch 12% des Sättigungswertes für Wasser bei Atmosphärendruck. Da die Sauerstofflöslichkeit mit zunehmendem Druck aber steigt, sollte die Sole grundsätzlich zwischen der Produktion und dem Transport, also vor dem Verpumpen, entspannt werden.

Sole wird unter diesen Voraussetzungen nur eine geringe Korrosivität haben können. Selbstverständlich wird die Korrosionsgefahr bei geringem oder fehlendem Sauerstoffanteil auf ein absolut unbedeutendes Maß herabgesetzt. Mehrjährige Erfahrungen mit rohschwarzen Rohren z. B. der Mobil Oil in den USA und in der Bundesrepublik sowie von Solegewinnungsbetrieben beweisen die Richtigkeit dieser Überlegung. Die Restkorrosivität kann als Flächenkorrosion in der Größenordnung 0,01–0,05 mm/an z. B. durch einen Waddickenzuschlag oder eine geeignete Innenbeschichtung abgefangen werden, darüberhinaus kann ein geeigneter Inhibitor wie z. B. Natriumsulfit den Restsauerstoffgehalt binden.

Die gefürchtete Lochfraßkorrosion bildet sich nur auf Metallen mit schützenden Deckschichten an kleinen Schicht-

unregelmäßigkeiten oder Fehlstellen. Der Lochfraß—im internationalen Sprachgebrauch pitting genannt—wird zwar überwiegend von chloridhaltigen Lösungen verursacht, jedoch sind die zur Herstellung von Rohren gebräuchlichen Stähle weniger gefährdet.

Gerade weil bei durch Deckanstriche geschützten Rohrleitungen Fehlstellen leicht auftreten können, sollten, wenn überhaupt ein sicherer Innenschutz notwendig erscheint, andere Beschichtungen gewählt werden. Außerdem können durch Erosion selbst bei sorgfältiger Aufbringung geringe Schadstellen entstehen, diese genügen dann, um die Lochfraßkorrosion in Gang zu setzen.

Bewährt hat sich als passiver Korrosionsschutz die Zementmörtelauskleidung. Besonders zu achten ist bei Salzlösungen auf die richtige Wahl des Zementmörtels in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Sole. Der Gehalt an Calciumsulfat (CaSO_4), Magnesiumsulfat (MgSO_4) und Magnesiumchlorid (MgCl_2) darf gewisse Grenzen nicht überschreiten, als kritische Grenzen werden unter Berufung auf die Praxis von den Herstellern Sulfatgehalte bis zu 1.500 mg/l und Magnesiumionengehalte bis zu 2.500 mg/l genannt.

Als aktiver Schutz gegen Innenkorrosion ist der Innenkathodenschutz sowie die Inhibierung der Sole mit Polyphosphaten oder anderen geeigneten Inhibitoren zu nennen.

Erfahrungen liegen bei beiden Schutzarten vor. Besonders wichtig beim kathodischen Innenschutz ist die Anodenanordnung und Anodenausbildung. Blanke Rohrflächen benötigen eine hohe Schutzstromdichte. Diese Schutzstromdichte kann aber wiederum nur durch eine Innenbeschichtung auf eine wirtschaftliche Größe herabgesetzt werden. Diese Bedingung zeigt die Grenzen des Verfahrens auf.

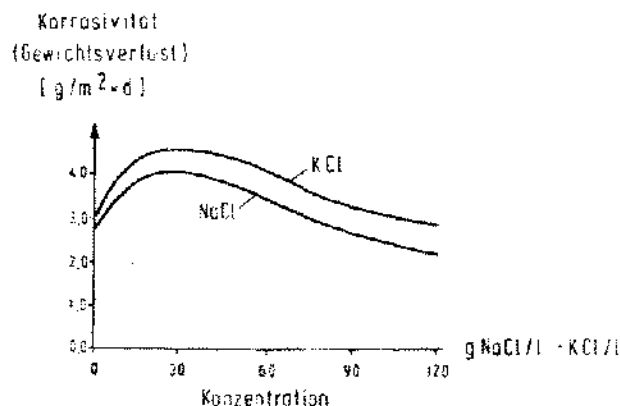
Der Zweck einer Phosphatinhibierung ist der Aufbau einer Schutzschicht. Eine Kalk-Phosphat-Rostschutzschicht baut sich nur bei Präsenz von Sauerstoff und in rohschwarzen Rohren auf. Die Inhibierung hat permanent zu erfolgen, da die Schutzschicht bei Einstellung der Inhibierung kurzzeitig abgetragen wird.

Nicht dem Aufbau einer Schutzschicht sondern der Bindung des Sauerstoffgehaltes dient z.B. die in der Praxis bewährte Dosierung von Natriumsulfit.

