

Stundenplan

Montag, 06.05.2024	13:00 - 14:30 Uhr	- Ursachen und Wesen der Korrosion - Passiver und aktiver Korrosionsschutz
	15:00 - 16:30 Uhr	- KKS-Anlagen Aufbau, Funktionsweise, bauliche Maßnahmen
Dienstag, 07.05.2024	08:00 - 09:30 Uhr	- Messtechn. Prüfung und Überwachung von KKS-Anl. Strom-, Spannungs-, Widerstandmessungen Spezifischer Bodenwiderstand Wenner-Methode Einspeiseversuch
	10:00 - 12:00 Uhr	- Messtechn. Prüfung und Überwachung von KKS-Anl. Schutzstrom, Potenzialmessung Intensivmessung
	13:00 - 14:30 Uhr	- Exkursion
	15:00 - 16:30 Uhr	- Exkursion
Mittwoch, 08.05.2024	08:00 - 09:30 Uhr	- KKS-Anlagentypen
	10:00 - 12:00 Uhr	- Normen und Regelungen

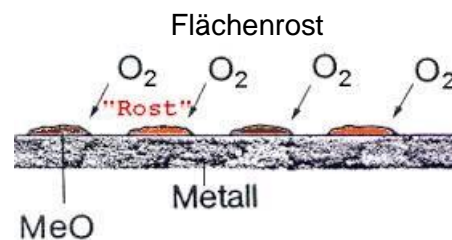
1. Was ist Korrosion?



Rohr innen

Das Wort Korrosion kommt aus dem Lateinischen und bedeutet:

„corrodere“: zersetzen, zerfressen, zernagen.



Korrosion ist die Reaktion eines Stoffes mit seiner Umgebung. In der Geologie versteht man darunter die Zersetzung von Gesteinen durch Wasser. In der Medizin versteht man darunter die Zersetzung von Geweben.



Bei Metallen ist hauptsächlich von der chemischen Zersetzung die Rede. Die wohl bekannteste Korrosion ist das Rosten, die Oxidation, also die Reaktion eines Stoffes mit Luft. Vielfältig sind die Erscheinungen. Das Anlaufen von Silber, Patinabildung bei Kupfer, ... und die Rostbildung bei Eisen.

Unter der Korrosionsrate versteht man die Geschwindigkeit, mit der ein Stoff zersetzt wird. Sie wird in mm/Jahr angegeben. Sie ist abhängig von den Verhältnissen der beteiligten Stoffe. Ist zum Beispiel nur ganz wenig Sauerstoff vorhanden, so ist auch die Korrosionsrate niedriger.

Korrosive Mittel sind die Stoffe, die das Bauteil umgeben. Dieses können Sauerstoff, Wasser, Erdboden, ... sein.

Die Norm unterscheidet mehrere Arten der Korrosion. Zum Beispiel Kontaktkorrosion, Muldenkorrosion, Flächenkorrosion, Spaltkorrosion, Unterwanderungskorrosion,

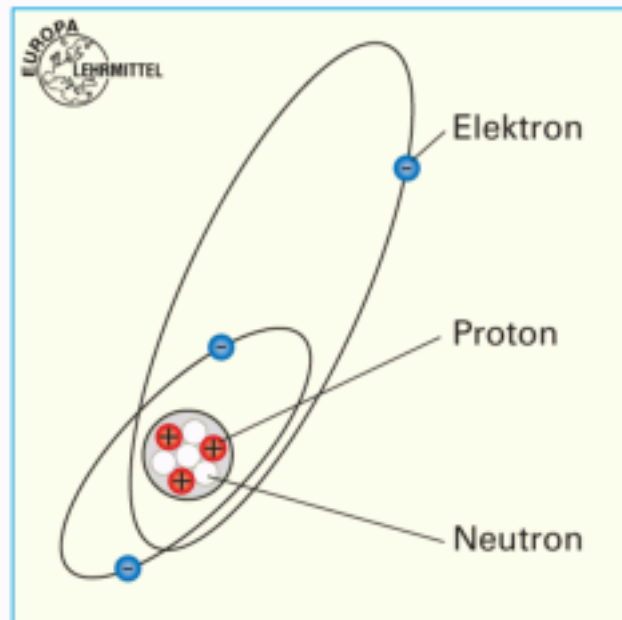
Die Korrosion ist in den meisten Fällen unerwünscht. Sie kann aber auch einen Stoff schützen, zum Beispiel die Patina auf Kupfer, die eine weitere Reaktion mit Sauerstoff verhindert.

