

## pH-Messung - leichter zu verstehen

- [1. Einleitung](#)
- [2. Grundsätzliches zur pH-Messung](#)
- [3. Die Elektrode als Spannungsquelle](#)
- [4. Warum 2 Elektroden?](#)
- [5. Aufbau der Elektroden](#)
  - [5.1 Meßelektrode](#)
  - [5.2 Vergleichselektrode](#)
  - [5.3 Einstabmeßelektrode](#)
- [6. Praxis](#)
  - [6.1 Kalibrierung](#)
  - [6.2 Temperatureinfluß](#)
- [7. Wartung](#)
  - [7.1 Elektroden](#)
  - [7.2 Reinigung der Elektroden](#)
  - [7.3 Kabel und Meßverstärker](#)
- [8. Störungen und deren Behebung](#)
  - [8.1 Elektroden](#)
  - [8.2 Kabel und Meßverstärker](#)
- [9. Fachbegriffe und deren Bedeutung](#)

### 1. Einleitung

Unter einer Widerstandsmessung oder Spannungsmessung können die meisten sich etwas vorstellen, oder sie führen sie sogar selbst aus, bei der pH-Messung ist das Verständnis im allgemeinen nicht so sehr ausgeprägt. Einmal verstanden, gibt es auch hier keine Geheimnisse mehr. Dieser Artikel soll in einfacher Weise die pH-Messung erklären, und wer es denn ein bißchen genauer wissen möchte, der kann in den Links nachschlagen.

### 2. Grundsätzliches zur pH-Messung

Die pH-Messung ist mindestens so alt wie die Menschheit. Wie bitte? So ist es! Nur konnte man früher nicht so genau messen wie heute, und es gab auch noch keine Zahlen für die pH-Werte. Man mußte sich schon auf die eigene Bestimmung der Wasserstoff-Ionenkonzentration beschränken, aber das funktionierte relativ gut. Die Rede ist von unserem Geschmackssinn, und die pH-Elektrode

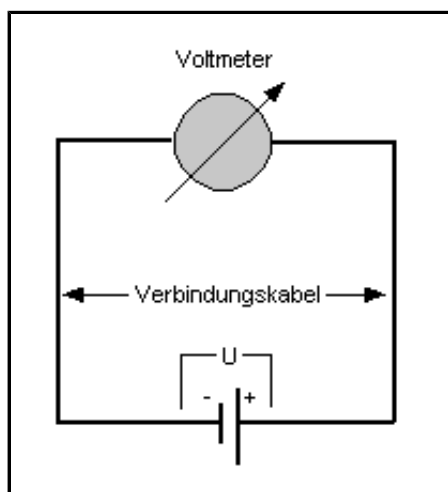
ist die



**Bild 1:** Zunge als pH-Sensor

Ob etwas mehr oder weniger sauer schmeckt oder sogar seifig, die Zunge kann's feststellen. Dies soll nicht als Aufforderung aufgefaßt werden, die Zunge ins Aquarium zu stecken, um den pH-Wert zu messen - so einfach geht's denn auch nicht!

Mit der pH-Messung möchte man die Anzahl von Ionen in wässrigen Lösungen messen, um Aussagen über deren Konzentration zu bekommen. Genau genommen interessieren dabei die Wasserstoffionen, denn sie sind ein Maßstab dafür, ob eine Lösung sauer oder alkalisch ist. Diesen Umstand bringt auch das Wort "pH" zum Ausdruck. Es ist die Abkürzung des lateinischen "potentia hydrogenii", was soviel heißt wie "Stärke des Wasserstoffs". Der Zusammenhang zwischen der Wasserstoffionenkonzentration und dem pH-Wert ist [hier](#) näher erklärt. Dabei ist die pH-Messung im Prinzip nichts anderes als eine elektrische Spannungsmessung, so wie in **Bild 2** dargestellt.

