

Kalium: lebensnotwendig, aber radioaktiv

Bernd Laquai, 24.2.25

Kalium gehört neben Natrium und Chlorid zu den wichtigsten Elektrolyten im menschlichen Körper. Nach Kalzium, Phosphor und Schwefel ist es das vierthäufigste Element im Körper. Ohne Kalium im Körper sind der Mensch und auch andere Säugetiere nicht lebensfähig. Interessanterweise ist das Kalium aber radioaktiv. Das erscheint vielen widersinnig, aber es ist so. Der Mineralstoff Kalium ist im Körper stets in gleicher Menge vorhanden, weil er durch den Stoffwechsel homöostatisch geregelt wird. Das kann man kaum ändern, es sei denn man trainiert kräftig und verändert dadurch die Muskelmasse in der das Kalium hauptsächlich gespeichert wird.

Das in der Natur vorkommende Kalium enthält 3 Isotope: K-39 (93,26 %), K-40 (0,0117 %), und K-41 (6,73 %), davon ist das K-39 und das K-41 ein stabiles Isotop. Das K-39 ist jedoch ein radioaktives Isotop. Da das radioaktive K-40 zu 0.0117% immer im natürlichen Kalium enthalten ist, ist auch das natürliche Kalium immer radioaktiv. Die Radioaktivität des Kalium-40 ergibt sich durch dessen Zerfall in das stabile Element Calcium-40, wobei ein Elektron mit hoher Energie (im Mittel 560keV) aus dem Atomkern herausgeschleudert wird (Beta-Minus-Zerfall). Dies passiert im Mittel in 89.52% der Fälle. In 10.32% der Fälle zerfällt der Kalium-40 Kern in das stabile Element Argon-40. Zur Umwandlung eines Protons im Kern zu einem Neutron wird ein Elektron aus der Elektronenhülle vom Kern eingefangen und so die Ladung des Protons neutralisiert. Dadurch entsteht zunächst ein angeregtes Argon-Atom, aus dem dann der Energie-Überschuss als Gamma-Strahlungsquantum (elektromagnetische Strahlung) mit hoher Energie emittiert wird (1460.82keV) was das Argon-Atom stabilisiert. In 0.16% der Fälle erfolgt der Zerfall in das stabile Argon-40 über den Elektroneneinfang auch ganz ohne eine Gamma-Emission. Und in sehr seltenen Fällen (0.001%) erfolgt der Zerfall in das stabile Argon-40 unter Aussendung eines Positrons mit einer mittleren Energie von 197keV, wobei sich auch wieder ein Proton in ein Neutron umwandelt.

