

1 Einleitung

Mischkonstruktionen (Mischbauweise) mit unterschiedlichen metallischen Werkstoffen und zahlreichen Werkstoffwechseln müssten nicht sein, sind aber auf Kläranlagen mehr verbreitet als beliebt.

Die Konstruktionsweise ist prädestiniert für grössere und kleinere Spannungen, die sich nicht nur in mV oder V ausdrücken, sondern auch in CHF, zerquetschten Kragenhülsen, usw. Es entsteht ein Spannungsfeld zwischen Potentialausgleich, Blitzschutz, Korrosionsschutz, EMV, das optimal zu lösen ist.

Die typische Kläranlage zeigt u.a.:

- Mischkonstruktionen mit einer Unzahl von Auftrennungen an Flanschen und m.o. w. kunstvoll gekrümmte grügelbe Erdungsbrücken.
- Viele korrosionstechnisch unnötige Auftrennungen, die aber nicht umsonst sind, zeigen dass in der Praxis irrigerweise nach dem Grundsatz verfahren wird, "lieber einmal zuviel auftrennen als einmal zuwenig".
- Grössere Teilkonstruktionen, die zwar aufgetrennt, aber nicht geerdet sind, obwohl das die Weisung ARA verlangt.

Der letzte Punkt ist besonders gravierend.

Der Grundsatz **Personenschutz kommt vor dem Korrosionsschutz** wird im Normalfall nicht gelebt, also weder geplant, noch ausgeschrieben, noch konsequent durchgesetzt, noch geprüft. Auf beiden Seiten, Ingenieur und Unternehmer, führen die Unsicherheiten und Verständnislücken zu Enttäuschungen und Mehrkosten. Der Grund hierfür sei in der Schnittstelle zwischen Personenschutz, Blitzschutz und Korrosionsschutz zu suchen. Ausserdem fehle es an verlässlichen Arbeitsunterlagen.

Der korrosionstechnische Aspekt in diesem Spannungsfeld alleine ist zu komplex, um in diesem Rahmen dargelegt werden zu können. Der nachfolgende Beitrag beschränkt sich deshalb auf wenige Kernaussagen zu wiederholten Problemen in der Praxis. Ergänzt werden die Aussagen an der Tagung mit vier Beispielen, um mündlich die Risiken und Auftrennmassnahmen aufzuzeigen, und aus den verschiedenen möglichen Lösungen eine optimale Lösung herzuleiten.

2 Mischkonstruktionen

Die Mischkonstruktion ist oberflächlich besehen mit einem Zielkonflikt belastet, nämlich zwischen

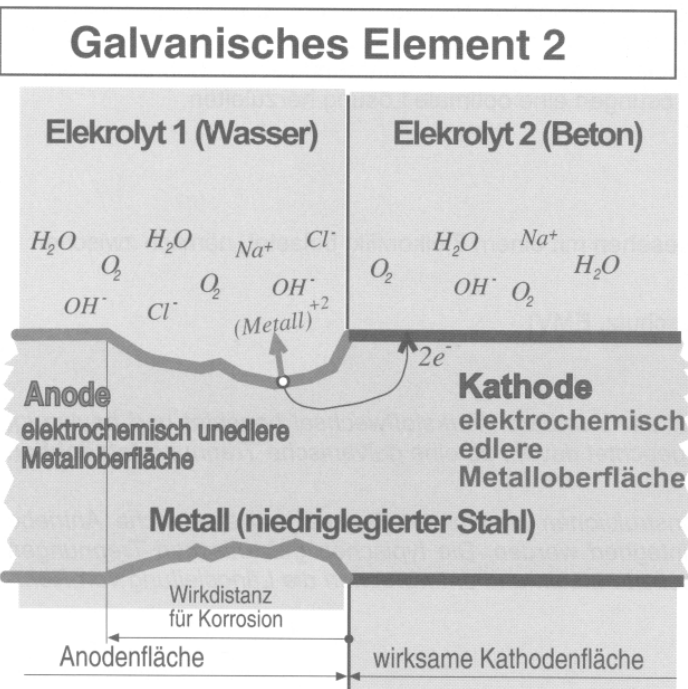
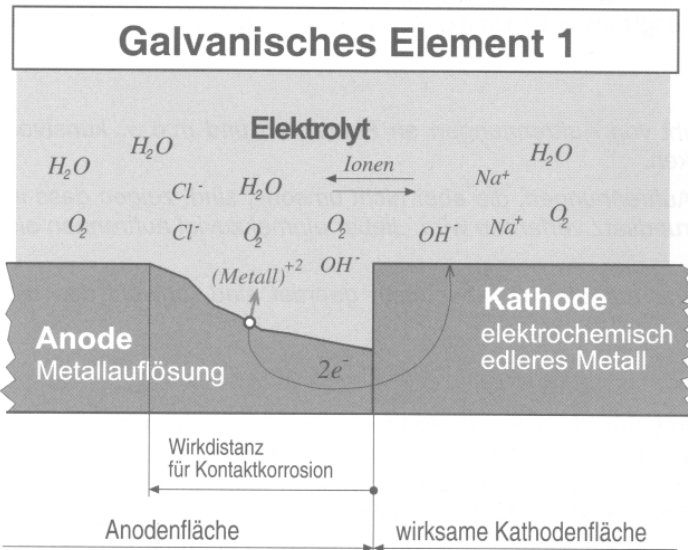
- "Auftrennen" (galvanische Trennung)
- "Verbinden" (Potentialausgleich, Blitzschutz, EMV)