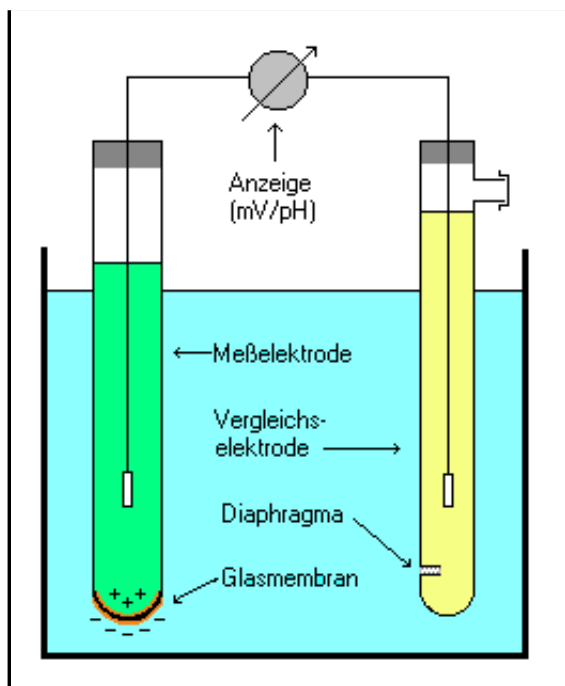


**Bild 2:** Elektrische Spannungsmessung

Mit einem Voltmeter wird mittels zweier Adern die Höhe der elektrischen Spannung  $U$  in Volt über einer Spannungsquelle gemessen und am Instrument abgelesen. Bei der pH-Messung ist die Spannungsquelle die pH-Elektrode, das Voltmeter ist das Anzeigegerät und die Adern sind das Kabel von der Elektrode zum Meßverstärker. Bei der Elektrode handelt es sich um eine Konzentrationskette für Wasserstoffionen oder einfacher ausgedrückt, um eine elektro-chemische Spannungsquelle mit sehr, sehr geringer Leistung. Deshalb kann man auch nicht einen normalen Spannungsmesser, wie man ihn zur Batteriekontrolle benutzt, anschließen, sondern man benötigt einen Meßverstärker. Sinnvollerweise ist die Skala des Anzeigegerätes am Ausgang des Verstärkers nicht in Volt sondern gleich in pH-Einheiten unterteilt.

### 3. Die Elektrode als Spannungsquelle

Eine Elektrode ist im herkömmlichen Sinne keine Batterie, wenngleich sie auch eine Spannung liefert. Diese entsteht erst in dem Augenblick, in dem die Elektrode in eine Flüssigkeit eintaucht. Die Spannung, die eine Elektrode maximal abgibt, liegt bei ungefähr  $\pm 400\text{mV}$ , was ja konventionell meßbar wäre. Die Einschränkung liegt aber darin, daß der Innenwiderstand der Spannungsquelle extrem hoch ist und es deshalb einer aufwendigen elektronischen Meß- und Verstärkertechnik bedarf, um das Spannungssignal überhaupt anzeigen zu können. Würde man mit einem normalen Voltmeter messen, brähe die Spannung sofort zusammen ohne angezeigt zu werden. Der elektrische Anschluß der Elektrode erfolgt über ein 1-adriges Kabel, die netzförmige Abschirmung um die eine Ader liegt auf Masse Potential und dient nur zum Schutz gegen elektrische Störfelder. Zur Spannungsmessung werden aber immer 2 Adern benötigt. Woher die 2. Ader kommt, wird nachfolgend beschrieben.



