

Korrosionsrisiken bei Mischkonstruktionen

SCE, Hombrechtikon
gwa, 10/93

Zusammenfassung

Zusehends verdrängen in neueren Abwasserreinigungsanlagen Rohrleitungssysteme in Mischkonstruktion solche in einheitlicher Werkstoffwahl. Die Erfahrung und einige theoretische Überlegungen zeigen aber, dass Mischkonstruktionen weder in korrosionstechnischer noch in wirtschaftlicher Hinsicht entscheidend besser sind als konventionelle, feuerverzinkte Rohrleitungssysteme mit ihrem bekannten, schon fast gutmütigen Korrosionsverhalten. So bergen in Mischkonstruktionen vor allem die zahlreichen galvanischen Auftrennungen ein schwierig beherrschbares Korrosionsrisiko.

Les tuyaux composites et leurs risques de corrosion - Resume

Dans les nouvelles stations d'épuration des eaux, les tuyaux composites se substituent de plus en plus aux conduites en matériau homogène. Or, autant l'expérience que quelques réflexions théoriques montrent que, au niveau de la corrosion comme de du point de vue économique, les tuyaux en question ne l'emportent guère sur les conduites conventionnelles en acier zingué. Alors que celles-ci se caractérisent par une corrosion bien connue, devenue presque «bonne enfant», ceux-la renferment un potentiel de corrosion difficilement contrôlable, notamment en raison des nombreuses réactions galvaniques.

Risks of corrosion in composite constructions - Summary

More and more composite constructions displace the uniform choice of constructions in pipeline systems of the more recent sewage purification facilities. Experiences and some theoretical deliberations, however, show that composite constructions are, neither in corrosion technological nor in economical respect, essentially better than the conventional galvanized pipeline systems with their known, almost good-natured corrosion behaviour. The composite constructions involve a very hard to control risk of corrosion especially in the numerous galvanic sectional parts.

1. Korrosionskonzepte für Abwasserreinigungsanlagen

Abwasserreinigungsanlagen benötigen prozessbedingt ausgedehnte Rohrleitungssysteme, die mit zunehmendem Automatisierungsgrad zwangsläufig immer häufiger mit Armaturen unterbrochen sind.

Konventionell sind solche Rohrleitungssysteme mediumseitig in Werkstoffen mit ähnlichen Korrosionspotentialen ausgeführt: Entweder alles in hochlegiertem Stahl (Rohrleitungen und Armaturen) oder aber mit feuerverzinkten Rohren und Armaturen in unlegiertem Stahl (C-Stahl), Grau- oder Sphäroguss. *Korrosionsvorgänge* lassen sich auf Abwasserreinigungsanlagen nicht ver-

meiden, wohl aber auf ein ertragliches Mass *vermindern*. Sie entstehen zum Grossteil dort, wo sich Makroelemente in Form von galvanischen Elementen oder Belüftungselementen bilden können. Galvanische Elemente wirken, wenn innerhalb einer Konstruktion verschiedene Metalle mit unterschiedlichen Korrosionspotentialen elektrisch und elektrolytisch verbunden sind. Belüftungselemente entstehen, wenn sich die Sauerstoffkonzentration auf Metalloberflächen lokal ändert, wie das beispielsweise bei Schmutzablagerungen und an Stellen mit Sauerstoffeintrag (Mammutpumpen, Belüftung) der Fall sein kann. Beide Elementtypen können sowohl bei feuerverzinkten, unlegierten Stählen als auch bei hochlegierten Konstruktionen vorkommen.

