

(Aus dem Institut für Physikochemische Medizin Kiel.)

**Gibt es eine Anreicherung des radioaktiven Kaliumisotops  
im Organismus?**

Von

**Joachim Pohlmann\*.**

Mit 2 Textabbildungen.

*(Eingegangen am 31. März 1938.)*

ISBN 978-3-662-31374-9

ISBN 978-3-662-31579-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-31579-8

(Aus dem Institut für Physikochemische Medizin Kiel.)

## Gibt es eine Anreicherung des radioaktiven Kaliumisotops im Organismus?

Von

Joachim Pohlmann\*.

Mit 2 Textabbildungen.

(Eingegangen am 31. März 1938.)

Seit den systematischen Untersuchungen von *Campbell* und *Wood* in den Jahren 1906—1908<sup>1</sup>, die das Kalium (K) als einen radioaktiven Stoff, und zwar als einen  $\beta$ -Strahler von allerdings recht geringer Intensität kennen lehrten, sind an diese Eigenschaft des K teilweise sehr weitgehende Spekulationen geknüpft worden (*Zwaardemaker*, *Stoklasa*<sup>2</sup>, *Loew*<sup>3</sup>). Obwohl die meisten der von diesen Autoren geäußerten Vermutungen nicht genügend begründet erscheinen, erfordert doch die überragende Stellung, die das K als das Hauptkation des Zellinnern innehat, eine präzise Stellungnahme zu der Frage, ob seine Radioaktivität überhaupt eine Rolle beim Ablauf der physikochemischen Zellvorgänge spielt.

Bevor man über die Strahlungseffekte irgendeine Aussage machen kann, ist es notwendig, über die Intensität der in den Zellen vorhandenen Strahlung orientiert zu sein. Sie hängt außer von der Konzentration des K von dem Mengenverhältnis der vorhandenen K-Isotope ab ( $K_{39}$ ,  $K_{40}$ ,  $K_{41}$ ). Die  $\beta$ -Radioaktivität ist nun eine Eigenschaft nur eines K-Isotops ( $K_{40}$ ), das in sehr geringer Menge das gewöhnliche, vollkommen inaktive  $K_{39} + K_{41}$  begleitet. Das Mischungsverhältnis dieser Komponenten wird in den Mineralien stets von gleicher Größe gefunden. Andererseits ist es von den Organismen bekannt und für sie charakteristisch, daß sie über ein außerordentlich feines chemisches Selektionsvermögen verfügen. Solche Trennungen chemisch nahe verwandter Stoffe können z. B. durch die Spezifität der Fermente, durch verschieden starke Adsorption oder durch Unterschiede in der Permeabilität und im auswählenden Lösungsvermögen ermöglicht werden. Eine Selektion durch verschiedenes Permeationsvermögen der Isotope ist gerade für das K zu diskutieren, weil es leicht in die Körperzellen eindringt, die Membran der Zellen aber andererseits Ionen mit etwas größerem Hydratationsvolumen als beim K kaum noch hindurchläßt. Ein merklicher Abschirmeffekt gegenüber verschiedenen Ionen von der ungefähren Größe des K erscheint danach immerhin möglich, wenn er auch nach unserer heutigen Kenntnis über die Zusammensetzung der K-Familie nur sehr gering sein kann.

\* Kurze Mitteilung: *Netter* u. *Pohlmann*: *Naturwiss.* **26**, 138 (1938).

Wenn sich also eine derartige Selektion bei der Aufnahme des Isotopengemisches K in die Zelle äußern würde, dann würde entweder eine Vermehrung oder Verminderung der Radioaktivität des Zellinnern gegenüber dem Wert resultieren, der nach dem K-Gehalt zu erwarten ist.

Das Vorhandensein einer Isotopentrennung in den Organismen ist nun mehrfach behauptet worden. So hat *Vernadsky* schon 1926 darauf hingewiesen, daß es eine „allgemeine Eigenschaft“ der Lebewesen sei, Isotope zu trennen<sup>4</sup>. Über das Vorhandensein einer Anreicherung des radioaktiven K bei den Pflanzen widersprechen sich die Angaben verschiedener Untersucher<sup>4a</sup>. Eine kritische Beurteilung aber der in den Arbeiten benutzten Methodik, die die Anreicherung bejahen, ergibt, daß der Effekt bisher nicht bewiesen ist, denn die Atomgewichtsbestimmung (des aus den Zellen isolierten K) ist nicht annähernd so genau durchzuführen, daß sie eine Aussage über Zunahme und Abnahme des in sehr geringen Beimengen enthaltenen radioaktiven Isotopes gestattet; die gefundenen Erhöhungen beruhen wohl in der Hauptsache auf Verunreinigungen der K-Salze mit Rb<sup>5</sup>.