**Bild 3:** Prinzipieller pH-Meßkreis

**Bild 3** ist eine Weiterentwicklung von **Bild 2**. Die Spannungsquelle existiert nach wie vor, nur ist sie jetzt ein Teil der Meßelektrode und heißt Glasmembran. Der Plus-Anschluß der Spannungsquelle, die innere Seite der Membran, ist über den [Innenpuffer](#) (grün gekennzeichnet) mit einer Ader zum Voltmeter hin verbunden, der Minus-Anschluß hingegen ist der äußere Teil der Glasmembran. Da man an Glas keinen Draht anklammern kann, bedient man sich eines Tricks: Es wird eine 2. Elektrode (Vergleichselektrode) in das Wasser getaucht und deren Ader ebenfalls mit dem Voltmeter verbunden. Die nun noch offene Verbindung zwischen dem Minuspol der Meßelektrode, der Membran, und der Vergleichselektrode wird durch das Wasser selbst hergestellt. Damit ist der Stromkreis geschlossen. Bei einer Autobatterie wird Wert darauf gelegt, daß die Spannung konstant bleibt. Dies erreicht man dadurch, daß der Elektrolyt während des Fahrbetriebes ständig aufgeladen wird. Seine Ionenkonzentration soll hoch sein und stabil bleiben. Ändert sich die Konzentration (Dichte) des Elektrolyten, hat das sofort

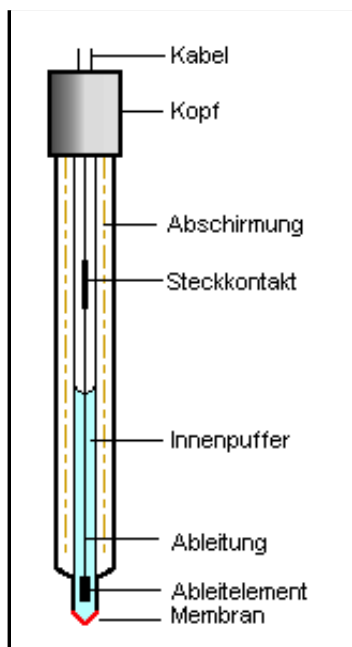
Auswirkungen auf die Höhe der Spannung. Im schlimmsten Fall hat sich die Elektrolytkonzentration so stark verringert, daß die Batterie leer ist und keine Spannung mehr abgibt. Man kann also durch eine Spannungsmessung direkt auf die Höhe der Konzentration des Elektrolyten schließen. Genau das macht man bei der pH-Messung, nur sehr viel genauer und feiner als bei der Autobatterie. In wässrigen Lösungen ist die Ionenkonzentration in der Regel nicht konstant. Um eine Information über die Anzahl der Ionen zu bekommen, mißt man die Spannung an den Elektroden und kann mittels einer mathematischen [Beziehung](#) auf die Konzentration der Ionen im Wasser schließen. Die Rede ist immer von 2 Elektroden, die zur Spannungsmessung benötigt werden, eine davon ist die Meßelektrode, die andere die Vergleichselektrode. Das ist immer so bei einer pH-Messung, auch wenn Sie sagen, bei mir hängt nur eine Elektrode im Wasser. Das mag sein, denn die Meß- und Vergleichselektrode werden häufig in einer Baueinheit zusammengefaßt und dann als "Einstabmeßkette" oder "Einstabmeßelektrode" bezeichnet. Das hat praktische Gründe. Aber es bleibt dabei, auch eine Einstabmeßkette besteht aus 2 Elektroden.

