

RANDY SHARPE

Der Zusammenhang
zwischen gelöstem

H₂

pH-Wert
und
Redoxpotential

Rechtliches/Impressum

Autor: Randy Sharpe

Originaltitel: Analysis of the Relationship between Dissolved Molecular Hydrogen Gas, pH and ORP using the Nernst Equation Rev. 4.4.1. Copyright 2017, Henderson, USA. Alle Rechte vorbehalten.

Deutscher Titel: Der Zusammenhang zwischen gelöstem H_2 , pH-Wert und Redoxpotential (ORP).
Untertitel: Eine Analyse unter Verwendung der Nernst-Gleichung. Aus dem Amerikanischen übersetzt von Dominik Tresowski und Karl Heinz Asenbaum

Deutsche Ausgabe: Im Auftrag von www.aquacentrum.de herausgegeben von Karl H. Asenbaum im EUROMULTIMEDIA VERLAG München, Inh. Aquavolta UG (haftungsbeschränkt), D-80798 München, Georgenstr. 110. www.euromultimedia.de. Kontakt deutsch/englisch info@euromultimedia.de

Kein Teil dieses Dokuments, einschließlich Text und Grafiken, darf ohne schriftliche Genehmigung des Autors in irgendeiner Form, in elektronischer Form, als Aufzeichnung oder Fotokopie reproduziert werden. Die Genehmigung wird vom Autor ausdrücklich erteilt, wenn kurze Zitate in kritischen Artikeln oder Rezensionen enthalten sind. Obwohl alle Vorkehrungen getroffen wurden, um die Richtigkeit der hierin enthaltenen Informationen zu überprüfen, übernimmt der Autor keinerlei Verantwortung für Fehler oder Auslassungen. Für Schäden, die sich aus der Verwendung der darin enthaltenen Informationen ergeben, wird keine Haftung übernommen.

Inhalt

- 3 Einführung
- 5 Wasserstoff-Wasser
- 6 Das ORP-Messgerät
- 8 Der negative ORP-Wert
- 8 und die Quelle des therapeutischen Nutzens
- 9 ORP und Spannungspotential
- 11 Oxidation und Reduktion
- 14 Redoxpotential und Redoxpaar
- 16 Das Wasserstoff-Redox-Paar
- 16 Der pH-Wert
- 19 Die Nernst-Gleichung
- 22 Wie viel gelöstes H_2 wird benötigt, um ein negatives ORP zu erzeugen?
- 24 Die Beziehung zwischen der Konzentration H_2 und dem ORP
- 26 Die Beziehung zwischen pH und ORP
- 28 Vergleich des Einflusses von H_2 und pH auf das ORP
- 29 Höhere ORP-Negativwerte bedeuten nicht mehr gelöstes H_2
- 31 Warum hat pH mehr Einfluss auf ORP als H_2 ?
- 34 Messgeräte für gelösten Wasserstoff
- 37 Beobachtungen zu Mängeln in der Redox-Technologie
- 38 Andere Wasserstoff-Wasser-Geräte und -Technologien
- 39 Messung von gelöstem Wasserstoff mit einem Redox-Titrationsreagens
- 42 Ist molekularer Wasserstoff ein „konventionelles Antioxidans“?
- 43 Zusammenfassung & Anmerkungen
- 44 Über den Autor



Randy Sharpe

Der Zusammenhang zwischen gelöstem H_2 , pH-Wert und Redoxpotential (ORP). Eine Analyse unter Verwendung der Nernst-Gleichung

Einführung

Seit Jahrzehnten werden basische Wasserionisierer mit dem Anspruch vermarktet, verschiedene gesundheitliche Vorteile zu bieten. Marketing-Leute verwenden ein ORP-Messgerät, um zu zeigen, dass ihr Wasser „anders“ ist als andere Wasserarten. Viele Vertreter von ionisiertem Wasser sind sich dabei bewusst, dass Ionisiertes Wasser mit einem negativen ORP-Wert (-100 mV bis -750 mV oder mehr) produzieren, während die meisten anderen Wässer einen positiven ORP-Wert haben.

Versuche, zu erklären, warum das Wasser einen negativen ORP-Wert hat, und was das Messergebnis tatsächlich bedeutet, haben viele Theorien hervorgebracht, einschließlich der, dass das Wasser „freie Elektronen“ oder eine „spezielle Struktur“ enthalte. Aber bis vor kurzem war die Tatsache, dass ionisiertes Wasser gelöstes H_2 -Gas enthält (das während der Elektrolyse erzeugt wird), nicht allgemein bekannt und auch, dass der gelöste Wasserstoff, ein Reduktionsmittel, für den negativen ORP-Wert verantwortlich ist.

Im Jahr 2007 zeigte eine wegweisende Forschungsstudie, dass Trinkwasser, welches gelöstes Wasserstoffgas (H_2) enthielt, therapeutische Vorteile bieten könnte. In den vergangenen zehn Jahren ist die Zahl der Forschungsstudien, die den therapeutischen Nutzen von H_2 bestätigen, stark angestiegen. Da sich das Wissen über die Vorteile von molekularem Wasserstoff in den letzten Jahren verbreitet hat, haben einige Hersteller die Konstruktion ihrer vorhandenen basischen Ionisierer (die ursprünglich als „pH“-Maschinen, nicht als „Wasserstoff-Wasser“-Geräte konzipiert waren) verbessert, um den Gehalt an Wasserstoffgas im Wasser zu erhöhen. In letzter Zeit haben sich neue, innovative Technologien herausgebildet, die von Grund auf so konzipiert wurden, dass sie den Gehalt an gelöstem Was-

serstoff maximieren. Dazu gehören Wasserstoff-Infusionsmaschinen mit neutralem pH-Wert, batteriebetriebene tragbare Wasserstoff-Flaschen, spezielle abgepackte Flaschen und Beutel sowie Tabletten, die H_2 -Gas produzieren.

Da die Beliebtheit von Wasserstoff-Wasser-Produkten weiter zugenommen hat, sind die Verbraucher nicht nur an den therapeutischen Vorteilen von H_2 interessiert, sondern auch daran, wie viel Wasserstoff ihr Wasser tatsächlich enthält. Die Websites und Marketingbroschüren von Herstellern und Händlern machen viele Behauptungen über das Leistungsniveau ihrer Geräte und erklären deren Fähigkeit, Wasser mit einem „negativeren ORP“ als ihre Konkurrenten zu produzieren. Die herkömmliche Ansicht zur ORP-Messung ist: „Je negativer der abgelesene Wert ist, desto höher ist der therapeutische Nutzen des Wassers“. Da man zu der Ansicht neigt, dass „mehr ist besser“ ist, erscheint die Vorstellung, dass ein höherer Wert im negativen Bereich dem einem niedrigeren überlegen ist, auf den ersten Blick plausibel.

Das wachsende Bewusstsein für H_2 als Therapeutikum, kombiniert mit dem Wunsch der Verbraucher, genau zu wissen, wie viel Wasserstoff ihr Wasser enthält, führte zu der Forderung nach einem Messgerät, das die mit dem ORP-Messgerät verbundene Mehrdeutigkeit und Unstimmigkeit beseitigt. In den letzten Jahren sind auf dem Markt relativ kostengünstige tragbare „gelöste Wasserstoffmessgeräte“ (zum Preis von ca. 500 US-Dollar) aufgetaucht, von denen behauptet wird, dass sie gelöstes Wasserstoffgas genau messen. Anstatt in Millivolt-Einheiten, wie beim ORP-Meter, verfügen diese Messgeräte über eine digitale Anzeige, welche gelöste Wasserstoffwerte in Einheiten anzeigt, die für die Messung gelöster Verbindungen geeigneter sind, nämlich Anteile pro Million (ppm) / Anteile pro Milliarde (ppb)¹. Auf den ersten Blick scheinen sie eine gute Wahl für die Messung von gelöstem Wasserstoff zu sein. Diese Messgeräte basieren jedoch immer noch auf der ORP-Messplattform und können daher nur das ORP des Wassers messen, nicht gelöstes Wasserstoffgas. Obwohl die ORP-Messung die Tendenz des Wassers darstellt, entweder als oxidierendes oder reduzierendes Agens zu wirken, müssen sich abweichende Schlussfolgerungen über die Bedeutung der negativen ORP-Messung auf einem genauen Verständnis der mit dem ORP verbundenen Chemie begründen.

In diesem Artikel werden viele Fragen bezüglich H_2 , pH und negativem ORP beantwortet, aber der Fokus wird auf der Erklärung liegen, was das negative ORP uns über das Wasser, seinen therapeutischen Nutzen und den Gehalt an gelöstem Wasserstoffgas sagen kann und was nicht.

Während dies ein komplexes und verwirrendes Thema sein kann, werden wir die relevanten Konzepte Schritt für Schritt erklären und eine gut definierte Terminologie und leicht verständliche Sprache in Kombination mit vielen Grafiken und Illustrationen verwenden.

Um einen wertvollen Einblick in das Thema ORP zu gewinnen, werden wir die Nernst-Gleichung verwenden, um die Beziehung zwischen dem Gehalt an gelöstem H_2 -Gas, dem pH-Wert und der ORP-Messung zu untersuchen. Um das Thema richtig einzuführen, wird es hilfreich sein, mit der Terminologie und den grundlegenden Konzepten zu beginnen, die mit dem Thema ORP verbunden sind.

Wasserstoff-Wasser

Wasserstoffwasser kann auch als H_2 -Wasser, wasserstoffreiches Wasser, Wasserstoff-Infusionswasser oder mit Wasserstoff angereichertes Wasser bezeichnet werden.

Wenn wir von „Wasserstoffwasser“ sprechen, beziehen wir uns auf Wasser, das gelöstes molekulares Wasserstoffgas (H_2) enthält. Das ist etwas Ähnliches wie bei kohlensäurehaltigen Getränken, wo gelöstes Kohlendioxid (CO_2) für den Sprudeleffekt verantwortlich ist.

Wasser mit gelöstem Wasserstoff auf eine Reihe von Arten hergestellt werden. Übliche Methoden sind Elektrolyse (Wasserionisierer), Wasserstoff-Infusions-Maschinen (HIM), Tabletten, die H_2 -Gas erzeugen, wenn sie in Wasser gelöst oder geschluckt werden, sowie indem man H_2 -Blasen durch das Wasser sprudelt. Wichtig zu beachten ist, dass sich das H_2 -Gas zwar im Wasser auflöst, sich jedoch nicht chemisch an die Wassermoleküle selbst bindet, um in diesem Zuge neue chemische Verbindungen (so etwas wie „ H_4O “) einzugehen.

Obwohl es nicht ungewöhnlich ist, dass einige Gasbläschen zu sehen sind oder das Wasser gar ein „nebeliges“ Aussehen hat, ist das H_2 -Gas in Form von extrem kleinen „Nanoblasen“ im Wasser gelöst, die für das bloße Auge unsichtbar sind. Jegliche sichtbaren H_2 -Bläschen sind ungelöst, steigen schnell an die Oberfläche und entweichen in die Luft.

Da H_2 ein flüchtiges Gas ist, hat es eine relativ kurze Haltbarkeit und bleibt, außer bei Verwendung spezieller Verpackungen, nicht für unbegrenzte Zeit in Wasser gelöst. Der Effekt lässt sich mit einem länger offenstehenden kohlensäurehaltigen Getränk vergleichen, welches anfängt „schal“ zu schmecken, nachdem das CO_2 -Gas entwichen ist. So sinkt auch der Pegel des gelösten H_2 -Gases mit der Zeit allmählich und das H_2 -Gas entweicht aus dem Wasser in die Luft. Die ungefähre Halbwertszeit für einen offenen Behälter beträgt zwei Stunden. Gelöster Wasserstoff wird üblicherweise in Milligramm pro Liter (mg/Liter) oder äquivalenten Einheiten, Teile pro Million (ppm)¹ gemessen. Typische Konzentrationen von gelöstem H_2 liegen im Bereich von 0,5 bis 2 mg/Liter.

Obwohl der Sättigungsgrad von Wasserstoff auf Meereshöhe bei etwa 1,6

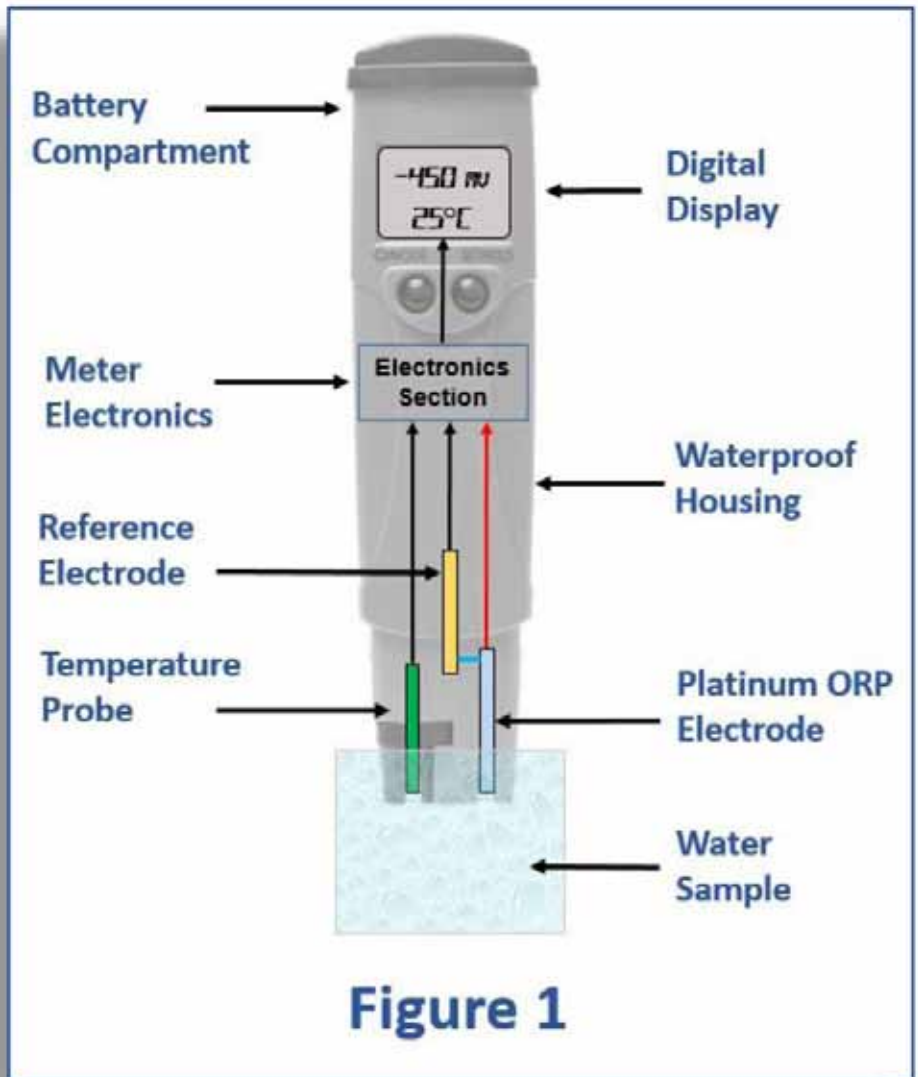
mg/Liter liegt, sind unter geeigneten Bedingungen von Temperatur und Luftdruck übersättigte Konzentrationen von 3 mg/Liter oder mehr möglich. Während sich unsere Diskussion nur auf Wasserstofftrinkwasser konzentriert, sollte angemerkt werden, dass es viele andere Verfahren zur Verabreichung von Wasserstoffgas gibt, einschließlich Inhalation, intravenöser Injektion von wasserstoffreicher Salzlösung, sowie von Wasserstoffbädern.