Einer anderen Methode bediente sich *Ernst*<sup>6</sup>, der 1934 mitteilte, daß das aus verschiedenen Organen von Mensch und Tier isolierte K viel stärker radioaktiv sei als gewöhnliche K-Salze, und somit eine Anreicherung des radioaktiven Isotops im Organismus stattfände. *Ernst* stellte nämlich fest, daß das aus Geweben isolierte K die photographische Platte stärker schwärzt als das Vergleichspräparat. Obwohl in der Zwischenzeit keine näheren Angaben über Methodik und Ergebnisse von *Ernst* erfolgt sind, läßt sich schon nach der kurzen Mitteilung sagen, daß die photographische Methode zur Messung der K-Radioaktivität allein schon wegen der notwendigen langen Belichtungsdauer ungeeignet erscheint. *Heller* und *Wagner*<sup>7</sup> sahen z. B. erst nach 10 Wochen Belichtungsdauer mit den K-Salzen eine Schwärzung ihrer Platten. Nach dem, was wir über die Größe der K-Strahlung und über ihre Absorption in dickeren Schichten festgestellt haben, kann auch nach dieser Zeit die Schwärzung nur sehr schwach gewesen sein und keineswegs zur Feststellung von Unterschieden in der notwendigen Größenordnung von wenigen Prozenten ausreichen.

Weil also durch keinen der angeführten oder bisher publizierten Versuche die Frage der Anreicherung des radioaktiven K-Isotops entschieden wurde, haben wir sie erneut geprüft. Das Resultat ist, daß sich mit exakter Methode keine Anreicherung nachweisen läßt, die die Fehlergrenzen der nicht ganz einfachen Methode deutlich übersteigt.

#### *Methodik.*

Nach der Isolierung des K aus den Geweben und Prüfung der erhaltenen Präparate auf Reinheit (I) wurden sie im Spitzenzähler auf ihre Ionisationsaktivität geprüft (II) und das Resultat statistisch ausgewertet (III).

### I. Die Isolierung des K und Prüfung auf Reinheit.

Anfangs fällten wir wie *Ernst* (l. c.) das K als Hexanitrokobaltiat. Das Ausgangsmaterial wurde mit verdünntem Acetatpuffer von  $p_{\text{H}}$  4,7 gekocht, der wäßrige Extrakt mit kolloidalem  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  unter Zusatz von wenig 10%  $\text{MgSO}_4$ -Lösung entweißt und die dann noch vorhandenen organischen Bestandteile nach Alkalisierung mit Baryt im elektrischen Schalenofen verascht. Die Asche wurde mit wenig  $\text{H}_2\text{O}$  aufgenommen und filtriert. Dem Filtrat wird das doppelte Volumen des K-Reagenzes nach *Kramer* und *Tisdall* zugefügt. Die Kontrolle aus käuflichem  $\text{KNO}_3$  wird ebenfalls mit dem Reagens gefällt und in gleicher Weise wie das Präparat weiterbehandelt. Der Niederschlag wird 10mal auf der Zentrifuge gewaschen; er wird dann gesammelt und im Kjeldahlkolben mit wenig  $\text{HNO}_3$  bis zur Zerstörung des Kobaltiates gekocht. Das nun vorliegende  $\text{KNO}_3$  wurde von dem  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  durch erschöpfendes Auswaschen mit absol. Alkohol bis zur Farblosigkeit befreit. Die Präparate ließen sich auf diese Weise völlig frei von  $\text{NH}_4$  und Nitrit gewinnen (Prüfung mit *Neßler* und dem sehr empfindlichen Nitritreagens von *Iloswa*<sup>8)</sup>). Eine 1% Lösung der Präparate ergab auch keine Fällung von Natrium als Uranylzinkacetat. Trotzdem ist aber, wie wir uns durch Kontrollfällungen mit 2%  $\text{KNO}_3$ -Lösungen mit verschiedenen Na-Zusätzen überzeugt haben, ein Na-Gehalt in der Größenordnung bis zu 1,5% des K-Gehaltes bei diesen Präparaten nicht auszuschließen. Der K-Niederschlag ist zunächst stets Na-haltig<sup>12</sup> und nur durch das intensive Waschen mit Wasser wird ein Teil des Na aus dem Mischkristall des Na-K-Hexanitrokobaltiates entsprechend der leichteren Löslichkeit des Na-Anteils heraus gewaschen. Es bleibt aber wohl stets eine kleine, nicht leicht zu kontrollierende Verunreinigung an Na; deswegen wurde bei den späteren Versuchen das K als *Perchlorat* gefällt. Diese Fällung schließt bei richtiger Durchführung die Verunreinigung mit Na aus.