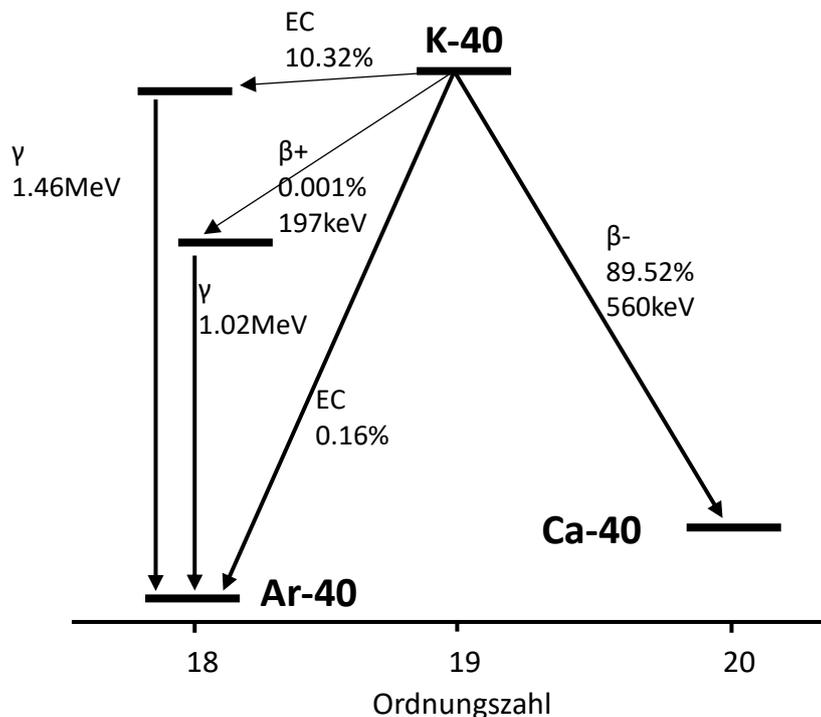


Abb. 1: Schematische Darstellung des Radioaktiven Zerfalls von Kalium-40

Die Zerfallsaktivität beim radioaktiven Zerfall wird in der Einheit Becquerel (Bq) ausgedrückt. Man spricht von einer Aktivität von 1Bq, wenn in einer gegebenen Stoffmenge 1 Zerfallsakt pro Sekunde stattfindet, egal welche Art an Strahlung dabei emittiert wird (Alpha- Beta oder Gammastrahlung).

Die Halbwertszeit des K-40 beträgt 1253627000 Jahre, und das Atomgewicht in Gramm beträgt 39.963998166g. Wenn man nun von einem Massenanteil von 0.0117% des K-40 am natürlichen Kalium ausgeht, kann man daraus die spezifische Radioaktivität des natürlichen Kaliums von 30.9Bq/g bzw. 1.235Bq/mmol berechnen. Das Kalium gehört somit, wie auch das Uran und Thorium, zu den als „primordial“ bezeichneten Radionukliden, weil sie seit Entstehen der Erde vorhanden und bis heute noch nicht vollständig in stabile Elemente zerfallen sind.

Die im Körper gespeicherte Menge an radioaktivem Kalium schwankt in Abhängigkeit vom Anteil des stoffwechselaktiven Körpergewichts. Das Kalium befindet sich zu 98 % in der intrazellulären Flüssigkeit (Cytosol). Davon findet man etwa 60 % in den Muskelzellen, 8 % in den Erythrozyten, 6 % in den Leberzellen und ungefähr 4 % in anderen Organen und ein sehr kleiner Teil außerhalb der Zellen. Somit ergibt sich eine Abhängigkeit vom Körperbau, dem Alter und dem Geschlecht. Der gesamte Kaliumgehalt im Körper beträgt im Durchschnitt bei erwachsenen Männern 140 Gramm (3600 mmol) und bei erwachsenen Frauen 105 Gramm (2700 mmol). Die Umrechnung von Gramm in mmol (Millimol) erreicht man, wenn man die Kaliummenge in Gramm durch das durchschnittliche Atomgewicht 39 von Kalium dividiert und mit 1000 multipliziert.

Der geschlechtsspezifische Unterschied entsteht durch die unterschiedlichen Anteile an Muskel- und Fettgewebe. Bei jungen erwachsenen Männern beträgt die Aktivität des Kaliums im Körper etwa 65Bq pro kg Körpergewicht und bei jungen erwachsenen Frauen etwa 53Bq/kg. Diese Aktivität nimmt im Alter mit dem Anteil an Muskelgewebe ab. Im Blut ist nur wenig Kalium gespeichert. Dort sind es die roten Blutkörperchen (Erythrozyten), die das Kalium speichern. Dennoch ist der Kaliumspiegel im Blut ein guter Indikator für einen gesunden Kalium-Stoffwechsel. Im Blutserum bleibt der Kaliumspiegel normalerweise bei Erwachsenen stets zwischen 3.5 und 5.5mmol/Liter. Damit schwankt die Radioaktivität des Kaliums im Blut nur zwischen 4.3 und 6.8Bq/Liter. Eine Abweichung davon (Hypo- oder Hyperkaliämie) geht meist mit schweren muskulären und neuromuskulären Störungen einher und stellt daher eine unter Umständen lebensbedrohliche Erkrankung dar. Reguliert wird der Kalium-Gehalt und damit auch die kaliumbedingte Radioaktivität im Körper im Wesentlichen durch die Nieren. Bei einer ausgeglichener Kaliumbilanz werden etwa 90 % des in der Nahrung zugeführten Kaliums innerhalb von 8 Stunden über die Nieren gleich wieder ausgeschieden. Das bedeutet, dass die Radioaktivität im Körper auf diese Weise weitgehend konstant gehalten wird.