Das ORP-Messgerät



Das ORP-Messgerät ist ein Werkzeug, welches häufig von Dienstpersonal und Technikern im kommerziellen und industriellen Sektor verwendet wird, unter anderem Umwelt, Abwasserbehandlung, Gastronomie, Pool&Spa wie auch im Gartenbau. Kombiniert mit anderen gemessenen Parametern, wie Temperatur, pH-Wert und Chlorgehalt kann eine hohe positive Redox-Messung auf die Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln (Oxidationsmitteln) zur Abtötung verschiedener Krankheitserreger hinweisen. In Figure 1) ist ein Diagramm eines typischen tragbaren ORP-Messgeräts zu sehen. Trotz der Ähnlichkeit mit einem Standard-Hochimpedanz-Digital-Voltmeter gibt es einen wichtigen Unterschied, und zwar die ORP-Sensorelektrode des Zählers.

Die Elektrode (auch „Sonde“ bezeichnet) ist dazu bestimmt, in eine Wasserprobe eingetaucht zu werden und besteht aus einem reaktionsarmen, gegen Oxidation beständigen Metall, üblicherweise Platin. Das Messgerät enthält des Weiteren eine zweite interne Bezugs elektrode (normalerweise Silber-Silberchlorid), die im Gehäuse angebracht ist. Diese Elektrode erzeugt eine Referenzspannung, mit welcher die Spannung der Platinelektrode verglichen wird.



Während die ORP-Sonden zu kleineren, tragbaren Einheiten in das Gehäuse des Messgeräts integriert sind, weisen größere Messgeräte normalerweise Sonden auf, die sich extern in einem separaten Gehäuse befinden und über ein flexibles Kabel mit dem Messgerät verbunden sind.

Wenn sie in eine Wasserprobe gegeben werden, gibt die Platinoberfläche der Elektrode entweder Elektronen ab oder nimmt sie auf, abhängig von der Zusammensetzung des Wassers. Diese Übertragung von Elektronen erzeugt eine sehr

kleine Spannung. Die interne Elektronik des Zählers verarbeitet die Spannung, vergleicht sie mit der von der internen Referenz erzeugten Spannung und zeigt den resultierenden ORP-Wert in Millivolt (mV) an. Abhängig von der Art der im Wasser gelösten Mittel ist die Polarität der angezeigten Spannung entweder positiv (zeigt die Anwesenheit von Oxidationsmitteln an) oder negativ (zeigt die Anwesenheit von Reduktionsmitteln an). ORP-Messgeräte sind in einer breiten Palette von Preisen erhältlich, von preisgünstigen tragbaren Geräten für den privaten Gebrauch bis hin zu anspruchsvolleren Industrie- und Labormodellen.

Der negative ORP-Wert und die Quelle des therapeutischen Nutzens

Wie zuvor erwähnt, wird man bei Wasser, welches gelöstes H_2 -Gas enthält, normalerweise einen negativen ORP-Wert (-100 bis -750 mV oder mehr) messen. In der Werbung wird häufig gesagt, dies wäre ein Hinweis darauf, dass dem Wasser während der Elektrolyse durch den Strom verschiedene „besondere Qualitäten“ verliehen worden wären. Damit einhergehend, wird behauptet, das Wasser hätte eine „kleinere molekulare Struktur“, enthielte „freie Elektronen“ oder hätte eine „negative Ladung“. Um solche Behauptungen zu entlarven, sind zwar lediglich grundlegende Kenntnisse der Chemie erforderlich, sie bestehen aber fort und verbreiten sich sogar. Dies hat sowohl bei Verkäufern als auch bei Verbrauchern zu einer Verwirrung bezüglich der tatsächlichen Quelle der Nützlichkeit des Wassers und zu einer Unsicherheit hinsichtlich einer geeigneten Bewertungsmethode der therapeutischen Kraft und Wirksamkeit geführt.

Ein negatives ORP weist nicht immer auf einen therapeutischen Nutzen hin. Einige giftige Substanzen können auch ein negatives ORP in Wasser erzeugen. Es ist wichtig zu wissen, welche Substanz im Wasser für die Erzeugung des negativen ORP verantwortlich ist.

Tatsächlich wird das negative ORP durch die Anwesenheit von gelöstem Wasserstoffgas erzeugt. Der Prozess ist einfach: während der Elektrolyse ist Elektrizität für die Produktion von molekularem Wasserstoffgas (H_2) an der negativen Kathode verantwortlich, das sich dann im Wasser löst, während es an der Kathode entlang fließt (ein sekundäres Ergebnis der Elektrolyse ist der Anstieg des pH-Werts). Es ist jedoch wichtig anzumerken, dass die elektrische Ladung dem Wasser keine anderen „speziellen therapeutischen Eigenschaften“ verleiht. Jegliches Wasserstoff-Wasser wird, selbst ohne Verwendung von Elektrizität (z. B. unter Verwendung von

Tabletten oder durch Einblasen des H_2 -Gases ins Wasser), ebenfalls einen negativen ORP-Wert aufweisen.

Der negative ORP-Wert ist lediglich ein Indikator für das Vorhandensein von gelöstem H_2 -Gas und sagt nichts darüber aus, ob Elektrizität verwendet wurde, um dieses Wasserstoffwasser zu erzeugen. Die Forschung zeigt deutlich, dass gelöstes H_2 -Gas für den therapeutischen Nutzen verantwortlich ist, nicht irgendeine andere Eigenschaft des Wassers.

Wie wir später sehen werden, liefert die Höhe des gemessenen ORP-Negativwerts auch keine nützlichen Informationen über das Niveau des im Wasser gelösten Wasserstoffgases.

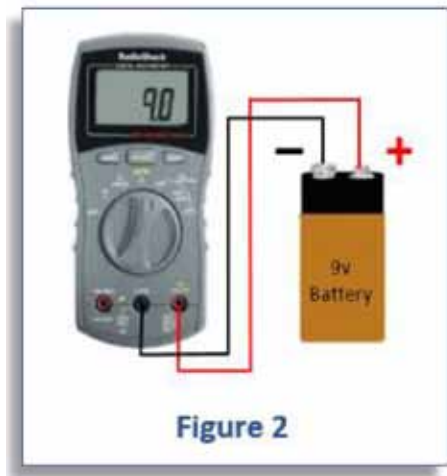
ORP und Spannungspotential

Wir haben den ORP-Wert schon einige Male erwähnt, aber was steckt dahinter? Die Kurzform „ORP“ steht für „Oxidations-Reduktions-Potential“ ein Messwert, der einen Hinweis auf die Tendenz von Wasser gibt, entweder als Oxidations- oder Reduktionsmittel zu wirken. Diskussionen über ORP konzentrieren sich normalerweise auf das „O“ und das „R“ (Oxidation und Reduktion). Weniger sieht man jedoch detaillierte Beschreibungen über die „P“ (potentielle) Komponente.

Während es offensichtlich ist, dass die ORP-Messung, dargestellt in Einheiten von Millivolt ($mV = 1/1000$ Volt), eine gewisse Art elektrischen Potentials beschreibt, werden wir uns nun der Frage zuwenden, was die Natur dieses Potentials ist und was das gemessene Spannungspotential wirklich über das Wasser aussagt.

Definitionsgemäß ist Spannung „die gemessene Differenz elektrischer Potentialenergie pro Ladungseinheit zwischen zwei Punkten“. Der Ausdruck „zwischen zwei Punkten“ ist wichtig. Ein einzelnes Objekt kann keine „Spannung“ haben. Zum Beispiel, obwohl die Batterie in Figure 2 als eine „9-Volt-Batterie“ beschrieben werden kann, hat die Batterie selbst keine „Spannung von 9 Volt“. Das Potential von neun Volt existiert nur zwischen den zwei Anschlüssen der Batterie, dem positiven Anschluss, der Elektronenmangel aufweist, und dem negativen Anschluss, der einen Überschuss an Elektronen aufweist.

In gleicher Weise, wie sich die Höhe auf den Meeresspiegel und die Temperatur sich auf den Gefrierpunkt des Wassers bezieht, repräsentiert die Spannung immer die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten, einem gemessenen Punkt und einem zweiten Referenzpunkt. Unter erneuter Bezugnahme auf Figure 1 sind diese beiden „Punkte“ zu sehen, die Platin-ORP-Sensorelektrode und die interne Referenzelektrode.



Das Spannungspotential repräsentiert die Fähigkeit, mit Elektrizität (dem Elektronenfluss) eine gewisse Menge an Arbeit zu verrichten. Eine Batterie hat das Potential, Arbeit zu verrichten (obwohl sie nicht arbeitet, wenn sie in einer Schublade liegt). Die Arbeit, die damit geleistet werden kann, umfasst eine Vielzahl alltäglicher Dinge wie das Leuchten einer Taschenlampe oder das Ansteuern einer TV-Fernbedienung. Mit einem Standard-Digitalvoltmeter (abgekürzt: „DVM“) können wir das gespeicherte Potential einer Batterie messen.

Obwohl das Messgerät uns das elektrische Potential der in der Batterie gespeicherten Elektronen mitteilen kann, kann es uns seiner Natur nach nicht sagen, ob die Ladung der Batterie 100% oder nur 25% ist; es kann unsere Taschenlampe für eine Stunde oder nur für ein paar Sekunden zum Leuchten bringen.

ORP-Messungen messen nur „Potential“ und garantieren nicht, dass eine bestimmte Reaktion auftritt. Andere Faktoren wie Temperatur, Aktivierungsenergie und Reaktionsraten müssen ebenfalls günstig sein.

In jedem Fall wird die Batterie, wenn sie in ein Gerät eingesetzt wird, ihre „unbekannte Menge“ an gespeicherten Elektronen abgeben, die das Gerät mit einer Potentialdifferenz von neun Volt betreiben, bis dieses Potential erschöpft ist.

Wenn wir von Spannungspotential und Elektronen sprechen, beziehen wir uns nur auf die Tendenz der Elektronen, zwischen den Spezies zu wechseln, und nicht auf die Menge der Elektronen, die übertragen werden; je größer das gemessene Potential, desto größer ist diese Tendenz. Ob sie jedoch tatsächlich übertragen werden oder nicht, oder wie viel übertragen wird, wenn die Batterie in einen Stromkreis eingesetzt wird, hängt vom Widerstand des Stromkreises gegenüber dem Elektronenfluss ab. Es ist wichtig zu beachten, dass das vom ORP-Messgerät angezeigte Potential für den Elektronentransfer (Arbeit) nicht notwendigerweise bedeutet, dass diese Übertragung jemals stattfinden wird. Wenn zum Beispiel der Draht, der die Glühbirne der Taschenlampe mit der Batterie verbindet, rostet, könnte der Widerstand des Stromkreises groß genug werden, sodass, unabhängig davon, wie gut die Batterie war, neun Volt nicht ausreichen würden, um den Widerstand zu überwinden.

So wie Elektronen in der Batterie den Widerstand des Stromkreises überwinden müssen, bevor sie fließen können, müssen chemische Reaktionen in der Lage sein, eine ähnliche Art von Widerstand überwinden. Dies kann möglicherweise Energie von einer äußeren Quelle (z. B. einem Katalysator) erfordern, bevor sie stattfinden können. Innerhalb des menschlichen Körpers werden einige weniger offensichtliche Formen der Arbeit ausgeführt, zum Beispiel die Neutralisierung eines freien Radikals durch ein Antioxidans.

Ob Wasser mit negativem ORP tatsächlich im Körper als Antioxidans wirken kann oder nicht, hängt nicht nur davon ab, welches Mittel für die Erzeugung des negativen Redoxpotentials verantwortlich ist, sondern auch von der Fähigkeit der Reaktion dieses betreffenden Antioxidans, spezielle Arten von „chemischem“ Widerstand zu überwinden.

Während sich in der Chemie der Begriff „Potential“ also speziell auf das Spannungs-Potential bezieht, vermittelt er in diesem Zusammenhang auch eine zweite Bedeutung, nämlich die der „Möglichkeit“. Und wie wir gesehen haben, müssen, während das negative ORP das Potential für eine Reaktion zeigt, andere Faktoren auch günstig sein, bevor die Reaktion tatsächlich stattfinden kann.