Das Filtrat der wie vorher gewonnenen Aschenlösung wird mit  $\text{HCl}$  angesäuert und unter Erwärmen mit der nötigen Menge  $\text{BaCl}_2$  (20%) versetzt. Nach Alkalisieren mit Barytwasser fallen die Phosphate. Das überschüssige Baryt im Filtrat der  $\text{SO}_4$  und  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Niederschläge wird durch  $\text{CO}_2$ -Gas entfernt. Nach Eindampfen dieses Filtrates werden je 4 g des Rückstandes in 20 ccm heißen Wassers gelöst und mit 30 ccm etwa 20% Überchlorsäure versetzt. Durch weitere Behandlung mit Perchlorsäure (nach *Treadwell*<sup>8)</sup>) und durch sehr gutes Auswaschen mit Alkohol wird das K-Perchlorat erhalten. Zum Schlusse wird der Waschalkohol auf einem Glassintertiegel (Schott & Gen. IG 4) abgenutzt und bei 130° getrocknet. Das Perchlorat wird nun im elektrischen Ofen bei 600° einige Stunden erhitzt, und es zersetzt sich dabei nach der Gleichung  $\text{KClO}_4 \rightarrow \text{KCl} + 2\text{O}_2$ <sup>9)</sup>. Die Beendigung dieser Reaktion ist durch Wägung leicht festzustellen, denn das KCl wiegt 1,86mal weniger als das Perchlorat. Gleichzeitig wurde als Gewichtskontrolle etwa die gleiche Menge KCl (z. A. mit Garantieschein) in den Ofen gesetzt. Beide, das Organpräparat und das als Kontrolle dienende gewöhnliche KCl wurden dann nach *Volhard* auf ihren Cl-Gehalt geprüft und dienten zu den weiteren Prüfungen auf Radioaktivität. Bei den Cl-Analysen wurden übereinstimmende Werte gefunden, die mit einem Fehler von maximal 0,3% mit den nach der Einwaage zu erwartenden übereinstimmten. Eine störende Verunreinigung der Präparate mit anderen Salzen ist also auszuschließen.

### II. Prüfung der Präparate auf Radioaktivität.

Wegen der großen Absorption der  $\beta$ -Strahlung im K-Salzkrystall ist bei der schwachen Radioaktivität des K ein Auszählverfahren der einzelnen Kernzerfallsprozesse die Methode der Wahl. Aus unten näher zu erörternden Gründen scheidet unter diesen das Zählrohr aus. In Frage

kommt danach zur Prüfung der Ionisationsaktivität nur der *Geigersche Spitzenzähler*.

Die Spitze wird durch ein Aggregat von Anodenbatterien positiv aufgeladen; der negative Pol der Batterien ist direkt geerdet, das Gehäuse des Zählers über einen Hochohmwiderstand (Bleistiftstrich), von dessen Größe das prompte Abreißen des durch die Ionisation erzeugten kurzen Stromstoßes hauptsächlich abhängt. Zwischen dem Widerstand und dem Gehäuse, das die Spitze umschließt, wird über einen Kondensator zum Eingangsgitter des dreistufigen Verstärkers abgegriffen, die Kathode der ersten Röhre ist ebenfalls geerdet. Die mit Bernsteinisolierung an der Hinterfläche des zylindrischen Zählers eingeführte Spitze sitzt auf einem Pt-Draht von 0,08 mm Dicke, dessen oberes Ende (die „Spitze“) im O<sub>2</sub>-Gebläse zu einem Kügelchen von etwa 0,2 mm Durchmesser abgeschmolzen wird; die geometrische Regelmäßigkeit des Kügelchens wird mikroskopisch kontrolliert. Unregelmäßiges Arbeiten des Zählers, das häufig durch Überlastung mit zu hoher Spannung hervorgerufen wird, kann durch Ausglühen der Spitze behoben werden; jedoch ist es manchmal auch nötig, ein neues Kügelchen zu schmelzen. Die Breite des aus Messing gefertigten Gehäuses ist 4, seine Länge 6 cm. Die Frontplatte hat einen Durchmesser von 3 mm; in ihr befindet sich die mit dünner Al-Folie bedeckte Eintrittsöffnung für die ionisierende Strahlung. Sie hat einen Durchmesser von 1,4 mm.