Eine Oxidation ist eine Reaktion eines Stoffes mit Luft.

Bei einer Redoxreaktion reagieren mindestens zwei Stoffe miteinander und beide Stoffe verändern sich durch diese Reaktion.

2. Lange ist es her ... Eine kurze Auffrischung

2.1 Bohrsches Atommodell



Anode: Eine Anode nimmt Elektronen auf.

Kathode: Eine Kathode gibt Elektronen ab.

Werden der Anode keine Elektronen zugeführt, zersetzt sie sich durch den Elektronenmangel

Werden bei der Kathode die Elektronen nicht abgeführt, bildet sie eine Ummantelung durch die überzähligen Elektronen.

Die Elektronen in der Hülle werden von den Protonen im Kern angezogen.

Für den Stromfluss sind nur die Elektronen zu betrachten.

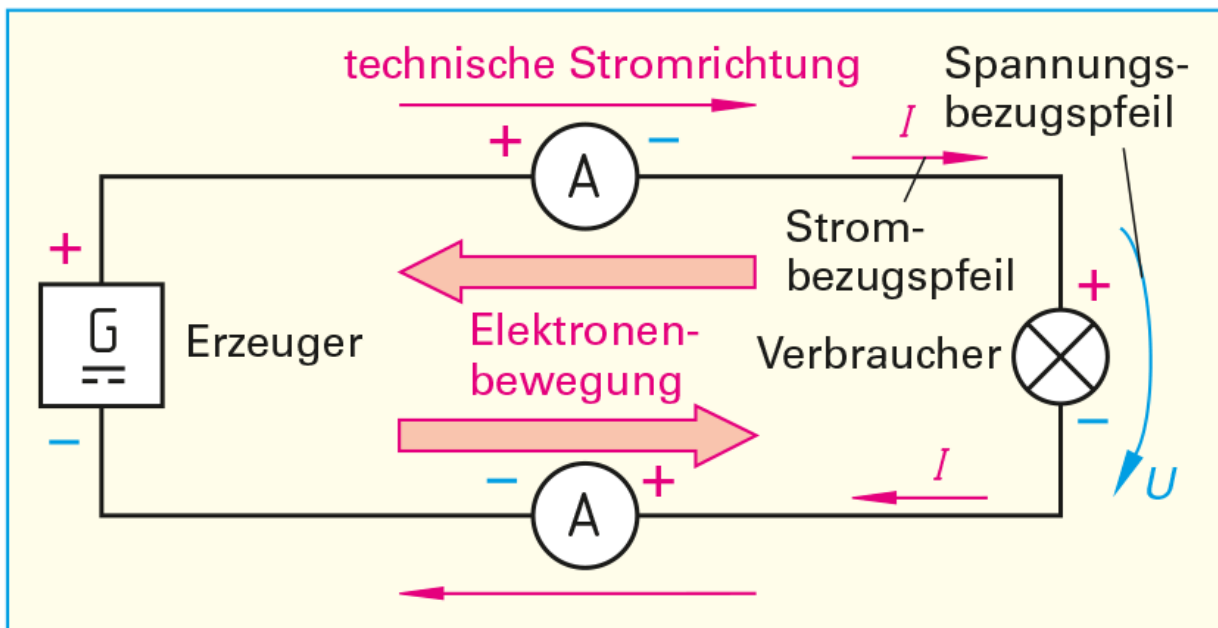
Die Atome wollen einen elektrisch neutralen Zustand erreichen.

Nimmt ein Atom Elektronen auf oder gibt es Elektronen ab, so erhalten wir ein Ion.

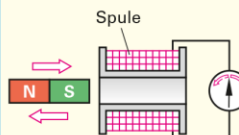
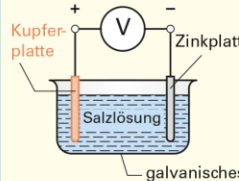
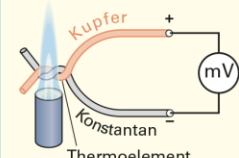
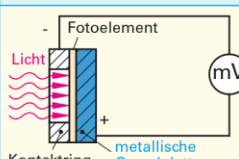


Ein Kation hat Elektronen abgegeben und ist somit positiv geladen.

Ein Anion hat Elektronen aufgenommen und ist somit negativ geladen.