#### 4. Warum 2 Elektroden?

Messen heißt vergleichen. Will man eine Wegstrecke vermessen, dann vergleicht man diese mit dem Metermaß und sagt, daß die Strecke dann 3 Meter lang ist, wenn sie 3 mal die Länge eines Ein-Meter-Stabes aufweist. So auch bei der pH-Messung. Die Spannung, die an der Meßelektrode (vergleichbar mit der Strecke) entsteht und unterschiedlich hoch sein kann, wird verglichen mit der Spannung, die sich durch Diffusionspotentiale an der Vergleichselektrode einstellt und - unabhängig von der Ionenkonzentration im Wasser - konstant ist. Die Vergleichselektrode ist in diesem Beispiel der Ein-Meter-Stab. Die Differenz zwischen den beiden Spannungen, das eigentliche Meßsignal, gibt dann Auskunft über die Ionenkonzentration im Wasser. Wenn das Meßsignal hoch und positiv ist, bedeutet dies eine hohe Wasserstoffionenkonzentration, ist das Meßsignal hoch und negativ, bedeutet das eine geringe Wasserstoffionenkonzentration. Wie stellt sich aber das Meßinstrument bei den verschiedenen Spannungen ein? 0 Volt Spannung bedeutet für das Meßgerät "kein Ausschlag", d.h. der Zeiger steht am Nullpunkt. Chemisch gesehen ist in diesem Augenblick die Konzentration der Wasserstoffionen gleich der Hydroxidionen, das Wasser ist neutral. Wird jetzt die Spannung an der Meßelektrode negativ, will der Zeiger des Instruments auch negativ ausschlagen, woran er aber durch einen mechanischen Anschlag gehindert wird. So geht es also nicht. Die Elektronik macht's aber möglich. Der [Meßverstärker](#) des pH-Meters ist so konzipiert, daß er den Zeiger des Instruments bei Potentialdifferenz = 0 nicht auf den mechanischen 0-Punkt sondern genau auf den halben Ausschlag des gesamten Anzeigebereiches einstellt. Wird jetzt die Potentialdifferenz negativ, wandert der Zeiger vom Mittelpunkt des Anzeigebereiches einfach nach links in Richtung mechanischem Nullpunkt. Zwischen mechanischem Nullpunkt und dem Höchstausschlag des Instrumentes liegt dann der gesamte Bereich der pH-Messung, nämlich von pH = 0 bis pH = 14, mit pH = 7 in der Mitte.

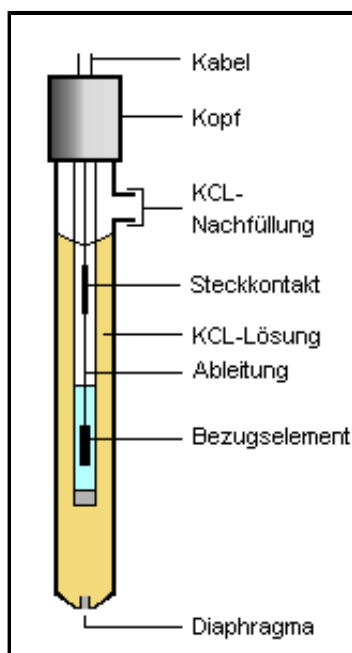
#### 5. Aufbau der Elektroden

##### 5.1 Meßelektrode, Aufbau und Funktion

**Bild 4:** Aufbau der Meßelektrode

Der Aufbau einer Meßelektrode ist in **Bild 4** dargestellt. Ihre wesentlichen Bestandteile sind: Die Glasmembran, die Innenpufferflüssigkeit, das Ableitelement mit dem daran angeschlossenen Kabel und eine innere Abschirmung. Das Herzstück der Elektrode ist jedoch die [Glasmembran](#). Die elektrische Ladung, die an der Membraninnenseite entsteht, wird über Ableitelement, Ableitung und angeschlossenes Kabel zum Meßverstärker geführt. Als Ableitelement wird meistens ein Silberdraht, ummantelt mit Silberchlorid eingesetzt, der den Kontakt zum Innenpuffer herstellt. Die elektrische Abschirmung umhüllt innerhalb des Glasrohres das Meßsystem und ist an den Außenmantel des Elektrodenkabels (Koaxkabel) angeschlossen. Der elektrische Innenwiderstand der Meßelektrode liegt, bedingt durch die Glasmembran, bei etwa  $10^9$  Ohm.