Die Praxis zeigt:

- **Korrosionsschutz:** *Prioritär wird nur der sichtbare Werkstoffwechsel beachtet und bevorzugt elektrisch isolierend aufgetrennt, ungeachtet davon, ob eine galvanische Trennung tatsächlich nötig ist.*
- **Potentialausgleich:** *Metallische Konstruktionen bestimmter Grösse und elektrische Antriebe müssen in den Potentialausgleich integriert werden. Die typischen galvanischen Trennungen im Flanschbild schaffen hingegen isolierte Inseln und unterbrechen die Längsleitung von Rohrleitungssystemen.*

3 Wirkprinzip eines galvanischen Elementes

Für das Verständnis sind zwei Situationen zu differenzieren:



- **Galvanisches Element mit Werkstoffwechsel:** Werden unterschiedliche Metalle in Kontakt gebracht oder elektrisch leitend verbunden und in einen Elektrolyt (= leitfähiges Wasser) eingetaucht, wird das unedlere Metall (Anode) sehr viel schneller aufgelöst, *als es ohne Kontakt mit einer Kathode der Fall wäre*. Bekanntes Beispiel: Kontaktkorrosion zwischen Cu und Zn.
- **Galvanisches Element mit Elektrolytwechsel:** Weniger offensichtlich und mindestens so gefährlich ist die umgekehrte Situation: An der gleichen Metalloberfläche können unterschiedliche Elektrolyte anstehen, sodass sich kathodische und anodische Bereiche ausbilden. Auch hier wird das unedlere Metall (Anode) sehr viel schneller aufgelöst, *als es ohne Kontakt mit einer Kathode der Fall wäre*. Der elektrisch leitende Kontakt ist innerhalb des Bauteils gegeben. Bekanntes Beispiel: freiliegender Armierungsstahl ("Betonkorrosion").

Hinweis: Das galvanische Element überlagert sich der Eigenkorrosion an der Anode und Kathode, d.h. die Anode übernimmt eine gewisse Schutzfunktion der Kathode (Opferanode), leidet aber doppelt, als Opferanode und unter Eigenkorrosion.

4 Spannungsreihe

Die (bekannte) Spannungsreihe der Metalle ist sehr theoretisch und bezieht sich auf einen bestimmten Elektrolyt, der wenig gemeinsam hat mit der Praxis:

- Der Elektrolyt ist selten homogen mit konstanten Eigenschaften: Zusammensetzung, Leitfähigkeit, freier Sauerstoff, Temperatur, Strömung, Ablagerungen ändern sich dauernd in der Nutzungsphase.
- Es entsteht je eine Reaktion auf Anode und Kathode (u.a. Eigenkorrosion) und, sofern der Innenwiderstand gering ist, eine Wechselwirkung zwischen ihnen als galvanisches Element.

Die Spannungsreihe kann also höchstens für qualitative Abschätzungen herhalten.

Genauso wie die *Beständigkeit eines Werkstoffs* nicht ein Werkstoffkennwert ist, sondern eine *Systemeigenschaft*, muss auch das galvanische Element als reales System betrachtet werden.