2. Rohrleitungssysteme in einheitlicher Werkstoffwahl

2.1 Feuerverzinkte Rohrleitungen
Konventionelle Rohrleitungssysteme bestehen aus unlegiertem Stahl («Kohlenstoffstahl», «C-Stahl») und sind meistens stückverzinkt. Korrosionstechnisch bietet diese bewährte Lösung in normal aggressivem Abwasser ca. folgende Standzeiten:

Korrosionsrate der Feuerverzinkung:
Ca. 5 bis 10 µm pro Jahr, falls keine übermässige Abrasion vorhanden ist. Dabei baut sich das Zink flächenförmig ab, bis es ganz aufgebraucht ist. Zudem schützt das umliegende Zink blanke Stahlstellen, wie sie etwa durch mechanische Schäden entstehen können.

Korrosionsrate des Stahls: Maximal 100 µm pro Jahr, falls keine anormale Erosions- und/oder Kavitationsbeanspruchung vorliegt.

Demnach wären 20 Jahre Korrosionsbeanspruchung nötig, um eine Feuerverzinkung von 100 µm Schichtdicke plus 1 mm Stahl aufzulösen. Die Erfahrungswerte bestätigen das: Falls keine gröben Fehler wie beispielsweise die fehlende galvanische Trennung zur Gebäudearmierung vorliegen, belohnen solche Rohrleitungssysteme die Eigner mit Standzeiten bis zu gut 20 Jahren, mehr, als auch die meisten Armaturen bieten.

Gegenüber Leitungssystemen in hochlegiertem Stahl ist allerdings die Montage feuerverzinkter Leitungssysteme teurer, weil ein zusätzlicher Arbeitsgang nötig ist. So muss der gesamte, «schwarze» Leitungsstrang nach dem Ablängen, Heften, Richten, Schweißen wieder demontiert und auswärts zum Stückverzinken gegeben werden. Danach sind die feuerverzinkten Teile erneut zu montieren. Bei hochlegierten Stählen ist ausserdem die Handhabung vereinfacht, weil dank geringeren Wanddicken die einzelnen Rohrabschnitte mit weniger Mühe montiert werden können.

2.2 Rohrleitungssysteme in hochlegiertem Stahl

Hochlegierter Stahl ist grundsätzlich wesentlich teurer als unlegierter Stahl. Trotz hohen *Material- und Verarbeitungskosten* entstehen aber häufig kaum höhere Gesamtbaukosten als bei feuerverzinkten Bauweisen. Wesentlicher Grund ist, wie bereits erwähnt, der ein-

gesparte Arbeitsgang mit den damit verbundenen Lohnkosten.

Auch die hochlegierten Armaturen sind sehr kostspielig, vor allem dann, wenn sie mediumseitig komplett in hochlegiertem Stahl gefertigt sind, was nicht immer der Fall ist. Ausserdem sind sie in bestimmten hochlegierten Stahlqualitäten nur schwer und mit entsprechend langen Lieferzeiten erhältlich.

Die Werkstoffwahl basiert in der Praxis oft nicht auf einem Korrosionsschutzkonzept, sondern auf kurzfristigen Kostenzielen: Ohne Abklärung der zu erwartenden

Korrosionsbeanspruchung wird die Konstruktion in «rostfreiem Stahl der billigsten Sorte» erstellt, höchstwahrscheinlich in Stahl mit der Werkstoffnummer 1.4301. Korrosionstechnisch schöpfen die hochlegierten Stähle ihre guten Eigenschaften nur aus, wenn sie bezüglich Angriffsmedium und mechanischer Beanspruchungen korrekt ausgelegt und fachgerecht verarbeitet werden. Andernfalls zeigen sie ihr typisches und «heimtückisches» Korrosionsverhalten:

- **Interkristalline Korrosion** (Kornzerfall): Sie entsteht überwiegend bei Schweisskonstruktionen und Werkstoffen ähnlich zu 1.4301, wo der Kohlenstoff beim Schweißen mit dem Chrom reagiert. In den entstandenen chromarmen Bereichen (speziell an Korngrenzen bei Schweissnähten) kann darauf die Korrosion starten.
- **Lochkorrosion, Spaltkorrosion.** Die schützende Passivoxidschicht kann durch Chloridionen bestimmter Konzentration angegriffen werden. An diesen Stellen bildet sich die Passivoxidschicht nicht wieder, so dass sich Löcher bilden können. Zu beachten ist auch, dass die Konzentration des angreifenden Mediums später im Betrieb unerwartet zunehmen kann, beispielsweise in ausdunstenden Pfützen.
- **Spannungsrisskorrosion:** Sie ist die gefährlichste Korrosionsart, da sie nach einer relativ kurzen Inkubationszeit unerwartet zum Versagen des Bauteils führen kann. Wie der Name ausdrückt, entsteht sie bei gleichzeitiger mechanischer und

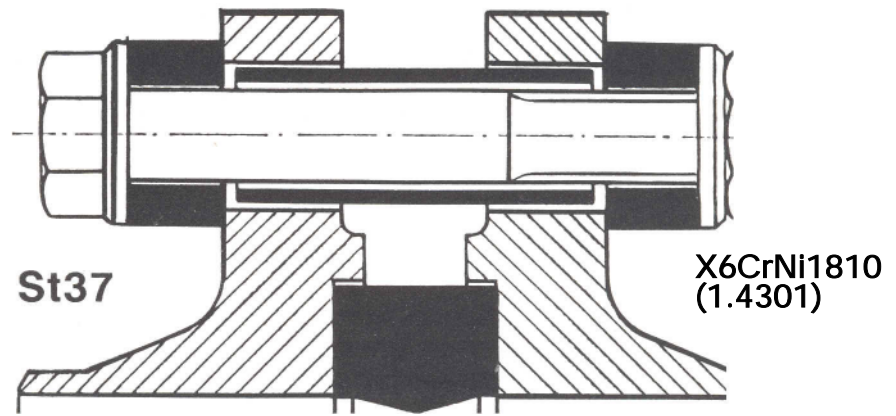


Abb. 1 Werkstoffwechsel in der Rohrleitung mit galvanischer Trennung und definierter Funkenstrecke (Isolielflansch).

korrosiver Beanspruchung. Mechanische Beanspruchungen umfassen die Betriebskräfte wie z. B. Zugspannungen infolge von Wärmedehnungen oder Innendruck und die kaum berechenbaren, «eingebauten» Spannungen infolge von Umformkräften (z. B. kaltgezogene Teile), Schweiß- oder Richtarbeiten. Als korrosive Beanspruchung ist hier vor allem die Chloridbeanspruchung zu nennen. Für ein Versagen genügt es, wenn gleichzeitig eine Chloridbeanspruchung und eine resultierende Hauptspannung von etwa 20 % der Streckgrenze vorliegt. Eine solche kombinierte Beanspruchung ist z. B. bei Schrauben infolge Spannungsüberhöhung an den als Kerben wirkenden Gewindegängen sehr schnell erreicht.

Auch bei der Verarbeitung dieser *High-Tech-Materialien* sind Fehler möglich, die allesamt die erwartete Lebensdauer reduzieren: So beispielsweise durch Kratzer, Schweissperlen, Schleifspuren oder auch nur, weil ohne Formiergas geschweisst oder die Oberflächen nicht gebeizt wurden.

3. Mischkonstruktionen

3.1 Galvanische Trennungen

In neuerer Zeit sind Systeme gebaut worden, die Rohrleitungen aus hochlegiertem Stahl zusammen mit Armaturen und Formstücken aus Kohlenstoffstahl kombinieren: sog. Mischkonstruktionen. In Mischkonstruktionen wechseln sich Werkstoffe mit unterschiedlichen