Oxidation und Reduktion

Während einer Elektrolyse werden die Elektronen von der Kathode an H^+ - Ionen gebunden. Sie fließen nicht als freie Elektronen im Wasser herum.

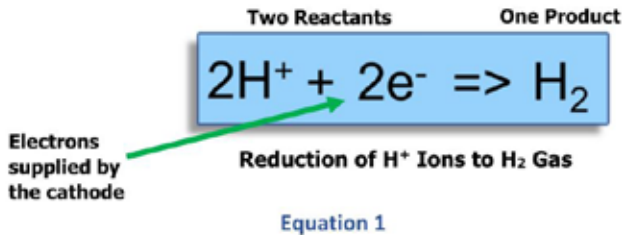
Jetzt, da wir das „P“ in „ORP“ verstehen, sollten wir auch das „O“, das sich auf „Oxidation“ bezieht, und das „R“, das sich auf „Reduktion“ bezieht, diskutieren. Oxidations- und Reduktionsreaktionen sind chemische Reaktionen, bei denen Elektronen zwischen zwei verschiedenen Spezies (Ionen, Atomen oder Molekülen) übertragen werden, wobei eine Spezies Elektronen aufnimmt (Elektronenmangel) und eine andere Elektronen spendet (Überschuss an Elektronen). Chemiker nennen diese Reaktionen „Redox“-Reaktionen.

Oxidations- und Reduktionsreaktionen treten immer zusammen auf; wenn eine Spezies Elektronen verliert, muss eine andere diese Elektronen gewinnen. Die Spezies, die Elektronen verliert, wird oxidiert und die Spezies, die Elektronen gewinnt,

wird reduziert. Eine einfache Möglichkeit sich Oxidation (Elektronenabgabe) und Reduktion (Elektronenaufnahme) in Bezug auf Elektronen zu merken, ist die Eselsbrücke „OIL-RIG“ (engl. „Oxidation Is Loss, Reduction Is Gain“, übersetzt: „Oxidation ist Verlust, Reduktion ist Gewinn“).

Da Elektronenkonfigurationen die chemischen Eigenschaften einer Substanz bestimmen, führt die Übertragung von Elektronen zur Veränderung der Elektronenkonfigurationen der Reaktionsbeteiligten. So entstehen Produkte, welche andere chemische Eigenschaften aufweisen als die Ausgangssubstanz. Die Reaktionen, welche während der Elektrolyse von Wasser H_2 und O_2 -Gas erzeugen, sind Beispiele für Oxidations- und Reduktionsreaktionen, die gleichzeitig an der in das Wasser eingetauchten Anode und Kathode auftreten.

Während der Elektrolyse liefert die Kathode Elektronen, die Wasserstoffionen zu Wasserstoffmolekülen reduzieren. Equation 1 beschreibt die Erzeugung von H_2 -Gas an der negativen Kathode.



Die Reaktionsteilnehmer, Wasserstoffionen (H^+) und Elektronen (e^- , welche von der Kathode geliefert werden), stehen auf der linken Seite der Gleichung. Auf der rechten Seite steht nur ein Produkt, molekulares Wasserstoffgas (H_2). Zwei Wasserstoffionen ($2H^+$) unterliegen einer Reduktion, da sie Elektronen ($2e^-$) von der Kathode aufnehmen und daraus zwei Wasserstoffatome ($2H^+$) bilden, welche sich dann zu einem Wasserstoffmolekül „paaren“ (H_2). Figure 3 zeigt eine bildliche Darstellung der Reduktionsreaktion dieser Gleichung:

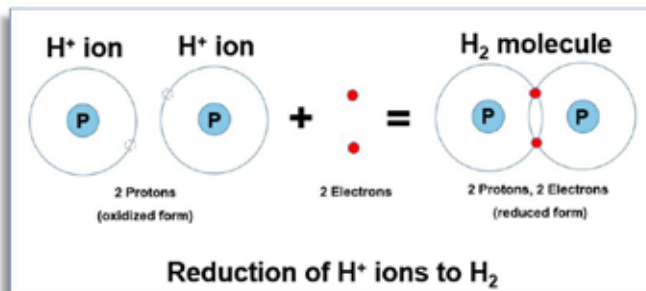


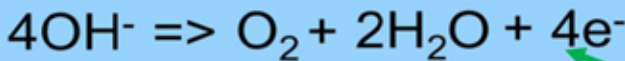
Figure 3

Beachten Sie, dass vor der Reaktion die beiden H^+ -Ionen ohne Elektronen sind (nur Protonen). Das Endprodukt ist das H_2 -Molekül, welches sich zwei Elektronen teilt. Weil Elektronen geladene Teilchen sind, führt diese Differenz an Elektronen zu einem Energiepotential zwischen den beiden Arten. Wenn sie in Wasser gelöst sind, stellen diese beiden Teile das Arbeitspotential des Wassers dar und erzeugen, genau wie die Batterie in Figure 2 ein entsprechendes Spannungspotential (ORP) an der Oberfläche der Platinelektrode des Messgeräts. Jede Änderung der Konzentration 3 einer der beiden Arten führt zu einer Änderung des Spannungspotentials, welches an der ORP-Elektrode erzeugt wird.

Bevor wir das Thema der Oxidation und Reduktion verlassen, erinnern wir uns noch an das Erwähnte an, dass jede Reduktionsreaktion von einer simultanen Oxidationsreaktion begleitet werden muss. Equation 2 zeigt die begleitende Oxidationsreaktion während der Elektrolyse an der positiven Anode, wo Hydroxidionen (OH^-) oxidiert werden, um Sauerstoffgas (O_2), Wasser (H_2O) und Elektronen zu produzieren. Diese Elektronen werden zur der Anode zurückgeführt, die mit dem positiven Anschluss der Stromversorgung verbunden ist.

One Reactant

Three Products



Oxidation of OH^- Ions to O_2 Gas

**Electrons
return to
the anode**



Equation 2

Da die an der Anode und der Kathode erzeugten Wässer normalerweise mit einer Membran voneinander isoliert sind, sodass sie sich nicht vermischen können, misst man im Wasser aus dem Sekundärschlauch (unterer Sauerwasserschlauch) ein positives ORP. Der Grund hierfür ist, dass dieses Wasser anstelle des H^+/H_2 -Redoxpaares ein anderes Redoxpaar (normalerweise eine Sauerstoffspezies) enthält, welches ein positives Reduktionspotential hat.

Andere Arten von Vorrichtungen, wie die Braungasgeneratoren, die keine Membran verwenden, erzeugen ein Wasser, das sowohl gelösten Sauerstoff als auch Wasserstoffgas enthält. Dieses Wasser enthält daher sowohl oxidierende als auch reduzierende Redoxpaare bei einem pH-Wert nahe dem Neutralpunkt.

Da sich unsere Diskussion über ORP auf die Reaktion an der Kathode konzentriert, die Wasserstoffgas erzeugt, werden wir keine Zeit damit verbringen, die Anodenreaktion im Detail zu untersuchen.

Redoxpotential und Redoxpaar

Chemiker haben verschiedenen chemischen Arten gemäß ihrer Neigung, Elektronen aufzunehmen, Spannungspotentiale zugewiesen. Diese Spannungspotentiale werden als „Standardreduktionspotentiale“ bezeichnet. Tabelle 1 enthält eine Liste von Standard-Reduktionspotentialen. Hier lassen sich die Reduktionspotentiale für verschiedene Spezies unter Standardbedingungen von Konzentration, Druck und Temperatur miteinander vergleichen. Ihre Werte berechnen sich relativ zur Standard-Wasserstoffelektrode (engl. „Standard hydrogen electrode“, abgekürzt: SHE), welcher ein beliebiges Potential von 0,00 mV zugeordnet wurde (grün markiert). Die stärksten Reduktionsmittel haben die höchsten negativen Potentiale, und die stärksten Oxidationsmittel haben die höchsten positiven Potentiale.

Reduction Half-Reaction		E° (V)
$\text{F}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow 2 \text{F}^-(\text{aq})$	2.87
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	1.78
$\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8 \text{H}^+(\text{aq}) + 5 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	1.51
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow 2 \text{Cl}^-(\text{aq})$	1.36
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 14 \text{H}^+(\text{aq}) + 6 \text{e}^-$	$\longrightarrow 2 \text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 7 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	1.33
$\text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4 \text{e}^-$	$\longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	1.23
$\text{Br}_2(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow 2 \text{Br}^-(\text{aq})$	1.09
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Ag}(\text{s})$	0.80
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	0.77
$\text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$	0.70
$\text{I}_2(\text{s}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow 2 \text{I}^-(\text{aq})$	0.54
$\text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4 \text{e}^-$	$\longrightarrow 4 \text{OH}^-(\text{aq})$	0.40
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Cu}(\text{s})$	0.34
$\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$	0.15
$2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{H}_2(\text{g})$	0
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Pb}(\text{s})$	- 0.13
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Ni}(\text{s})$	- 0.26
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Cd}(\text{s})$	- 0.40
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Fe}(\text{s})$	- 0.45
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Zn}(\text{s})$	- 0.76
$2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq})$	- 0.83
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Al}(\text{s})$	- 1.66
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Mg}(\text{s})$	- 2.37
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Na}(\text{s})$	- 2.71
$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$	$\longrightarrow \text{Li}(\text{s})$	- 3.04

Die Tabelle listet Reduktionspotentiale unter Standardbedingungen auf, aber ORP-Meter werden verwendet, um das Potential von Wasser unter Nichtstandardbedingungen zu messen. In unserer oben geführten Diskussion über das Spannungspotential erinnern wir uns, dass wir eine Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten beschrieben haben, dem gemessenen Punkt (Wasserprobe) und einem Referenzpunkt (Referenzelektrode). Dieses Potential, ausgedrückt in Millivolt, wird als „Redoxpotential“ (oder ORP) bezeichnet und ist eine Messung der elektrischen Potentialenergie, die von einem Paar von Spezies im Wasser erzeugt wird. Hierbei liegt eines in oxidierten und das andere in reduzierter Form vor, jedes in einer jeweils bestimmten Konzentration.

Der Name, den dieses Paar einer oxidierten und reduzierten Spezies erhalten hat, ist Redox-Paar. Ein Redox-Paar besteht entweder aus einem starken Reduktionsmittel und einem schwachen Oxidationsmittel oder einem starken Oxidationsmittel und einem schwachen Reduktionsmittel. Wenn sich ihre gelösten Konzentrationen ändern, ändert sich auch das Redoxpotential des Wassers.

Der ORP-Messwert und die Frage, ob sie positiv oder negativ ausfällt, hängt davon ab, von welchem Redoxpaar wir sprechen, sowie von den relativen Konzentrationen jeder Spezies im Redoxpaar. Ein positives ORP zeigt an, dass das Wasser die Tendenz hat, als Oxidationsmittel zu wirken, während ein negatives ORP anzeigt, dass das Wasser dazu neigt, als Reduktionsmittel zu wirken.

Wasserstoffwasser kann auch als H_2 -Wasser, wasserstoffreiches Wasser, Wasserstoff-Infusionswasser oder mit Wasserstoff angereichertes Wasser bezeichnet werden.

Das Wasserstoff-Redox-Paar

Während es in der Chemie viele Redoxpaare gibt, beschäftigen wir uns bei der Diskussion von Wasserstoffwasser und ORP mit einem bestimmten Redoxpaar, dem Redoxpaar H^+ / H_2 .⁴ Zuvor zeigten wir die Gleichung mit welcher die Redoxreaktion beschrieben werden kann, bei der zwei Wasserstoffionen (2H^+) zwei Elektronen (2e^-) aufnehmen, um ein Molekül H_2 -Gas zu bilden.



Equation 3

In Equation 3 nun können Sie die zwei Spezies sehen, aus denen das Redoxpaar besteht. „ H^+ “ ist die oxidierte Form von Wasserstoff, die selbst keine Elektronen enthält, und „ H_2 “ ist die reduzierte Form, die zwei Elektronen enthält (siehe Figure 3). Da das H^+ -Ion ein einzelnes Proton ist, das keine Elektronen spenden kann, kann es nur als Oxidationsmittel wirken und Elektronen aufnehmen. Da das H_2 -Molekül umgekehrt zwei Elektronen enthält, kann es (unter den richtigen Bedingungen) diese abgeben und als reduzierendes (oder antioxidatives) Mittel wirken. Später werden wir sehen, wie die gleichzeitige Gegenwart von H_2 -Gas und H^+ -Ionen im Wasser ein negatives ORP erzeugt.

pH

Wie wir später sehen werden, hat der pH-Wert des getesteten Wasserstoffwassers einen starken Einfluss auf die ORP-Messung. Daher ist es wichtig, einige grundlegende Konzepte zum pH-Wert zu verstehen.

Wasserstoffionen sind die Säurekomponente in Wasser. Je höher also die H^+ -Ionenkonzentration ist, desto saurer ist das Wasser. Der pH-Wert, der für „Potential von Wasserstoff“ (lateinisch „potentia Hydrogenii“) steht, ist ein Maß für die Konzentration von Wasserstoffionen (H^+) im Wasser. Bei einer mengenmäßigen Betrachtung von Atomen, Molekülen, Ionen usw. können die Zahlen extrem groß oder klein werden. Die pH-Skala wurde daher als eine bequeme Möglichkeit ent-

wickelt, diese Arten von Zahlen in Zehnerpotenzen (Exponenten) auszudrücken, anstatt äquivalente (aber schwerfälligere) mathematische Ausdrücke wie 1×10^{-7} oder 0,0000001 zu verwenden. Die pH-Skala, die von 0 bis 14 reicht, ist eine logarithmische Skala, in der die Konzentration von H^+ -Ionen als negative Potenz von 10 ausgedrückt wird. Equation 4 ist die Gleichung zur Berechnung des pH-Wertes.