Hier liegt die Ursache von etlichen Schwierigkeiten und Verständnisproblemen

5 Korrosionspotentiale

| Typische Korrosionspotentiale | | | | | | |
|--|--|---|-------|-------|------------------|--------|
| Korrosionssystem | Anhaltswerte | | | | | |
| Werkstoff + Medium | (gegenüber Kupfer -Kupfersulfat -Referenzelektrode) | | | | | |
| Aluminiumlegierungen , belüftetes Abwasser *) | | | - 100 | | - 800 | |
| Unlegierter Stahl | | | | | | |
| verzinkt, in belüftetem Abwasser | | | | | - 800 | - 1000 |
| roh, in sauerstoffarmen Abwasser | | | | | - 700 | - 1000 |
| roh, in sauerstoffreichem Abwasser | | | | -450 | -700 | |
| Armierungsstahl | | | | | | |
| im Beton, unter Wasser | | | - 200 | - 500 | | |
| im Beton, Luftseitig | | 0 | - 200 | | | |
| Hochlegierter Stahl | | | | | | |
| „V4A“ in sauerstoffhaltigem Abwasser | + 100 | | - 200 | | | |
| "V2A" in sauerstoffhaltigem Abwasser | | 0 | - 200 | | | |
| in sauerstoffarmen Abwasser | | | - 200 | - 500 | | |
| unter Ablagerungen | | | - 200 | - 500 | | |
| Kupfer, Cu-Ni-Leg, Al-Bronze | | | - 200 | - 500 | | |
| <i>Tendenzielles Verhalten als</i> | Kathode | | | | Anode | |
| <i>Potential- resp. Werkstoff gruppe für Praxis</i> | <i>"weiss"</i> | | | | <i>"schwarz"</i> | |

*) Nur orientierende Angabe. Aluminium ist als Werkstoff im Abwasser deshalb ungeeignet, weil es sehr empfindlich auf die Anwesenheit von Kupfer und Kupfer-Ionen reagiert. Ausserdem ist der Potentialunterschied zwischen passiven und aktiven Oberflächen sehr gross. An aktiven Anoden fällt es ab auf ca. -1500 mV

Folgerungen für die Praxis und für Mischkonstruktionen

1. Der unlegierte Stahl ("C-Stahl"), auch feuerverzinkt, verhält sich im Abwasser elektrochemisch weniger edel als im Beton. Eine elektrisch leitende Verbindung (direkt oder indirekt, z.B. über den Potentialausgleich) zwischen diesen Bereichen gefährdet somit den weniger edlen Bereich im Abwasser, und dies, obwohl "kein Werkstoffwechsel" vorliegt.
2. Der Armierungsstahl im Beton (Passivschicht!) verhält sich hingegen elektrochemisch ähnlich edel wie der hochlegierte Stahl im Abwasser. Eine elektrisch leitende Verbindung zwischen diesen Bereichen gefährdet weder den Armierungsstahl noch den hochlegierten Stahl im Wasser.

6 Auswirkungen des galvanischen Elementes

Galvanischen Elemente führen zu grossen lokalen Abtragsraten, im Extremfall einige mm Abtrag pro Jahr. Die Auswirkungen sind jedoch fallweise sehr unterschiedlich.

Um die Auswirkungen eines galvanischen Elementes, und damit auch die Notwendigkeit einer Auftrennung, abschätzen zu können, sind folgende Parameter zu berücksichtigen:

1. **Anwesenheit von Elektrolyt:** Dieser wichtigste Parameter ist Bedingung und wird oft übersehen. Das galvanische Element läuft nur ab, wenn der Stromkreis geschlossen ist, also gleichzeitig folgendes erfüllt ist:

- o **Elektronen-Leitung:** *metallischer Kontakt oder elektrisch leitende Verbindung*
- o **Ionen-Leitung:** *Elektrolyt gewisser Leitfähigkeit zwischen Anode und Kathode*

Fehlt z.B. der Elektrolyt (z.B. innen in der Belüftungsleitung), ist der Stromkreis unterbrochen und das Element inaktiv.

2. **Genügende Potentialdifferenz:** Jedes Metall hat im entsprechenden Elektrolyt ein typisches Korrosionspotential.

Im Kurzschluss ("Kontakt") entsteht i.d.R. eine geringere Potentialdifferenz, als aufgrund der einzelnen Korrosionspotentiale zu erwarten wäre. Dies ist u.a. mit dem Abstand, Verlauf und Anstieg der beiden Summenkurven begründet.

3. **Flächenverhältnis Kathode zu Anode:** Sie "übersetzt" den Korrosionsstrom resp. die Korrosionsstromdichte an der Anode, die dann entsprechend schneller aufgelöst wird. Die Bauteilgeometrie (Konstruktion) und die Prozessart bestimmen das Flächenverhältnis. Besonders ungünstig sind grosse Kathodenflächen gegenüber kleinen Anodenflächen. Beispiel Beckenarmierung (grosse Kathode) und Tauchpumpe mit Beschichtungsverletzungen (kleine Anode).