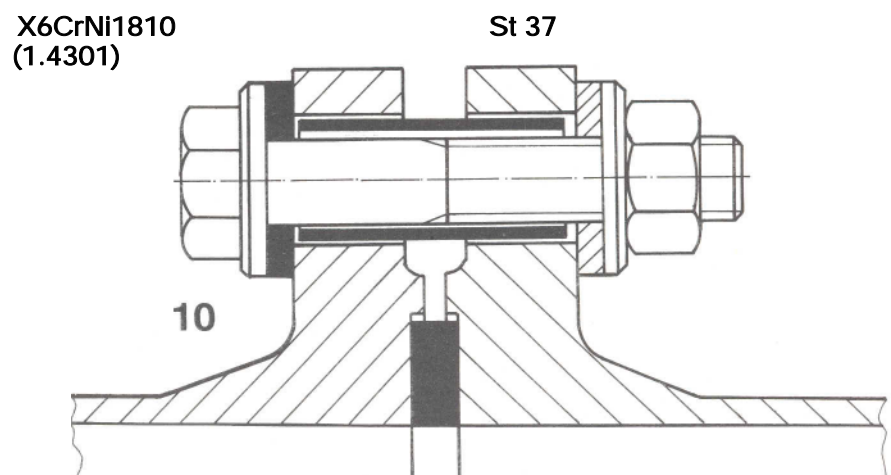


Abb. 2 Werkstoffwechsel mit galvanischer Auftrennung in Normalbaulänge

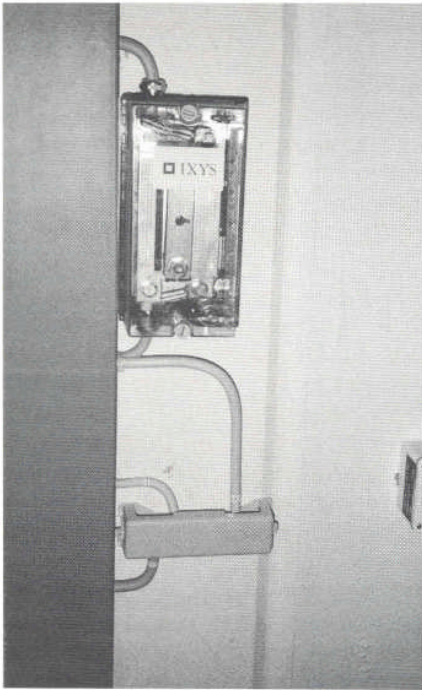


Abb 3: Abgrenzeinheit

Korrosionspotentialen ab: Beispielsweise Rohrleitungen aus hochlegiertem Stahl, die an Armaturen geflanscht werden, die aus Grauguss, Sphäroguss und/oder Kohlenstoffstahl (beschichtet oder feuerverzinkt) bestehen.

Über das Fördermedium als Elektrolyt sind die zwei Werkstoffe ionenleitend verbunden. Sind die beiden Werkstoffe auch metallisch leitend verbunden, entsteht ein *galvanisches Element*. Je nach Potentialdifferenz zwischen den beiden Werkstoffen und den geometrischen Verhältnissen entsteht dabei ein Korrosionsstrom, der proportional zur Metallauflösung ist.

Bei Mischkonstruktionen der eben beschriebenen

Werkstoffkombinationen würden - sofern keine sog. galvanische Trennung vorhanden ist - zuerst die Armaturen angegriffen, da sie in diesem System die Anoden mit dem tieferen Korrosionspotential bilden. Galvanische Trennungen haben nun die Aufgabe, die metallische Elektronenleitung mittels geeigneter Isolationsstoffe zu verhindern. Bei Flanschverbindungen beispielsweise benötigen Flanschen und Schrauben eine komplette *Isolation*:

a) Für *garantierte Funkenstrecke und galvanische Auftrennung*: Normierte Trennflansche mit garantierter Funkenstrecke auch für die Verschraubungen, bei denen aber die vergrößerte Baulänge wegen der Isolation mit zu berücksichtigen ist

(Abb. 1). Auf Abwasserreinigungsanlagen sind sie eher unüblich.

b) Für *galvanische Auftrennung*: Einerseits mittels spezieller Flachdichtung, andererseits für jede Verschraubung mit Kunststoffscheiben unter Schraubenkopf oder Mutter und zusätzlichen Isolationshülsen für den ganzen Schraubenschaft (Abb. 2).