Da der pH-Wert eine logarithmische Funktion ist, bedeutet jede Änderung des pH-Werts um den Wert 1 eine zehnfache Änderung der Wasserstoffionenkonzentration. Infolgedessen werden sehr große Änderungen der H^+ -Konzentration in Zehnerpotenzen ausgedrückt. Das Vorhandensein des Minuszeichens vor der „log“-Funktion ermöglicht, dass der pH-Wert der Einfachheit halber nur in positiven Zahlen ausgedrückt wird, bedeutet aber auch, dass Erhöhungen des pH-Werts eine Abnahme der Konzentration darstellen (und umgekehrt).

Der Name „Wasserstoff“ kann sich auf eine von vier verschiedenen Arten beziehen:

- 1) H^+ , positives Wasserstoffion
- 2) H , Wasserstoffatom
- 3) H^- , negatives Wasserstoffion
- 4) H_2 , Wasserstoffmolekül / molekularer Wasserstoff

Der Begriff „pH“ bezieht sich immer auf H^+ , das positive Wasserstoffion.

Ein pH-Wert von Null enthält daher eine sehr hohe Konzentration an H^+ -Ionen, während ein pH-Wert von 14 eine sehr niedrige H^+ -Konzentration aufweist. Das „Potential von Wasserstoff“ wird oft irrtümlich als „das Potential von Wasserstoffgas“ bezeichnet. Der pH-Wert ist jedoch nicht mit gelöstem H_2 -Gas verbunden.

Die Zugabe von reinem H_2 -Gas in Wasser (z.B. durch Sprudeln) ändert den pH-Wert des Wassers nicht. Bestimmte Verfahren zur Herstellung von Wasserstoffwasser können jedoch indirekt den pH-Wert des Wassers erhöhen. Zum Beispiel wird in einem basischen Ionisierer während der Elektrolyse von Wasser (die H^+ -Ionen zu H_2 -Gas an der Kathode reduziert) der pH-Wert des Wassers erhöht. Der Anstieg des pH-Werts wird aber nicht durch die Anwesenheit von H_2 -Gas herbeigeführt. Der eigentliche Grund ist der Verbrauch von H^+ -Ionen (Säure) und die Zunahme des Gehalts an OH^- -Ionen (Base).

Vor kurzem wurden neue Wasserstoffwasser-Technologien entwickelt, die darauf abzielen, den Gehalt an gelöstem Wasserstoff zu maximieren und gleichzeitig Wasser mit einem pH-Wert nahe dem Neutralpunkt zu produzieren.

Hydrogen Ion Concentration					
Decrease in H ⁺ Ion Concentration →	pH	Moles of H ⁺ Ions		Units	Number of H ⁺ Ions
	0	1	1 × 10 ⁰	1 mole	6.02 × 10 ²³
	1	0.1	1 × 10 ⁻¹	0.1 mole	6.02 × 10 ²²
	2	0.01	1 × 10 ⁻²	0.01 mole	6.02 × 10 ²¹
	3	0.001	1 × 10 ⁻³	1 millimole	6.02 × 10 ²⁰
	4	0.0001	1 × 10 ⁻⁴	0.1 millimole	6.02 × 10 ¹⁹
	5	0.00001	1 × 10 ⁻⁵	0.01 millimole	6.02 × 10 ¹⁸
	6	0.000001	1 × 10 ⁻⁶	1 micromole	6.02 × 10 ¹⁷
	7	0.0000001	1 × 10 ⁻⁷	0.1 micromole	6.02 × 10 ¹⁶
	8	0.00000001	1 × 10 ⁻⁸	0.01 micromole	6.02 × 10 ¹⁵
	9	0.000000001	1 × 10 ⁻⁹	1 nanomole	6.02 × 10 ¹⁴
	10	0.0000000001	1 × 10 ⁻¹⁰	0.1 nanomole	6.02 × 10 ¹³
	11	0.00000000001	1 × 10 ⁻¹¹	0.01 nanomole	6.02 × 10 ¹²
	12	0.000000000001	1 × 10 ⁻¹²	1 picomole	6.02 × 10 ¹¹
	13	0.0000000000001	1 × 10 ⁻¹³	0.1 picomole	6.02 × 10 ¹⁰
14	0.00000000000001	1 × 10 ⁻¹⁴	0.01 picomole	6.02 × 10 ⁹	

Table 2

Table 2 zeigt die Beziehung zwischen dem pH-Wert und der Wasserstoffionen-konzentration. Die Konzentration von H⁺-Ionen bestimmt, ob das Wasser sauer (unter 7) oder basisch (über 7) ist, wobei 7 einen neutralen pH-Wert darstellt. Diese Tabelle hilft uns, die exponentielle (logarithmische) Beziehung zwischen dem pH-Wert und der tatsächlichen Anzahl (Konzentration) von H⁺-Ionen zu sehen. Da das H⁺-Ion eine der beiden Spezies im Redox-Paar ist, ist es nicht verwunderlich, dass der pH-Wert des Wassers einen direkten Einfluss auf die ORP-Messung hat. Im nächsten Abschnitt werden wir die Nernst-Gleichung vorstellen, ein mathematisches Werkzeug, das uns helfen wird, diesen Einfluss zu bewerten.

Die Nernst-Gleichung

Die nach dem deutschen Chemiker Walther Nernst benannte Nernst-Gleichung ist eine Gleichung, die das Standardreduktionspotential einer elektrochemischen Reaktion auf die Konzentration, den Druck und die Temperatur einer chemischen Spezies bezieht, die unter Nichtgleichgewichtsbedingungen reduziert und oxidiert wird. Es ist die wichtigste Gleichung auf dem Gebiet der Elektrochemie.

$$E_{mv} = E^0 - \left(\frac{RT}{zF} \right) \ln \frac{[\text{red}]}{[\text{ox}]}$$

Equation 5

Equation 5 zeigt die allgemeine Form der Nernst-Gleichung. In diesem Artikel werden wir die Nernst-Gleichung verwenden, um die Rollen von gelöstem Wasserstoffgas und pH zu analysieren 5, um vorherzusagen, wie stark diese jeweils die ORP-Messung beeinflussen. Bevor wir die Nernst-Gleichung verwenden können, um damit ORP-Werte für Wasser mit gelöstem Wasserstoffgas vorherzusagen, müssen wir deren allgemeine Form geringfügig modifizieren. Da das Standardzellenpotential für Wasserstoff $E^0 = 0$ ist (siehe Tabelle 1), können wir diesen Ausdruck eliminieren. Wir werden auch die Begriffe „[red]“ und „[ox]“ durch die reduzierten und oxidierten Formen von Wasserstoff H_2 bzw. H^+ ersetzen.

$$E_{mv} = - \left(\frac{RT}{zF} \right) \ln \frac{[H_2]}{[H^+]^2}$$

Equation 6

Die endgültige Form der Nernst-Gleichung, die wir verwenden werden, ist in Equation 6 dargestellt:

Da das von uns gemessene Wasserstoffwasser unter Standardbedingungen nicht existiert, erlaubt uns die Nernst-Gleichung, alle von uns gewählten Werte für Konzentration, Druck und Temperatur zu ersetzen und das Redoxpotential unter nicht standardisierten Bedingungen vorherzusagen. Unter Verwendung der Nernst-Gleichung können wir mit verschiedenen Werten für H_2 und H^+ experimentieren und ihre vorhergesagte Wirkung auf das ORP analysieren. Im Folgenden finden Sie Definitionen für die Begriffe und Werte, die in der Nernst-Gleichung verwendet werden:

- Emv, Nernst-Potential in Millivolt (ORP);
- E0, Standardzellenpotential, 0,00 V;
- R, universelle Gaskonstante, 8,314 JK⁻¹ mol⁻¹
- T, Temperatur, 298,150 K (25 ° C / 77 ° F);
- z, # Anzahl der in der Reaktion übertragenen Elektronen, 2;
- F, Faraday-Konstante, 96485,33 Cmol⁻¹ (Elektronenladung pro Mol)
- [H₂], Wasserstoffgaskonzentration (im Partialdruck, pH₂);
- [H⁺], Wasserstoffionenkonzentration (abgeleitet vom pH-Wert).

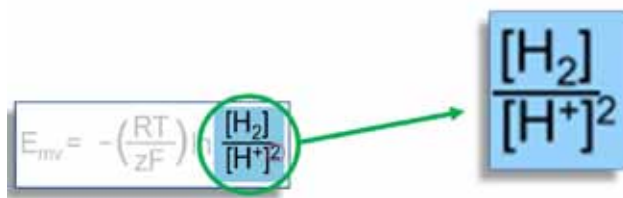
Durch die Nernst-Gleichung vorhergesagte ORP-Werte werden unter idealen Bedingungen berechnet. Während die tatsächlichen Feldmessungen von ORP in Abhängigkeit von einer Reihe von Faktoren variieren, bleiben die Beziehungen zwischen pH, H₂ und ORP gleich.

Um die Berechnung des vorhergesagten Redox-Potentials unter verschiedenen Szenarien von Temperatur/H₂/pH zu automatisieren, wurde die Nernst-Gleichung in einen Rechner (mit MS-Excel / VBA) programmiert. Die berechneten Ergebnisse für jedes Szenario wurden dann verwendet, um die H₂, pH und Redox-Datentabelle (mit nach x und y geordneten Paaren) zu erstellen, die zum Zeichnen der verschiedenen in diesem Artikel verwendeten Graphen erforderlich ist. Figure 4 zeigt die Benutzeroberfläche des Nernst-Rechners, der nicht nur das vorhergesagte Redoxpotential anzeigt, sondern auch die meisten Zwischenergebnisse:

Nernst ORP Calculator		
Temp (°C) =	25.0	H ₂ mg/L = 1.60 pH = 7.0
User-Entered Temp (°C) : 25.0		
User-Entered H ₂ Concentration in (mg/L) : 1.6		
User-Entered pH (H ⁺) : 7.00		
Calculation Summary		
Value of RT/zF (mv) : 12.85		
Convert H ₂ conc. to pH ₂ : 1.02E+00		
Convert pH to (H ⁺) ² (mol/L) : 1.00E-14		
Divide pH2 by (H ⁺) ² (calculate Q) : 1.02E+14		
Calculate the natural log of Q : 3.23E+01		
Multiply by -RT/zF : -414.270		
Predicted ORP value (millivolts) :		-414.27

Figure 4

Obwohl es nicht unser Ziel ist, die Nernst-Gleichung im Detail zu diskutieren, wird uns ein genauerer Blick auf Equation 6 eine wichtige Einsicht über die Berechnung des ORPs geben. Figure 5 zeigt die beiden Spezies aus der Nernst-Gleichung, die unser „Redox-Paar von Interesse“ bilden:



Wie wir bereits besprochen haben, stellen diese beiden Formen von Wasserstoff (oxidierte und reduzierte Formen) die zwei Arten im Wasser dar, deren Konzentrationen zum Redoxpotential des Wassers beitragen. Während Wasser normalerweise mehrere Redoxpaare enthält, deren Redoxpotentiale zusammen den Gesamt-ORP bilden, betrachten wir in unserer Analyse nur das H^+/H_2 Redoxpaar.

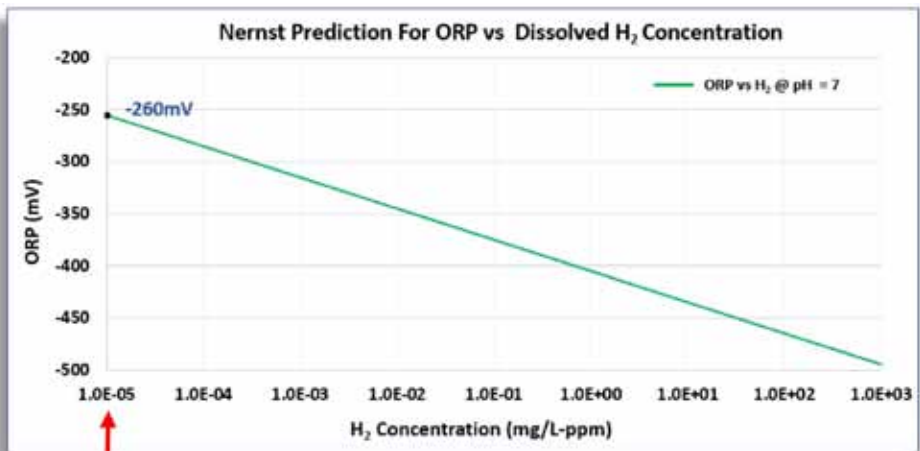
Der Ausdruck „ $[H_2]$ “ steht für die Konzentration von gelöstem Wasserstoffgas (ausgedrückt als Partialdruck, p_{H_2}) und der Ausdruck „ $[H^+]$ “ steht für die Konzentration von Wasserstoffionen (die wir aus dem pH-Wert des Wassers berechnen). Daher hängt die ORP-Ablesung nicht von der Konzentration des gelösten Wasserstoffgases alleine ab, sondern von den Konzentrationen von sowohl H_2 als auch H^+ . Wie wir sehen werden, trägt jede dieser Arten zur ORP-Messung bei. Da wir gesehen haben, dass das gelöste H_2 für das negative ORP verantwortlich ist, impliziert dies eine Beziehung zwischen den beiden und wirft einige Fragen auf:

- Wie viel gelöstes H_2 wird benötigt, um ein negatives ORP zu erzeugen?
- Wie stark reagiert die ORP auf Änderungen der H_2 -Konzentration?
- Können wir den ORP-Wert verwenden, um den Gehalt an gelöstem H_2 zu messen?
- Können wir die ORP-Messwerte von zwei verschiedenen Proben verwenden, um ihre relativen gelösten H_2 -Konzentrationen zu vergleichen?

Die Nernst-Gleichung wird uns helfen, diese Fragen zu beantworten, da sie uns eine Analyse erlaubt, wie Änderungen von H^+ und H_2 die ORP-Messung beeinflussen.

