

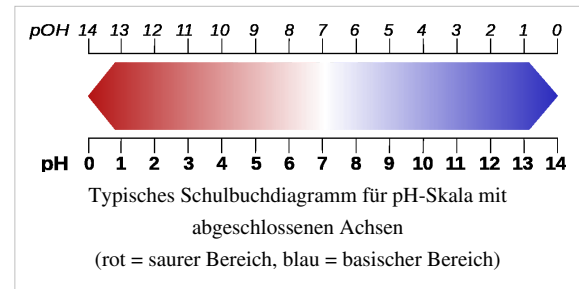
# PH-Wert

Der **pH-Wert** ist ein Maß für den sauren oder basischen Charakter einer wässrigen Lösung. Er ist der negative dekadische Logarithmus (= *Zehnerlogarithmus*) der Wasserstoffionen-Aktivität:<sup>[1]</sup> Es handelt sich um eine dimensionslose Zahl.

$$\text{pH} = -\log_{10}(a_{\text{H}^+}) \text{ oder auch } a_{\text{H}^+} = 10^{-\text{pH}}$$

Bei verdünnten Lösungen entspricht der pH-Wert in Näherung dem negativen dekadischen Logarithmus des Zahlenwertes der Stoffmengenkonzentration  $c$  der Oxoniumionen ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) in Mol pro Liter:

$$\text{pH} = -\log_{10}\left(c_{\text{H}_3\text{O}^+} \cdot \frac{1}{\text{mol}}\right) \text{ oder auch } c_{\text{H}_3\text{O}^+} = 10^{-\text{pH}} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$



## Geschichte

Der dänische Chemiker Søren Sørensen führte im Jahr 1909 den *Wasserstoffionenexponenten* in der Schreibweise  $p_{\text{H}^+}$  für die Konzentration von Wasserstoffionen  $C_p$  gleich  $10^{-p_{\text{H}^+}}$  ein.<sup>[2]</sup> Die  $p_{\text{H}^+}$ -Werte wurden über elektrometrische Messungen bestimmt. Die Schreibweise  $p_{\text{H}^+}$  ging später in die heutige Schreibweise pH über. Der Buchstabe H wurde von Sørensen als Symbol für Wasserstoffionen verwendet, den Buchstaben p wählte er willkürlich als Index für seine zu messenden Lösungen (z. B.  $C_p$ ) und q als Index für seine Referenzlösungen (z. B.  $C_q$ ) aus.<sup>[3]</sup>

Dem Buchstaben p in pH wurde später die Bedeutung *Potenz*<sup>[3][4]</sup> zugeordnet oder aus dem Neulateinischen von *potentia Hydrogenii*<sup>[5]</sup> oder auch von *pondus Hydrogenii*<sup>[6]</sup> (lateinisch *pondus* „Gewicht“; *potentia* „Kraft“; *Hydrogenium* „Wasserstoff“) abgeleitet.

Später wurde die Wasserstoffionen-Aktivität im Zusammenhang mit einer *konventionellen pH-Skala* eingeführt. Sie basiert auf einem festgelegten Messverfahren mit festgelegten Standardlösungen, woraus eine operationelle Definition des pH-Werts festgeschrieben wurde.<sup>[7]</sup> Diese Definition dient der möglichst hohen Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit von pH-Messungen.

Von Wasserstoffionen ( $\text{H}^+$ ) oder Wasserstoffionenexponent zu sprechen geht auf das Säure-Base-Konzept nach Arrhenius zurück. Heute wird in der Regel dem Säure-Base-Konzept nach Brønsted gefolgt und von Oxoniumionen ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) gesprochen<sup>[6]</sup>, einem Ion, das sich aus einem Wassermolekül durch Reaktion mit einem Protonendonator gebildet und dabei selbst als Protonenakzeptor reagiert hat.

## Einteilung

## Durchschnittliche pH-Werte einiger gebräuchlicher Lösungen

Substanz	pH-Wert	Art	
Batteriesäure	<0	sauer	
Magensäure (nüchterner Magen)	1,0–1,5		
Zitronensaft	2,4		
Cola	2,0–3,0		
Essig	2,5		
Fruchtsaft der Schattenmorelle	2,7		
Orangen- und Apfelsaft	3,5		
Wein	4,0		
Saure Milch	4,5		
Bier	4,5–5,0		
Saurer Regen	< 5,0		
Kaffee	5,0		
Tee	5,5		
Hautoberfläche des Menschen	5,5		
Regen (natürlicher Niederschlag)	5,6		sauer bis alkalisch
Mineralwasser	6,0		
Milch	6,5		
Wasser (je nach Härte)	6,0–8,5		
Menschlicher Speichel	6,5–7,4		
Reines Wasser	7,0	neutral	
Blut	7,4	alkalisch	
Meerwasser	7,5–8,4		
Pankreassaft (Darmsaft)	8,3		
Seife	9,0–10,0		
Haushalts-Ammoniak	11,5		
Bleichmittel	12,5		
Beton	12,6		
Natronlauge	13,5–14		

grau hinterlegt

Bestandteile des menschlichen Körpers

Durch die Autoprotolyse ergibt sich das Ionenprodukt des Wassers bei 25 °C zu

$$K_W = c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{l}^2$$

und teilt pH-Werte von verdünnten wässrigen Lösungen ein in:

- pH < 7 als *saure* wässrige Lösung, hier ist  $c_{\text{H}^3\text{O}^+} > c_{\text{OH}^-}$
- pH = 7 als *neutrale* wässrige Lösung, hier ist  $c_{\text{H}^3\text{O}^+} = c_{\text{OH}^-}$ ; auch eine Eigenschaft von reinem Wasser
- pH > 7 als *basische* (alkalische) wässrige Lösung, hier ist  $c_{\text{H}^3\text{O}^+} < c_{\text{OH}^-}$

## Messung des pH-Wertes

Der pH-Wert einer Lösung kann mit unterschiedlichen Methoden ermittelt werden:

### Potentiometrie

Auf dem Prinzip der Potentiometrie beruhen die meisten handelsüblichen pH-Meter. Dabei wird eine mit Pufferlösung gefüllte Glasmembrankugel in die zu messende Flüssigkeit eingetaucht. Durch die Neigung der Wasserstoffionen, sich in dünner Schicht an Silikatgruppen der Glasoberfläche anzulagern, baut sich je nach pH-Differenz eine galvanische Spannung zwischen der Innen- und der Außenseite der Kugel auf. Diese elektromotorische Kraft wird mittels zweier Bezugselektroden gemessen, von denen sich eine innerhalb der Glaskugel, die andere außerhalb in der Probelösung befindet. Ausführliche Informationen siehe pH-Elektrode.

### Messung durch Ionensensitive Feldeffekt-Transistoren

Ähnlich wie an der Glaselektrode bauen Wasserstoffionen an der sensitiven Gate-Membran eines ionensensitiven Feldeffekttransistors (ISFET) ein Potential auf, welches die Stromdurchlässigkeit des Transistors beeinflusst. Durch geeignete Messtechnik lassen sich dieses Signal dann als pH-Wert anzeigen.

### Bestimmung durch die Reaktion eines Indikatorfarbstoffes

Eine einfache Bestimmung des pH-Wertes erfolgt durch visuellen oder farbmetrische Bewertung der Farbumschläge von Indikatorfarbstoffen.

Die Auswertung erfolgt meist anhand von Farbvergleichsskalen. Dabei kann entweder der Farbumschlag eines einzelnen Farbstoffes für einen relativ engen Bereich der Messwerte ausgenutzt werden oder es kommen Farbstoffgemische, die sogenannten „Universalindikatoren“ zum Einsatz. Diese zeigen über eine weite Skala von pH-Werten hinweg unterschiedliche Farben. Oft werden auf Messstreifen Felder mit verschiedenen Farbstoffen nebeneinander angeordnet, von denen jeder in einem anderen Wertebereich seine optimale Ablesbarkeit aufweist. Für spezielle Zwecke kann die Farbanzeige eines Indikatorfarbstoffs mit einem Photometer gemessen und so präziser ausgewertet werden.

Für die Farbgebung des Universalindikators werden verschiedene Stoffe verwendet, die sich bei jeweils unterschiedlichen pH-Werten verfärben. Solche pH-Indikatoren sind beispielsweise

- Lackmus: pH < 4,5 = rot, pH > 8,3 = blau
- Phenolphthalein: pH < 8,2 = farblos, pH > 10,0 = rot-violett
- Methylorange pH < 3,1 = rot, pH > 4,4 = gelb
- Bromthymolblau: pH < 6,0 = gelb, pH > 7,6 = blau

## Definition

### pH-Wert

Der pH-Wert ist definiert als der negative dekadische Logarithmus<sup>[8][1]</sup> (= *Zehnerlogarithmus*) der Wasserstoffionen-Aktivität.

$$\text{pH} = -\log_{10}(a_{\text{H}})$$

Die Aktivität des Wasserstoffions  $a_{\text{H}}$  ist das Produkt der Molalität des Wasserstoffions ( $m_{\text{H}}$  in mol/kg) und des Aktivitätskoeffizienten des Wasserstoffions ( $\gamma_{\text{H}}$ ) geteilt durch die Einheit der Molalität ( $\text{mol}^0$  in mol/kg) (um einen dimensionslosen Wert zu erhalten).

Zur Vereinfachung der Formeln wird in der Regel das  $\text{H}^+$  (Wasserstoffion) für die Definition des pH verwendet. In der Realität existieren diese Wasserstoffionen (freie Protonen) aber nur in assoziierter Form. Im Wasser bildet sich in

erster Stufe das Oxoniumion  $\text{H}_3\text{O}^+$ , welches wiederum noch weitere Wassermoleküle anlagert. Das hydratisierte Oxoniumion wird als Hydroniumion ( $\text{H}_9\text{O}_4^+$ ) bezeichnet.