## 5.2 Vergleichselektrode, Aufbau und Funktion

**Bild 5:** Aufbau der Vergleichselektrode

Die Vergleichselektrode, gleichbedeutend mit Bezugslektrode, wird schematisch in **Bild 5** dargestellt. In ihr gibt es ebenfalls ein Bezugselement, das gleiche wie in der Meßelektrode (Silber/Silberchlorid). Dieses taucht in einen Elektrolyten, eine KCl-Lösung, und ist ionenmäßig leitfähig mit ihm verbunden. Die KCl-Lösung diffundiert langsam durch das Diaphragma in das Meßgut und stellt dabei die elektrische Verbindung her. Es gibt verschiedene Ableitsysteme, die [hier](#) näher beschrieben werden. Der Schwachpunkt bei Bezugslektroden ist das Diaphragma. Es ist wichtig, dass es flüssigkeitsdurchlässig für die KCl-Lösung ist, andererseits soll aber kein Meßgut von außen her in die KCl-Lösung eindringen. Das kann dadurch verhindert werden, daß der KCl-Spiegel in der Elektrode immer höher gehalten wird als der Meßgutspiegel. Ferner soll die Diffusion der KCl-Lösung nach außen möglichst hoch sein, damit ein kleiner elektrischer Innenwiderstand gewährleistet wird. Warum eine KCl-Lösung für die Bezugslektrode gewählt wird, hat etwas mit Diffusionsgeschwindigkeiten von K und Cl zu tun und soll hier nicht weiter behandelt werden. Das [Diaphragma](#) ist für normale Anwendungen meistens ein in die Glaswand eingeschmolzener poröser Keramikstift. Die schon erwähnte hochkonzentrierte KCl-Lösung bewirkt, daß der elektrische Innenwiderstand der Elektrode im Vergleich zur Meßelektrode sehr klein ist, nur einige kOhm. Dies ist

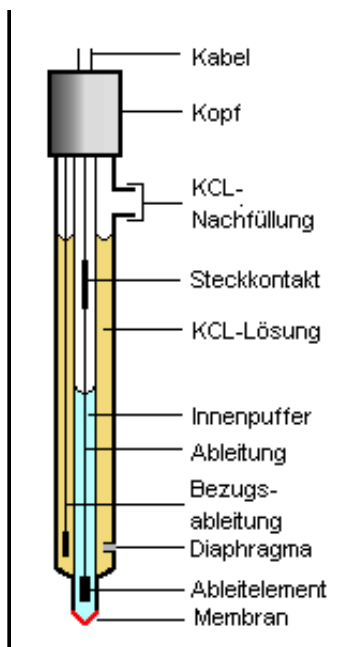
auch notwendig, damit Potentialdifferenzen, die sich auch hier bilden, möglichst gering bleiben gegenüber denen an der Meßelektrode und vernachlässigt werden können. Weiterhin kommt ein geringer Innenwiderstand der Vermeidung von Störspannungen zugute. Die elektrische Ladung des Bezugselements wird über die Ableitung und das Kabel nach außen geführt und bildet die zweite Leitung zum Meßgerät.

Weiter auffällig gegenüber der Meßelektrode ist, daß es bei der Vergleichselektrode keine metallische Abschirmung mehr gibt. Dies besorgt die niederohmige, das Ableitsystem umhüllende KCl-Lösung. Bei der unter 5.3 beschriebenen Einstabmeßkette ist das genau so gelöst.

Es sei an dieser Stelle noch auf eine andere Konstruktion der Bezugslektrode hingewiesen. Statt der flüssigen KCl-Lösung benutzt diese Art ein festes Gel. Vorteile: Keine KCl Nachfüllung notwendig, robust. Nachteile: Längere Ansprechzeit, nicht so hohe Genauigkeit.

## 5.3 Einstabmeßeletrode

**Bild 6:** Aufbau der Einstabmeßkette



In der Einstabmeßkette sind Meßelektrode und Vergleichselektrode konstruktiv zusammengebaut. **Bild 6** zeigt, wie das aussieht. Die innere Glaselektrode wird ringförmig von der Vergleichselektrode umgeben. Am Meßprinzip ändert sich gegenüber den getrennten Elektroden überhaupt nichts. Diese Konstruktion hat aber im praktischen Einsatz enorme Vorteile gegenüber den getrennten Elektroden. Es sei die Kalibrierung angesprochen sowie die Installation. Wenn allerdings in Lösungen gemessen werden soll, die sehr heiß und aggressiv sind und wo ein hoher Verschleiß vorliegt, kommt man mit der 2 Elektrodenmessung manchmal besser zurecht, da dann nur die ausgefallene Elektrode getauscht werden muß.

