



Rost, Korrosion, Oxydation und Froschschenkel.

Oder das langsame Zersetzen der Boote im Wasser.

Dass Eisen rostet ist allgemein bekannt, dass auch nichtrostende Teile wie Messing, Bronze oder sogar Edelstahl sich im Wasser langsam zersetzen weiss jeder Bootseigner spätestens nach der ersten Saison. Wieso kommt das eigentlich und was kann man dagegen tun?

Zuerst das Wieso.

Alle Materie also auch Metalle und sogar wir selbst bestehen ja bekanntlich aus Atomen, diese Atome bestehen wiederum aus einer Reihe von noch kleineren Bauteilen, wovon uns zwei jetzt besonders interessieren. Der sogenannte Atomkern der aus Protonen und Neutronen besteht und durch die Protonen eine positive elektrische Ladung hat, und den Elektronen welche um den Atomkern herumschwirren, etwa so wie Satelliten um einen Himmelskörper, und die eine negative elektrische Ladung haben. Diese Elektronen sind aber lustige Gesellen, sie wandern kunterbunt und querfeldein von einem Kern zum andern, je höher die Temperatur, desto wilder. Wird die Bewegung der Elektronen aber in eine einzige Richtung gelenkt, z.B. durch ein Magnetfeld oder eine elektrische Spannung, so entsteht ein elektrischer Stromfluss.

Wie Korrosion entsteht.

Rost oder Korrosion entsteht wenn sich ein Metall mit Sauerstoff verbindet. Von einer chemischen Verbindung redet man wenn die Elektronen eines Atomkerns, z.B. Eisen, zu einem Kern eines anderen Elemente, z.B. Sauerstoff, überhupfen. In der freien Luft kann das freilich nicht passieren, da die Elektronen nicht so einfach wegfliegen können. Im Wasser allerdings ist die Sache anders da unter Zuhilfenahme der Leitfähigkeit des Wassers mini elektrische Ströme fließen können, bedingt durch die Ladungen der Atomkerne und Elektronen. Je besser die Leitfähigkeit des Wassers, z.B. durch Zusatz von Salz, umso besser und schneller geht die Korrosion vonstatten.

Was kann man dagegen tun?

Da wir jetzt wissen, dass Korrosion ein elektrischer Vorgang ist, kann man das Problem entsprechend angehen. Als erstes verhindert man elektrischen Stromfluss durch Isolierung mit nicht leitenden Materialien, in der Praxis meist durch einen Anstrich mit Unterwasserfarbe. Diese Farbe sollte nebst elektrischer Isolierung noch andere Eigenschaften haben, wie Algen abweisen usw. aber dazu ein andermal mehr. Aber was mit den Teilen die man nicht anstreichen kann oder will, wie Schiffschrauben, Wellen, Ruder, Stabilisatoren. Sowie man Feuer mit Feuer bekämpfen kann, kann man einen ungewollten elektrischen Stromfluss durch eine bewusst angelegte Spannung in Gegenrichtung verhindern. Um diese Spannung zu erzeugen kann man Strom aus der Steckdose nehmen und entsprechend umwandeln in eine Gleichspannung gewünschter Grösse und an die zu schützenden Teile anlegen. Dies wird tatsächlich so angewandt beim Schutz von Gebäudeteilen oder unterirdisch verlegten Rohrleitungen. Für Sportboote und Yachten ist dies aber zu Aufwendig und kompliziert und verlangt technisch geschultes Personal zur Wartung.



Die Sache mit den Froschschenkeln.

Bereits im 18. Jahrhundert, genau 1789, machte ein gewisser Herr Luigi Galvani, Arzt aus Bologna (*1737 +1797), eine folgenreiche Entdeckung. Eigentlich nicht er, sondern seine Köchin, aber da er ein gebildeter Mann war interpretierte er die Sache richtig. Und zwar beobachtete er wie die Schenkel von frisch getöteten Fröschen sich bewegten wenn man sie mit Küchengeschirr aus Kupfer, Silber oder Stahl berührte (wie grausam). Herr Galvani hatte gerade die elektrische Batterie erfunden und die Elektroencephalographie, aber das wusste er damals noch nicht, doch sein Name wurde verewigt in Begriffen wie galvanisieren, Galvanik, Galvanoplastik etc. Später hat man diesen Effekt dann wissenschaftlich untersucht und eine Liste aufgestellt je nach Spannungswert den ein Metall oder Material abgibt. Die erste brauchbare Batterie hat dann ein paar Jahrzehnte später ein Engländer namens John Frederic Daniell (*1790 +1845) mit Kupfer und Zink gebaut, was dann gemäss Liste, eine Zellenspannung von 1,103 Volt ergab.