Die exakte Definition des pH-Wertes wird bei einfachen Berechnungen jedoch selten verwendet. Vielmehr begnügt man sich aus Gründen der Vereinfachung mit der Näherung, dass die Oxoniumaktivität für verdünnte Lösungen gleich der Konzentration der Oxoniumionen (in mol/L) gesetzt wird:

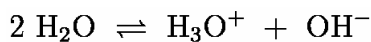
$$\text{pH} = -\log_{10}(a_{\text{H}}) \approx -\log_{10}\left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{\text{mol/L}}\right)$$

## pOH

Analog zum pH-Wert wurde ein pOH-Wert definiert. Es ist der negative dekadische Logarithmus der  $\text{OH}^-$ -Aktivität. Die  $\text{OH}^-$ -Aktivität ist in mol/dm<sup>3</sup> bzw. mol/l einzusetzen.

Beide Werte hängen über das Autoprotolysegleichgewicht zusammen:

Chemische Reaktionsgleichung:



Gleichgewichtskonstante der Reaktion:

$$K_{\text{W}} = \frac{a_{\text{H}_3\text{O}^+} \cdot a_{\text{OH}^-}}{a_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$-\log_{10} K_{\text{W}} = -\log_{10} a_{\text{H}_3\text{O}^+} - \log_{10} a_{\text{OH}^-} + \log_{10} a_{\text{H}_2\text{O}} = \text{pH} + \text{pOH}$$

Der Logarithmus der Aktivität von Wasser ist etwa gleich null, da die Aktivität des Wassers für verdünnte Lösungen etwa gleich eins ist. Die Gleichgewichtskonstante ist unter normalen Bedingungen, unter anderem bei  $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$  (298 K)  $K_{\text{W}} = 10^{-14}$ , der Zusammenhang zwischen pH und pOH-Wert ist also:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Weitere Erläuterungen finden sich im Artikel Oxonium und Autoprotolyse.

## Der pH-Wert bei anderen Lösungsmitteln

Eine Maßzahl vergleichbar dem „pH-Wert“ ist auch für andere *amphiprotische* Lösungsmittel definiert, die Protonen übertragen können. Auch diese beruhen auf der Autoprotolyse des jeweiligen Lösungsmittels. Die allgemeine Reaktion lautet:



mit  $\text{LH}_2^+$ , dem Lyonium-Ion und  $\text{L}^-$ , dem Lyat-Ion

Die Gleichgewichtskonstante  $K$  ist hier im Allgemeinen kleiner als beim Ionenprodukt des Wassers. Der pH-Wert ist dann folgendermaßen definiert:

$$\text{pH}_p = -\log_{10} [\text{LH}_2^+]$$

Einige Beispiele für amphiprotische Lösungsmittel	
wasserfreie Ameisensäure	$2 \text{HCOOH} \rightleftharpoons \text{HCOOH}_2^+ + \text{HCOO}^-$
wasserfreies Ammoniak	$2 \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{NH}_2^- + \text{NH}_4^+$
wasserfreie Essigsäure	$2 \text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{CH}_3\text{COOH}_2^+$
wasserfreies Ethanol	$2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_2^+ + \text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$

## pH und Säuren und Basen

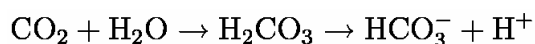
Werden Säuren in Wasser gelöst, geben diese durch die Dissoziation Wasserstoffionen an das Wasser ab, der pH-Wert der Lösung sinkt. Werden Basen gelöst, geben diese Hydroxidionen ab, die Wasserstoffionen aus der Dissoziation des Wassers binden. Sie können auch selbst Wasserstoffionen binden, wie es für Ammoniak → Ammonium gilt. Mithin erhöhen Basen den pH-Wert. Der pH-Wert ist ein Maß der Menge an Säuren und Basen in einer Lösung. Je nach Stärke dissoziiert die Säure oder Base zu einem mehr oder weniger großen Anteil und beeinflusst somit den pH-Wert unterschiedlich stark.

In den meisten wässrigen Lösungen liegen die pH-Werte zwischen 0 (stark sauer) und 14 (stark alkalisch). Dennoch können schon in einmolaren Lösungen starker Säuren und Basen diese Grenzen um jeweils eine Einheit überschritten werden, also von –1 bis 15. Die pH-Skala wird nur begrenzt durch die Löslichkeiten von Säuren oder Basen in Wasser. Bei sehr hohen oder sehr niedrigen pH-Werten und in konzentrierten Salzlösungen sind nicht die Konzentrationen für den pH-Wert entscheidend, sondern die Aktivitäten der Ionen. Aktivitäten sind von den Ionenkonzentrationen nicht linear abhängig.

Die meisten pH-Elektroden verhalten sich im Messbereich zwischen 0 und 14 annähernd linear. Annähernd konstante Unterschiede im gemessenen Elektrodenpotential entsprechen also gleichen Unterschieden im pH-Wert. Nach internationaler Konvention können pH-Werte nur in diesem Bereich direkt gemessen werden.