## 6. Praxis

### 6.1 Kalibrierung

Aus praktischen Gründen soll weiterhin nur von der Einstabmeßelektrode gesprochen werden. PH-Elektroden müssen vor ihrem Einsatz kalibriert werden. Das geschieht auf einfache Weise mit [Pufferlösungen](#). Es gibt Pufferlösungen für pH = 4, pH = 7 und pH = 9 und für viele Zwischenwerte. Für die Kalibrierung entnimmt man Pufferlösung aus der Vorratsflasche und führt die Kalibrierung in einem separaten Gefäß durch. Die abgefüllte Menge nicht wieder in das Vorratsgefäß zurückgießen, sondern getrennt lagern. Bei der Kalibrierung beginnt man mit dem Puffer für pH = 7 (Elektrode und Puffer sollten dabei die gleiche Temperatur haben) und stellt mit dem Drehknopf, der meistens mit "Asym" oder auch "[0-Punkt](#)" am pH-Gerät beschriftet ist, den Skalenwert pH = 7 ein. Dann, so mache ich es immer, nehme ich die Elektrode aus dem Puffer heraus, spüle sie mit VE-Wasser ab (Spritzflasche), tupfe sie kurz in seitlicher Haltung auf saugfähigem Papier ab (nicht dabei über die Glasmembran wischen) und halte sie in den pH = 9 Puffer. Warum pH = 9 hat folgenden Grund: Meine Betriebsmessung im Becken schwankt etwa zwischen pH = 7 und pH = 7,3, also nahe am Neutralpunkt mit Tendenz zum Alkalischen. Es ist immer ratsam im Sinne von Meßgenauigkeit, in dem Bereich zu kalibrieren, wo auch später gemessen wird, in meinem Fall also im alkalischen Bereich. Würde das Beckenwasser betrieblich bei pH = 6,5 liegen, wäre es besser mit dem Puffer für pH = 4 zu kalibrieren. Nachdem die Elektrode in Puffer pH = 9 eingetaucht ist und die Anzeige stabil bleibt, wird mit dem 2. Knopf am pH-Gerät, meistens mit "Steilheit", "slope" oder direkt mit Zahlen, z.B. "59mV/pH", der [Skalenwert](#) von pH = 9 einjustiert. Da die eine Einstellung die andere beeinflusst, geht das Spiel wieder von vorne los, man muß sich iterativ dem endgültigen Wert nähern. Bei guten Elektroden, frischen Pufferlösungen und stabilem Meßverstärker hat man diese Prozedur spätestens nach 1-2 Einstellungen fest im Griff. Nach kurzem Abspülen kann die Elektrode nun in das zu messende Wasser gehängt werden. Es ist sinnvoll, daß man sich für die Kalibrierung eine Halterung für die Elektrode anfertigt, in der sie hängt, wenn sie in die Pufferlösung eintaucht. Es muß vermieden werden, daß die Elektrode einfach in das Puffergefäß eingesteckt wird und mit der empfindlichen Glasmembran auf den Boden des Gefäßes stößt. Geeignet für die Aufbewahrung und den Gebrauch abgefüllter Pufferlösungen sind die kleinen Plastik-Filmdöschen, die einen fest verschließbaren Deckel haben.

Bei mikroprozessorgesteuerten Meßverstärkern verläuft die Kalibrierung anders. Dies ist unter dem Link Meßverstärker, Abschnitt 4.0 angedeutet.