In der Flüssigkeit der Zellen liegt das Kalium gelöst vor und zwar in Form von positiv geladenen Ionen (Kation K⁺). Damit sorgt es dafür, dass die Zellflüssigkeit elektrisch leitfähig ist, d.h. einen elektrischen Strom leiten kann. Da die Zellflüssigkeit zu großen Teilen aus Wasser besteht, bezeichnet man das Kalium als wasserlöslicher Elektrolyt.

Die wichtigste Bedeutung im Körper hat der Mineralstoff Kalium für die Funktion der Nervenzellen. Dabei ist das Kalium der Gegenspieler zum Natrium. Bei der Reizleitung (Erregungsleitung) entlang von Nervenfasern wird eine steuerbare impulsartige Leitfähigkeitsänderung der Zellmembran benötigt. Diese wird durch die Kalium- und Natriumionenbewegungen in Kanälen in der Membran erreicht. Nervenimpulse breiten sich durch kurzfristige Änderungen der Leitfähigkeit (Aktionspotential) entlang der Zellmembranen von Nervenzelle zu Nervenzelle aus. Damit ist das radioaktive Kalium für die Muskelkontraktion, für die Steuerung der Organe und die Funktion des Gehirns essenziell. Kalium erfüllt wichtige Funktionen aber auch beim Zellwachstum, im Säuren-Basen-Haushalt, bei der

Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks in den Zellen, bei der Regulierung des Blutdrucks, im Gefäßschutz und bei der Aktivierung einiger Enzyme.

Kalium ist vorwiegend in pflanzlichen Lebensmitteln wie Bananen, Kartoffeln, Trockenobst, Spinat und Champignons enthalten und wird dem Körper über die Nahrung zugeführt. Bei der Zubereitung durch das Kochen von Lebensmitteln muss allerdings beachtet werden, dass der Kaliumgehalt dabei abnimmt, da bis zu 50 % des wasserlöslichen Kaliums in das Kochwasser abgegeben wird (z.B. beim Kochen von Kartoffeln). Die deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. (DGE) empfiehlt für Erwachsene eine tägliche Zufuhr von 4g Kalium, was der Zufuhr einer Radioaktivität 124Bq durch das Kalium-40 Isotop entspricht. Eine hohe Kaliumzufuhr kann bei Personen mit Bluthochdruck blutdrucksenkend wirken und das Risiko für Schlaganfall reduzieren.

Einige Lebensmittel sind sehr kaliumreich, vor allem Pilze, Nüsse, Kaffee- und Kakao-Bohnen getrocknete Früchte und einige Gemüsesorten. Sie sind damit auch messbar radioaktiv.

	mg Kalium/100g	Bq/100g
Pfifferling (getrocknet)	5370	165.9
Kakaopulver (schwach entölt)	3660	113.1
Kaffeebohnen(gemahlen, geröstet)	3501	108.2
Tomatenkonzentrat	2553	78.9
Bitterschokolade	2014	62.2
Steinpilz (getrocknet)	2000	61.8
Aprikosen (getrocknet)	1370	42.3
Kidney Bohnen	1370	42.3
Bohnen (weiß, roh)	1336	41.3
Pistazien	1020	31.5
Erbsen (reif, roh)	940	29.0
Weizenkeime	900	27.8
Linsen (reif, roh)	840	26.0
Rosinen	749	23.1
Haselnüsse	745	23.0
Pflaumen (getrocknet)	732	22.6
Mandeln	705	21.8
Erdnuss (geröstet)	705	21.8
Datteln	656	20.3
Sonnenblumenkerne	645	19.9
Meerrettich	628	19.4
Spinat	558	17.2
Cashewnüsse	552	17.1
Süßkartoffeln	542	16.7
Bananen (getrocknet)	536	16.6
Lachs (gekocht)	534	16.5
Mirabelle (getrocknet)	230	7.1

