

len in der Strahlbreite kaum zum Ausdruck kommt. Das könnte erst der Fall sein, wenn Ionenstrahlen mit wesentlich kleinerer Geschwindigkeitsabweichung, als in diesen Beispielen angenommen ist, verwendet würden. Die gestrichelten Kurven in Abb. 8 und 9 zeigen die Koordinaten  $y_{B,\max}$  und  $y_{B,\min}$  der Strahlenränder am Ort der Photoplatte für den Fall  $\beta = 0$ . In diesem Fall kommt die Korrektur des Öffnungsfehlers voll zur Wirkung. Wie man sieht, ist der Anteil des Öffnungsfehlers an der Gesamtstrahl-

breite in diesem Beispiel gering.

Die Linienverbreiterung kann aus der Strahlverbreiterung nach Gl. (27) durch Multiplikation mit  $1/\cos \omega$  erhalten werden. ( $1/\cos \omega = \sqrt{2}$  in unserem Beispiel.)

Zum Schluß möchten wir Fräulein BRAUM und Fräulein WALTER für die Durchführung der Rechenbeispiele auf der Tischrechenmaschine danken. Herrn Dr. CH. F. ROBINSON danken wir für die Übersendung seiner Manuskripte vor der Publikation.

## Der Isotopieeffekt bei der elektrolytischen Wanderung von Lithium-Ionen in geschmolzenem Lithiumbromid und -jodid

Von ARNOLD LUNDÉN, STINA CHRISTOFFERSON und ALEX LODDING

Aus dem Physikalischen Institut der Chalmers Technischen Hochschule, Göteborg  
(Z. Naturforsch. 13 a, 1034—1038 [1958]; eingegangen am 15. August 1958)

Durch elektrolytische Überführung wurde  $^7\text{Li}$  an der Grenze zwischen geschmolzenem LiBr und  $\text{PbBr}_2$  bzw. LiJ und  $\text{PbJ}_2$  gegenüber  $^6\text{Li}$  angereichert. Der Masseneffekt war  $-0,148 \pm 0,014$  für LiBr und  $0,15 \pm 0,02$  für LiJ. Ein früher veröffentlichter Wert für den Masseneffekt bei LiBr wird damit berichtet.

Bei elektrolytischen Überführungsversuchen sollte der „Masseneffekt“ für isotope Kationen,

$$\mu = \frac{\Delta w}{w} / \frac{\Delta m}{m}$$

( $\Delta w/w$  = relative Differenz der Wanderungsgeschwindigkeiten,  $\Delta m/m$  = relative Massendifferenz) von der Art der beteiligten Anionen abhängen. Nach Untersuchungen an verschiedenen Halogenidschmelzen<sup>1</sup> wäre für die Lithiumhalogenide beim Übergang vom Chlorid zum Jodid eine *leichte Zunahme* des Masseneffektes zu erwarten. KLEMM und Mitarbeiter<sup>2, 3</sup> haben für Lithium in Lithiumchlorid  $\mu = -0,14$  gefunden. Es war daher überraschend, daß eine erste Untersuchung von Lithiumbromid durch LUNDÉN<sup>4</sup> einen fast doppelt so großen Wert ergeben hatte.

Die Ausdehnung der Versuche auf Lithiumjodid und deren Resultate, über die hier berichtet werden soll, legten jedoch eine Überprüfung des früheren Lithiumbromidversuches nahe. Dabei ergab eine spektralphotometrische Kontrolle der aufbewahrten Lithiumproben, daß in einigen Fällen Verunreinigungen durch Natrium-, Kalium- und Calciumsalze vorlagen, die in der früheren Auswertung nicht berücksichtigt worden waren. Die Fremdsalze kön-

nen wegen der Reinheit der verwendeten Ausgangschemikalien nur einer Reaktion von metallischem Lithium mit Supremaxglas im Kathodenraum entstammen (vgl. Anm.<sup>4</sup>).

Nachdem jetzt drei Versuche mit LiJ und sechs mit LiBr vollständig durchgeführt sind, werden wir hier nur die Versuche erwähnen, die für die Berechnung des Masseneffektes ausschlaggebend sind<sup>5</sup>.