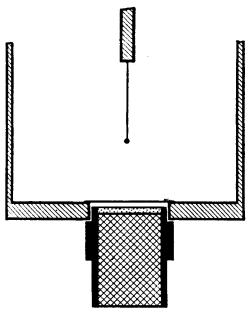


Abb. 1.  
Vorderteil des Spitzenzählers mit Kügelchen, Al-Folie, Zaponlackmembran, K-Salz-Schicht, Messingpatrone.

Der Anodenstrom der letzten Röhre treibt ein Relais (Telegraphenrelais), welches durch jedesmalige Unterbrechung einer Hilfsbatterie ein automatisches Zählwerk betätigt. Letzteres ist nach einem Modell des hiesigen Physikalischen Institutes gebaut. Relais und Zählwerk arbeiten so prompt, daß pro sek. bei guter Einstellung noch 10 Einzelprozesse registriert werden können. Die Arbeitsspannung des Zählers betrug 2000—2500 V. Sie muß empirisch ermittelt werden und ist außer von der Güte der Spitze von der Entfernung zwischen Kügelchen und Eintrittsöffnung abhängig. Diese Entfernung betrug gegen 1,3 cm<sup>10</sup>. Die Spanne von dem Auftreten der Stossionisation, die durch die eingestrahelten ionisierenden Teilchen ausgelöst wird, bis zum Beginn des Prasselns, d. h. der Dauerentladung, soll bei guter Einstellung an 100 V betragen. Herangehen an die obere Grenze macht die Spitze leicht unbrauchbar. Im allgemeinen wurde etwa mit 20 V oberhalb der Einsatzspannung gearbeitet.

Von den in der oben beschriebenen Weise gewonnenen K-Präparaten und den entsprechenden Kontrollen wurden bestimmte Mengen, meistens 120 mg, in Messingpatronen eingewogen, die mit ihrem oberen Teil genau in die Öffnung des Zählers eingepaßt sind. Sie werden bis zu genau definierter Tiefe, d. h. bis zum Anschlag an den breiteren Rand (s. Abb. 1), in die Öffnung des Zählers hineingeschoben und so durch eine leichte Federung festgehalten. Der Inhalt der Patronen wird mit einem Stempel zu einer Pastille zusammengepreßt, um eine gleichmäßige Schichtdicke und glatte Oberfläche zu erzielen. Als Schutz gegen Substanzverlust und zur Kontrolle wurde die Oberfläche der Patronen mit einer sehr dünnen auf Wasser gegossenen und dann auf einem Drahtbügel an der Luft getrockneten Membran aus Zaponlack überzogen.

### III. Auswertung der Zählungen.

Da atomare Einzelprozesse registriert werden, müssen beim Vergleich von Aktivitäten die Gesetze der Statistik herangezogen werden. Bei der großen Streuung,

die die einzelnen Zählergebnisse für eine kurze Zeit, etwa für die von uns ausschließlich benutzten 30 Min., aufweisen, muß für die Angabe von Durchschnittswerten für eine solche Zeit der mittlere Fehler möglichst klein sein. Das ist nur durch Registrierung einer möglichst hohen Zahl von Einzelprozessen zu erreichen. Diese Zahl muß um so höher und so der mittlere Fehler um so kleiner gehalten werden, je geringere Unterschiede erfaßt werden sollen. Da Abweichungen von wenigen Prozenten festzustellen sind, ergab sich die Notwendigkeit, Gesamtzahlen von 10000—20000 auszuzählen. Dazu werden etwa 80—100 halbe Stunden pro Präparat benötigt. Um die Schwankungen der nicht einfach auszuschaltenden Höhenstrahlung und Schwankungen, die durch die jeweilige Einstellung der Hochspannungsbatterie bedingt sein können, auszuschließen, wurde in ganz genau eingehaltenem  $\frac{1}{2}$ stündigem Turnus das Präparat und das Kontrollpräparat ausgezählt, bis für beide etwa je 80 Zählperioden vorlagen; für einen einzigen Vergleich sind danach über 2 Wochen Zählzeit erforderlich. Um die Größe der eigentlichen K-Strahlung zu ermitteln, muß vom  $\frac{1}{2}$ stündigen Mittelwert der Mittelwert der Höhenstrahlung abgezogen werden. Die Höhenstrahlung wurde in 30 Min.-Leerperioden täglich mehrmals mitbestimmt. An unserer Apparatur betrug sie durchschnittlich 20—22 pro  $\frac{1}{2}$  Stunde, während die Werte für K zwischen 140—180 lagen.