Lösungen einer schwachen Säure und einem ihrer Salze oder einer schwachen Base und einem ihrer Salze ergeben Pufferlösungen. Hier stellen sich Gleichgewichte ein, die nahe dem negativen logarithmierten Wert ihrer Säurekonstanten bzw. Basenkonstanten nahezu gleiche pH-Werte ergeben. Der pH-Wert dieser Lösungen ändert sich in diesem Bereich bei Zugabe von starken Säuren oder Basen deutlich weniger als bei Zugabe der Säuren und Basen zu reinem, salzfreiem, „ungepuffertem“ Wasser. Diese Pufferlösungen besitzen eine bestimmte Pufferkapazität, der Effekt besteht so lange, wie die Zugabemenge den Vorrat der verbrauchten Pufferkomponente nicht übersteigt.

Reines Wasser nimmt Kohlenstoffdioxid aus der Luft auf, je nach Temperatur etwa 0,3 bis 1 mg/l. So bildet sich Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), die zu Hydrogencarbonat- und Wasserstoffionen dissoziiert:



Bei „chemisch reinem Wasser“ stellt sich deshalb ein pH-Wert von knapp 5 ein. Eine starke Beeinflussung des pH-Werts von reinem, destilliertem oder entionisiertem Wasser mit einem rechnerischen pH-Wert nahe 7 durch sehr geringe Spuren von Protonendonatoren oder Protonenakzeptoren sagt nichts über die Wirkung auf chemische Reaktionen oder Lebewesen aus.

## Berechnung des pH-Wertes

Ein häufig vorliegendes Problem ist, dass der pH-Wert errechnet werden soll, während die Konzentration bekannt ist und der pK<sub>s</sub>-Wert (der die Stärke der Säure bzw. Base repräsentiert) aus Tabellenwerken entnommen werden kann. Ein Beispiel aus der Praxis ist das Herstellen von Lösungen mit vorgegebenen pH-Wert. Es existieren Formeln, mit denen man den pH-Wert näherungsweise berechnen kann. Trotz Näherungen sind die Ergebnisse im Normalfall genau genug.

Die Formeln leiten sich her aus dem<sup>[9]</sup>

$$\text{Massenwirkungsgesetz: } K_S = \frac{[A^-] \cdot [H_3O^+]}{[HA]}$$

$$\text{Ionenprodukt des Wassers } K_W = c(H_3O^+) \cdot c(OH^-)$$

$$\text{Massenerhaltungssatz } c_0 = [HA] + [A^-]$$

$$\text{Ladungserhaltungssatz } [H_3O^+] = [A^-] + [OH^-]$$

### Sehr starke Säuren

Bei der Berechnung wird angenommen, dass starke Säuren vollständig deprotoniert vorliegen. Das gilt für Säuren mit einem  $pK_s < 1$ . Die Rechnung ist in dem Fall unabhängig von der jeweiligen Säurekonstante, der  $pK_s$  wird zur Berechnung also nicht benötigt. Die Entkoppelung vom  $K_s$  beruht auf dem nivellierenden Effekt des Wassers. Auch die Autoprotolyse des Wassers spielt erst bei sehr verdünnten, starken Säuren (ab Konzentrationen  $\leq 10^{-6} \text{ mol/l}$ ) eine Rolle. Somit resultiert aus der Konzentration der Säure direkt die Konzentration der Protonen in Lösung, beschrieben durch die Formel:

$$[H_3O^+] = c_0 = [A^-]$$

### Starke Säuren

Säuren mit einem  $4,5 > pK_s > 1$  werden als vollständig deprotoniert nicht mehr genau genug beschrieben. Allerdings kann auch hier die Autoprotolyse des Wassers vernachlässigt werden. Nach den Prinzipien der Massengleichheit und der Elektroneutralität ergibt sich die Gleichung:

$$[H_3O^+] = -\frac{K_S}{2} + \sqrt{\frac{K_S^2}{4} + K_S \cdot c_0}$$

### Schwache Säuren

Bei schwachen Säuren ( $4,5 < pK_s < 9,5$ ) ist der Anteil der dissoziierten Säuremoleküle klein gegenüber dem Anteil der undissoziierten. Als Vereinfachung kann daher angenommen werden, dass in der Lösung noch immer so viele protonierte Säuremoleküle vorliegen, wie ursprünglich zugegeben wurden. Die Gleichung für schwache Säuren vereinfacht sich dadurch zu:

$$[H_3O^+] = \sqrt{K_S \cdot c_0}$$

Der daraus resultierende Fehler sinkt mit zunehmender Konzentration und dem  $pK_s$ -Wert.

### Sehr schwache Säuren

Bei sehr schwachen Säuren müssen die durch Autodissoziation des Wassers erzeugten Protonen berücksichtigt werden. Daraus ergibt sich die Gleichung:

$$[H_3O^+] = \sqrt{K_S \cdot c_0 + K_w}$$

Mit der Formel für schwache Säuren und Basen muss gerechnet werden, wenn das Produkt aus  $K_s$  und  $c_0$  deutlich größer als der  $K_w$  ist.<sup>[10]</sup>

## Basen

Für die Berechnung des pH-Wertes einer basischen Lösung werden dieselben Formeln benutzt. Jedoch wird statt dem  $K_S$  der  $K_B$  eingesetzt und das Ergebnis liefert nicht die Protonenkonzentration  $c(\text{H}_3\text{O}^+)$ , sondern die Hydroxydionen-Konzentration  $c(\text{OH}^-)$ . Diese kann in den pOH umgerechnet werden und aus diesem folgt der pH.