Lösung b) ist nicht standardisiert. Die Werkstoffwahl muss deshalb wegen der mechanischen Belastungen mit grosser Sorgfalt erfolgen: Die Flachdichtung benötigt für die Dichtwirkung eine beträchtliche Flächenpressung, die über die Flanschverschraubungen zustande kommt. Diese Vorspannung baut sich unter Umständen über die Isolations-scheiben ab, weil nicht jeder für diese Isolation in Frage kommende Kunststoff die erforderlichen dauerelastischen Langzeit-Eigenschaften besitzt, wie sie beispielsweise eine Graphitflachdichtung annähernd aufweist. Vielmehr kriechen die Kunststoffe mehr oder weniger, d. h. die einmal aufgebrachte Vorspannung baut sich infolge Verformung mit der Zeit ab (viskoelastisches Verhalten), wobei dieser Abbau unter Wärmeeinfluss oder Vibrationen beschleunigt wird. Dementsprechend verformte Werkstoffe werden spröde brechen. Die möglichen Folgen sind Leckagen oder unwirksame galvanische Trennungen. Auftrennungen aus Schrumpfschlauchen für die Schraubenschaft sind nicht zu empfehlen, da sie in der Regel die mechanischen Belastungen nicht

aushalten.

3.2 Erdung

Rohrleitungssysteme dieser Art erfüllen aber auch eine zweite, viel wichtigere Funktion: Als Erdungssystem sollen sie hohe Berührungsspannungen infolge von Kurzschlussströmen abführen, die irgendwo auf der Anlage entstanden sind. Galvanische Auftrennungen verhindern das aber!

Deshalb ist für Mischkonstruktionen ein *spezielles Erdungskonzept* nötig: Einerseits muss der Personenschutz gewährleistet bleiben, denn der Personenschutz hat Vorrang gegenüber dem Korrosionsschutz, andererseits sollen die galvanischen Auftrennungen nicht umgangen werden.

Die Lösung verlangt *zwei Erdungssysteme*: Das eine Erdungssystem umfasst alle Rohrleitungsabschnitte mit Korrosionspotential X (z. B. alle hochlegierten Komponenten). Das andere Erdungssystem umfasst die Anlageerdung und die damit verbundenen Werkstoffe des Korrosionspotentials Y (z. B. alle Komponenten aus Kohlenstoffstahl oder Guss). Die beiden Erdungssysteme werden über eine *Abgrenzeinheit* (Abb. 3) verbunden, die wiederum an die Gebäudeerdung angeschlossen ist. Die Abgrenzeinheit (Diodenabgrenzeinheit) besteht aus zwei antiparallel geschalteten Dioden, die im Moment eines Kurzschlusses leiten und bis zu 5000 A passieren lassen, sobald die Sperrspannung von 0,7 Volt überschritten wird. Zu allen andern Zei-