Es gelingt bei den Dimensionen unseres Zählers nicht, dieses Verhältnis zugunsten der K-Strahlung zu verbessern. Man kann nämlich durch Vermehrung der K-Menge seine registrierbare Strahlung nur etwa bis zu einem Wert von 240 steigern, weil 1. die gegen die Patronenwand fallenden Strahlen bei dickeren KCl-Schichten im Verhältnis zu den direkt austretenden relativ größer werden, also ein Strahlungsverlust eintritt, und vor allem weil 2. die aus tieferen Schichten kommenden Strahlen im Kristall selbst absorbiert werden. Bringt man z. B. eine 1,8 mm und eine 9,5 mm dicke Schicht von KCl, die nach allen Seiten die Zähleröffnung weit überragt, vor den Zähler, so sind die gezählten Werte von der gleichen Größenordnung um 250 Teilchen pro 30 Min. Daraus ergibt sich, daß die gefundenen Ausschläge nur dann die vorhandenen Unterschiede richtig wiedergeben, wenn man unter einer kritischen Schichtdicke arbeitet\*.

Wir haben aus diesem Grunde besonderen Wert darauf gelegt, die geometrischen Verhältnisse der Pastille für Präparat und Kontrolle exakt gleich zu halten. Um zu zeigen, wie weit eine Proportionalität zwischen Strahlung und K-Menge in unserer Anordnung vorhanden ist, wurde ein Kontrollversuch mit 90 und 120 mg KCl durchgeführt; letzteres ist die KCl-Menge, die bei den entscheidenden Versuchen verwendet wurde. Um den 90 mg die gleiche räumliche Verteilung zu geben wie dem 120 mg-Präparat, wurde mit NaCl, dem spezifischen Gewicht entsprechend, auf das Volumen der 120 mg aufgefüllt; dazu sind 32,7 mg NaCl nötig. Die vollständige Durchmischung beider Präparate wurde mit größeren Salzmengen durchgeführt. Gleichzeitig wurden 90 mg KCl ohne Zusatz ausgezählt. Es wurden von jedem Präparat 60 halbe Stunden und außerdem 10 Leerperioden registriert. Letztere ergaben im Durchschnitt

\* Wegen der um mehrere Zehnerpotenzen höheren Höhenstrahlzahl, die mit einem Zählrohr gezählt wird, wäre es notwendig, das K-Präparat in einer mindestens im gleichen Verhältnis größeren Fläche, aber unter der kritischen Schichtdicke um ein Zählrohr in vollkommen gleichmäßiger Schicht anzubringen, wenn man dieses Instrument zur Auswertung der K-Strahlung benutzen wollte. Die dadurch gegebenen Schwierigkeiten scheinen uns technisch nur schwer überwindbar zu sein.