2.2 Strom- und Elektronenflussrichtung



2.3 Elektrolyse als Spannungserzeugung

Tabelle: Arten der Spannungserzeugung		
Spannungserzeugung durch	Versuch und Erkenntnis	Anwendung (Beispiele)
Induktion¹		
	<p>Versuch 1: Schließen Sie einen Spannungsmesser mit Millivolt-Messbereich (Nullpunkt in Skalenmitte) an eine Spule mit 600 Windungen an. Führen Sie einen Dauermagneten in die Spule ein und ziehen Sie ihn wieder aus der Spule heraus.</p> <p><i>Bewegt sich der Dauermagnet in der Spule, schlägt der Zeiger des Spannungsmessers aus, beim Herausziehen umgekehrt wie beim Hineinschieben.</i></p> <p>Bei der Induktion (Seite 94) werden durch magnetische Energie elektrische Ladungen getrennt.</p>	<p>Generatoren: Fahrraddynamo, Kfz-Lichtmaschinen, Kraftwerksgeneratoren, dynamische Mikrofone</p>
Chemische Reaktion im galvanischen Element²		
	<p>Versuch 2: Schließen Sie einen Spannungsmesser (Messbereich 3V) an zwei Kupferplatten in einem Becher mit Kochsalzlösung an. Ersetzen Sie dann eine der Platten durch eine Zinkplatte und messen Sie wieder die Spannung an den Platten.</p> <p><i>Der Spannungsmesser zeigt eine Spannung an, wenn sich zwei verschiedene Platten in der Salzlösung befinden. Zwei unterschiedliche Metalle in einer leitenden Flüssigkeit (Elektrolyt) bilden ein galvanisches Element.</i></p> <p>Im galvanischen Element (Seite 64) trennt eine chemische Reaktion elektrische Ladungen.</p>	<p>Elektrochemische Spannungserzeuger: Batterien, Monozellen (galvanische Elemente), Akkumulatoren, Brennstoffzelle</p>
Wärme im Thermoelement³		
	<p>Versuch 3: Schließen Sie einen Spannungsmesser mit Millivolt-Messbereich an einen Kupfer- und einen Konstantandraht an und verdrehen Sie die freien Drahtenden. Erwärmen Sie die Verbindungsstelle mit einer Gasflamme.</p> <p><i>Beim Erwärmen der Verbindungsstelle zeigt der Spannungsmesser eine Gleichspannung an (etwa $40 \mu V$ je K°).</i></p> <p>Im Thermoelement (Seite 190) trennt die Wärme elektrische Ladungen.</p>	<p>Thermo-elemente: Verwendung zur Temperaturmessung und Temperaturfern-Messung, z.B. an schwer zugänglichen Stellen</p>
Licht im Fotoelement⁵		
	<p>Versuch 4: Schließen Sie einen Spannungsmesser mit Millivolt-Messbereich an ein Fotoelement an. Beleuchten Sie das Fotoelement mit einer Glühlampe.</p> <p><i>Bei Beleuchtung zeigt der Spannungsmesser eine Spannung an.</i></p> <p>Im Fotoelement (Seite 222) trennt die Strahlungsenergie des Lichtes elektrische Ladungen.</p>	<p>Fotoelemente: Verwendung als Stromquellen, z. B. für Satelliten, Taschenrechner, Uhren, Fotovoltaik</p>
Druck auf Piezokristalle⁶		
	<p>Versuch 5: Schließen Sie einen elektronischen Spannungsmesser an einen Piezokristall an. Drücken Sie auf den Kristall.</p> <p><i>Solange der Druck auf den Kristall zu- oder abnimmt, schlägt der Zeiger des Spannungsmessers nach rechts oder nach links aus (piezoelektrischer Effekt).</i></p> <p>Bei manchen Kristallen, z. B. Quarz, werden durch Druck elektrische Ladungen getrennt.</p>	<p>Piezokristalle: Verwendung in Kristallmikrofonen, Drucksensoren, Gasanzündern</p> 

¹ von inducere (lat.) = einführen; ² nach Luigi Galvani, italienischer Arzt, 1737 bis 1798; ³ von thermos (griech.) = warm; ⁴ Temperaturunterschiede werden statt in Grad Celsius in Kelvin (K) angegeben; ⁵ von phos (griech.) = Licht; ⁶ von piezein (griech.) = drücken

Bei der Elektrolyse wird die Spannung elektrochemisch erzeugt.