Von Anoden, Kathoden und anderen Oden.

Die Pole oder Elektroden einer Batterie nennt man Anode und Kathode. Der Trick zum Schutz der Unterwassermetalteile besteht jetzt darin eine selbstgebastelte Batterie zu bauen die eine Spannung erzeugt die der Korrosion entgegengerichtet ist. Dazu müssen die zu schützenden Teile, Schiffschraube, Wellen, Ruder, Rumpf, usw. die Kathode d.H. den Pluspol bilden. Das Wasser oder sogar Salzwasser ist unser Elektrolyt. Als Anode d.H. Minuspol wählen wir dann ein Metall aus das tiefer in der galvanischen Liste steht und dadurch unedler ist. Praktisch bedeutet das dass Stahl Kupfer schützen kann, Zink wiederum Stahl und Aluminium Zink. Man kann erkennen, dass zwischen Eisen und Zink eine Spannung von 0.323 Volt entsteht, zwischen Eisen und Aluminium 1.220 Volt und zwischen Eisen und Magnesium sogar 1.930 Volt. Je grösser die Spannung desto effektiver die Schutzwirkung, Eisen wird somit von Aluminium etwa 3.7 mal besser geschützt als von Zink und von Magnesium sogar 6 mal besser.

Metallopfert und andere Rituale.

Wer schon mal im Besitz einer ausgelaufenen Batterie war weiss, dass der Zinkmantel (Anode) durch Benutzung der Batterie d.H. Stromfluss immer dünner wird bis er schussendlich Löcher aufweist und undicht wird. Das gleiche passiert am Boot, die zur Erzeugung einer elektrischen Spannung angebrachten Anoden aus Zink, Aluminium, Magnesium oder Legierungen dieser Metalle, werden geringer oder wie man sagt sie werden zerfressen. Deshalb bezeichnet man die Schutzanoden auch als Opferanoden, da Sie geopfert werden um wertvolle Metallteile zu schützen. Die Abnutzung der Schutzanoden steht in direktem Verhältnis zur Schutzwirkung, je schneller die Anoden abnutzen desto besser der Schutz, je langsamer die Abnutzung je geringer der Schutzfaktor.



Die Liste.

Die elektrochemische oder galvanische Spannungsreihe gibt die elektrische Spannung an, welche ein Element gegenüber einer Messelektrode (Wasserstoff) abgibt, wissenschaftlich auch Halbzelle genannt. Es gibt positive und negative Werte, das Vorzeichen hat an sich nichts zu bedeuten, sondern nur die absolute Differenz der Spannung. Je höher ein Wert in der Skala desto edler ist ein Metall oder Stoff, ganz oben steht natürlich Gold, das edelste aller Metalle. Um eine Batterie zu bilden braucht man nur zwei verschiedene Stoffe auszuwählen und ein Elektrolyt um den Stromfluss zu ermöglichen. Man kann eine Batterie aus allen möglichen Kombinationen herstellen, so erzeugt ein Zink & Kohlenstoff Paar eine Spannung von 1,5 Volt was die gewöhnliche Batterie ist die wir massenweise im Laden finden.