## Sonstige Berechnungen

Für Lösungen einer Säure und ihres entsprechenden Salzes (ein Puffer, siehe oben) lässt sich der pH-Wert über die Henderson-Hasselbalch-Gleichung berechnen.

Für mehrprotonige Säuren kann man nur den Wert der ersten Protolysestufe (näherungsweise) berechnen, also für den niedrigsten  $\text{pK}_s$ -Wert. Die Dissoziation der zweiten Stufe ist meist deutlich geringer. Eine exakte Berechnung ist äußerst aufwendig, da es ein System aus gekoppelten Gleichgewichten ist. Die Oxoniumionen aus der ersten Protolysestufe nehmen Einfluss auf die zweite und umgekehrt.

Gleiches gilt für Gemische aus mehreren Säuren und/oder Basen. Eine exakte algebraische Lösung ist meist nicht mehr möglich, die Gleichungen sind numerisch über iterative Verfahren zu lösen. Bei sehr hohen Konzentrationen an Säuren oder Basen ist die Konzentration in  $\text{mol/dm}^3$  durch die Aktivität der Oxoniumionen zu ersetzen.

## Temperaturabhängigkeit

Die Gleichgewichtskonstante der Wasserdissoziation  $K_W$  ist temperaturabhängig:

Bei 0 °C beträgt sie  $0,115 \cdot 10^{-14}$  ( $\text{pK}_W = 14,939$ ),

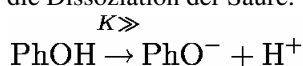
bei 25 °C:  $1,009 \cdot 10^{-14}$  ( $\text{pK}_W = 13,996$ ),

bei 60 °C:  $9,61 \cdot 10^{-14}$  ( $\text{pK}_W = 13,017$ ).<sup>[11]</sup>

Die Summe von pH + pOH verhält sich dementsprechend (14,939, 13,996 bzw. 13,017).

Die pH-Werte von Lösungen sind temperaturabhängig. Beispiel: Eine einmolare Phenollösung hat bei einer Temperatur der Lösung von 30 °C einen  $\text{pK}_s$ -Wert des Phenols als Phenyl-OH von 10. Die Lösung hat einen pH-Wert von etwa 4,5. Ändert sich die Temperatur, so treten drei gekoppelte Effekte auf. Der erste ist der weitaus wichtigste.

1. Die Gleichgewichtskonstante K für die Dissoziation von Phenol nimmt mit steigender Temperatur zu, damit auch die Dissoziation der Säure. Vergrößert sich K sinkt also der pH-Wert, und umgekehrt:



2. Bei einer Temperaturabsenkung von 30 °C auf 20 °C hat Phenol eine geringere Löslichkeit in Wasser. Es lösen sich nur ca. 0,9 mol/l. So steigt der pH-Wert auf rund 4,55. Dieser Effekt spielt nur eine Rolle für Lösungen nahe der Löslichkeitssättigung.
3. Bei einer Temperaturerhöhung vergrößert sich das Volumen der Lösung geringfügig und die molare Konzentration an Phenol verringert sich (Mol pro Volumen). Somit steigt der pH-Wert differentiell. Analog sinkt der pH-Wert bei einer Temperaturniedrigung.

## Bedeutung des pH-Wertes

### Auswirkungen des pH-Wertes in der Chemie

Manche chemische Verbindungen ändern ihre chemische Struktur in Abhängigkeit vom pH-Wert und damit unter Umständen auch ihre Farbe, wie es für pH-Indikatoren, etwa das Phenolphthalein von farblos zu rot erfolgt.

Bei vielen Reaktionen spielen die Wasserstoffionen eine Rolle, direkt in wässriger Lösung oder als „Katalysator“. Der pH-Wert beeinflusst die Reaktionsgeschwindigkeit, wie am Beispiel der Aushärtung von Aminoplasten.

### Auswirkungen des pH-Wertes auf das Wachstum von Pflanzen

Der pH-Wert des Bodens beeinflusst die (biologische) Verfügbarkeit von Nährsalzen. Bei neutralem und alkalischem Boden-pH bilden sich Eisenoxidhydroxide, die nicht aufgenommen werden können, es entsteht Eisenmangel. Treten starke pH-Wert-Änderungen auf, so können die Pflanzenorgane auch unmittelbar betroffen sein.