### 6.2 Temperatureinfluß

Der pH-Wert ist abhängig von der [Temperatur](#) des Meßgutes. Mit steigender Temperatur erhöht sich auch die Steilheit der Meßelektrode. Deshalb gehört zu jeder pH-Messung auch eine Temperaturmessung. Wenn die Kalibrierung und die spätere Messung bei annähernd gleicher Temperatur erfolgt (z.B. Raumtemperatur), kann auf eine Temperaturkompensation verzichtet werden. Schwankt hingegen die Temperatur des Meßgutes, muß eine automatische Kompensation mittels Temperaturfühler vorgenommen werden. Entweder macht dies der

Meßverstärker bei angeschlossenem Temperaturfühler automatisch oder aber man muß am Meßverstärker manuell (wenn vorgesehen) mittels eines Drehknopfes die Meßguttemperatur einstellen. Man kann davon ausgehen, daß eine Meßguttemperaturabweichung von etwa 10°C gegenüber der Pufferlösung bei der Kalibrierung schon einen Meßfehler von etwa 0,15 pH ausmacht. Da solche Temperaturschwankungen beim Beckenwasser wohl nicht auftreten, kann hier auf eine Temperaturkompensation verzichtet werden.

## 7. Wartung

### 7.1 Elektroden

Eine pH-Meßanlage bedarf der regelmäßigen Wartung. An erster Stelle ist die Elektrode zu nennen. Abhängig von der Qualität der Elektroden, es gibt billige und weniger stabil arbeitende Elektroden zum Unterschied von teuren Qualitätselektroden, unterscheiden sich auch die Wartungsintervalle. So alle 1-2 Monate empfiehlt es sich jedoch, die Kalibrierung mit Pufferlösungen zu kontrollieren. Man wird während des Lebenslaufes einer Elektrode feststellen, daß die Steilheit immer mehr nachgestellt werden muß, um den 2. Kalibrierpunkt einstellen zu können. Irgendwann wird man dann auch an den Anschlag des Potentiometers kommen, das dann keine weitere Korrektur mehr zuläßt. Das ist spätestens der Zeitpunkt, die Elektrode auszutauschen. Die Elektrode ist unempfindlich geworden, was am Nachlassen der Aktivität der Glasmembran liegt - Alterserscheinungen sozusagen..

Ebenso regelmäßig muß der Flüssigkeitsstand der KCl-Lösung in der Vergleichselektrode überprüft werden. Der Stand muß immer über dem Niveau des Meßgutes liegen. Damit wird verhindert, daß das Meßgut selbst über das Diaphragma in die Elektrode eindringen kann. Je nachdem welches Diaphragma man hat, Asbestfaden ( heute nicht mehr im Handel), Keramik, Schliff, kann unterschiedlich viel KCl-Lösung ausdiffundieren. Die Nachfüllintervalle von KCl-Lösung (für Keramik Diaphragma) dürften in der Größenordnung von 1-2 Monaten liegen. Bei der KCl-Lösung muß man aufpassen. Die meisten Elektroden benutzen eine 3-molare KCl-Lösung, es gibt aber auch Elektroden mit nur 1-molarer Lösung. Die Lösung kann man sich übrigens leicht selbst herstellen.

Weiterhin ist es wichtig, daß die Verschlussklappe der Nachfüllöffnung für KCl während der Messung immer geöffnet ist, sonst kann die Lösung nicht ausdiffundieren.

Wird die Elektrode nicht mehr benötigt, sollte man sie kurz abspülen, die Nachfüllöffnung für KCl verschließen und sie in ein Gefäß hängen, das mit der gleichen KCl-Lösung gefüllt ist, die sich in der Elektrode befindet. Besser noch, man benutzt die Transportschutzkappe und füllt diese mit KCl-Lösung.

### 7.2 Reinigung der Elektroden

Sollten ständig Meßwertabweichungen festgestellt werden, ist zu prüfen, ob die Elektrode evtl. verschmutzt ist. Dies kann einmal die Glasmembran selbst sein oder aber das Diaphragma der Vergleichselektrode. Verschmutzungen können durch Algenbewuchs, einfachen Dreck, Beläge, Fette oder angelagerte Eiweißstoffe entstehen. Die Elektrodenhersteller empfehlen je nach Verschmutzung unterschiedliche Reinigungsmaßnahmen.