Bei der Elektrolyse findet eine Redoxreaktion statt.

An der Anode entstehen Kationen durch die Abgabe von Elektronen an die Anode. Hier entsteht ein Elektronenüberschuss.

An der Kathode entstehen Anionen durch die Abgabe von Elektronen an das Elektrolyt. An der Kathode haben wir einen Elektronenmangel.

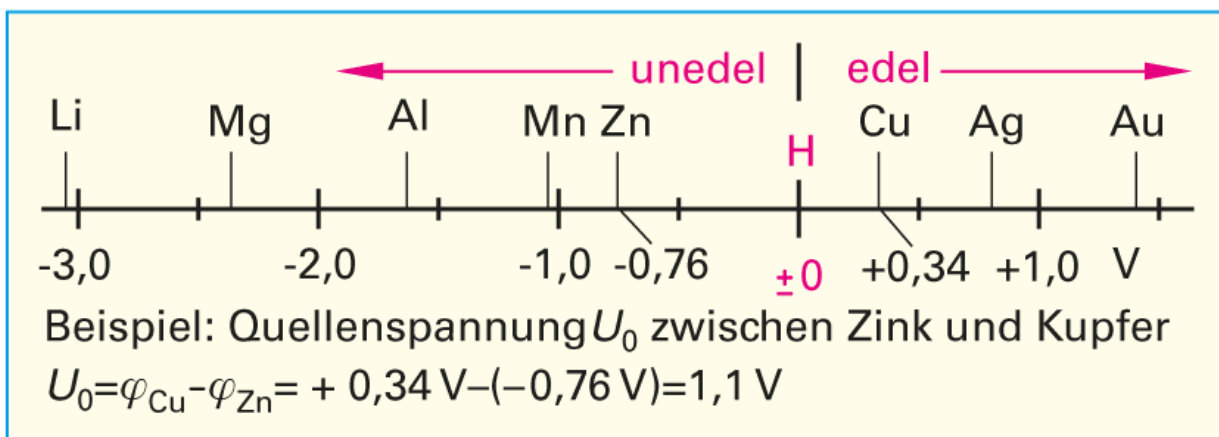
Verbinden wir die Anode und die Kathode mit einem Leiter, so fließen die überzähligen Elektronen von der Anode zur Kathode.

Die Anode wird hierdurch zum Pluspol der entstehenden Spannung. Die Kathode wird zum Negativpol der entstehenden Spannung.

2.4 Elektrochemische Spannungsreihe

Führe ich zwei leitfähige Stoffe zusammen, so entsteht zwischen beiden Stoffen ein Drang, chemisch miteinander zu reagieren.

Hieraus ist die elektrochemische Spannungsreihe entstanden. Man kann in der elektrochemischen Spannungsreihe die entstehenden Spannungen und die entstehende Stromrichtung ablesen.



Der unedlere Stoff gibt die Elektronen ab. Der edlere Stoff nimmt die Elektronen auf.

3 Korrosionsschutz

3.1 Passiver Korrosionsschutz

Beim passiven Korrosionsschutz werden die zu schützenden Stoffe in allererster Linie mit einem Stoff ummantelt, beziehungsweise beschichtet, um keine Oxidation entstehen zu lassen. Man trennt den zu schützenden Stoff und die Ursache für die Oxidation.



Ummantelter Stahl

Diese Verfahren sind meistens wesentlich günstiger als ein Kathodischer Korrosionsschutz.

Werden diese Beschichtungen elektrolytisch hergestellt, dann befinden wir uns im Bereich der Galvanik.

Notwendig ist aber eine ständige oder in Intervallen stattfindende Kontrolle des Korrosionsschutzes, weil alle Beschichtungen irgendwann abgetragen sind oder durch äußere Einflüsse beschädigt werden.

3.2 Aktiver Korrosionsschutz (Kathodischer Korrosionsschutz)

Beim aktiven Korrosionsschutz findet ein ständiger Vorgang statt, um die Stoffe zu schützen. Wird dieser Vorgang unterbrochen, so ist kein Schutz mehr vorhanden.

4 Anlagentypen beim aktiven Korrosionsschutz

4.1 Anlagen ohne Schutzstrom

Wird von außen keine Spannung angelegt, so zersetzt sich die installierte Anode. Da die Anode sich "opfert", sprechen wir in diesem Fall von einer Opferanode.