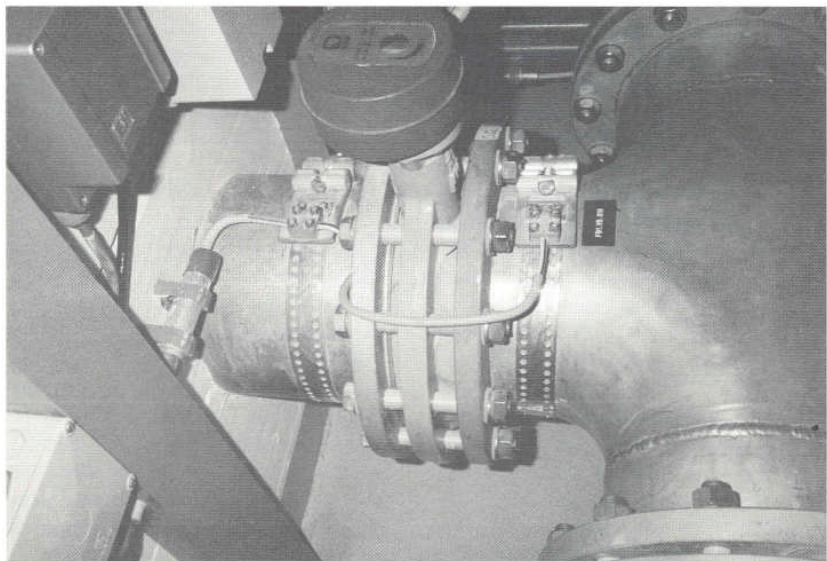


Abb.4 Leitungsstrang mit Klappe, die galvanisch getrennt ist zur Rohrleitung aus Stahl 1.4306. Die Erdungsbrücke verbindet die zwei Rohrleitungsabschnitte aus Stahl 1.4306, und links im Bild ist der Abgang zur Sammelschiene sichtbar, die wiederum zur Abgrenzeinheit führt.

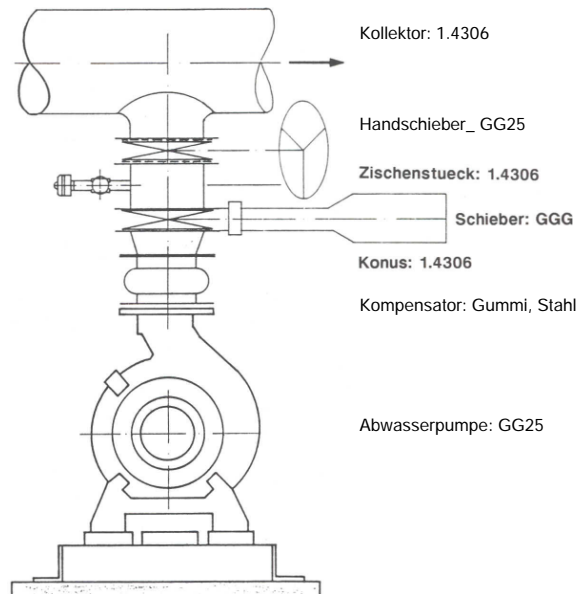
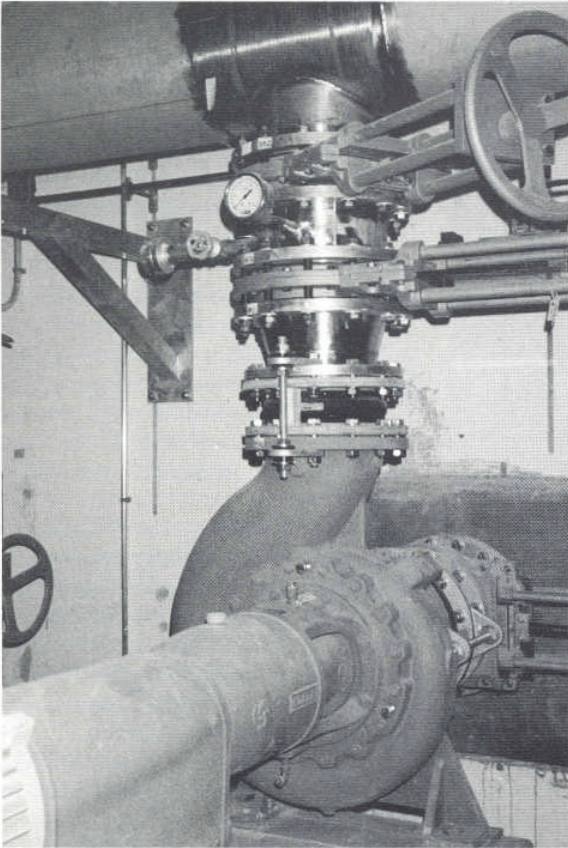


Abb.5 Pumpstation in der Rohballphase. Die Skizze zeigt in Ergänzung zur Foto die Werkstoffwechsel und folglich den Bedarf an galvanischen Auftrennungen.