Verschmutzung	Behandlung	Hinweis
anorgan. Beläge	einige Minuten in 0,1 mol/l HCl oder 0,1 mol/l NaOH	mit 40-50°C warmen Lösungen bessere Reinigung
organ. Beläge (Öl, Fett)	abspülen mit org. Lösungen (Ethanol...) oder Tensiden (Haushaltspülmittel)	Sensor mit weichem, feuchtem Tuch vorsichtig abtupfen
Proteine (Eiweißstoffe)	Pepsin/HCl-Lösung, 1-2 Stunden	-
Sulfide (schwarzes Diaphragma)	bis zur Entfärbung in Thioharnstoff/HCl-Lösung stellen (7,5% in HCl 0,1 mol/l)	-

Nach jeder Reinigungsprozedur ist die Elektrode zur neuen Konditionierung etwa 1/4 Stunde in eine KCl-Lösung zu stellen und anschließend neu zu kalibrieren.

### 7.3 Kabel und Meßverstärker

Beim Elektrodenkabel sollte auf knickfreie Verlegung geachtet werden. Weitere Maßnahmen sind hier und ebenso

beim Meßverstärker nicht notwendig. Es ist selbstredend, daß Wasser am Verstärker nichts zu suchen hat.

## 8. Störungen und deren Behebung

### 8.1 Elektroden

Störungen durch verschiedene Arten von Verschmutzung wurden schon unter Abschnitt 7.2 behandelt. Elektroden haben eine endliche Lebenszeit, die stark von ihren Einsatzbedingungen abhängt. Je höher die Meßguttemperatur ist, desto stärker ist der Verschleiß, und die Standzeit fällt rapide. 80°C Meßguttemperatur kann schon eine Standzeit von nur einigen Monaten bewirken. Für solche pH-Messungen gibt es dann spezielle Ausführungen, die manchmal nichts mehr mit einer Glaselektrode zu tun haben und dennoch pH-Werte messen können, z.B. Antimon-Elektroden. Da das für die Aquaristik nicht relevant ist, soll hier auch nicht näher darauf eingegangen werden. Ebenso können Elektroden dadurch leiden, daß das Meßgut, in diesem Falle Wasser, eine zu geringe Härte hat. Aquarianer, die ihr Beckenwasser mit Härten <1-2 fahrenheit, sollten für diesen Einsatz spezielle "Weichwasserelektroden" benutzen. Sie danken es mit einer längeren Standzeit.

### 8.2 Kabel und Meßverstärker

Der Eingangskreis des Meßverstärkers mit den Elektroden ist für elektrische Störpotentiale äußerst sensibel. Wie schon erwähnt, wird eine Gleichspannung gemessen. Um die Spannungsquelle "Elektrode" elektrisch nicht zu belasten, muß der Meßverstärker einen extrem hohen Eingangswiderstand haben. Dies bringt große Gefahren für elektrische Wechselstromstörungen mit sich. Das Elektrodenkabel ist deshalb abgeschirmt, der Schirm muß bei der Eingangsklemmleiste des Meßverstärkers an der vorgesehenen Klemme befestigt werden. Bei Kabeln mit angebauten Steckern erübrigt sich diese Maßnahme, da der Stecker die notwendige Erdung vornimmt. Vorteilhaft kann es auch sein, wenn das Meßgut selbst geerdet wird. Dies kann mit einem V4A-oder V2A-Draht im Wasser erfolgen. Alle diese Maßnahmen haben den Zweck, keine unterschiedlichen Bezugspotentiale entstehen zu lassen, die ihrerseits für die meisten "Dreckeffekte" verantwortlich sind.

Der Meßverstärker selbst kann, wenn er dann Störungen zeigt, nicht im "do it your self" repariert werden. Ich möchte an dieser Stelle auch vor zu billigen Geräten warnen, die zwar anfangs funktionieren, aber nicht die Standfestigkeit und Konstanz von - leider teureren - Industriegeräten haben.

### Ein Dankeschön

möchte ich den Firmen Ingold/Mettler Toledo und Schott für die technischen Unterlagen aussprechen, die sie mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt haben.

[Seitenanfang](#)    [zurück](#)