4.2 Anlagen mit Schutzstrom

Die Zersetzung kann verhindert werden, wenn wir von außen eine Gleichspannung anlegen, so dass ein Schutzstrom fließt.

4.3 Der kathodische Korrosionsschutz als elektrisches Betriebsmittel

Das Schutzstromgerät ist über eine ganz normale 230V Zuleitung mit einem üblicherweise B16A Überstromschutz anzuschließen.

Der Personenschutz ist über eine RCD herzustellen. Achtung! Da es keine von Laien bediente Betriebsmittel sind, kann Stand heute die RCD wegfallen Macht aber kein Sinn!!!

Die Querschnittsberechnung und anderen notwendigen Betrachtungen der Dimensionierung von Elektroanlagen sind hier ebenfalls zu betrachten.

DGUV Prüfung nach Vorschrift 3?! Es ist ein normaler Stromkreis, der geprüft werden muss. Zumindestens bis zum Schutzstromgerät.

Nach TRBS 1203 dürfen elektrischen Gefährdungen nur befähigte Personen arbeiten. EUPs haben hier nichts zu suchen! EFKffT benötigen eine geeignete betriebsinterne Ausbildung beziehungsweise Einweisung.

Bei Neuanlagen sollte eine Fernüberwachung installiert sein.

Weiterhin ist bei Neuanlagen nach einem Jahr eine weitere Prüfung durchzuführen, da sich die Gesamtkonfiguration noch ändern kann (Erdreich, Jahreszeitbedingte unterschiedliche Begebenheiten, ...)

Da sehr kleine Ströme als Schutzstrom fließen, ist die Beeinflussung ein großes Problem beim KKS. Habe ich irgendwo in der Nähe Erdungsanlagen, Fundamentender, Blitzschutzanlagen oder ähnliches, wird der Strom über diese Betriebsmittel abgeleitet und der Schutz ist nicht mehr vorhanden.

Der Bereich, indem die KKS-Anlage wirkt, ist elektrisch von den umliegenden Bereichen getrennt, zum Beispiel haben Rohre Isolierdichtungen.

Weiterhin ist beim Öffnen des Domschachtes eines Tanks der Schutzstrom abzuschalten. Hierzu ist meistens ein Endschalter eingebaut.

Die Prüfung darf von einer befähigten Person durchgeführt werden. Häufig befinden sich KKS-Anlagen aber auch in explosionsgefährdeten Bereichen. Hier erhöhen sich die Anforderungen an die befähigten Personen, Teilweise dürfen KKS-Anlagen nur von ZÜS (Zugelassene Überwachungsstellen) geprüft werden.

Die Prüffristen sind ebenfalls anhängig vom Schutzziel.

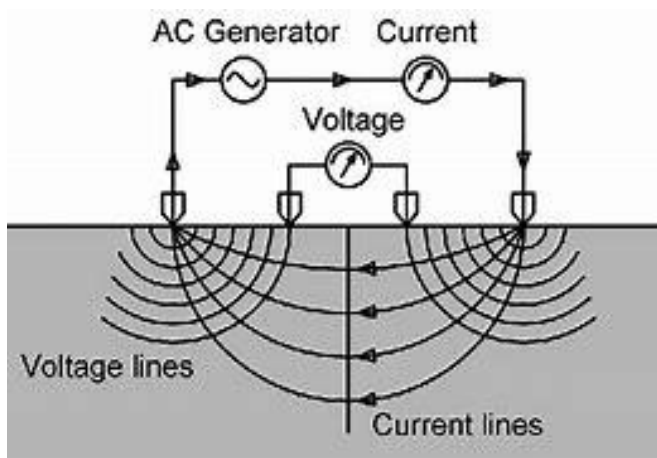
Auskunft hierzu kann ihnen ihre VEFK, ihre FAS oder ihre TBD-Leitung geben.

4.4 Messung Spezifischer Widerstand mit der Wenner-Methode

Um den Widerstand des Bodens zu messen, wird die Wenner-Methode angewandt. Sie ist keine Messung, die grundsätzlich bei einer Prüfung einer KKS-Anlage durchzuführen ist.

Vier Spieße, drei Bereiche. Über die beiden äußeren Spieße wird die im Messgerät erzeugte Prüfspannung (AC, höhere Frequenz als Netzfrequenz), eingeleitet. Zwischen den beiden mittleren Spießern wird der Spannungsfall gemessen. Das Messgerät ermittelt dann aus der Prüfspannung und des ermittelten Stromes und des Spießabstandes (alle vier gleiche Entfernung) den spezifischen Widerstand.

