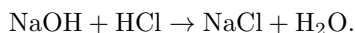


LOGARITMEN EN DE ZUURTEGRAAD VAN EEN OPLOSSING

KOEN DE NAEGHEL

SAMENVATTING. Exponentiële en logaritmische functies worden gebruikt om fysische, chemische, biologische, economische en sociale verschijnselen te modelleren, zoals bijvoorbeeld bevolkingsgroei, intrestberekening, radioactief verval en het verspreiden van een gerucht. In dit artikel bespreken we de pH-schaal, een model dat gebruik maakt van de Briggse logaritme om de zuurtegraad van oplossingen te karakteriseren. We laten zien dat de eigenschappen van logaritmen ons op een natuurlijke manier naar de definitie van pH-waarde leiden. Deze tekst is geschikt voor leerlingen uit het vijfde jaar ASO richting wetenschappen. Door dit onderwerp in de context van logaritmische schalen te plaatsen, kan deze tekst gekoppeld worden aan het realiseren van onderzoekscompetenties in de derde graad.

Dat sommige zuren en basen gevaarlijk corrosief kunnen zijn, was al bekend in de oudheid. Wordt een zuur met een base gemengd, dan neutraliseren ze elkaar en vormen ze een zout. Zo wordt bijvoorbeeld keukenzout (natriumchloride) gevormd door de base natriumhydroxide met het zuur waterstofchloride (zoutzuur) te mengen:



Bij deze reactie komt er naast energie ook water vrij, molecuulformule H_2O . In de 19e eeuw ontdekte men dat het zuur het waterstofion H^+ levert en de base het resterende deel van het watermolecuul in de vorm van een negatief geladen hydroxide-ion OH^- geeft. Een zuur kan worden gezien als een stof die waterstofionen doneert en een base als een stof die waterstofionen opneemt.

In de loop van de 18e eeuw kwamen wetenschappers tot het besef dat de zuurtegraad een belangrijke rol speelt bij het beschrijven van chemische processen. Men zocht dan ook naar een manier om de zuurtegraad van een oplossing te kunnen meten. In 1904 stelde de chemicus Hans Friedenthal een systeem voor dat gebaseerd was op de concentratie waterstofionen H^+ . Daarbij stootte hij op het probleem dat het bereik van die concentratie enorm groot is: sommige zuren hebben een concentratie waterstofionen die ongeveer 100 biljoen keer hoger is dan de concentratie van sommige basen. Daarom bedacht de Deense chemicus Søren Sørensen in 1909 de zogenaamde *pH-schaal*, een logaritmische schaal die toelaat om de zuurtegraad van oplossingen met kleinere getallen weer te geven. Hieronder beschrijven we zijn redenering.

Voor elke waterige oplossing op 25°C is het product van de concentratie¹ aan H_3O^+ en de concentratie aan OH^- gelijk aan 10^{-14} mol/l, in symbolen:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}.$$

Nemen we van beide leden de logaritme met grondtal 10 (ook wel Briggse logaritme genoemd), dan leidt de rekenregel voor de logaritme van een product ons tot de relatie:

$$\log [\text{H}_3\text{O}^+] + \log [\text{OH}^-] = -14. \quad (1)$$

We laten nu zien wat deze formule betekent voor zuiver water, sterke zuren en sterke basen.

- (a) **Zuiver water** bevat een gelijke concentratie aan H_3O^+ en aan OH^- . Omdat het product van die concentraties gelijk is aan 10^{-14} mol/l, moeten beide concentraties gelijk zijn aan 10^{-7} mol/l. Vergelijking (1) wordt dan:

$$(-7) + (-7) = -14$$

- (b) **Sterke zuren** hebben, in vergelijking met zuiver water, veel meer waterstofionen H^+ . Bij wijze van voorbeeld nemen we een zuur met een concentratie van $10^{-1} = 0,1$ mol/l aan H_3O^+ . Dat is veel meer dan de concentratie van $10^{-7} = 0,000\,000\,1$ mol/l aan H_3O^+ bij zuiver water. Vergelijking (1) levert nu:

$$(-1) + (-13) = -14.$$

Datum: 13 oktober 2015. Inspiratie werd ontleend aan [2, pagina 238-239]. Deze tekst is tevens terug te vinden in [1, pagina I-126]. De auteur is Mathias Vandeputte erkentelijk voor het nalezen van deze nota en het suggereren van verbeteringen.

¹Net zoals een dozijn 12 eenheden telt, is een mol een aanduiding voor een aantal. Een mol stelt $6,02214 \cdot 10^{23}$ voor, gedefinieerd als het aantal atomen in 12 gram koolstof. Dat getal is vernoemd naar Amadeo Avogadro, een Italiaans natuur- en scheikundige en de grondlegger van de wet van Avogadro. De Franse chemicus Jean Baptiste Perrin stelde in 1909 voor Avogadro te eren met de naam van de constante.

Men heeft ervoor gekozen dat de waarden op de pH-schaal positief zijn, dat zuren een lage positieve waarde op de pH-schaal hebben en basen een hoge positieve waarde. Aan dit zuur hecht men dus de waarde 1 op de pH-schaal.