4. **Art und Leitfähigkeit des Elektrolyts:** Die Leitfähigkeit des Elektrolyts bestimmt u.a. die Reichweite der Korrosion an der Anode über die Kontaktstelle hinaus. Durch die Elektrolytzusammensetzung wird das Korrosionspotential direkt beeinflusst. Ausserdem spielt der Sauerstoffgehalt eine weitere Rolle (Sauerstoffbeaufschlagte Kathodenfläche, Füllhöhen).

5. **Deckschichten, Ablagerungen:** Ohnehin diktiert der Elektrolyt die Korrosionsgeschwindigkeit über die Reaktionen an den Phasengrenzen. Deckschichten an Anoden beispielsweise erhöhen den inneren Widerstand im System, sind also günstig. Befinden sich auf den Oberflächen Ablagerungen, können diese die Reaktion hemmen, oder auch lokal verstärken. Schliesslich können geeignete Beschichtungen sowohl die Eigenkorrosion des Untergrundes verhindern oder hemmen, als auch den Einfluss einer Kathode eindämmen.

7 Massnahmen gegen galvanische Elemente

7.1 Bereichseinteilung, Eingrenzung, Prioritäten

Es empfiehlt sich, die Anlage frühzeitig (Projektierungsphase) durch "schwarze" und "weisse" Werkstoffbereiche einzuteilen, um zwischen unterschiedlichen Korrosionspotential-Gruppen, alt und neu, und unterschiedliche Erdung unterscheiden zu können.

Die Komplexität einer Anlage in Mischkonstruktion, auch durch die weiteren Anforderungen von Potentialausgleich, Blitzschutz, EMV führen dazu, dass der Unternehmer überfordert ist, die Auftrennmassnahmen in seinem Lieferbereich korrekt festzulegen, durchzuführen und zu prüfen. Auch fehlen dazu die Werkzeuge (technische Regeln).

Von grossem Vorteil erweisen sich deshalb Korrosionsschutz-Konzepte, welche anlagenweit eine gewisse Systematik und Überschaubarkeit, und damit auch Kosteneinsparungen bringen. Ausserdem berücksichtigen korrekte Konzepte das lokale Korrosionssystem mit Beanspruchungen, Anforderungen (Schutzdauer, Redundanz) und differenzieren unterschiedliche Bereiche und Massnahmen, z.B.:

1. "Schwarze" und "weisse" Werkstoffbereiche mit unterschiedlichen Korrosionspotentialen (Basis: z.B. I+R-Schema) und entsprechendem Potentialausgleich
2. Bestehende Systeme (Basis: Schutzsysteme mit Restabnutzungsvorrat) und neue Systeme inkl. Bauphasen .
3. Werkstoffwechsel mit MUSS-Auftrennungen, KANN-Auftrennungen und VERBOTENEN-Auftrennungen (Basis: Nutzungs- und Sicherheitskonzept) inkl. Kontrollplan

7.2 Konstruktive Auftrennungsmassnahmen in Mischkonstruktionen

Galvanische Elemente könnten durch elektrochemisch gleichartige Werkstoffe eliminiert werden, was z.B. durch eine konsequente Ausführung der hydraulischen und mechanischen Ausrüstung in hochlegierten Stahl erreicht werden könnte, oder dito in Kunststoff, resp. mit Kombinationen davon.

Sind galvanische Elemente gewünscht, aber nicht ihre Auswirkungen, gibt es **zwei Typen von galvanischen Trennungen für die mechanisch-hydraulische, konstruktive Seite:**

A) Elektrisch isolierende Verbindung:

Diese häufigere Auftrennungsart unterbricht die Elektronenleitung mittels - korrosionstechnisch überdimensionierten -Isolierungen, die nicht nur die kleinen Potentialdifferenzen von wenigen 100 mV und die sich daraus resultierenden galvanischen Ströme unterbrechen, sondern auch die Längsleitfähigkeit im Erdschluss. Diese Auftrennmassnahme löst also ein Problem, schafft aber gleichzeitig ein weiteres.

Merke (speziell für elektrisch isolierende Verbindungen):

Nicht nur der eigentliche Werkstoffwechsel muss aufgetrennt werden, sondern jede niederohmige Verbindung zwischen den Potentialgruppen "schwarz" und "weiss". Das ist z.B. bei ausgedehnten Rohrsystemen eine grössere Schwierigkeit.

Niederohmige Verbindungen sind z.B. Halterungen, Signalgeber, Befestigungselemente, oder auch nachträglich angebrachte Erdungsbrücken. Diese Verbindungen müssen mit elektrisch isolierenden Zwischenlagen ausgeführt und geprüft werden.