Für den Nährstoffhaushalt der Pflanzen ist neben einigen anderen Elementen auch Stickstoff von Bedeutung. Er wird in Form der wasserlöslichen Ammoniumionen ( $\text{NH}_4^+$ ) oder häufiger als Nitration ( $\text{NO}_3^-$ ) aufgenommen. Ammonium und Nitrat stehen in Böden mit einem pH-Wert von 7 im Gleichgewicht. Bei sauren Böden überwiegen die  $\text{NH}_4^+$  Ionen, bei alkalischen Böden die  $\text{NO}_3^-$  Ionen. Können Pflanzen aufgrund der Durchlässigkeit der Wurzelmembranen nur  $\text{NH}_4^+$  aufnehmen, sind sie auf saure Böden angewiesen, also acidophil (säureliebend). Beim Aufnehmen von Nitrat  $\text{NO}_3^-$ , können sie nur auf basenreichen Böden wachsen („obligat basophil“). Die Ansprüche an den Boden-pH sind geringer, wenn die Membranen sowohl Ammonium, als auch Nitrat durchlassen. In Mineraldüngern wird Ammoniumnitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) verwendet, wodurch beide, Ammonium- und Nitrat-Ionen vorhanden sind. Die Reaktionen im Boden führen dabei zu Umwandlungen.

Bei hohem oder niedrigem pH-Wert sind die Nährstoffe im Boden festgelegt, sie stehen den Pflanzen nur unzureichend zur Verfügung. Bei einem niedrigen pH-Wert werden Aluminium- oder Manganionen löslich und für Pflanzen in schädigenden Mengen zugänglich.

*Siehe auch: Boden-pH und Kalkstet*

*Siehe auch: Kalkhaltiger Boden und Bodenversauerung*

*Siehe auch: Versauerung der Meere*

### Die Bedeutung des pH-Wertes beim Menschen

Der für den Menschen verträgliche Bereich des pH-Wertes von Blut und Zellflüssigkeit ist beschränkt. Der pH-Wert des Blutes wird durch ein komplexes Puffersystem von gelöstem Kohlenstoffdioxid, Salzen und Proteinen, dem sogenannten Blutpuffer, eingestellt. Normal ist ein pH-Wert von 7,35-7,45 in arteriellem Blut. Der pH-Wert des Blutes wirkt auf das Hämoglobin: Je geringer der pH-Wert ist, desto weniger Sauerstoff kann dieses binden (Bohr-Effekt). Wird im Gewebe durch die Atmungs-Kohlensäure der pH-Wert des Blutes gesenkt, gibt deshalb das Hämoglobin Sauerstoff ab. Wird umgekehrt in der Lunge Kohlendioxid abgeatmet, so steigt dort der pH-Wert des Blutes und somit die Aufnahmefähigkeit des Hämoglobins für Sauerstoff.

Auch bei der menschlichen Fortpflanzung hat der pH-Wert eine entscheidende Bedeutung. Während das Scheidenmilieu zur Abwehr von Krankheitserregern sauer ist, ist das Sperma des Mannes basisch. Die beim Geschlechtsakt einsetzende Neutralisationsreaktion führt zu einem optimalen Milieu zur Bewegung der Spermien.

Die Haut des Menschen ist leicht sauer,  $\text{pH} \approx 5,5$ . Der Säuremantel ist ein Schutz vor Krankheitserregern. Seifen sind deutlich basisch und „trocknen“ die Haut aus, sie entfernen die Fettschicht und zerstören die Säureschicht. Heutige Waschlotionen, die aus einem Gemisch aus einer Trägersubstanz, bestehend aus Wasser, Glycerin, Natriumchlorid, Natriumthiosulfat, Natriumhydrogencarbonat, Distearaten und einem geringen Anteil synthetischer Tenside bestehen, sind auf einen pH-Wert um 5 eingestellt.



## Bedeutung des pH-Wertes für Aquarien

In Aquarien erfordern Pflanzen und Fische bestimmte pH-Bereiche. Die Lebewesen haben einen pH-Toleranzbereich und können außerhalb dieses Bereichs nicht überleben. Meist sind Pflanzen im Aquarium pH-toleranter als Fische.

Richtwerte für Süßwasser-Aquarienfische:

- saures Wasser (pH  $\approx$  6):
  - Südamerikaner (Neon, Skalar, Diskus, L-Welse und andere)
  - Asiaten (Guaramis, Fadenfische und andere)
- neutrales Wasser (pH  $\approx$  7)
  - Mittelamerikaner (Feuermaulbuntbarsch und andere)
- alkalisches Wasser (pH  $\approx$  8)
  - ostafrikanische Grabenseen (Buntbarsche aus dem Tanganjika- und Malawisee und andere)

Gemäß der Trinkwasserverordnung darf das Trinkwasser aus der Leitung einen pH-Wert zwischen 6,5 und 9,5 aufweisen. Das Wasser kann mit handelsüblichen Chemikalien auf den gewünschten Wert eingestellt werden.