ten erfolgt kein Potentialausgleich. Dieses für Mischkonstruktionen nötige Erdungskonzept bedeutet beträchtliche Mehrkosten gegenüber Rohrleitungssystemen in einheitlicher Werkstoffwahl. So müssen bei jedem Werkstoffwechsel in grösseren Leitungssträngen zusätzlich zu den galvanischen Auftrennungen Erdungsbrücken angebracht werden (Abb. 4). Sie verbinden die einzelnen Inseln mit hochlegierten Rohrleitungsabschnitten, bevor sie an die Abgrenzeinheit angeschlossen werden. Für die Montage dieses Erdungssystems sind viel teures Montagematerial und beträchtliche Montagezeiten einzusetzen. Das gilt besonders für hochlegierte Rohrstränge, die oft mit Armaturen und Einbauten aus unlegiertem Stahl unterbrochen sind, wie das heute auf Abwasserreinigungsanlagen mit dem üblichen Automatisierungsgrad der Normalfall ist (Abb. 5). Ferner ist bei Armaturen und insbesondere bei Schiebern zu beachten, dass das Gehäuse wohl aus unlegiertem Stahl oder Guss besteht, das Schliesselement aber aus hochlegiertem Stahl gefertigt ist. Eine galvanische Auftrennung ist nicht möglich!

Bei der Konzeption einer Anlage bestehen eine Reihe von Anforderungen wie Funktionstüchtigkeit, Wirtschaftlichkeit, Sicherheiten etc.

Ingenieurmässig benutzt man grundsätzlich für Auslegungen je nach Risiko (Produkt aus Schadenstragweite und Schadenshäufigkeit) folgende *Versagenskriterien* bzw. *Sicherheitsprinzipien*:

- Prinzip des sicheren Bestehens (Safe-life- Verhalten)
- Prinzip des beschränkten Versagens (Fail-safe- Verhalten)
- Prinzip der mehrfachen oder redundanten Anordnung

Grundsätzlich ist *zuerst der Personenschutz* als wichtigstes Sicherheitskriterium zu erfüllen. Danach erst kommt der Sachwertschutz, wozu auch der Korrosionsschutz gehört. Dieses prioritäre Vorgehen ist speziell bei Mischkonstruktionen auch im Hinblick auf Wartungsarbeiten zu beachten. Korrosionserscheinungen lassen sich nicht vermeiden, sondern nur vermindern. Das gilt auch für Konstruktionen mit hochlegierten, sog. «rostfreien» Stählen, die keineswegs dem «Safe-life-Verhalten» entsprechen, wie

vielfach angenommen wird. Zu beachten ist auch, dass bei vielen hochlegierten Stählen schlicht die gewünschte Langzeiterfahrung unter den vorliegenden Praxisbedingungen noch fehlt. Rohrleitungssysteme auf Kläranlagen folgen also den Prinzipien des beschränkten Versagens und der redundanten Anordnung. Unter diesen Gesichtspunkten und der Prozessart sind sicherheitstechnisch weder die Mischkonstruktionen noch die Konstruktionen in einheitlich hochlegiertem Stahl den konventionellen Konstruktionsweisen (feuerverzinkter Stahl) markant überlegen.

Im Schadensfall sind wohl nur begrenzte Sachschäden (Leckagen, Ausfallzeiten) zu erwarten. Dieses Risiko ist aber bei feuerverzinkten Systemen praktisch vernachlässigbar, wenn regelmässig inspiziert und gewartet wird. Nicht zu unterschätzen ist allerdings das Korrosionsverhalten der hochlegierten Stähle. Die visuelle Inspektion wird hier also kaum Korrosionsvorgänge entdecken.

Der Schadensfall wird demnach vermutlich unerwartet und deshalb folgenschwerer eintreffen.