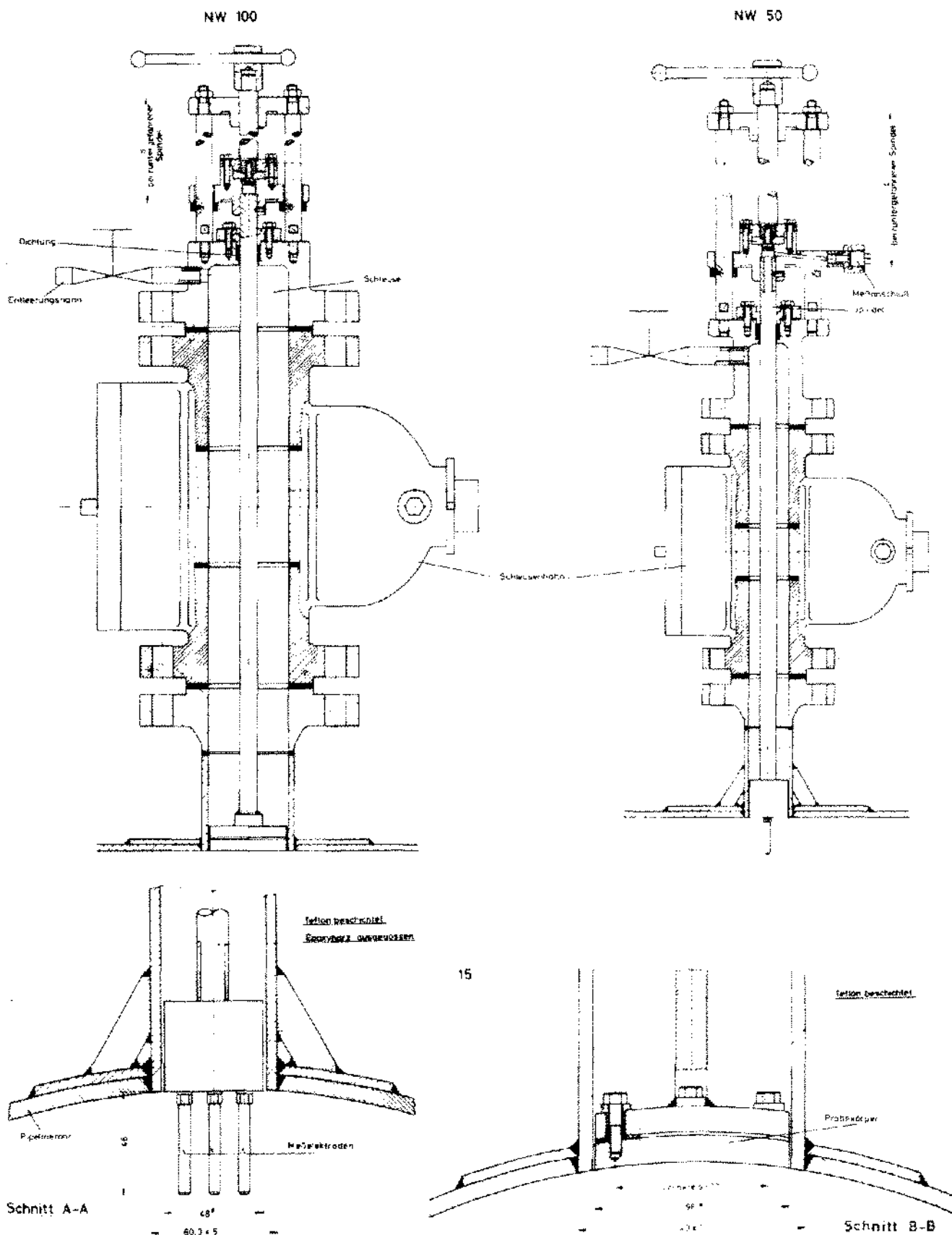
Bei der Verwendung rohschwarzer Rohre hat die Korrosionsüberwachung eine besondere sicherheitliche und wirtschaftliche Bedeutung. Die drei gebräuchlichen Verfahren sind 1) gravimetrische Verfahren 2) chemisch-analytische Verfahren und 3) elektro-chemische Verfahren.

In mehreren über die Fernleitung verteilten Korrosionsmeßstellen werden beim gravimetrischen Verfahren Probekörper (Koupons) aus den Rohrwandungen der verwendeten Rohre unter Praxisbedingungen eingebracht. Über Schleusen kontrolliert man diese Probekörper während des Förderbetriebs optisch und ermittelt durch Auswiegen den Korrosionsabtrag.