## Literatur

- R. P. Buck, S. Rondinini, A. K. Covington, u. a.: *Measurement of pH. Definition, standards, and procedures (IUPAC Recommendations 2002)* in *Pure Appl. Chem.* 74(11), 2169–2200 (2002); Faksimile <sup>[12]</sup> (PDF; 317 kB).
- Jander, Jahr: *Maßanalyse*. 17. Auflage, de Gruyter, Berlin 2009, (S. 99: Indikatoren), ISBN 978-3-11-019447-0.
- Wirz, Willy W.: *pH- und pCl-Werte*, Handbuch mit Interpretationen u. e. Einf. in d. pX-Messtechnik; Messwerttab. nach elektron. (elektrometr.) pH- u. pCl-Messungen; mit 22 Spezialtabellen, Chemie-Verlag, Solothurn 1974, ISBN 3-85962-020-7

## Weblinks

- Rob Beynon, University of Liverpool: Buffers for pH control <sup>[13]</sup>
- pH-Wert-Berechnungen mit voreingestellten Arbeitsblättern <sup>[14]</sup>
- aqion <sup>[15]</sup> – kostenlose Software zur Berechnung von pH-Werten beliebiger Lösungen (mit Beispielen)

## Einzelnachweise

- [1] ÖNORM M 6201-2006 – pH-Messung – Begriffe
- [2] S. P. L. Sørensen, *Über die Messung und die Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration bei enzymatischen Prozessen*, Biochem. Zeitschr., 1909, 21, 131–304.
- [3] Jens G. Nørby, *The origin and the meaning of the little p in pH*, Trends in Biochemical Sciences, 25 (2000), 36–37.
- [4] *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch*, 258. Aufl., de Gruyter, Berlin, 1998.
- [5] Duden, *Deutsches Universalwörterbuch*, 4. Aufl., Mannheim, 2001.
- [6] Gerhard Schulze, Jürgen Simon, *Jander-Jahr Maßanalyse*, 17. Auflage, de Gruyter, Berlin 2009, S. 77.
- [8] Definition der IUPAC (englisch) (<http://goldbook.iupac.org/P04524.html>)
- [9] Matthias Otto: *Analytische Chemie*, 3. Auflage, Wiley-VCH, 2006, ISBN 3-527-31416-4, S. 53 f.
- [10] Jander/Jahr: *Maßanalyse*, 17. Auflage, de Gruyter, Berlin 2009, S. 83–89.
- [11] J. A. Campbell: *Allgemeine Chemie - Energetik, Dynamik und Struktur chemischer Systeme*. 2. Auflage. Verlag Chemie, Weinheim u. a. O. 1980, ISBN 3-527-25856-6.
- [12] <http://www.iupac.org/publications/pac/2002/pdf/7411x2169.pdf>
- [13] <http://www.liv.ac.uk/buffers>
- [14] [http://www2.iq.usp.br/docente/gutz/Curtipot\\_.html](http://www2.iq.usp.br/docente/gutz/Curtipot_.html)
- [15] <http://www.aqion.de/>

# Quelle(n) und Bearbeiter des/der Artikel(s)

**PH-Wert** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=120577622> *Bearbeiter:* 1971markus, 4342, 888344, A0QToF, Addicted, Aglarech, Aka, Akustik, Alnilam, Alraunenstern, An-d, Andre.holzner, AndreasE, Armin P., BLueFiSH.as, BMK, BRotondi, Bashir001, Bbswl, Becker.andreas, Becs, Beek100, Bernar, Bernard.Ladenthin, Berner, BigBen666, BirgitLachner, Björn Bornhöft, Blech, Bob Frost, Boehm, Boemmels, Boonekamp, Brackenheim, Braunmichaelmxd, Brudersohn, C.wolke, CSPeter, Cepheiden, Cgqyflz, Chemiewikibm, Chinotto, Chlorbenzol, Chris828, Codc, Codemaster, Cologinux, Conny, Crazyshopper, Crux, Cymacs, D, DD dev, DaB, Dandelö, Das O2, DasJan, Deepfloe, Der.Traeumer, DerFels, DerGraueWolf, Derschueler, Derstrich, Diba, Dnalor, Dominic Z., Dominik, Dor Jo, Dr. M. Faller, Dr. Norman Mauder, Dr. Shaggeman, Dr.peter, Dsml, E3c2d6ec0ca59f4588b8bb5cb621cfa6, E/(nix), Engelbaet, Engie, Erd, Ertua, Eschenmoser, Extrawurst, F.Bulla, FEXX, FK1954, Fabian318, Felix Stember, Florian Jansen, Frank Klemm, Frankelstner, Fredo 93, Fuenfundachtzig, G.Nosis, GUMPI, Geitost, Ghw, GnuonBall, Gnu1742, Gohrnach, Gordon F. Smith, Gravitophoton, Gustavus, HaeB, Hafenbar, Hansolcog, Hardcoreraveman, Hardenacke, Hasli, Heinz-A.Woerding, Hendric Stattmann, Hendrick8902, Hephaiion, Hie et nunc, Hofres, Hokanomono, Homunkulus, Howwi, HylgeriaK, Hystrix, InfoGeist, Ing. Schröder Walter, Inkowik, Invisigoth67, Ippich, Iti, Iwoelbern, J-PG, JHeuser, Jaybee, Jed, Jivee Blau, Jodoform, Jogo30, Juesch, K.-G.Häusler, Kalan, Kappes8245, Karl-Henner, Kibert, Kino, Kku, Kniptang, Komischn, Kriegerdaemon, Kroimon, Kuebi, Kursch, Kurt Tepperwein Collection, Langholz8, Lateiner, Leberwurscht, Leider, Lemzweg, Leyo, Lightmoep, Loeatsch, Lohan, Ma-Lik, Mabschaaf, MarkusGronotte, MarkusZi, Martenseemann, Martin Bahmann, Martin-vogel, Matthias M., Maueraquadrant, Mbrennwa, Micham6, Mike Krüger, Mikue, Minihaa, Miscd, Mnh, Moralverkehr, Morten Haan, MovGP0, MsChaos, Naval, Ne discere cessa!, Neo23, NeoXtrim, Nerd, Nils Simon, Nummer9, O.Kosowski, OecherAlemanne, Oerly, Orci, PM3, Pbyaer, PeeCee, Pelz, Pemu, Peter200, PeterFume, Philip1307, Physikochemiker, Pikett, Pittimann, Pm, Pucci, Pohli, PsY.cHo, Puzzle62, Q4teX, Qualle, Quensen, RalfKater, Randolph33, Redecke, Regi51, Revolus, Revvar, Rhi, Robert Weemeyer, RokerHRO, Roland.chem, Roland1952, Rolex82, Roughneck, Rubblesby, Saehrimmir, San Jose, Schewek, Scooter, Se4598, Selby, Shisha-Tom, ShithappensbyTuE, Super-auch-Löschler, Simon-Martin, Sipri, Sir Anguilla, SkipHH, Small Axe, Splinti, Spuk968, Sputnik007, Ssd, Std2, Steak, Stefan Horn, Stefan Knauf, SteffenKa, Suirenn, Sunfolobus, Superhans21, Swing, Tgerke, Thomas, Tinux, Tmmaster, Toffel, Toshiki, Trofobi, Trustable, T8, Ulm, Ulrich.fuchs, Universaldilettant, Uwe Gille, VanDhunter, W like wiki, W!B!, WAH, Waelder, WeißNix, Whees, Wimperschlag, Wimpfel, Wnme, Wuffff, Wulf 21, Wyna, Yalman1993, Youandme, Zumbo, 362 anonyme Bearbeitungen