Tabelle 1: Kalium-Gehalt und kalium-spezifische Radioaktivität einiger kaliumreicher Nahrungsmittel pro 100g (die Angaben im Internet dazu schwanken jedoch beträchtlich)

Was in Bezug auf Lebensmittel auch noch erwähnt werden sollte, ist die Verwendung von Kaliumsalzen. So wird Kaliumchlorid (16.2Bq/g) als „Diätsalz“ anstelle von normalem Speisesalz (NaCl) verwendet,

um das Herzinfarkt- und Schlaganfall-Risiko zu senken. An Weihnachten findet man häufig „Pottasche“ als historisches Backpulver für die Herstellung von Lebkuchen und anderem Weihnachtsgebäck in den Supermärkten. Bei Pottasche handelt es sich um Kaliumcarbonat, das eine kalium-spezifische Radioaktivität von 17.15Bq/g aufweist, die man mit einem guten, gegen Betastrahlung empfindlichen Geigerzähler auch sehr leicht nachweisen kann.

Die Tatsache, dass Bananen ein weltbekanntes Nahrungsmittel sind und als kaliumreich gelten, hat Wissenschaftler, die sich mit dem Schutz vor radioaktiver Strahlung befassen, dazu bewegt, die Gefährlichkeit einer Strahlungsdosis dadurch zu relativieren, dass sie die Strahlungsdosis, die von einer Banane beim Verzehr theoretisch an den Körper abgegeben wird, zu berechnen. Der Begriff der Strahlungsdosis stellt nicht mehr die reine Radioaktivität des Kaliums gemessen in Zerfällen pro Sekunde in den Vordergrund, sondern nur deren schädigende Wirkung auf den Körper, also die „Dosis“, die normalerweise in der schwer zu verstehenden Einheit Sievert (Sv) angegeben wird. Die Strahlenschützer berechneten für eine 150g schweren Banane eine Ingestions-Dosis von etwa 0.1Mikrosievert und schlugen nun vor, vor allem kleine Strahlungsdosen, die sonst in Mikrosievert ausgedrückt werden, in Bananen-Äquivalentdosen (Banana equivalent dose, BED) anzugeben um sie vorstellbarer zu machen (und auch weniger angsteinflößend erscheinen zu lassen).

Anzahl Bananen	Äquivalente Exposition
100000000	Tödliche Dosis (innerhalb 2 Wochen)
20000000	medizinische Radiotherapie (eine Sitzung)
70000	CT-Aufnahme der Lunge
20000	Mammographie
20-1000	Röntgenthoraxaufnahme
700	Wohnen in einem Stein-, Ziegel- oder Betonhaus für ein Jahr
400	Flug von London nach New York
100	Tägliche Hintergrundstrahlung
50	Zahn-Röntgenbild
1-100	Jährliche Dosis durch das Wohnen in der Nähe eines Kernkraftwerks

Tabelle 2: Dosisangabe für Expositions-Situationen in der Bananen-Äquivalentdosis (Quelle: Wikipedia)

Dabei muss allerdings beachtet werden, dass die Bananenäquivalentdosis nur eine theoretische Größe ist, weil der Körper bei der Aufnahme einer größeren Kaliummenge sofort mit der Ausscheidung des überschüssigen Kaliums reagieren würde, so dass sich eine größere, durch die Kaliumzufuhr hervorgerufene Dosis nicht lange im Körper halten könnte. Es ist jedoch bekannt, dass Portalmessanlagen für Radioaktivität, die gegen Atomschmuggel vor allem an den Grenzen der USA installiert wurden, um Fahrzeuge schnell überprüfen zu können, immer wieder auf Lastwagen mit Bananen-Ladungen ansprechen und dann falschen Alarm auslösen, da hier keine Regelung wie im Körper stattfindet, sondern sich die Strahlungsdosis vieler Bananen aufsummiert.