Elektrochemische oder galvanische Spannungsliste Metall oder Material	Liste des tensions électrochimiques ou galvaniques Métal ou matière	Electrochemical or Galvanic Voltage List Metal or material	Lista de las tensiones electroquímicas o galvanicas Metal o materia	Scientific	Formula	Galvanic Value [Volt]
Gold	Or	Gold	Oro	Aurum	Au	1,420
Platin	Platine	Platinum	Platino	Platinum	Pt	1,200
Silber	Argent	Silver	Plata	Argentum	Ag	0,799
Quecksilber	Mercure	Mercury	Mercurio	Hydrargium	Hg	0,796
Kohlenstoff (Graphit)	Charbon (Graphite)	Coal (Graphit)	Carbono	Carboneum	C	0,737
Kupfer	Cuivre	Copper	Cobre	Cuprum	Cu	0,340
Wasserstoff	Hydrène	Hydrogen	Hidrogeno	Hydrogenium	H	0,000
Blei	Plomb	Lead	Plomo	Plumbum	Pb	-0,126
Zinn	Étain	Tin	Estaño	Stannum	Sn	-0,136
Molybdän	Molybdène	Molybdenum	Molibdeno	Molybdenum	Mo	-0,200
Nickel	Nickel	Nickel	Niquel	Nickelium	Ni	-0,230
Kobalt	Cobalt	Cobalt	Cobalto	Cobaltum	Co	-0,280
Indium	Indium	Indium	Indiumo	Indium	In	-0,338
Kadmium	Cadmium	Cadmium	Cadmio	Cadmium	Cd	-0,403
Eisen	Fer	Iron	Hierro	Ferrum	Fe	-0,440
Chrom	Chrome	Cromium	Cromo	Cromium	Cr	-0,740
Zink	Zink	Zinc	Cinc	Zinkum	Zn	-0,763
Mangan	Manganèse	Manganese	Manganeso	Manganeseum	Ma	-1,050
Aluminium	Aluminium	Aluminium	Alumino	Aluminium	Al	-1,660
Zer	Cer	Cerium	Cerio	Cerium	Ce	-2,330
Magnesium	Magnésium	Magnesium	Magnesio	Magnesium	Mn	-2,370
Natrium	Sodium	Sodium	Sodio	Natrium	Na	-2,713
Kalzium	Calcium	Calcium	Calcio	Calcium	Ca	-2,840
Kalium	Potassium	Potassium	Potasio	Kalium	K	-2,920
Lithium	Lithium	Litium	Litium	Lithium	Li	-3,010



Am Anfang steht das Boot (auch manchmal Yacht genannt).

Um ein Boot (Yacht) optimal zu schützen, braucht man die richtigen Anoden an der richtigen Stelle. Die Korrosion, die Böse, wird wie wir gesehen haben durch elektrischen Stromfluss beeinflusst. Dieser wiederum durch die elektrische Spannung d.H. die Art der Metalle, nach Herrn Galvani, die Leitfähigkeit des Elektrolyts, das ist in dem Fall der uns interessiert Süss-, Salz- oder Brackwasser. Die Zeitdauer der Einwirkung des elektrischen Stromes bestimmt die Menge des korrodierten oder abgetragenen Metalles. Wer sein Boot nur gelegentlich am Wochenende im heimischen Fluss oder See ins Wasser lässt, braucht sich keine allzugrossen Gedanken zu machen über Korrosion. Wer jedoch seine Yacht eine Saison im Salzwasser liegen hat oder ganzjährig am Fluss, der sollte schon aufpassen. Die Grösse der Anoden richtet sich nach der Grösse (=Oberfläche) der zu schützenden Teile, während bei einem Holzboot und GFK Boot nur Wellen, Schrauben, Ruder und Stabilisatoren zu schützen sind, ist bei einem Stahlboot auch der ganze Rumpf in den Anodenschutz mit einzubeziehen. Die Art der Anoden richtet sich nach den zu Schützenden Metallen und der Leitfähigkeit des Wassers.

Dann kommen die Opfer-Anoden (die Armen).

Je grösser die elektrische Spannung desto besser der Anodenschutz (auf französisch *protection cathodique*). Nach der Liste des Herrn Galvani hätte man mit Magnesiumanoden den besten Schutz gegenüber anderen Metallen. Stimmt auch, aber je grösser der Stromfluss je schneller die Abnutzung. Magnesium wird man vorzugsweise also dann verwenden wenn man länger im Süsswasser liegt oder ein Aluminiumboot besitzt. Aber aufpassen, im Salzwasser sind die Magnesiumanoden Rack Zack weggefressen. Aluminium bietet etwas weniger Schutzspannung, hält aber dafür länger. Zink bietet noch etwas weniger guten Schutz, dafür aber längere Standzeiten. Man muss aber auch bedenken dass im Süsswasser der korrodierende Effekt gering ist, im Salzwasser kommt wegen der Standzeiten eigentlich nur Zink in Frage.

Neue Besen kehren besser.

Neue Anoden schützen besser. Wie oft und wann soll man Anoden ersetzen? Glaubt man den Herstellern und Händlern, so oft wie möglich. In der Praxis wird man Anoden erneuern nachdem sie grösstenteils abgenutzt sind oder derart korrodiert sind, dass sie unwirksam sind. Liegt ein Boot ganzjährig im Wasser, wird man die Gelegenheit nutzen wenn es mal rauskommt, um die Anoden zu wechseln auch wenn sie noch nicht vollständig abgenutzt sind. Ist ein Boot längere Zeit ausser Wasser z.B. zum Überwintern, überziehen sich die Zinkanoden mit einer schützenden Oxydationsschicht (Patina) und sind dann resistent gegen Korrosion, schützen natürlich auch nicht mehr. Das ist derselbe Effekt wie bei den Dachrinnen aus Zink, die anlaufen und dann nicht mehr Korrodieren. Man kann angelaufene (oxydierte) Anoden mit einer Drahtbürste wieder metallisch blank polieren, die sind dann wieder wie neu, man sollte jedoch den Arbeitsaufwand gegenüber dem Anschaffungspreis neuer Anoden abwägen.