	Rinder- muskulatur 28. Okt. bis 23. Nov. 1935	Rinder- muskulatur 13. Mai bis 18. Juni 1936	Rinder- muskulatur 1. bis 22. Okt. 1937	Fuchs- muskulatur 5. Nov. bis 2. Dez. 1937 Fleisch- fresser !	Leber Aug./Sept. 1937
Zählung in Halbstun- den . . . . .	103	133	83	100	90
Höhenstrahlung, Mit- telwert . . . . .	20,8	23,7	21,35	20,3	19,5
a) Präparat (p), Ge- samtzahl . . . . .	11488	17716	12804	16898	11478
b) Kontrolle (k), Ge- samtzahl . . . . .	11024	17056	12280	16190	11003
p - k . . . . .	464	660	524	708	475
3. $\sqrt{p + k}$ . . . . .	450	559	474	545	450
Präparat-Mittel . . .	111,53	133,1	154,26	168,98	127,53
Kontroll-Mittel . . .	107,02	128,2	147,95	161,90	122,32
Differenz-Effekt . . .	4,51	4,9	6,31	7,08	5,21
$M_p$ . . . . .	$\pm 1,65$	$\pm 1,34$	$\pm 2,02$	$\pm 0,73$	$\pm 1,27$
$M_k$ . . . . .	$\pm 1,36$	$\pm 1,30$	$\pm 1,73$	$\pm 0,89$	$\pm 1,072$
$M_x = \sqrt{M_p^2 + M_k^2}$ . . .	$\pm 2,13$	$\pm 1,87$	$\pm 2,65$	$\pm 1,34$	$\pm 1,66$
Chemisch . . . . .	KNO <sub>3</sub> (100 mg)	KNO <sub>3</sub> (121,3 mg)	KCl (120 mg)	KCl (120 mg)	KNO <sub>3</sub> (120 mg)
Anreicherung in % .	5,23	4,8	4,85	4,98	4,8

21,00 Teilchen. Für die dünnere Schicht mit 90 mg ergab sich nach Abzug der Leerzahl als Mittelwert

für die K-Strahlung pro 30 Min. . . . . 130,4  $\pm$  1,0,  
für 90 mg KCl + 32,7 NaCl . . . . . 112,4  $\pm$  1,3,  
für 120 mg KCl . . . . . 148,8  $\pm$  1,6.

Die Differenz der beiden letzten Werte ergibt: 36,4  $\pm$  1,6. Unter der Annahme, daß 112,4 der richtige Wert für 90 mg KCl im Volumen von 120 mg KCl darstelle, wäre eine Differenz zum Wert für 120 mg von 37,4 zu erwarten. Das Ergebnis der Auszählung ist also befriedigend; es zeigt, daß bei den 120-mg-Patronen Unterschiede im Zählergebnis der Radioaktivität noch genügend proportional sind. Das Resultat der ersten Zählung (90 mg alleine) zeigt den bedeutenden Einfluß der oben besprochenen geometrischen Faktoren.

Zur Angabe des mittleren Fehlers der Mittelwerte und der Differenz ist folgendes zu bemerken. In üblicher Weise wird aus der Summe der Quadrate der Abweichungen ( $\epsilon$ ) vom Mittelwert der mittlere Fehler berechnet ( $\mu$ )\*. Division dieser Größe durch die Wurzel aus der Zahl der Zählperioden (n) ergibt den mittleren Fehler des Mittels. Dieser wird den Resultaten angefügt. Der mittlere Fehler der Differenz der Mittelwerte errechnet sich folgendermaßen: Ist  $M_p$  bzw.  $M_k$  der mittlere Fehler des Mittels für das Präparat bzw. das Kontrollpräparat, so ist der mittlere Fehler der Differenz, d. h. des gesuchten Effektes =  $\pm \sqrt{M_p^2 + M_k^2}$ . Ein Effekt ist nun nach den Gepflogenheiten der Wahrscheinlichkeitsrechnung als

$$* \mu = \pm \sqrt{\frac{\sum \epsilon^2}{n-1}}$$



Leber 1.—12. Nov. 1937	Pankreas 28. Dez. 1937 bis 5. Jan. 1938	Schweine- blut 20. Jan. 1936	Schweine- blut Aug./Okt. 1937	Rinderherz Aug. 1937	Rinderherz Dez. 1937	Zuckerrübe Dez. 1937
80	39	65	69	83	51	50
20,23	21,2	26,18	22,11	14,2	18,87	20,5
13393	6508	7904	10865	7480	8642	8213
12834	6408	7810	10855	7483	8636	8207
559	100	94	10	3	6	6
486	341	376	435	366	392	384
167,41	166,9	121,6	157,46	90,1	169,45	164,26
160,43	164,3	120,5	157,31	90,1	169,33	164,14
6,99	2,6	1,1	0,15	0	0,12	0,12
± 1,28	—					
± 1,31						
± 1,83						
KCl (120 mg) 4,99	KCl (120 mg) 1,82	KNO <sub>3</sub> (120 mg) etwa 1	KCl (120 mg) 0	KNO <sub>3</sub> (100 mg) 0	KCl (120 mg) 0	KCl (120 mg) 0

reell zu betrachten, wenn er deutlich größer ist als sein 3facher mittlerer Fehler. Die Bewertung unserer Ergebnisse wird nach dieser Regel vorgenommen.