Der spezifische Widerstand ist der Widerstand eines Bodenbereiches über ein Meter. Er dient der Vergleichbarkeit verschiedener Bodenbeschaffenheiten.



Messaufbau Wenner-Methode

Tabelle 1: Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit (Beispiele bei 20 °C)

Material	Spezifischer Widerstand ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Leitfähigkeit γ in $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$
Aluminium (Al)	0,0278	36,0
Kupfer (Cu)	0,0179	56,0
Silber (Ag)	0,0167	60,0
Gold (Au)	0,0219	45,7



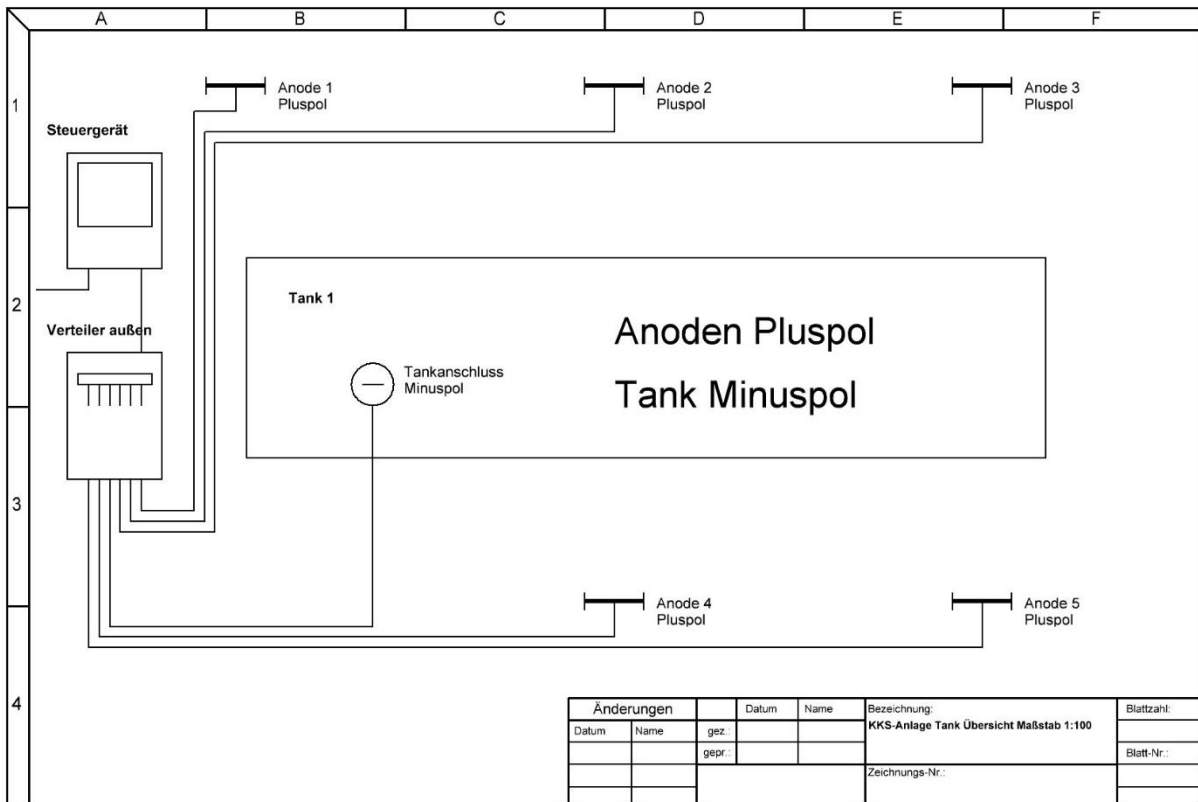
Spezifischer Widerstand bei Leitungsmetallen

Typische spezifische Bodenwiderstände

Bodenart	Spezifischer Erdwiderstand ρ_E $\Omega \cdot m$	Erdungswiderstand (Ω)					
		Staberder m Tiefe			Banderder m Länge		
		3	6	10	5	10	20
feuchte Humuserde Moorboden, Sumpf	30	10	5	3	12	6	3
Ackerboden, Lehm- und Tonboden	100	33	17	10	40	20	10
sandige Lehm Boden	150	50	25	15	60	30	15
feuchter Sandboden	300	66	33	20	80	40	20
trockener Sandboden	1000	330	165	100	400	200	100
Beton 1 5	400				160	80	40
feuchter Kies	500	160	80	48	200	100	50
trockener Kies	1000	330	165	100	400	200	100
steiniger Boden	3000	1000	500	300	1200	600	300

4.5 KKS-Anlage mit Schutzstrom

In der folgenden Grafik sehen sie den schematischen Aufbau einer KKS-Anlage in der Praxis.