5. Wirtschaftlichkeitsüberlegungen

Wie weiter oben angesprochen, können einfache Rohrleitungen aus hochlegiertem Stahl trotz mehrfachem Rohmaterialpreis unter Umständen ebenso kostengünstig hergestellt werden wie feuerverzinkte Rohrleitungen. Mischkonstruktionen basieren offenbar auf dieser Überlegung. Allerdings verursachen das spezielle Erdungssystem inkl. Abgrenzeinheit und zahllose galvanische Auftrennungen beträchtliche zusätzliche Material- und Arbeitskosten, die zudem schwierig kalkulierbar sind. Ferner sind zeitraubende Kontrollen für das einwandfreie Funktionieren der Erdungssysteme und der vielen galvanischen Auftrennungen nötig. Als Gegenwert erhält der Bauherr im günstigsten Fall eine etwas längere Standzeit als bei feuerverzinkten Rohrleitungen.

Ganz in hochlegiertem Stahl ausgeführte Konstruktionen kosten ein Mehrfaches gegenüber einer feuerverzinkten Konstruktion, wobei der Mehrpreis vor allem durch die Armaturen gegeben ist.

Ein feuerverzinktes System korrodiert einigermaßen gleichmässig und kann ohne weiteres 20 Jahre alt werden. Im Schadensfall wird es nicht unerwartet versagen, so dass genügend Zeit für

geeignete Massnahmen bleibt.

Mischkonstruktionen benötigen mehr Inspektionsaufwand als Systeme mit einheitlicher Werkstoffwahl wie z. B. feuerverzinkte Systeme. Vor allem bei den galvanischen Trennungen werden nach einer gewissen Betriebsdauer die Isolationssteile aus Kunststoff verspröden. Falls die Isolierung aber defekt ist und nicht innert nützlicher Frist aufgefunden und ersetzt wird, starten irreversible Korrosionsvorgänge bei den Armaturen, die sowieso das korrosionstechnisch schwächste Glied bilden. Folglich werden auch die *Wartungskosten* höher ausfallen als bei feuerverzinkten Rohrleitungssystemen. Ausserdem besteht bei Revisionen durch anlagenunkundiges Fachpersonal die Gefahr, dass die Isolations-Flachdichtungen durch gut leitende Graphitdichtungen ersetzt werden. In all diesen Fällen wird lediglich die Abgrenzeinheit alt werden.

Zu oft werden hochlegierte Materialien keineswegs so fachgerecht verarbeitet, wie das ihnen zustehen würde. Hier besteht ein Schulungsbedarf bei den Schweißern, dem Anlagenpersonal, den Bau- und Unterhaltsverantwortlichen und auch bei den planenden Ingenieuren. Auch die am besten konzipierte Anlage und die besten hochlegierten Stähle werden vorzeitig wegen Korrosion versagen, wenn die

fachgerechte Ausführung fehlt.

1. Mischkonstruktionen benötigen galvanische Trennungen, die ein beträchtliches Risiko für frühzeitiges Versagen durch Korrosion bergen. Betroffen sind Armaturen in (feuerverzinktem) unlegiertem Stahl etc.
2. Die gegenüber feuerverzinkten Konstruktionen scheinbar geringeren Lohnkosten für den Leitungsbau werden durch die zusätzlichen Kosten für die galvanischen Trennungen und die Erdungssysteme übertroffen.
3. Mischkonstruktionen benötigen spezielle Schulung für die Inspektion und den Unterhalt.
4. Mischkonstruktionen erfüllen deshalb weder korrosionstechnisch noch wirtschaftlich die Forderungen, wie sie Rohrleitungssysteme für Abwasserreinigungsanlagen verlangen. Mischkonstruktionen werden voraussichtlich keine merklich bessere Standzeit erbringen als konventionelle, feuerverzinkte Systeme.

Hier wird ein bewährtes System mit bekannten Mängeln durch ein gleich schlechtes, aber risikobehaftetes, teureres System ersetzt.