

Blutzucker-Messgerät

T. M. Braun

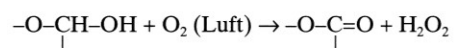
1 Einführung

Viele Menschen, die an Formen der Zuckerkrankheit *Diabetes* erkrankt sind, müssen in regelmäßigen Abständen den Blutzuckergehalt (Blutzuckerspiegel) messen. Er wird in der Einheit Milligramm pro Deziliter [mg/dL] angegeben, und sollte zwischen 80 mg/dL und 120 mg/dL liegen. Die Messung ist heute für die Betroffenen unproblematisch: Ein Tropfen Blut genügt, der Sensor des Messgerätes wird in das Blut getaucht* und nach kurzer Zeit erscheint der Blutzuckerwert auf dem Display. Das Messgerät arbeitet nach einem biochemisch-elektrochemischen Prinzip. Im Folgenden wird das Messprinzip dargestellt.

PdN-ChiS 5/51. Jg. 2002

2 Der Sensor

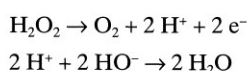
Der für jede Messung erneuerbare Sensor des Messgerätes besteht aus einer Membran, die den Biokatalysator *Glucoseoxidase GOD* enthält. Das Enzym katalysiert substratspezifisch die Oxidation der β -Glucose im Blutplasma zum Keton (Lacton); Reaktionspartner dieser Redox-Reaktion ist Luftsauerstoff, der mit der glykosidischen OH-Gruppe der Glucose reagiert:



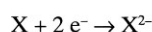
Als Zwischenprodukt entsteht Wasserstoffperoxid, das in das Innere des Messgerätes diffundiert. Die Substratspezifität des Enzyms garantiert, dass ausschließlich β -Glucose im Blut detektiert wird.

3 Elektrochemische Folgereaktionen

Das Wasserstoffperoxid gelangt in eine elektrochemische Halbzelle mit einem $\text{pH} > 7$. Die Halbzelle ist mit einer zweiten Halbzelle über ein Diaphragma verbunden, die eine wässrige Lösung eines Oxidationsmittels X enthält. Das Wasserstoffperoxid wird oxidiert, wobei Sauerstoff und Protonen entstehen; die Protonen werden durch die Base ($\text{pH} > 7$) neutralisiert:



Die beiden Elektronen wandern über die Platin-Elektrode zur Elektrode der zweiten Halbzelle und führen zu einer Reduktion des Oxidationsmittels:



Der mit dieser Redox-Reaktion verbundene Elektronendruck wird als Spannung U gemessen und über die *Nernst-Gleichung* quantitativ ausgewertet. Dies übernimmt die Elektronik im Messgerät.

4 Quantitative Auswertung

Für die *Nernst-Gleichung* sind mehrere Parameter erforderlich:

$U^\circ (\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_2) = -0,076 \text{ V}$	Standardpotential der Oxidation
$U^\circ (X/X^{2-}) = +1,2 \text{ V}$	Standardpotential der Reduktion
$T = 293 \text{ K}$	Temperatur (20°C)
$c(X) = 0,1 \text{ mol L}^{-1}$	Konzentration des Oxidationsmittels
$n = 2$	Anzahl der pro Elementarreaktion wechselnden Elektronen

Die allgemeine Form der *Nernst-Gleichung* für eine galvanisches Element lautet:

$$\Delta U = U^\circ(\text{Red}) - U^\circ(\text{Ox}) + 1/n T 0,0000862 \ln (c(\text{Red})/c(\text{Ox}))$$

Mit den eingesetzten Werten folgt:

$$\Delta U = 1,2 \text{ V} + 0,076 \text{ V} + 1/2 \cdot 293 \cdot 0,0000862 \ln (0,1/c(\text{Ox}))$$

Zwischen der gemessenen Spannung ΔU und der Konzentration des Wasserstoffperoxids $c(\text{Ox})$ besteht somit ein direkter Zusammenhang (siehe Grafik des Arbeitsblattes). Entsprechend den Reaktionsabläufen ist die Konzentration des Wasserstoffperoxids identisch mit der Konzentration an β -Glucose im Blutplasma! Eine Beispielrechnung verdeutlicht dies:

$$c(\beta\text{-Glucose}) = 100 \text{ mg dL}^{-1} = 10 \text{ g L}^{-1} = 0,065 \text{ mol L}^{-1} = c(\text{Ox})$$

folgt

$$\Delta U = 1,2 \text{ V} + 0,076 \text{ V} + 1/2 \cdot 293 \cdot 0,0000862 \ln (0,1/c(\text{Ox})) = 1,283 \text{ V}$$

Das heißt:

Bei einem Blutzuckerspiegel von 100 mg dL^{-1} generiert das elektrochemische Element eine Spannung von $1,283 \text{ V}$, die von der Auswertungs elektronik zum Blutzuckerwert umgerechnet wird und im Display zur Anzeige gebracht wird.