### Messungen an Lithiumjodid

Die Kette Kathodenkohle/Pb/PbJ<sub>2</sub>/LiJ/PbJ<sub>2</sub>/Anodenkohle+J<sub>2</sub> wurde in dem in Abb. 1 dargestellten Gefäß elektrolysiert. Die vakuumgeschmolzenen Salze LiJ und PbJ<sub>2</sub> wurden im Versuchsgefäß unter Vakuum sehr langsam bis zum Schmelzen erhitzt. Beim Schmelzen tritt infolge Kochens und Zersetzung des Salzes eine ungewöhnlich starke Gasentwicklung auf. Beim Wiederherstellen des Atmosphärendruckes färbt sich das helle geschmolzene LiJ schnell durch Jodabscheidung dunkel. Die Farben der verschiedenen Teile von Trennrohr und Kathodenraum wechselten während der Elektrolyse. Im Trennrohr waren zuerst etwa die obersten sechs cm hell, d. h. dieser Teil enthielt LiJ, während das Salz unter der unscharfen Grenze dunkel war, offenbar PbJ<sub>2</sub>. Während der ersten Stunden wanderte die Farb-Grenze nach oben, so daß das ganze Trennrohr dunkel wurde. Es

<sup>1</sup> A. KLEMM, Z. Naturforsch. 6 a, 487 [1951].

<sup>2</sup> A. KLEMM, H. HINTERBERGER u. P. HOERNES, Z. Naturforsch. 2 a, 245 [1947].

<sup>3</sup> A. KLEMM u. E. U. MONSE, Z. Naturforsch. 12 a, 319 [1957].

<sup>4</sup> A. LUNDÉN, Z. Naturforsch. 11 a, 590 [1956].

<sup>5</sup> Die Daten sämtlicher Versuche werden in anderem Zusammenhang ausführlich veröffentlicht.



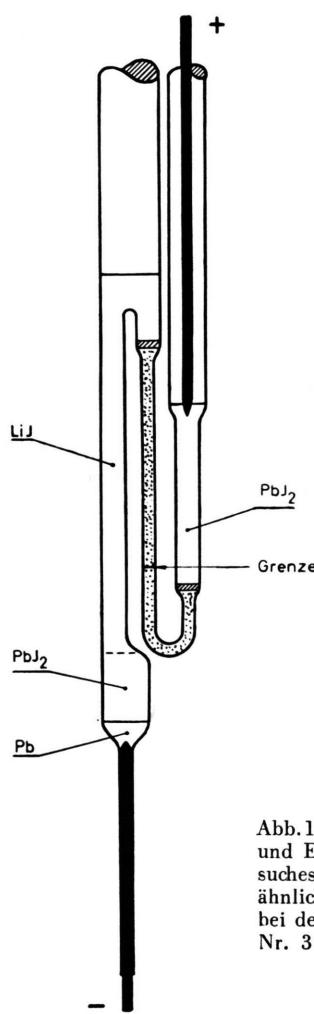


Abb. 1. Elektrolysiergefäß und Elektroden des Versuches mit Jodiden. Ein ähnliches Gefäß wurde bei den Bromidversuchen Nr. 3 und 4 verwendet.

schien aber, als ob auch etwa 12 cm unter der Filterplatte eine Grenze sichtbar würde. Der Widerstand der Schmelze zeigte keine Änderung, die auf eine Wanderung der Grenze hindeutete. Wir nehmen an, daß die Färbung im oberen Teil des Trennrohres von freiem Jod herrührte. Nach sieben Stunden begann das Salz im oberen Teil des Trennrohres heller zu werden, und es war nach einigen weiteren Stunden fast ganz hell. Mittlerweile war in etwa zwei Stunden das dunkle LiJ im oberen Teil des Kathodenraumes gelb geworden. Im Mittelteil des Kathodenraumes (einem langen Rohr zwischen dem mit  $PbJ_2$  gefüllten Sack und dem weiten Rohr) wurde das Salz durch teilweise Mischung von  $PbJ_2$  und LiJ orange. Außer dem Farbwechsel waren im Trennrohr andere Veränderungen zu beobachten. So waren schon nach weniger als drei Stunden „trockene“ Gebiete zu sehen, als ob dort die Schmelze das Glaspulver nicht benetzte. Diese Erscheinung, die für Versuche mit LiJ kennzeichnend war, hängt wahrscheinlich mit der thermischen Dissoziation des Salzes zusammen, bei welcher kleine Mengen von freiem Jod als Gasblasen im Trennrohr auftreten. Fast 14 Stunden nach dem Anfang der Elektrolyse begann eine Zone von etwa 2 cm Länge zu glühen (nur im Dunklen sichtbar), während gleichzeitig der Widerstand der Schmelze größer wurde. Hier wurde der Versuch abgebrochen. Die wichtigsten Versuchsdaten sind in Tab. I zusammengestellt. Wir machten noch zwei weitere Versuche, bei denen die Tendenz zur Bildung „trockener Flächen“ im Trennrohr noch ausgeprägter war, weshalb diese Versuche als weniger zuverlässig zu betrachten sind<sup>5</sup>.