Wie viel gelöstes H_2 wird benötigt, um ein negatives ORP zu erzeugen?

Sie fragen sich vielleicht: „Welches Niveau von gelöstem H_2 wird benötigt, um ein negatives ORP zu erzeugen“? Um die Menge an H_2 zu bestimmen, die benötigt wird, um sogar ein „moderates“ Niveau an negativem ORP zu erzeugen, können wir die Nernst-Gleichung verwenden. So können wir das ORP bei verschiedenen H_2 -Konzentrationen vorhersagen, während der pH bei 7 gehalten wird (die Antwort mag Sie überraschen!).



0.00001mg/L

Figure 6

In Figure 6 erkennen Sie, dass bei einem pH-Wert von 7 eine H_2 -Konzentration von nur 1×10^{-5} mg/l (0,00001 mg/l) oder ein Hunderttausendstel Milligramm pro Liter (Größenordnungen unter dem Niveau, das als therapeutisch angesehen wird) notwendig ist, um ein negatives ORP von -260 mV zu erzeugen. Beachten Sie, dass ein so niedriger gelöster H_2 -Wert diesen Wert des negativen Redoxpotentials „auf Papier“ nur mit der Nernst-Gleichung erzeugt, wenn keine anderen Redoxpaare im Wasser in Betracht gezogen werden.

Wenn eine Wasserprobe tatsächlich solch einen extrem niedrigen Gehalt an gelöstem H_2 enthält, würden andere oxidierende Redox-Paare, die ebenfalls im Wasser vorhanden sind (z.B. eine Sauerstoffspezies), das negative Redoxpotential des H^+/H_2 -Redoxpaares übertreffen und das Wasser würde stattdessen einen positiven ORP-Messwert zeigen. Dies zeigt jedoch, wie ein nur sehr geringes Niveau an H_2 in der Lage ist, ein negatives ORP zu erzeugen. Wie wir sehen werden, sagt

also ein negativer ORP-Wert tatsächlich sehr wenig darüber aus, wie viel H_2 im Wasser gelöst ist.

Um ein leicht negatives ORP zu erzeugen, ist nur eine winzige Menge an gelöstem Wasserstoff erforderlich. Bei pH 7 wird 1×10^{-13} mg/l (0,1 Billionstel von 1 mg/l) ein ORP von -24 Millivolt erzeugen.

Die Beziehung zwischen der Konzentration an gelöstem H_2 und dem ORP

Bei der Analyse von Situationen, in denen es zwei oder mehr Variablen gibt, von denen jede eine Auswirkung auf das zu messende Endergebnis hat (hier auf das ORP), verwenden Analytiker die Technik, jeweils nur eine Variable zu ändern, während sie die anderen als konstanten Wert beibehalten, um zu sehen, wie diese Variable allein das Ergebnis beeinflusst.

Auf diese Weise kann der individuelle Effekt, den jede Variable auf das Ergebnis hat, beobachtet werden. In unserem Fall haben wir nur zwei Variablen von Interesse, die Konzentrationen von H_2 und H^+ welche beide einen gewissen Einfluss auf das ORP haben. Um die Effekte zu untersuchen, die allein eine Veränderung Variable H_2 -Konzentration auf das resultierende ORP hat, werden wir daher mit verschiedenen Werten für die H_2 -Konzentration experimentieren, während wir den pH-Wert konstant bei 7 halten. Später werden wir dasselbe tun, um die Auswirkungen von H^+ auf ORP zu analysieren. In Figure 7 sehen wir die vorhergesagten ORP-Messwerte für einen H_2 -Konzentrationsbereich, der für heutige Wasserstoff-Wasser-Maschinen typisch ist, nämlich 0,5 bis 2 mg/l.

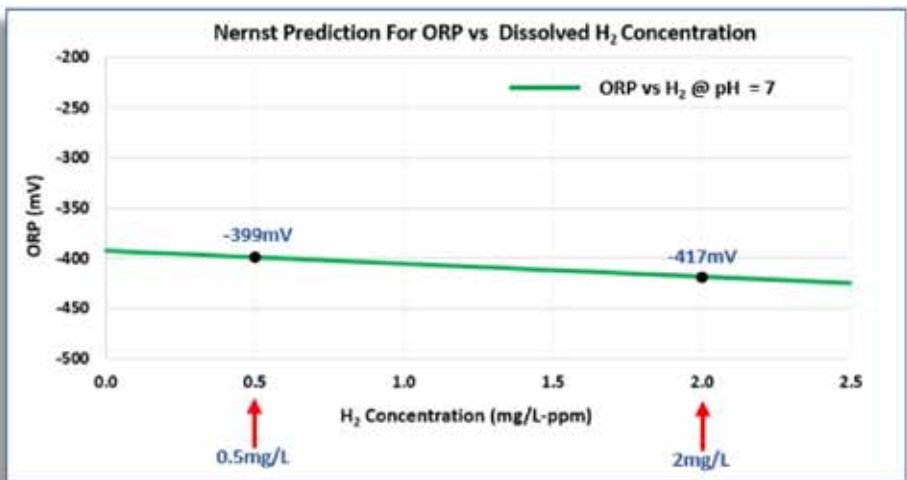


Figure 7

Wenn die gelöste H_2 -Konzentration von 0,5 mg/l auf 2 mg/l ansteigt, ist die ORP-Reaktion sehr „flach“ und fällt von -399 mV auf -417 mV, nur 18 Millivolt negativer! Dies bedeutet, dass jede Veränderung der H_2 -Konzentration von 1 mg/l (eine

große Änderung hinsichtlich des möglichen therapeutischen Nutzens) die ORP-Messung um nur 12 Millivolt ändert! Um zu betonen, wie gering der Einfluss des gelösten H_2 auf das ORP ist, können wir den H_2 -Bereich des Graphen um einen großen Betrag erweitern. In Figure 8 sind die negativen ORP-Messwerte für gelöste H_2 -Konzentrationen im Bereich von 0,5 bis 50 mg/l dargestellt.

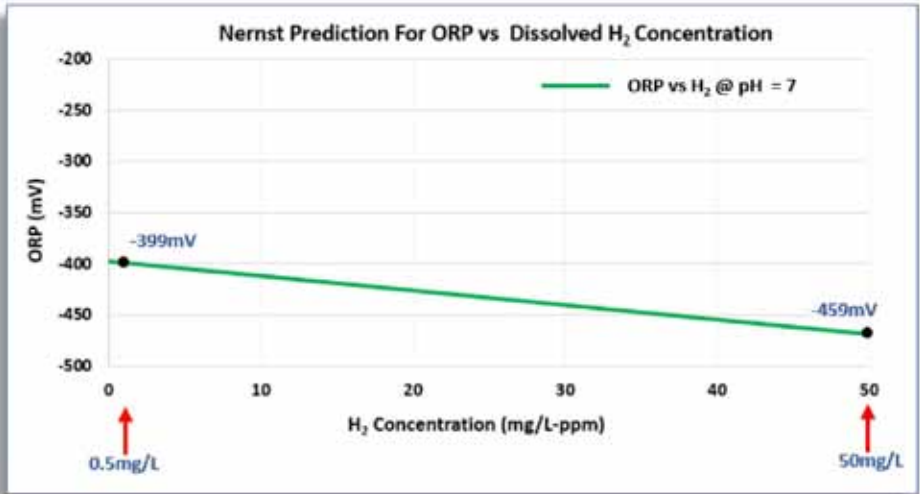


Figure 8

Wie Sie sehen können, steigt das negative ORP sogar innerhalb eines extrem großen Bereichs von 0,5 bis 50 mg/l von -399 mV auf -459 mV und ist damit nur um 60 Millivolt höher! Obwohl solch ein hoher gelöster H_2 -Wert wahrscheinlich nur unter extremen Laborbedingungen erreicht werden könnte, zeigt dies uns jedoch, wie wenig das ORP selbst auf extrem große Änderungen der H_2 -Konzentration reagiert.

Die Beziehung zwischen pH und ORP

Im letzten Abschnitt stellten wir den sehr geringen Einfluss von Änderungen der H_2 -Konzentration auf den ORP - Wert fest, während der pH bei genau 7 gehalten wurde. Um den Einfluss zu untersuchen, den Änderungen auf den pH-Wert des ORP haben, werden wir nun schrittweise nur den pH-Wert ändern, während wir die H_2 -Konzentration bei 1,6 mg/l halten.

Da das ORP mit abnehmendem pH-Wert positiver wird, hat eine gelöste H_2 -Konzentration von 1,6 mg/l bei einem pH-Wert von Null ein ORP von null Millivolt.

Wie Sie sehen werden, wird der Grad, in dem der pH-Wert das ORP beeinflusst, im Vergleich zum Einfluss von H_2 noch überzeugendere Beweise liefern, die zeigen, warum der ORP-Messwert nicht zur Messung von H_2 verwendet werden kann.

Zuvor beobachteten wir die geringen Auswirkungen von Änderungen der H_2 -Konzentration bei der Eingabe von Werten in den Nernst-Rechner aus einem typischen Bereich von H_2 -Konzentrationen (0,5 bis 2 mg/l). Da, wie bereits gesagt, die Konzentrationen sowohl der H_2 als auch der H^+ Spezies zum Redoxpotential beitragen, wird eine Änderung eines der beiden Faktoren eine Veränderung bei der ORP-Messung bewirken. Eine wichtige Frage, die wir uns stellen müssen, ist: „Tragen die jeweiligen Faktoren gleichermaßen zur Änderung des ORP bei?“.

Um diese Frage beantworten zu können, schauen wir uns nun an, wie sich Änderungen des pH-Werts auf das ORP auswirken. Um einen gültigen Vergleich durchführen zu können, werden wir (wie schon bei H_2) einen typischen Bereich von pH-Werten verwenden.

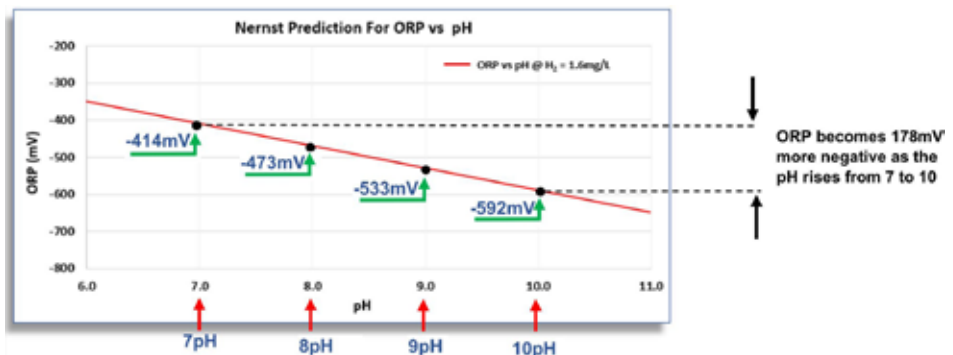


Figure 9

Das Diagramm in Figure 9 zeigt die vorhergesagten ORP-Messwerte (in Millivolt) für vier verschiedene pH-Werte, alle bei gleicher gelöster H_2 -Konzentration von 1,6 mg/l.

Die Grafik zeigt, wie ein Anstieg nur des pH-Werts (unter Beibehaltung eines konstant gelösten H_2 -Niveaus) die ORP-Messung beeinflusst. Bei einem pH-Wert von 7 misst Wasserstoffwasser mit einer Konzentration von 1,6 mg/l einen ORP-Wert von -414 mV. Wenn der pH-Wert von 7 auf 10 ansteigt, bemerken Sie den starken Anstieg des negativen Redoxpotentials von -414 mV auf -592 mV. Über diesen Bereich von nur drei pH-Einheiten wird das vorhergesagte ORP um 178 Millivolt negativer! Denken Sie daran, dass der Anstieg des negativen ORP nur das Ergebnis des Anstiegs des pH-Werts (Abnahme von H^+) ist, während die H_2 -Konzentration unverändert bei 1,6 mg/l bleibt.

Figure 10 zeigt diese Änderung im ORP graphisch:

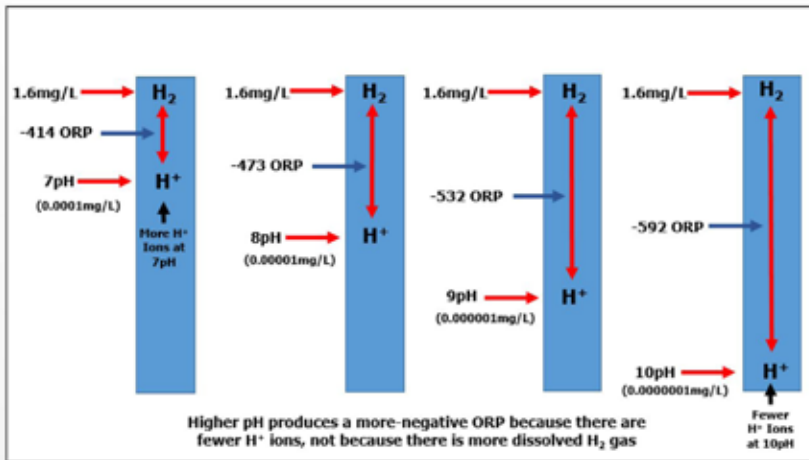


Figure 10

Wenn der pH-Wert ansteigt, nimmt die H^+ -Konzentration ab, was das negative Redoxpotential erhöht, das durch das H^+/H_2 Redoxpaar erzeugt wird. Als Konsequenz wird der ORP-Messwert negativer, nicht weil die gelöste H_2 -Konzentration zugenommen hat, sondern weil die H^+ -Konzentration abgenommen hat; mit anderen Worten, nicht weil etwas dem Wasser hinzugefügt wurde, sondern weil etwas aus dem Wasser entfernt wurde! Dieser starke Anstieg des negativen Redoxpotentials tritt ohne Änderung der H_2 -Konzentration auf. Da das ORP fast ausschließlich auf Änderungen des pH-Werts reagiert, liefert die Größe des ORP-Wertes daher keine brauchbare Information über den tatsächlichen Gehalt an gelöstem H_2 im Wasser.