Beim chemisch-analytischen Verfahren vergleicht man



Figur 7. Einfluss der Salzkonzentration auf die Korrosion (nach C. E. Borgmann).



Figur 8. Probekörper und Elektroden mit Schließe.

TABELLE 1
Fernleitungen für Sole/Salzwasser

Durchmesser	Werkstoff	Stahl	Duktiler Guß	PVC	Sonstige Materialien
DN 1100		40 km			
DN 700		80 km			
DN 600		34 km			
DN 500		23 km			
DN 400		128 km		8 km	
DN 350			14 km		
DN 300			12 km		
DN 200		31 km		7 km	8
DN 150		10 km			4
Summe		346 km	26 km	15 km	12

in einzelnen Leitungsabschnitten den analysierten Fe-Gehalt der Lösung. Aus der Fe-Zunahme errechnet sich der korrosionsbedingte Flächenabtrag.

Das elektrochemische Verfahren bedient sich des physikalischen Zusammenhanges zwischen der Korrosivität eines Mediums und einer davon abhängigen, zwischen Elektroden gemessenen Potentialdifferenz. Drei Elektroden, hergestellt aus dem Rohrwerkstoff, werden über Schleusen in die Leitung gefahren. Eine kleine Stromquelle sendet einen elektrischen Strom zwischen Test- und Hilfselektrode und polarisiert die Testelektrode. Die Potentialdifferenz zwischen der polarisierten Testelektrode und der nicht polarisierten, frei korrodierenden 3. Elektrode (Referenzelektrode) ist ein Maß für die Korrosivität. Die Elektroden lassen sich darüberhinaus noch als Koupons zur Auswertung nach der optisch-mechanischen Methode verwenden.

Zum Stand der Technik gehört bei Stahlrohrfernleitungen der kathodische Außenschutz und muß an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden. Als problematisch und

damit in diesem Zusammenhang erwähnenswert erweist sich in der Praxis die Gestaltung der elektrischen Trennung der zu schützenden Leitung von den ungeschützten Teilen in Stationen und an Behältern.

Bei Öl- oder Gasleitungen erreicht man diese Trennung durch den Einbau eines Isolierstückes. Die hohe Leitfähigkeit von Sole verhindert aber eine ausreichende Wirkung der gebräuchlichen Isolierstücke. Es ist daher notwendig, durch eine werksseitig sorgfältig aufgetragene Innenbeschichtung der Rohrleitung den überbrückenden Widerstand der Sole zu erhöhen und zur Restabsaugung von Streuströmen Opferelektroden an der Übergangsstelle einzubauen.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In einigen wichtigen Punkten unterscheidet sich der Rohrfernleitungsstandard von den spezifischen Erfordernissen der Fernleitungstransporte von Sole. Werkstoffwahl im Zusammenhang mit einer möglichen Korrosion sowie rohrleitungstechnische Besonderheiten an Pumpen und Armaturen sind für den wirtschaftlichen Transport von fundamentaler Bedeutung. Sicherheitssysteme sollen Rohrundichtheiten schnell erkennen lassen, um eine Umweltgefährdung durch den austretenden Stoff zu verhindern. Da zu erwarten ist, daß die Sole auch bei wechselndem Gehalt von Begleitsalzen als leichtwassergefährdend in den landesrechtlichen Verordnungen eingestuft werden wird, können Erleichterungen zu den bestehenden Richtlinien zur Beförderung gefährdender Stoffe in nicht unerheblichem Umfang genehmigt werden.

Rohrleitungstechnisch geht die Tendenz zu längskraftschlüssigen Leitungen, als Werkstoff empfiehlt sich über DN 250 Stahl, bis DN 250 thermoplastischer Kunststoff.

TABELLE 2
Die für Solefernleitungen relevanten Gesetze, Verordnungen und Richtlinien

I. Wasserhaushaltsgesetz	II. Bundes-Immissions-Schutzgesetz/Gewerbeordnung
A. Verordnung über wassergefährdende Stoffe bei der Beförderung in Rohrleitungsanlagen.	A. Verordnung über die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Lagerung Abfüllung und Beförderung brennbaren Flüssigkeiten zu Lande (Verordnung über brennbare Flüssigkeiten VbF).
B. 1. Arbeitsgruppe 9. Erstellung von Richtlinien für den Transport von Sole in Rohrleitungen 2. Landesarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) Untergruppe Fernleitungen	B. DAbF-Unterausschuss Fernleitungen
C. Anforderung an Beförderung in Solefernleitungen	C. Richtlinien für Fernleitungen zum Befördern gefährdender Flüssigkeiten RFF (TRbF 301)