Anoden ja, aber wie und wo?

Die Auswahl und Montage der Anoden wird unter elektrotechnischen Gesichtspunkten erfolgen um den bestmöglichen Stromfluss zwischen Anode und zu schützendem Objekt zu ermöglichen. Es muss unbedingt eine elektrische Verbindung zwischen Anode und Kathode (Schutzobjekt) bestehen, der Stromkreis schliesst sich dann über das Wasser (Elektrolyt). Es macht keinen Sinn eine Anode auf eine Lackierte Oberfläche oder GFK Rumpf anzubringen, es sei denn man realisiert durch die Schrauben eine elektrische Verbindung. Ist eine Montage direkt am Objekt nicht möglich kann man eine elektrische Verbindung mittels eines isolierten Kupferdrahtes herstellen. Der Draht muss deshalb isoliert sein damit das Kupfer, was ja ziemlich oben in der Galvaliste steht, nicht den ganzen Stromfluss der Anode abzapft. Im Prinzip wird die Anode direkt am zu schützenden Teil montiert, z.B auf der Welle, dem Ruder, den Stabilisatoren usw.

Die auszuwählende Grösse einer Anode richtet sich nach der Grösse des Schutzobjektes und der Liegezeit im Wasser bis zum Anodenwechsel. Eine grössere Anode schützt nicht besser aber hält länger. Wer sein Boot jährlich aus dem Wasser nimmt tut besser daran kleinere angepasste Anoden zu wählen und die in der neuen Saison zu wechseln, statt dicke Brummer zu montieren die dann oxydiert sind und nichts mehr nützen.

Wie man auch Nachbars Boot schützt (und den ganzen Hafen gleich mit).

Da die Korrosionsgeschichte und der Schutz davor elektrischen Ursprungs sind ergibt sich in Häfen und Marinas ein interessantes Phänomen. Da viele Boote und Yachten über einen Landanschluss verfügen, sind diese mit dem Netzschutzleiter (auch nicht ganz korrekt Erde genannt) verbunden. Sofern die Elektrik an Bord fachmännisch ausgeführt ist, sind alle leitenden Metallteile und die Karosserie (Stahl) ebenfalls mit diesem Schutzleiter verbunden. Das bedeutet dass Nachbars Boot und alle anderen die am Netz hängen über den Netzschutzleiter (Erde) elektrisch miteinander verbunden sind. In der Praxis bewirkt das, dass derjenige der die besten Anoden am Boot hat, alle anderen mitschützt und sogar die Stahlteile der Hafenanlagen! Hier gilt auch wieder der Zeitfaktor, wer sein Boot nur ein Wochenende oder einen Urlaub lang am Stromnetz anschliesst hat kaum ein Problem. Anders wer ganzjährig angeschlossen ist oder gar Magnesium oder Aluminium Anoden hat und der Nachbar nur Zinkanoden oder gar keine (kaputte). Abhilfe schafft nur entweder die Zeit verkürzen (= Stecker ziehen) oder (teuere) Trenngeräte einbauen. Bei ganzjährigem Wassern und Landanschluss ist je nach Anodenabnutzung abzuwägen ob die Investition in ein Trenngerät sich lohnt. Als kleinen Trost muss man bemerken, dass der Schutzeffekt der Anoden und somit die Abnutzung mit zunehmender Entfernung (= elektrischer Widerstand) abnehmen so, dass nur die näheren Boote die eigenen Anoden in stärkerer Masse anzapfen können.

Wo noch keiner draufgekommen ist.

In Häfen und Marinas könnte man, mittels moderater Investitionskosten, festinstallierte netzgespeiste Schutzgeräte installieren, wie sie teilweise bereits existieren zum Schutz der Spundwände, und damit allen angeschlossenen Booten und Yachten einen Anodenschutzdienst anbieten. Egal ob gute oder schlechte Anoden am Boot, niemand hätte mehr Korrosionsprobleme und Abnutzung (Frass) an seinen Anoden (natürlich nur diejenigen welche auch angeschlossen sind). Schön wärs, die Zukunft wird's zeigen.