Vergleich des Einflusses von H_2 und pH auf das ORP

Nachdem wir nun die einzelnen Effekte der Änderungen von H_2 und pH auf das ORP untersucht haben, ist es auch lehrreich, ihre Effekte zusammen mit einer speziell formatierten Grafik zu untersuchen. Figure 11 zeigt ein „Overlay“-Diagramm, in dem die Linien für „ORP vs. H_2 Konzentration“ und „ORP vs. pH“ auf demselben Diagramm aufgetragen sind.

Wie zuvor zeigt das Diagramm von „ORP vs. pH“ (rote Linie) die H_2 -Konzentration konstant bei 1,6 mg/l, während das Diagramm der „ORP vs. H_2 -Konzentration“ (blaue Linie) den pH-Wert konstant bei 7 hält.

Beachten Sie, dass wir in diesem Graphen auf der horizontalen Achse zweierlei Maßeinheiten verwenden, sowohl für die H_2 -Konzentration als auch für die pH-Werte, welche jeweils ihre typischen Bereiche abdecken (0,5 bis 2 mg/l für H_2 und 7 bis 10 für pH).

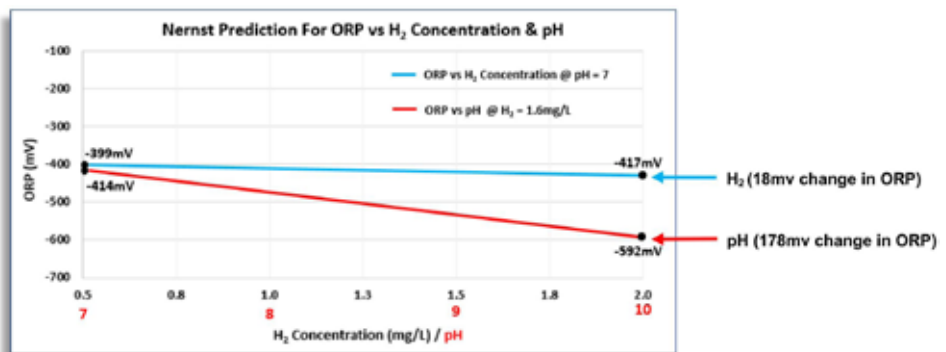


Figure 11

Die Verwendung eines Graphen zur Darstellung beider Beziehungen ermöglicht es uns, einen „Seite-an-Seite“-Vergleich durchzuführen und leicht zu sehen, wie unterschiedlich das ORP auf Änderungen in jeder Maßeinheit reagiert.

Durch Vergleich der Steigung jeder Linie können wir deutlich den relativ „flachen“ Anstieg des (negativen) ORP-Werts auf Änderungen beim H_2 sehen, verglichen mit der viel „steileren“ Anstieg des (negativen) ORP-Werts auf Änderungen des pH.

Die folgende Grafik in Figure 12 zeigt uns, wie sowohl H^+ als auch H_2 die ORP-Werte in Prozent ihres Beitrags beeinflussen:

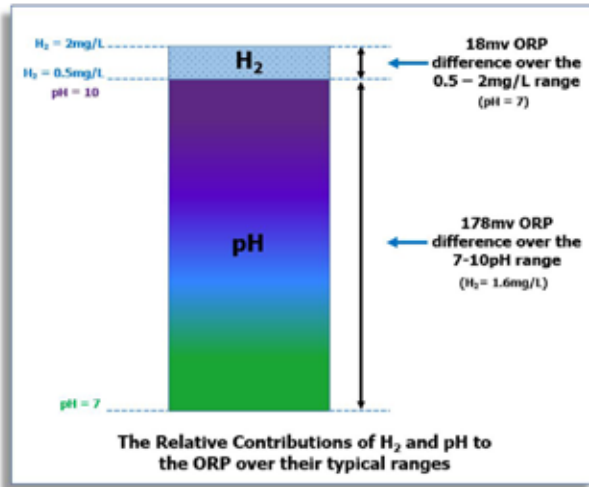


Figure 12

Wenn man ihre relativen Beiträge auf diese Weise betrachtet, kann man sehen, dass sich das ORP über einen typischen Bereich von H_2 -Konzentrationen (0,5 bis 2 mg/l) um insgesamt nur 18mV ändern wird. Im Gegensatz dazu ändert sich das ORP über einen Bereich von 3 pH-Einheiten um 178 mV. Während der pH-Wert etwa 90% des ORP-Wertes ausmacht, trägt die H_2 -Konzentration nur etwa 10% bei. Daher sehen wir wieder, wie der ORP-Wert vom pH dominiert wird, während der Beitrag des gelösten Wasserstoffs relativ unbedeutend ist.

Höhere ORP-Negativwerte bedeuten nicht: mehr gelöstes H_2

Wir haben gezeigt, dass der negative ORP-Wert nicht direkt mit einem bestimmten Gehalt an gelöstem H_2 korreliert werden kann. Aber ist es möglich, die ORP-Messungen von zwei verschiedenen Wasserproben zu verwenden, um die relativen Mengen an gelöstem H_2 zu vergleichen, die jeweils in diesen Wasserproben enthalten sind? Schauen wir uns ein Beispiel an, das zeigt, warum der ORP-Messwert nicht verwendet werden kann, um gelöste H_2 Niveaus zu vergleichen.

Während die logische Annahme sein könnte, dass das Wasser mit dem negativen ORP auch den höchsten Gehalt an gelöstem H_2 enthalten wird, zeigt das folgende Beispiel, warum diese Annahme nicht notwendigerweise zutrifft.

Table 3 zeigt das vorhergesagte ORP für zwei Wasserstoffwässer A und B mit unterschiedlichen pH- und gelösten H_2 -Werten:

WATER	ORP	pH	H_2 Level
H_2 Water A	-465mv	8.0	0.8mg/L
H_2 Water B	-414mv	7.0	1.6mg/L

Table 3

Wasser A mit einem pH-Wert von 8 und einem H_2 -Gehalt von 0,8 mg/l zeigt einen ORP-Wert von -465 mV. Aber Wasser B mit einem pH-Wert von 7,0 und einem H_2 -Gehalt von 1,6 mg/l (doppelt so viel H_2 wie Wasser A) misst nur einen ORP von -414 mV. Da der pH-Wert von A um eine pH-Einheit höher ist als der von Wasser B, erzeugt sein höherer pH-Wert ein negativeres ORP, obwohl B mehr gelöstes H_2 aufweist. Dieses Szenario zeigt, warum es falsch ist anzunehmen, dass Wasser mit einem negativeren ORP-Wert mehr gelöstes H_2 hat.

Einige Verkäufer bedienen sich der Technik, den Wasserfluss eines Ionisierers zu einem „Rinnsal“ zu verlangsamen, bevor das ORP gemessen wird. Diese Praxis macht das ORP in der Regel negativer, aber hauptsächlich, weil sie den pH-Wert erhöht. Das negativere ORP weist nicht notwendigerweise auf das Vorhandensein von mehr gelöstem H_2 hin; in der Tat könnte das Wasser mit dem mehr negativen ORP leicht weniger H_2 enthalten.

Warum hat pH mehr Einfluss auf ORP als H_2 ?

Wie wir gesehen haben, tragen die Konzentrationen von H_2 und H^+ beide zum ORP-Messergebnis bei. Ändert sich die H^+ Konzentration, wird sich auch das ORP ändern, selbst wenn wir die H_2 -Konzentration konstant halten. In unserer Analyse der Beziehung zwischen H_2 , H^+ und ORP haben wir gesehen, dass der ORP-Wert viel stärker auf Änderungen des pH-Werts reagiert als auf Änderungen des Gehalts an gelöstem H_2 . „Warum ist das wahr?“ Hier eine Zusammenfassung unserer Ergebnisse:

1)

Die pH-Skala drückt H^+ -Konzentrationen als Potenzen von 10 aus. In unserer vorherigen Diskussion über den pH-Wert haben wir die Gleichung gezeigt, mit der dieser berechnet wurde:

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

Equation 7

Die pH-Skala drückt Änderungen von H^+ unter Verwendung von Potenzen von 10 aus. Wenn der pH-Wert um eine Einheit ansteigt, bedeutet dies eine zehnfache Abnahme der H^+ Ionenkonzentration ($10^1 = 10$). Dies bedeutet, bei einem Anstieg des pH-Wertes um zwei Einheiten eine hundertfache Abnahme ($10^2 = 100$) und eine Änderung von drei Einheiten bedeutet eine tausendfache Abnahme ($10^3 = 1000$) von H^+ .

Da pH-Änderungen mit exponentiellen Änderungen der H^+ -Konzentration einhergehen, können scheinbar kleine Änderungen des pH-Werts tatsächlich sehr wesentliche Änderungen in der tatsächlichen H^+ Konzentration zur Folge haben.

Der pH-Wert von Wasserstoffwasser kann sich leicht über 3 Einheiten des pH-Werts erstrecken kann (sogar noch mehr, wenn Sie Wasserstoffwasser mit einem pH-Wert unter 7 in Betracht ziehen). Somit kann die H^+ Konzentration verschiedener H_2 -Wässer um einen Faktor von 10.000 oder mehr variieren! Beachten Sie schließlich, dass der pH-Wert nur eine mathematische Darstellung der tatsächlichen H^+ -Konzentration ist (dabei ist zu beachten, dass der pH-Wert ohne Einheit angegeben wird). Die ORP-Elektrode reagiert jedoch auf die tatsächliche H^+ -Konzentration und nicht auf den pH-Wert.

Konzentrationen von H_2 werden unter Verwendung einer linearen Skala ausgedrückt. Anders als H^+ Konzentrationen wie H^+ unter Verwendung einer logarithmischen Skala (pH) auszudrücken, verwendet man hier eine lineare Skala in Milligramm pro Liter (mg/l). Diese deckt typischerweise einen viel kleineren Konzentrationsbereich als H^+ ab. Folglich stellen Änderungen beim H_2 verglichen mit den großen Änderungen, die beim H^+ möglich sind, typischerweise relativ kleine Änderungen dar.

Würde beispielsweise die H_2 -Konzentration wie der pH-Wert als Zehnerpotenzen ausgedrückt, stellte unser Konzentrationsbereich von 0,5 bis 5 mg/l nur eine Konzentrationsänderung des Faktors von einer Zehnerpotenz dar (eine zehnfache Änderung). Damit kommen wir nicht einmal in die Nähe des Faktors 10.000 der mit pH möglich ist.

Diese Ungleichheit in den Konzentrationsbereichen zwischen H_2 und H^+ hilft uns wiederum bei der Erklärung, warum H_2 einen viel geringeren Einfluss auf die ORP-Messung hat als der pH-Wert. An dieser Stelle ist es wichtig anzumerken, dass eine Änderung des H_2 -Niveaus von nur 1 oder 2 mg/l klein erscheint und tatsächlich einen nicht wahrnehmbaren Einfluss auf die ORP-Messung hat. Sie ist aber vom therapeutischem Nutzen her sehr signifikant. Um dies zu messen, ist die ORP-Messung also nicht geeignet. Um kleine Veränderungen des H_2 -Niveaus zu messen, wird also eine andere Methode zur Messung von Unterschieden in der H_2 -Konzentration von nur wenigen mg/l benötigt.

Die Nernst-Gleichung führt eine exponentielle mathematische Operation für den Term $[H^+]$ durch. Wenn wir uns erneut die Wasserstoffgasreaktionsgleichung zusammen mit der Nernst-Gleichung ansehen, die das Wasserstoff-Redoxpaar zeigt, können wir einen weiteren Grund für den großen Einfluss des pH-Werts auf die ORP-Messung sehen:

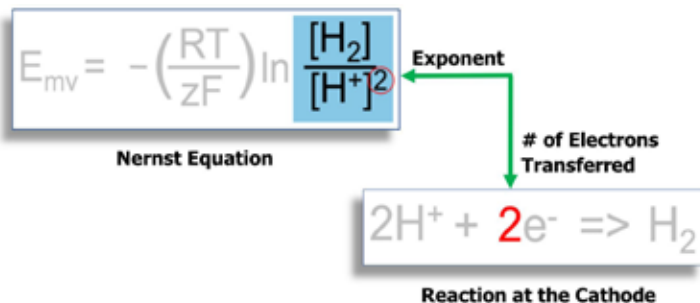


Figure 13

Beachten Sie in dem blauen Feld von Figure 13, dass der untere Term „ H^+ “ im Gegensatz zum oberen Term $[H_2]$ den Exponenten „2“ außerhalb der Klammern enthält (rot eingekreist). Schauen Sie sich die Gleichung unterhalb an, um zu sehen, woher dieser Exponent kommt.

Die Nernst-Gleichung erfordert nun aufgrund der Umwandlung der oxidierten Spezies des Redoxpaars ($2H^+$) in die reduzierte Form (H_2), dass die Anzahl ($2e^-$) der Elektronen (gemessen in „Mol“) als Exponent für den Term $[H^+]$ ausgedrückt wird. Die Erklärung dafür ist nicht Gegenstand unserer Erörterung. Für die Reduktion, welche definitionsgemäß eine Anreicherung mit Elektronen ist, macht es Sinn, dass die für die Reduktionsreaktion erforderliche Elektronenmenge bei der Berechnung des Reduktionspotentials berücksichtigt werden muss.

Dieser Exponent von „2“ bedeutet, dass wir die H^+ Konzentration quadrieren müssen (multiplizieren Sie den $[H^+]$ -Term mit sich selbst). Weil der pH-Wert auf einer exponentiellen Skala die Menge an H^+ angibt, ist der Wert des H^+ -Terms ebenfalls die exponentiell berechnete H^+ Konzentration! Für den Term $[H_2]$ dagegen gibt es keine Exponentialfunktion. Die exponentielle mathematische Operation, die von der Nernst-Gleichung gefordert wird, hilft zu erklären, wie eine scheinbar kleine Änderung des pH-Wertes des Wassers (von nur einigen Zehnteln) zu einem so großen Einfluss auf die ORP-Messung führen kann. Die H_2 -Konzentration wird im Vergleich nur einen relativ unbedeutenden Einfluss auf das ORP ausüben.