5 Prüfen der Schutzfunktion einer KKS-Anlage

Bei älteren Anlagen muss in festzulegenden Zeitabständen eine Kontrolle der KKS-Anlage erfolgen.

Dieses geschieht bei älteren Anlagen direkt vor Ort. Fließt der Schutzstrom, so ist die grundsätzliche Schutzfunktion gegeben. Wie groß der Schutzstrom sein sollte, hängt von der Konfiguration der Anlage ab. Ältere Prüfungen geben hier Aufschluss.

Jetzt kann es aber sein, dass einzelne Anoden nicht funktionieren, zum Beispiel durch fortschreitender Zersetzung, Leitungsunterbrechung, u. s. w. Es fließt dann noch der Schutzstrom über die funktionstüchtigen Anoden. Es besteht dann kein vollständiger Schutz mehr.

Um Fehler zu entdecken, wird die Intensivmethode angewendet.

Bei Tanks an jeder Anode und bei zu schützenden Rohren in einem festzulegenden Abstand (häufig 5m) wird das Potenzial einmal ohne Schutzstrom und einmal mit Schutzstrom gemessen. Hier gibt es jeweils bestimmte Spannungen, die von der verwendeten Anode und von der Anlagenkonfiguration abhängen.

Hierzu wird mit einem hochomigen Spannungsmesser das Potenzial zwischen Anode (Anschluss Außenverteiler) und dem zu schützenden Objekt gemessen. Hierzu wird das Schutzstromgerät aus- und wieder eingeschaltet (Eventuell Taktgeber verwenden. Die gemessenen Potenziale sind dann zu protokollieren.).

Typische Werte ohne Schutzstrom: -500 bis -600 mV

Typische Werte mit Schutzstrom: -850mV bis -950mV je nach Anlagenkonfiguration.

Eine komplette Prüfung besteht aus der Kontrolle des Schutzstromes und der Messung der einzelnen Potenziale.

Grundsätzlich werden aktuelle Prüfungen analaog zu zum Beispiel Blitzschutzprüfungen mit alten Prüfungen verglichen, da sich die Werte häufig langsam verschlechtern und somit Fehler bereits vor dem Verlust des Schutzes behoben werden können.

Gehört die KKS-Anlage zu einem überwachungsbedürftigen Bereich (z. B. Ex-Bereich), ist eine Abstimmung mit der ZÜS zu treffen.

Weitere vorhandene Schutzmaßnahmen, wie zum Beispiel der Endschalter zum Abschalten des Schutzstromes beim Öffnen des Domschachtes eines Tanks, sind ebenfalls zu prüfen.

Der Stromkreis, in dem das Schutzstromgerät eingebaut ist, muss auch nach DGUV V.3 geprüft werden.

6 Normen und Regelungen

VDE 0100-600 und 0105-100	Errichtung und Betrieb des Stromkreises für das Schutzstromgerät
DIN EN 12954	KKS für Tanks und Rohranlagen in Böden
DIN EN 13509	Messverfahren für den KKS
DIN EN 50162	Streuströme durch Gleichstromanlagen
DIN EN 14505	KKS für komplexe Systeme
DIN EN 13636	KKS für unterirdische Tankanlagen
DVGW-Arbeitsblatt GW10	KKS für erdüberdeckte Anlagen
DVGW-Arbeitsblatt GW 16	KKS Inbetriebnahme und Überwachung

7 Weiterführende Literatur

Als Elektrofachkraft muss man sein Wissen ständig aktualisieren (nach TRBS 1203).

In der normalen Fachliteratur finden sie über den KKS kaum Informationen, da er nicht zu den üblichen Inhalten in der handwerklichen Ausbildung zählt.

Zur Vertiefung ist folgendes Fachbuch interessant: Messtechnik beim kathodischen Korrosionsschutz aus dem expert-verlag, ISBN 3-8169-1879-4.