- (c) **Sterke basen** hebben een hoge concentratie aan hydroxide-ionen OH^- en dus weinig waterstofionen H^+ . Zo wordt voor een base met een concentratie van $10^{-2} = 0,01$ mol/l aan OH^- vergelijking (1) nu:

$$(-12) + (-2) = -14.$$

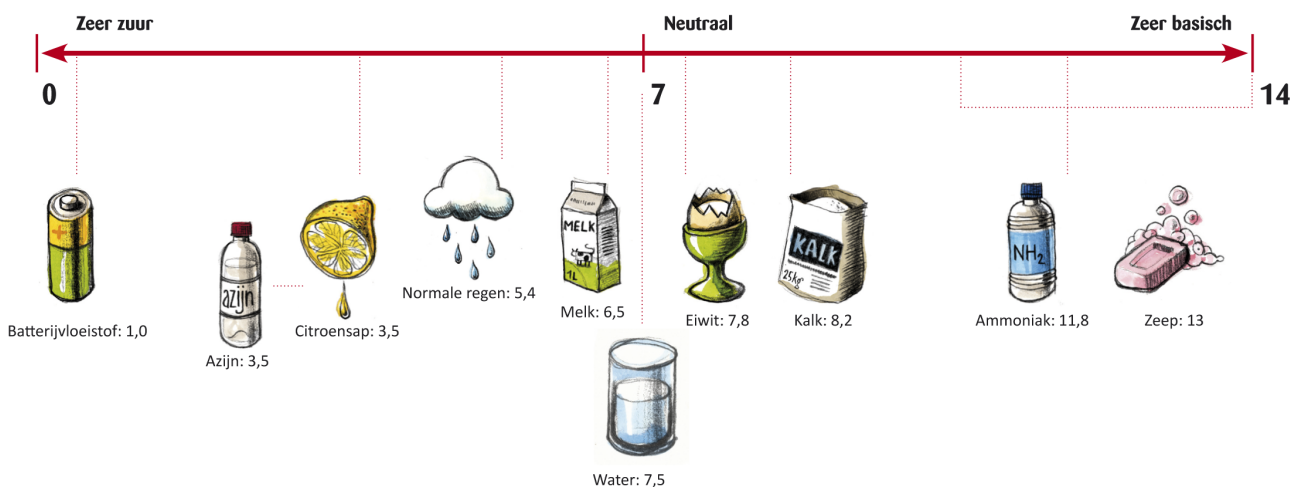
Deze base neemt dus de waarde 12 aan op de pH-schaal.

Op deze manier dringt de definitie voor de zuurtegraad van een oplossing zich op:

$$\text{pH} \stackrel{\text{def}}{=} -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

waarin $[\text{H}_3\text{O}^+]$ de concentratie (in mol/l) van de H_3O^+ -ionen in de oplossing is. De afkorting pH staat voor potentieel van waterstof (Engelse term: potential hydrogen).

De pH-schaal varieert van de pH-waarde 0 (meest zuur) tot pH-waarde 14 (meest basisch, ook wel alkalisch genoemd). Zuiver water definieert het neutrale punt van de schaal, met als pH-waarde 7, zie Figuur 1.



Figuur 1: De pH-schaal [4]

Door van een oplossing de pH-waarde te meten, kunnen we de concentratie aan hydroxide-ionen berekenen. Zo heeft bijvoorbeeld citroensap een pH-waarde van ongeveer 3,5. De concentratie aan hydroxide-ionen volgt uit de oplossing van een logaritmische vergelijking:

$$\begin{aligned} -3,5 + \log [\text{OH}^-] &= -14 \quad \Rightarrow \quad \log [\text{OH}^-] = -10,5 \\ &\Rightarrow \quad [\text{OH}^-] = 10^{-10,5} \approx 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ mol/l.} \end{aligned}$$

Naast de pH-schaal zijn er ook nog andere logaritmische schalen die zich op een natuurlijke manier opdringen: de schaal van Richter om de waargenomen kracht van een aardbeving in een getal uit te drukken, de decibel om het geluidsniveau weer te geven, de magnitude om de helderheid van een ster of ander hemellichaam te karakteriseren etc. De vraag om informatie over een logaritmische schaal naar keuze op te zoeken, deze informatie te verwerken en op een logische en begrijpelijke manier te presenteren in de vorm van een onderzoeksverslag is dan ook een zinvolle manier om onderzoekscompetenties bij leerlingen in de derde graad ASO te realiseren.

REFERENTIES

- [1] K. De Naeghel, *Wiskunde In zicht*, LULU Press, 2013. Handboek online beschikbaar op www.koendenaeghel.be.
- [2] A. Hart-Davis, *Wetenschap: de grote ontdekkingen*, Winkler Prins, 2010.
- [3] J. Hudson, *The history of chemistry*, Chapman and Hall, New York, 1992.
- [4] Website www.ecostyle.nl, geraadpleegd 13 oktober 2015.

KOEN DE NAEHEL, ONZE-LIEVE-VROUWECOLLEGE, COLLEGESTRAAT 24, 8310 BRUGGE.
E-mail address, K. De Naeghel: koendenaeghel@hotmail.com