Angenähert läßt sich ein Effekt auch als reell bezeichnen, wenn der um seine 1,4fache Wurzel verminderte größere Gesamtzahlwert deutlich größer ist als der um seine 1,4fache Wurzel vermehrte kleinere Gesamtzahlwert. Brauchbar ist auch die *Bothesche* Sicherheitsbedingung, nach der die Differenz der Gesamtwerte mehr als 3mal größer sein muß als die Wurzel aus ihrer Summe.

### Resultate.

Die Resultate meiner Zählungen sind aus der beigegebenen Übersichtstabelle zu entnehmen (Tabelle\*).

Mit absoluter Sicherheit läßt sich danach feststellen,

1. daß Abweichungen im Sinne einer Abnahme der Aktivität des K aus den untersuchten Organen und an dem einen Beispiel aus dem Pflanzenreich nicht vorkommen;

2. daß Anreicherungen, die 5% übersteigen, ebenfalls nicht zu beobachten sind.

Bemerkenswert ist nun, daß einige Organe, wie Muskel und Leber, anscheinend eine Vermehrung der Aktivität zeigen, die zufälligerweise für fast alle positiven Befunde annähernd 5% beträgt. Trotzdem kann hieraus nicht auf eine effektive Anreicherung von dieser Größenordnung geschlossen werden, denn die Differenz ist in diesen Fällen kleiner oder kaum größer als das Dreifache ihres mittleren Fehlers. Danach können

\* Einzelheiten und Präparate werden bei Prof. *Netter* aufbewahrt.

die vorgelegten Zahlen die Existenz einer biologischen Isotopentrennung nicht erweisen, sie schließen es aber nicht aus, daß in Leber und Muskel eine Vermehrung der Aktivität des K um höchstens 5% vorkommen kann.

Eine biologische Isotopentrennung ist also in der K-Gruppe nicht mit Sicherheit nachweisbar. Sie würde nun tatsächlich auch ein sehr hohes Selektionsvermögen erfordern. Da das K zweifellos im Zellinnern in ionisierter Form, also weder in chemischer noch in adsorptiver Bindung vorliegt, könnte es sich beim Auftreten eines Trennungseffektes nur um ein Abfangen bei der Permeation handeln. Obwohl nun Unterschiede im

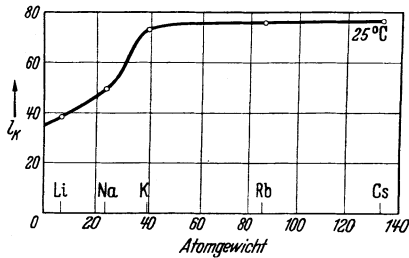


Abb. 2. Gang der Ionenbeweglichkeit mit dem Atomgewicht.

beweglichkeiten der Alkalkationen ihren Atomgewichten zugeordnet\*. Es ergibt sich, daß eine Erhöhung des A.G. um eine Einheit beim K nur einen sehr geringen Einfluß auf seine Beweglichkeit im Sinne einer Steigerung haben kann. In der Tat permeieren ja auch offenbar beide Isotope fast gleich gut, so daß das normale Verhältnis  $K_{39} : K_{40} = 1 : 8600$  (Nier<sup>11</sup>) innerhalb sehr enger Grenzen gewahrt bleibt.

Wenn beim Muskel möglicherweise eine etwas bessere Diffusibilität des  $K_{40}$  auf Grund obiger Befunde diskutiert werden würde, dann würde das zwar dazu passen, daß hier bei etwas größerem Ionenvolumen, als es die K-Familie hat, Ionenimpermeabilität besteht. Weiter würde passen, daß bei den kationenimpermeablen Erythrocyten (Blut-K-Zählung) auch kein Anreicherungseffekt besteht. Auffällig wäre dann aber der negative Befund beim Herzmuskel und noch auffälliger der positive bei der im allgemeinen als gut durchgängig bekannten Leber. Auch diese Inkongruenz mit dem, was vom allgemeinen Permeabilitätsstandpunkt aus zu erwarten ist, spricht dafür, den gefundenen Schwankungen keine reelle, bestimmt jedoch keine biologische Bedeutung beizumessen.