Angesichts der durch das Kalium in der Nahrung im Körper aufgenommenen Radioaktivität fragt man sich jetzt natürlich, wie das sein kann, dass diese kaliumbedingte Radioaktivität im Körper nun ungefährlich ist, wo die Radioaktivität doch nachweislich zellschädigend ist und zur Entstehung von Krebs führen kann. Die Antwort lautet, dass diese Radioaktivität deswegen ungefährlich ist, weil das Immunsystem des gesunden Körpers im statistischen Sinne darauf eingestellt ist. Das radioaktive Kalium emittiert eine energiereiche Betastrahlung und eine energiereiche Gammastrahlung, die definitiv Strahlenschäden an den Zellen bewirken. Dabei entstehen infolge der Ionisierung der Moleküle sowohl Zellgifte im Zellplasma durch die Radikalbildung als auch Schäden an der Struktur der DNS (Strangbrüche und Basendefekte). Das Immunsystem ist aber beim gesunden Organismus in der

Lage diese Schäden wieder zu beheben, oder falls eine Reparatur nicht gelingt, gezielt einen Zelltod herbeizuführen, so dass die defekte Zelle ausgesondert wird (Apoptose). Dabei halten sich die Defekterzeugungsrate durch die radioaktive Strahlung und die Reparaturrate des Immunsystems die Waage. Allerdings ist die Reparaturleistung des Immunsystems nicht beliebig groß. Außerdem kann die Reparaturleistung des Immunsystems auch durch eine entsprechende Lebensweise oder durch Tabak- und Alkoholkonsum deutlich beeinträchtigt werden. Daher kann eine große Strahlungsdosis die Defektrate derart erhöhen, oder es kann die Schwächung des Immunsystems dazu führen, dass das Immunsystem mit seinen Reparaturmechanismen und seiner Reparaturrate nicht mehr nachkommt. Dann vermehren sich unter Umständen auch defekte Zellen und es kann dann auch zur Entartung von nachgebildeten Zellen und damit zur Inzidenz einer Krebserkrankung kommen. Bei einer natürlichen Ernährung und einem gesunden Immunsystem werden die Strahlungsschäden durch die natürliche Strahlung laufend repariert, so dass die Fehlerrate gering genug wird, und das übliche Lebensalter im statistischen Sinne auch erreicht werden kann. Es gibt auch gewisse Hinweise darauf, dass sich die Reparaturleistung des Immunsystems hinsichtlich der Strahlenschäden durch ionisierende Leistung in gewisser Weise trainieren lässt, ähnlich wie man sich auf die höhere UV-Bestrahlung im Sommer durch langsam zunehmende Expositionen vorbereiten kann. So hat man bei Labormäusen festgestellt, dass diese eine ansonsten letale Dosis gut überstehen, wenn man sie zuvor mit kurzen Dosen in gewissem Abstand („fraktal“) bestrahlt hat.

Da man annimmt, dass nach der Erdentstehung noch deutlich mehr Elemente radioaktiv waren, die heute auf Grund ihrer Halbwertszeit längst zerfallen sind, kann man daraus auch folgern, dass die Evolutionsgeschichte des Lebens auf der Erde die Bedrohung durch die natürliche radioaktive Strahlung gut überstanden hat, und dass Mutationen durch nicht reparierte Zelldefekte unter Umständen sogar zu einem gewissen Grad für die heutige Artenvielfalt verantwortlich sind.