Zusammen betrachtet zeigen die Punkte 1 bis 3 deutlich, warum selbst gering anmutende Veränderungen des pH-Werts exponentiell größere Änderungen der tatsächlichen H^+ Konzentration darstellen. Folglich überwindet der große Einfluss des pH-Werts auf die ORP-Messung den geringen Einfluss von H_2 und „kontrolliert“ im Wesentlichen die ORP-Messung.

Messgeräte für gelösten Wasserstoff

Auf dem Markt gibt es relativ kostengünstige Digital-Wasserstoffzähler in Verbraucherqualität für ungefähr 500 US-Dollar. Obwohl diese Messgeräte weit verbreitet und akzeptiert sind, messen sie nicht spezifisch/selektiv gelöstes Wasserstoffgas.

Ihr Design basiert auf der ORP-Technologie und verwendet statt teurer Wasserstoffsonden nicht-selektive Redox-Elektroden zur Messung des Reduktionspotential des Wassers. Diese Messgeräte sollten jedoch nicht mit komplexeren Technologien zur Messung von Wasserstoff verwechselt werden. Bei diesen wird die Gaschromatographie-Massenspektrometer-(GC-MS)-Technologie eingesetzt, die leicht 100.000 US-Dollar oder mehr kosten kann.



Es gibt auch noch digitale Wasserstoff Messgeräte, die hochempfindliche Wasserstoffgassonden (polarographisch / voltametrisch) enthalten, doch auch solche Geräte können immer noch 10.000 US-Dollar oder mehr kosten. Diese Technologien, welche in erster Linie für den wissenschaftlichen und industriellen Gebrauch konzipiert sind, sind sehr teuer und für den Durchschnittsverbraucher unerschwinglich. In diesem Abschnitt werden wir basierend auf unseren früheren Diskussionen über die Beziehung zwischen H_2 , pH und ORP die Fähigkeit eines ORP-basierten Wasserstoffmessgeräts zur genauen Messung von gelöstem H_2 bewerten.

ORP-basierte Wasserstoff-Messgeräte versuchen, den Gehalt an gelöstem H_2 durch Messung des Redoxpotentials des Wassers zu bestimmen. Wie wir gesehen haben, resultiert dieses hauptsächlich aus dem Beitrag der H^+ Spezies des H^+ / H_2 -Redoxpaares (dargestellt durch pH) und auch zu einem relativ unbedeutenden Grad aus der H_2 -Spezies des Redoxpaares.

Ein solches Messgerät versucht, die H_2 -Konzentration aus der ORP-Messung unter Verwendung des folgenden Prozesses zu bestimmen:

1. Die Nernst-Vorhersagen für das ORP von H_2 -Wasser mit pH 7 sind werkseitig in die Computer-Firmware des Messgeräts programmiert;
2. Das Redoxpotential des Probenwassers (in mV) wird durch die ORP- und Referenzelektroden des Messgeräts bestimmt und von der Elektronik verarbeitet;
3. Der gelöste H_2 -Gehalt der Probe wird aus dem Vergleich des Redoxpotential der Probe (deren pH-Wert genau 7 ist) mit den Nernst-Vorhersagen für das ORP von mit Wasserstoff angereichertem Wasser (pH 7) berechnet.
4. Darstellung des H_2 -Werts in PPB / PPM auf dem LCD-Bildschirm des Messgeräts.

Zum Beispiel können wir aus der graphischen Darstellung in Figure 14 sehen, dass in Wasser mit einem pH-Wert von genau 7 bei zwei verschiedenen H_2 -Konzentrationen von 0,1 mg/l und 2 mg/l durch die Nernst-Gleichung ORP-Werte von -379 mV bzw. -417 mV vorhergesagt werden (2 ppm ist die typische obere Grenze für diese Art von Messgerät).

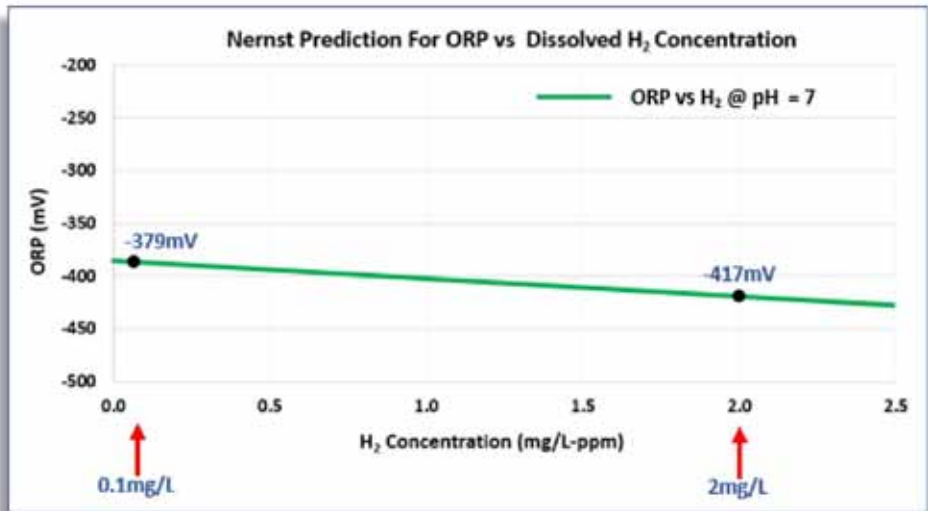


Figure 14

Daher scheint es logisch, dass, wenn unsere Wasserprobe einen pH-Wert von genau 7 hat und wenn ihr ORP -379 mV misst, sie tatsächlich einen gelösten H_2 -Gehalt von 0,1 mg/l haben sollte. Wenn das ORP -417 mV misst, sollte es dagegen einen gelösten H_2 -Gehalt von 2 mg/l haben. Wenn der gemessene ORP irgendwo

dazwischen liegt, ist es für einen Computer eine einfache Sache, den Messwert zu interpolieren und den entsprechend berechneten H_2 -Pegel anzuzeigen.

Aber: Beachten Sie die folgenden Punkte:

1) Wasser wird selten einen pH von genau 7 haben, und jede Abweichung, sogar so klein wie die Hälfte einer pH-Einheit, verändert die ORP-Ablesung fast um den gesamten Beitrag des gelösten H_2 über den Bereich von 0,1 bis 2 mg/l (30 mV gegen 38 mV).

Da das Messgerät den pH-Wert nicht misst (es gäbe kein praktikables Verfahren zur Korrektur des pH-Werts des Wassers auf genau 7, wenn es gemessen würde), verhindert diese unvermeidliche Abweichung des pH-Werts des Wassers die Verwendung des Redoxpotentials, um H_2 genau zu messen.

2) In unserer Diskussion über die Nernst-Vorhersagen für ORP sagten wir, dass wir keine anderen Redoxpaare im Wasser in Betracht ziehen, die ebenfalls zum gemessenen ORP beitragen (eine andere Form der Nernst-Gleichung kann das Redoxpotential für mehrere Redoxpaare vorhersagen).

Wasser enthält jedoch normalerweise andere Redoxpaare, die zu einem positiven Redoxpotential beitragen und dem negativen ORP des gelösten Wasserstoffs entgegenwirken. Obwohl wir uns ihrer Anwesenheit bewusst sind, gibt es keine einfache Möglichkeit, ihre Beiträge zum ORP insgesamt zu messen und zu subtrahieren. Daher beeinflussen sie die ORP-Messung auf unvorhersehbare Weise und verfälschen die H_2 -Messung.

Beobachtungen zu Mängeln in der Redox-Technologie

In unserer Analyse der Beziehung zwischen H_2 -Konzentration, pH-Wert und ORP verwendeten wir die Ergebnisse aus Vorhersagen der Nernst-Gleichung auf Basis fester Werte für sowohl pH- als auch H_2 -Konzentrationen. Im Vergleich realer ORP-Messungen mit den vorhergesagten Ergebnissen weichen die tatsächlichen ORP-Messwerte möglicherweise aus verschiedenen Gründen signifikant ab.

Obwohl wir keine pH-Meter besprochen haben, ist ihr Design dem ORP-Meter sehr ähnlich und leiden daher unter den gleichen Einschränkungen.

Die Gründe sind nicht nur mit dem zu testenden Wasser, sondern auch mit dem ORP-Messgerät selbst verbunden. Behalten Sie in Erinnerung, dass ORP-Messgeräte nicht zur Messung von H_2 verwendet werden können. Gleichzeitig weisen sie eine Reihe von inhärenten Mängeln auf, die ihre Brauchbarkeit selbst für ihren eigentlichen Zweck der Messung des ORP einschränken.

- Auf ORP-Messfühlern sammeln sich organische Stoffe/Mineralien an - diese Verunreinigung können zu ungenauen Messwerten führen.
- Ionen oder andere chemischen Spezies im Wasser tragen zum Gesamtreduxpotential bei und können dazu beitragen, dass die tatsächlichen ORP-Messwerte von den vorhergesagten Ergebnissen abweichen.
- Obwohl die Temperatur das ORP beeinflusst, kompensieren die meisten Verbraucher-ORP-Messgeräte diesen Einfluss der Temperatur nicht.
- Redox-Messungen sind zeitabhängig, aber es gibt keine zeitliche Standardisierung für das Ablesen des Messergebnisses.
- Rühren kann erforderlich sein, um den Messwert zu stabilisieren, aber es gibt keinen Standard dafür, wie viel die Probe gerührt werden muss.
- ORP-Sonden haben eine Lebensdauer von mehreren Jahren, doch mit Ablauf dieser Zeitspanne kann die Genauigkeit der Messwerte abnehmen.
- Bei Anstieg des pH-Werts kann die Konzentration von H^+ -Ionen so niedrig werden, dass die ORP-Elektrode Schwierigkeiten hat, diese zu erfassen und kann so möglicherweise falsche ORP-Werte ausgeben.

Daher wird jedes „Wasserstoffmessgerät“, das auf ORP-Messung basiert, zusätzlich zu seiner Unfähigkeit, gelöstes H_2 direkt zu messen, diese zusätzlichen inhärenten Schwächen aufweisen.

Anwendung dieser Ergebnisse auf andere Wasserstoff-Wasser-Geräte und -Technologien

In den letzten Jahren sind viele neue Arten von Wasserstoffwassertechnologien entstanden. Unabhängig von der Methode, mit der das Wasserstoffwasser erzeugt wird, bleiben die Beziehungen, die wir zwischen H_2 , pH und dem vorhergesagten ORP gesehen haben, gleich.

Leider ist es wahrscheinlich, dass Verkäufer das ORP-Messgerät in absehbarer Zukunft weiterhin als Instrument zur Bewerbung des therapeutischen Nutzens ihres speziellen Wassers einsetzen werden. Aufgrund des unverhältnismäßigen Einflusses des pH-Wertes auf das Redoxpotential werden Geräte mit neutralem pH-Wert im Durchschnitt dazu neigen, Wasser mit weniger negativen ORP-Werten zu erzeugen, selbst wenn das neutrale pH-Wasser die gleiche oder eine noch höhere H_2 -Konzentration aufweist.

Zum Beispiel beträgt der Wert einer Nernst-ORP-Vorhersage für H_2 -Wasser bei einem pH-Wert von 7 und einer Konzentration von 1,6 mg/l -414 mV. Im gleichen 1,6 mg/l H_2 -Wasser wird bei 9,5 pH -562 mV gemessen. Verkäufer basischer Wassergeräte könnten versuchen, aufgrund der ORP-Differenz (in Zusammenhang mit dem Unterschied im pH-Wert) die Verkaufsaussichten dadurch zu erhöhen, dass behauptet wird, das basische Wasser hätte aufgrund seines negativeren ORP einen höheren Gehalt an gelöstem H_2 oder mehr therapeutischen Nutzen als das pH-neutrale-Wasser ihrer Konkurrenten.

Obwohl Wasserstoffinfusionsmaschinen (HIMs) oft als „pH-neutrale“-Geräte bezeichnet werden, entspricht der pH-Wert des erzeugten Wassers typischerweise ungefähr dem pH-Wert des Ausgangswassers, ob dies nun „neutral“ war oder auch nicht.

Mit dem Verständnis der hier vorgestellten Konzepte ausgestattet, können Vertriebsleute, die Wasserstoff-Wasser-Produkte mit neutralem pH-Wert verkaufen, nicht nur die Unterschiede in den Redox-Werten berücksichtigen, sondern vor allem auch erklären, dass die Größenordnung der negativen Redox-Werte kein Hinweis auf die Konzentration von gelöstem H_2 sein muss.

Messung von gelöstem Wasserstoff mit einem Redox-Titrationsreagens

Bis jetzt haben sich die Methoden, die wir zur Messung von gelöstem Wasserstoff diskutiert haben, nur auf Messungen mit verschiedenen Arten von elektrischen Geräten konzentriert. Wir sollten jedoch eine andere einfache und bewährte Methode zur Messung gelösten Wasserstoffgases mit einem Redox-Titrationsreagens untersuchen.

Was ist Titration?

Wenn Chemiker mit einer Lösung konfrontiert werden, die eine unbekannte Menge einer gelösten Verbindung oder eines gelösten Gases enthält, wird oft eine Titration durchgeführt, um das Niveau der unbekannten Konzentration zu bestimmen.

Titration wird üblicherweise verwendet, um solche Eigenschaften wie pH, Chlor oder gelösten Sauerstoff in Wasser zu messen. Bei einer Titration werden kleine, genaue Mengen (Tropfen) einer Lösung bekannter Konzentration (Titriermittel) langsam zu einer genauen Menge einer Testprobe (etwa 6 ml) zugegeben, die eine unbekannte Konzentration des gelösten Stoffes enthält, bis ein Hinweis vorliegt (wie eine Farbänderung), dass die Titration abgeschlossen ist.