Wichtiger aber scheint der Befund, daß für beide Isotope eben praktisch gleiche Permeabilität besteht und offenbar auch kein sonstiges Selektionsvermögen. Denn es ergibt sich daraus unter anderem eine Methode, um die Größe und besonders die Geschwindigkeit des fortwährend stattfindenden K-Wechsels zwischen Blut und Gewebe zu

\* Nach Landolt-Börnstein: Erg.-Bd. IIIc, 2059.

messen, über die bis jetzt gar keine Vorstellungen bestehen. Voraussetzung dazu ist die Verwendung mehr oder weniger konzentrierter radioaktiver  $\beta$ -strahlender K-Isotope, bei denen die Geschwindigkeit ihrer Aufnahme in das Gewebe durch Radioaktivitätsmessungen leicht zu verfolgen ist. Sie wird dann nach dem hier vorgelegten Ergebnis auch der Geschwindigkeit des normalen physiologischen K-Austausches entsprechen. Derartige Versuche sind in Aussicht genommen.

#### Zusammenfassung.

Es wird die häufig bejahte Frage geprüft, ob das radioaktive Kaliumisotop  $K_{40}$  in den Organen angereichert wird, d. h. im Lebensvorgang eine relative Trennung vom  $K_{39}$  bewirkt werden kann.

Das K wurde aus der Asche als Perchlorat isoliert und bei  $600^{\circ}$  in KCl verwandelt. Dieses wird in geeignete Pastillenform gebracht und im Geigerschen Spitzenzähler auf Radioaktivität geprüft. Bei keinem Präparat ist eine Mehrstrahlung festzustellen, die deutlich die Fehlergrenze der Methodik überschreitet. Mit Sicherheit strahlt das Organ-K nicht um 5% stärker als die Kontrolle. Anzeichen für eine Abnahme der Strahlung sind nicht vorhanden. Ein Selektionsvermögen gegenüber den K-Isotopen besteht daher nicht. Aus der gleichen Aufnahmegeschwindigkeit verschiedener Kaliumisotopen ergibt sich prinzipiell die Möglichkeit, mit Hilfe radioaktiver Isotopen die Aufnahme- und Austauschgeschwindigkeit des Kaliums zwischen Blut und Gewebe zu verfolgen.

#### Literatur.

- <sup>1</sup> *Campbell, N. R. and A. Wood*: Proc. Cambridge philos. Soc. **14** (1906/08). — *Biltz, W. u. E. Marcus*: Z. anorg. u. allg. Chem. **81**, 369 (1913). — <sup>2</sup> *Zwaardemaker*: Erg. Physiol. **19**, 326 (1921); **25**, 536 (1926). — *Stoklasa-Penkava*: Biologie des Radiums und der radioaktiven Elemente, S. 400f., S. 700f. Berlin 1932. — <sup>3</sup> *Loew, Oskar*: Biochem. Z. **289**, 177 (1937). — <sup>4</sup> *Vernadsky*: C. r. Acad. Sci. Paris, Ser. A **50**, 215 (1926); **192**, 141 (1931). — Chem. News **142**, 35 (1931). — <sup>4a</sup> *Loring and Druce*: Chem. News **141**, 34 (1930). — *Druce, I. G. F.*: Chem. News **142**, 33 (1931). — <sup>5</sup> *Eckstein, Oskar*: Trans. 3<sup>rd</sup> internat. Congr. Soil Sci. Oxford **1**, 186 (1935). — *Lowry*: J. amer. chem. Soc. **52**, 4332 (1930). — <sup>6</sup> *Ernst, E.*: Naturwiss. **1934**, 479. — <sup>7</sup> *Heller u. Wagner*: Z. anorg. u. allg. Chem. **200**, 105 (1931); **206**, 152 (1932). — <sup>8</sup> *Traedwell*: Analytische Chemie. — <sup>9</sup> *Biltz*: Z. anorg. u. allg. Chem. **62**, 193 (1909). — <sup>10</sup> *Hild, Kurt*: Diss. Kiel 1930. — <sup>11</sup> *Nier, A. O.*: Physic. Rev. **48**, 283 (1935). — <sup>12</sup> *Strecker u. Jungck*: Z. analyt. u. allg. Chem. **63**, 174 (1923).