Selbstverständlich sind für diese Trennungen Werkstoffe erforderlich, die den mechanischen Beanspruchungen (z.B. Flächenpressung) langfristig genügen.

B) Trennstücke (Isoliere Rohrstücke, Elektrolyt-Trennstrecke):

Dieses Prinzip basiert auf der Grundlage, dass auf der Elektrolytseite schon ein geringer Widerstand zwischen Anode und Kathode genügt, den Korrosionsvorgang zu hemmen.

Die Lösung sieht **kurze Rohrstücke in Kunststoff** (PE, GFK o.ä.) vor. Für das Medium Abwasser genügen dafür Elektrolyt-Strecken von 3 ... 5 x DN Ue nach Leitfähigkeit).

Trennstücke können auch aus isoliert aufgestellten oder aus beschichteten Stahlrohren hergestellt sein. Auch isolierte Beckenabgänge in hochlegiertem Stahl oder Beschichtungen auf Kathodenflächen wirken im weiteren Sinn als Trennstücke.

Trennstücke werden bevorzugt für die Abgrenzung von "weissen" und "schwarzen" Bereichen und vor allem bei Rohrleitungen angewendet. Angenehm bei diesem Auftrennungstyp ist, dass beide Bereiche direkt geerdet und miteinander verbunden werden können.

7.3 Antriebsseitige Auftrennungsmassnahmen in Mischkonstruktionen

Elektrische Antriebe benötigen gemäss We ARA einen Potentialausgleich. Das gilt nicht nur für trocken aufgestellte Motoren, sondern auch für Tauchmotoren oder eingetauchte Konstruktionen mit elektrischen Antrieben.

Es gibt grundsätzlich 3 Möglichkeiten:

1. **direkte Erdung ohne galvanische Auftrennung: Risikofall**

2. **direkte Erdung in Kombination mit Trennstücken:**

- funktioniert nur bei trocken aufgestellten Aggregaten
- der FU-Antrieb ist ohne Einfluss

3. **indirekte (isolierte) Erdung mit Abgrenzeinheit:**

Es gibt 5 Möglichkeiten:

- antiparallele Dioden 1: 1
- asymmetrische antiparallele Dioden je nach Bedarf 1 :3, 1 :4, 1:5 (ggf. bei FU-Antrieb)
- Trenntransformator
- Fi mit Separat-Erdung
- Kirkzelle

Die Abgrenzeinheit löst den zu Beginn angesprochene Interessenkonflikt zwischen "Verbinden" und "Auftrennen" elegant auf der Ebene der Erdungssysteme.

Der PE-Leiter vom Antrieb des gefährdeten Objekts wird auf eine Abgrenzeinheit mit antiparallelen Dioden geführt. Diese sperrt Korrosionsströme aus galvanischen Elementen mit kleinen Gleichspannungen, z.B. Tauchpumpen gegenüber der Fremdkathode "Armierung" (= Fundamenterdung), lässt aber Kurzschlussströme passieren.

Wichtig ist nun, dass das ganze System der isolierten Erde **tatsächlich gegenüber dem Rest aufgetrennt ist und auch bleibt**. In der Praxis ist dies die eigentliche Hürde.

Wichtig:

Eine nicht geprüfte elektrische Auftrennung ist keine Auftrennung

Jede Auftrennung ruft eine Personenschutzmassnahme nach sich

8 Zusammenfassung und Ausblick

Es bestehen einige wesentliche Probleme auf ARA verbreitet sind, die nicht als solche erkannt sind. Dies wurde an hand weniger Beispiele im Vortrag aufgezeigt.

Es zeigt sich ein Handlungsbedarf ab für:

- Arbeitsunterlagen
- Überprüfung von ARA
- ggf. Korrekturen

Empfehlungen:

Die gemeinsame Bearbeitung dieser konzeptionellen Fragen in der Projektierungsphase mit Bauherrn, Ingenieur, Elektroplaner ergibt eine optimalere und umfassendere Lösung, als wenn sie an die diversen Unternehmen delegiert werden.

Optimal heisst: Dank klaren Verantwortlichkeiten, klaren Vorgaben für die Submission, und einem Kontrollplan mit Trennkriterien, kann eine bezüglich Trennungen übersichtliche, unkomplizierte, unterhaltsfreundliche Anlage realisiert werden, die schliesslich auch Kostenvorteile zeitigt.

Sicherheitstechnisch und korrosionstechnisch gesehen ist die elektrochemisch einheitliche Werkstoffwahl ideal und deshalb der Mischkonstruktion, wo immer möglich, vorzuziehen.

Trennstücke fristen ein stiefmütterliches Dasein, obwohl sie enorme Vorteile bieten.