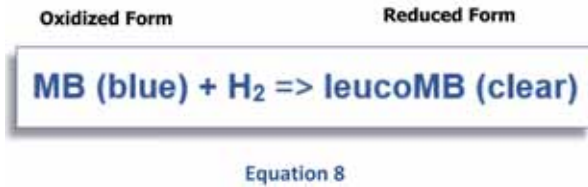
Dies wird als „Titrationsendpunkt“ bezeichnet, und basierend auf der Menge an Titriermittel, die hinzugefügt wurde, um den Endpunkt zu erreichen, kann die unbekannte Konzentration des gelösten Stoffes in der Lösung bestimmt werden.

Über das Redox-Reagens, welches üblicherweise zum Nachweis von gelöstem Wasserstoff verwendet wird

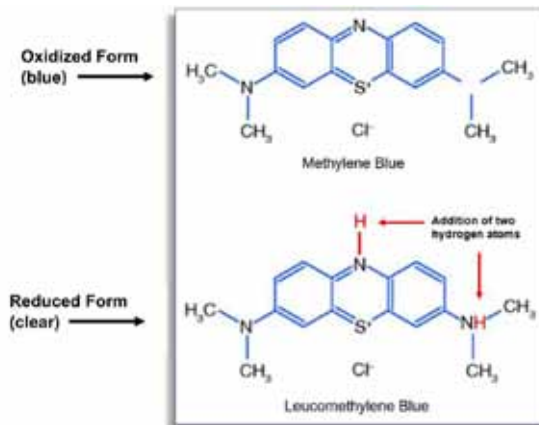
Bei der Wahl des Redox-Reagens als Indikator für den Einsatz mit einer bestimmten gelösten Verbindung muss sorgfältig vorgegangen werden um sicherzustellen, dass es mit dem fraglichen gelösten Stoff reagiert. Denn in unserem Fall, da wir gelöstes Wasserstoffgas messen wollen, wird eine Verbindung benötigt von der wir wissen, dass sie unter den erwarteten Bedingungen von Temperatur, pH usw. reagieren und uns sichtbare Anzeichen sowohl für das Vorhandensein von H_2 als auch für das Erreichen des Titrationsendpunkts liefern wird.

Eine gute Wahl für die Messung von gelöstem Wasserstoff ist Methylenblau (MB), ein dunkelgrünes Pulver, das sich wie Ethanol beim Lösen in einem Lösungsmittel tiefblau färbt. MB wird in der Medizin als biologischer Gewebefarbstoff und Mittel zur Behandlung verschiedener Erkrankungen eingesetzt. Als Oxidationsmittel ist

es bekannt, dass in einem Trägerlösungsmittel gelöstes MB (in Gegenwart eines Platinkatalysators) mit molekularem Wasserstoff reagiert. Das Endprodukt der Reaktion ist die klare Form von MB, nämlich Leukomethylenblau (LeukoMB), wie folgt:



Wie Equation 8 zeigt, ist Methylenblau (MB) im Ausgangszustand eine blaue Flüssigkeit und reagiert mit H₂ zu Leukomethylenblau (LeukoMB), der reduzierten Form von MB. Da diese Form von MB „klar“ ist, wenn sie in Wasser gelöst ist, erfüllt sie die Anforderung, dass das Titriermittel einen „sichtbaren Hinweis“ auf das Vorhandensein unserer gelösten Substanz H₂ liefert. Die beiden Strukturdiagramme in Figure 15 zeigen sowohl die oxidierten als auch die reduzierten Formen des MB-Moleküls:



Wie Sie sehen können, besteht der einzige Unterschied zwischen den beiden Molekülen in der Addition der zwei Wasserstoffatome (in rot) im unteren Diagramm, die während der Reaktion an das MB-Molekül gebunden werden. Diese Atome stammen aus dem Wasserstoffmolekül, das zu Beginn aus zwei miteinander verbundenen Wasserstoffatomen (H₂) besteht.

Während der Reaktion spaltet sich H₂ (unter Einwirkung des Platinkatalysators) in zwei Wasserstoffatome (H), die dann an zwei verschiedenen Stellen an das MB-Molekül andocken.

Wird das Methylenblau-Reagens der Probe beigegefügt, die gelöstes H_2 -Gas enthält, werden die H_2 -Moleküle daher „verbraucht“, wenn sie mit MB reagieren. Wenn mehr Tropfen hinzugefügt werden, wird das gesamte H_2 in der Probe schließlich erschöpft sein. Zu diesem Zeitpunkt wird jeder hinzugefügte Tropfen Titriermittel blau gefärbt bleiben, was darauf hinweist, dass der Titrationsendpunkt erreicht worden ist. Es ist auch erwähnenswert, dass es eine Eins-zu-Eins-Entsprechung in der Reaktion zwischen den H_2 - und MB-Molekülen gibt und jedes MB-Molekül ein H_2 -Molekül (zwei Wasserstoffatome) verbraucht.

Wenn man die Molekulargewichte jedes Moleküls kennt, wird es daher einfach, ein Reagens zu konstruieren, das eine bekannte Menge an gelöstem H_2 pro Tropfen verbraucht (1 Tropfen entspricht typischerweise 0,1 mg/l gelöstem H_2). Dies ermöglicht es uns, die Gesamtzahl der erforderlichen Tropfen zu addieren damit das gesamte H_2 in der Testprobe verbraucht wird (Titrationsendpunkt) um die Konzentration an gelöstem H_2 zu bestimmen. Wie bei vielen anderen Redoxreaktionen hat die Reaktion zwischen H_2 und MB eine geringe pH-Sensitivität bei den Extremwerten der pH-Skala (empfohlener Testprobenbereich ist 4 bis 10 pH). Da dieses Verfahren jedoch nicht auf der Messung des Redoxpotentials beruht, wie bei einem ORP-basierten Gerät, ist die pH-sensible Reaktion des Reagens innerhalb des wahrscheinlichen pH-Bereichs der meisten, wenn nicht aller Wasserstofftrinkwasser geringfügig. Ein beliebtes Methylenblau Titrationsmittel wie H_2 blue® bietet dem Anwender eine einfache, verlässliche und kostengünstige Methode zur genauen Bestimmung von gelöstem Wasserstoffgas.

Ist molekularer Wasserstoff ein „konventionelles Antioxidans“?

Dieser Artikel hat sich hauptsächlich auf die Beziehung zwischen gelöstem Wasserstoffgas und dem negativen ORP-Wert konzentriert, und nicht auf seine therapeutischen Eigenschaften. Da jedoch das negative ORP von H_2 -Wasser so oft mit den therapeutischen oder „antioxidativen“ Eigenschaften des Wassers in Verbindung gebracht wird, ist eine Diskussion über H_2 als Antioxidans gerechtfertigt.

Beim Vergleich der ORP-Messwerte verschiedener Wasserproben wird üblicherweise angenommen, dass ein negativerer Messwert auf eine höhere antioxidative Kapazität und/oder einen höheren therapeutischen Nutzen hindeutet. Basisches ionisiertes Wasser besitzt höhere Anteile an Hydroxid (ein negativ geladenes Ion, OH^-). Einige Leute, die sich der Anwesenheit von H_2 vielleicht nicht bewusst sind, behaupten nun, dass Hydroxid für die negative ORP-Messung verantwortlich ist und gehen sogar so weit, es als „Antioxidans“ im Wasser zu identifizieren (obwohl Hydroxid kein biologisches Antioxidans ist).

Hoffentlich werden die in diesem und anderen Artikeln enthaltenen Informationen dazu beitragen, diese und andere Mythen über das negative ORP und die Quelle des therapeutischen Nutzens verschwinden lassen. Wir wissen jetzt, dass das Ausmaß der negativen ORP-Messung nicht verwendet werden kann, um entweder die Menge an gelöstem H_2 im Wasser oder seinen therapeutischen Nutzen zu messen. Derzeit über 750 Forschungsstudien zeigen, dass der Nutzen von Wasser, das gelöstes H_2 enthält, auf das gelöste H_2 zurückzuführen ist, nicht auf den pH-Wert. Wenn H_2 aus dem Wasser entfernt wird, ist auch der Nutzen weg. Angesichts der vielen Mythen, die das H_2 -haltige Wasser umkreisen, sollten wir fragen: „Gibt es Belege dafür, dass Wasser, welches gelöstes H_2 enthält, tatsächlich als Antioxidans im Körper wirken kann, oder ist das nur ein weiterer Mythos?“

Was wir wissen, ist, dass es jetzt Hunderte von Forschungsstudien (in vitro, Tier und Mensch) gibt, die die Fähigkeit von H_2 bestätigen, die Konzentration einiger freier Radikale (besonders des sehr gefährlichen Hydroxylradikals $\bullet OH$) zur Verringerung des Ausmaßes von oxidativem Stress zu reduzieren. Daher erscheint es aufgrund der Forschung legitim, H_2 als „Antioxidans“ zu bezeichnen.

Da jedoch die Thermodynamik der Abfangreaktion zwischen H_2 und dem $\bullet OH$ Radikal äußerst ungünstig ist, waren einige Wissenschaftler skeptisch, ob die in der Forschung beobachteten Reduktionen von freien Radikalen das Ergebnis direkter Radikalauslöschung von $\bullet OH$ durch H_2 sind.

Es scheint derzeit wahrscheinlicher, als dass H_2 als Radikalfänger wirkt (herkömmliches Antioxidans), dass es stattdessen irgendwie die Bildung von $\bullet OH$ -Radikalen verringert (der genaue Mechanismus wird noch untersucht). Während das Endergebnis immer noch eine allgemeine Reduktion von freien Radikalen / oxidativem Stress ist, scheint die Rolle von H_2 eine indirekte zu sein, die als Signalmodulator wirkt, um Second-Messenger-Moleküle (Proteine/Enzyme) zu aktivieren, die dann die Bildung von freien Radikalen reduzieren. Es ist daher technisch korrekter, auf diese therapeutische Eigenschaft von H_2 als „Antioxidans-ähnlich“ zu verweisen.

Zusammenfassung

Basierend auf unserer detaillierten Analyse des Einflusses von sowohl gelöstem H_2 und pH als auch auf ORP, sollte klar sein, dass die Messung des Reduktionspotentials von Wasserstoffwasser unter Verwendung eines ORP-Messgeräts nicht der geeignete Weg ist, das Niveau von gelöstem Wasserstoffgas zu bestimmen. Während das gelöste H_2 für den negativen ORP-Wert verantwortlich ist, können wir aufgrund der negativen Werte nur schließen, dass ein gewisser Anteil an gelöstem H_2 im Wasser vorhanden ist. Systembedingte Schwankungen des ORP-Meters, kombiniert mit der großen Auswirkung, die selbst kleine Änderungen des pH-Werts auf das ORP haben, werden immer die ORP-Messung bestimmen und lassen es nicht zu, dass wir die Höhe des Messwerts verwenden, um zu bestimmen, wie viel H_2 vorhanden ist.

Um das tatsächliche Niveau von gelöstem H_2 zu kennen, müssen wir eine Methode verwenden, die das H_2 -Gas selbst misst, und eine, die nicht auf der Messung des Redoxpotentials mit seiner inhärenten Abhängigkeit vom pH-Wert beruht. Zwar gibt es Laborgeräte, die gelöstes H_2 messen, aber sie kosten zwischen 10.000 und 100.000 Dollar oder mehr. Im Gegensatz dazu basieren die von uns diskutierten billigen tragbaren Messgeräte für gelösten Wasserstoff auf ORP-Technologie und messen nur das Redoxpotential, nicht gelöstes H_2 . Während die Verbraucher darauf konditioniert sind, Messungen zu trauen, die von digitalen elektronischen Geräten erzeugt werden, sind diese eben nicht immer die beste Wahl.

Anmerkungen

1. Verdünnte Konzentrationen, die in „ppm“ gemessen werden, entsprechen mg/l
2. Das Wasserstoffion wird als H^+ bezeichnet, anstelle seiner wässrigen Form, H_3O^+ (Hydronium-Ion)
3. Der Begriff „Konzentration“ wird bei der Bezugnahme verwendet zu Ion / gelöste Dichte anstelle von „Aktivität“
4. Das Redoxpaar $2H^+/H_2$ wird hier der Einfachheit halber als H^+/H_2 angegeben.
5. Nernst-Berechnungen und Graphen durchgeführt mit MS Excel 2013 / V

Über den Autor



Randy Sharpe ist Präsident / CEO von H₂ Sciences Inc. Seine Ausbildung umfasst Chemie, Informatik, Satellitenkommunikationssysteme und Elektrotechnik. Derzeit ist er Interim Directory of Education für die gemeinnützige Molecular Hydrogen Foundation und Administrator der Facebook Hydrogen Water Group.

Seit der Entdeckung im Jahre 2007, dass molekularer Wasserstoff, der als Gas im Wasser gelöst ist, ein bei vielen Indikationen vielversprechendes therapeutisches Werkzeug darstellt, wächst auch die Zahl der Menschen, die aus gesundheitlicher Überzeugung Wasserstoffwasser trinken wollen.

Aber die Verwirrung ist groß, denn kaum jemand - nicht einmal alle Entwickler von Geräten zur Herstellung von Wasserstoffwasser - wissen eigentlich, wie man den Gehalt des Wassers an dem gesunden Gas überhaupt misst.

In dieser wissenschaftlich fundierten, aber allgemein verständlich und mit pädagogischem Geschick geschriebenen Abhandlung entlarvt der ausgewiesene Fachmann Randy Sharpe alle Mythen rund um die Wasserstoffmessung und erklärt uns den Zusammenhang von pH-Wert, Redoxpotential und Wasserstoffkonzentration wie ein begnadeter Chemielehrer, zu dem die Schüler gerne in den Unterricht kommen.