5 Methodisch-Didaktische Überlegungen

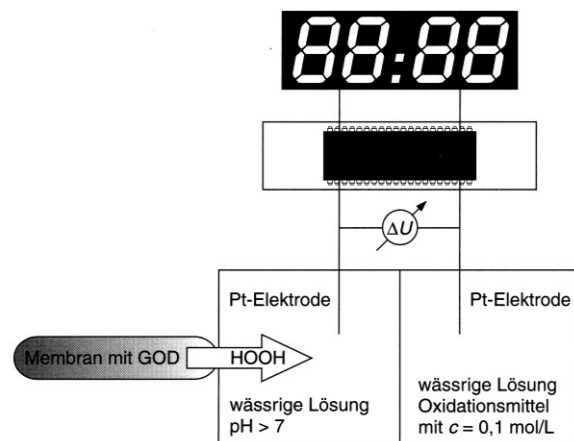
In neueren Chemiebüchern der Oberstufe wird dieses Messverfahren teilweise prinzipiell vorgestellt – aber ohne Konkretion bezüglich der elektrochemischen Auswertung. Das hier vorgestellte Arbeitsmaterial erlaubt jetzt die vollständige sachchemische Analyse des Verfahrens. Organik, Enzymatik und Elektrochemie greifen ineinander – ein themenübergreifende Bearbeitung ist notwendig. Das Arbeitsmaterial kann im laufenden Unterricht, im Rahmen einer Klausur, als Abituraufgabe oder als Beispiel für klinische Chemie eingesetzt werden.

Anschrift des Verfassers:

Thomas Michael Braun, Studiendirektor, Gymnasium am Markt, 32257 Bünde (Westf.)

Arbeitsblatt: Blutzucker-Messgerät

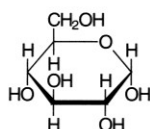
Menschen, die an der *Zuckerkrankheit (Diabetes)* erkrankt sind, müssen in regelmäßigen Abständen ihren Blutzuckerspiegel bestimmen. Gemeint ist die Konzentration c des Traubenzuckers (Glucose) im Blutplasma, die in Milligramm Glucose pro Deziliter Blut [mg/dL] angegeben wird. Blutzuckerwerte bis 100 mg/dL sind physiologisch normal. Ermittelt werden kann dieser Blutzuckerwert beispielsweise mit Hilfe eines kleinen Messgerätes, das elektrochemisch arbeitet. Das Gerät verfügt über einen Sensor, der in einen Tropfen Blut gehalten wird. Der Sensor besteht aus einer Membran, die den Biokatalysator (Enzym) Glucoseoxidase (GOD) enthält. GOD beschleunigt die Reaktion von Glucose mit Luftsauerstoff zum Keton und Wasserstoffperoxid H_2O_2 . Wasserstoffperoxid diffundiert in das Innere des Messgerätes in eine elektrochemische Halbzelle, die eine Base enthält ($pH > 7 - U^\circ = -0,076 V$). Die zweite Halbzelle enthält die wässrige Lösung eines Oxidationsmittels X ($c = 0,1 \text{ mol/L} - U^\circ(X^2-/X) = + 1,2 V$). Zwei Platin-Elektroden (Pt) messen die Spannungsdifferenz ΔU . Über eine Auswertungelektronik wird aus dem Spannungswert der Blutzuckerspiegel errechnet und über ein Display angezeigt. Nebenstehende Grafik zeigt den Zusammenhang zwischen gemessener Spannung ΔU und dem Blutzuckerspiegel bei einer Temperatur von $20^\circ C$.



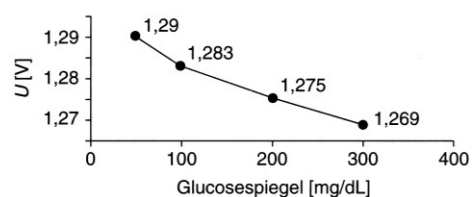
Aufbau-Prinzip des Messgerätes

Aufgaben:

1. Erläutere unter Angabe aller Reaktionsgleichungen die chemischen Abläufe, die dem Messverfahren des Messgerätes zugrunde liegen!
2. Erkläre mit Hilfe einer geeigneten Rechnung die Werte aus der Grafik!
3. Bei einer Blutprobe misst das Messgerät eine Spannung ΔU von 1,286 V. Wie hoch ist der Blutzuckerspiegel?
4. Warum ist das Messverfahren spezifisch für Glucose?
5. *Recherche:* Was genau ist die Zuckerkrankheit (Diabetes)? Wodurch wird sie ausgelöst?



Glucose-Molekül $C_6H_{12}O_6$



Spannung ΔU in Abhängigkeit der Blutzuckermenge