# Quelle(n), Lizenz(en) und Autor(en) des Bildes

**Datei:PHscalenolang.svg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PHscalenolang.svg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* PHscalenolang.png: myself, PatríciaR derivative work: Chris828 (talk)

## Lizenz

### Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen

Die nachfolgenden Lizenzen beziehen sich auf den Artikeltext. Im Artikel gezeigte Bilder und Grafiken können unter einer anderen Lizenz stehen sowie von Autoren erstellt worden sein, die nicht in der Autorenliste erscheinen. Durch eine noch vorhandene technische Einschränkung werden die Lizenzinformationen für Bilder und Grafiken daher nicht angezeigt. An der Behebung dieser Einschränkung wird gearbeitet. Das PDF ist daher nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Eine Weiterverbreitung kann eine Urheberrechtsverletzung bedeuten.

### Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported - Deed

Diese "Commons Deed" ist lediglich eine vereinfachte Zusammenfassung des rechtsverbindlichen Lizenzvertrages ([http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen\\_Commons\\_Attribution-ShareAlike\\_3.0\\_Unported](http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen_Commons_Attribution-ShareAlike_3.0_Unported)) in allgemeinverständlicher Sprache. Sie dürfen:

- das Werk bzw. den Inhalt **viervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen**
- Abwandlungen und Bearbeitungen** des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen

Zu den folgenden Bedingungen:

- Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
- Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Wobei gilt:

- Verzichtserklärung** — Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
- Sonstige Rechte** — Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:

- Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts und sonstigen Befugnisse zur privaten Nutzung;
- Das Urheberpersönlichkeitsrecht des Rechteinhabers;
- Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen.

- Hinweis** — Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten. Am einfachsten ist es, an entsprechender Stelle einen Link auf <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de> einzubinden.

### Haftungsbeschränkung

Die „Commons Deed“ ist kein Lizenzvertrag. Sie ist lediglich ein Referenztext, der den zugrundeliegenden Lizenzvertrag übersichtlich und in allgemeinverständlicher Sprache, aber auch stark vereinfacht wiedergibt. Die Deed selbst entfaltet keine juristische Wirkung und erscheint im eigentlichen Lizenzvertrag nicht.

### GNU Free Documentation License

Version 1.2, November 2002

Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.

51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies

of this license document, but changing it is not allowed.

### 0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It implements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

### 1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties; any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

### 2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

### 3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

### 4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- **A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- **B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- **C.** State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- **D.** Preserve all the copyright notices of the Document.
- **E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- **F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- **G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- **H.** Include an unaltered copy of this License.
- **I.** Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- **J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- **K.** For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- **L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- **M.** Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- **N.** Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- **O.** Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another, but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

### 5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

### 6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

### 7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

### 8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

### 9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

### 10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

### ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document

under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2

or any later version published by the Free Software Foundation;

with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled

"GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with..." line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the

Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.