Nach dem Erkalten wurde das Trennrohr in Proben zerlegt und das Salz herausgelöst<sup>4</sup>. Das Blei wurde als Sulfat gefällt<sup>6</sup> und das Filtrat in einer Anionenaustauschersäule in Chlorid überführt<sup>7</sup>. Durch Behandlung des Chlorides in Alkohollösung mit Äthyläther wurden Natrium- und Kaliumsalze entfernt<sup>8</sup>. Die erhaltene Lösung wurde auf einem Wasserbad eingedampft und durch wiederholtes Eindampfen mit Salpetersäure in Nitrat überführt. Das Nitrat wurde gewogen. Eine Analyse im Flammen-Spektralphotometer \* zeigte, daß ne-

Versuch	LiJ	LiBr		
		1	3	4
Dauer (Stunden)	14,0	7	8,1	53,1
Elektrolysestrom, Mittelwert (mA)	191	194	295	192
Transportierte Ladung (Ah)	2,67	1,36	2,38	10,17
Stromdichte ( $A/cm^2$ )	3,0	3,3	4,7	4,6
Temperatur (im Ofen) ( $^{\circ}C$ )	470	565	580	560
Temperatur im Trennrohr (geschätzt) ( $^{\circ}C$ )	500	580	615	590
Trennrohr, Innendurchmesser (mm)	4,3	4,0	4,3	3,5
Trennrohr, Länge (cm)	22	24	24	22
Füllpulver, Siebfaktion (DIN)	24—30	30—40	24—30	24—30
Freies Trennrohrvolumen (6%)	44	47	43	44

Tab. I. Versuchsdaten.

<sup>6</sup> I. M. KOLTHOFF u. E. B. SANDELL, Textbook of Quantitative Inorganic Analysis, S. 669, 3rd Ed., MacMillan, New York 1952.

<sup>7</sup> O. SAMUELSON, Ion Exchangers in Analytical Chemistry, Almqvist & Wiksell, Stockholm 1952.

<sup>8</sup> S. PALKIN, J. Amer. Chem. Soc. 38, 2326 [1916].

\* Wir benutzten ein Spektralphotometer, Typ Beckman DU, das dem Institut der technischen Chemie dieser Hochschule zugehört. Wir danken Herrn Tekn. Lic. N.-H. Schöön für seine Hilfe.

Probe Nr.	Länge mm	LiJ mg	PbJ <sub>2</sub> mg	(Na, K) J mg	CaJ <sub>2</sub> mg	<sup>7</sup> Li/ <sup>6</sup> Li
1	40	s	6410,9	22	—	—
2	45	s	1547,9	12	—	—
3	29	390,0	416,1	79	29	22,14
4	34	688,3	7,1	58	3	15,00
5	30	432,1	9,4	77	1	12,69
6	28	529,2	6,7	29	5	12,36
7	19	3609,5	16,3	55	10	12,35
8	—	98,6%	0,2%	1,0%	0,2%	—

Tab. 2. Analysenergebnisse des Versuches mit Jodiden. Probe 8 entspricht Salz aus dem oberen Teil des Kathodenraumes. Für die beiden ersten Proben bedeutet s, daß die kleine Menge von Nitrat (einige mg), die am Ende der chemischen Behandlung gesammelt wurde, in der Flamme keine Lithium-Reaktion gab.

ben Lithium noch beträchtliche Mengen von Natrium-Kalium und Calcium vorhanden waren. Diese Verunreinigungen sind an der Grenze angereichert. Die Ergebnisse der chemischen Analyse sind in Tab. 2 zusammengestellt, wobei die Gehalte an LiJ und CaJ<sub>2</sub> aus der Wägung des Nitrates berechnet sind. Bei der Berechnung der Mengen von NaJ und KJ haben wir angenommen, daß die Chloride, die bei der oben erwähnten Behandlung mit Alkohol-Äther entfernt wurden, aus gleichen Mengen der beiden Salze bestanden. Da das gewogene Nitrat hygroskopisch ist, haben wir dagegen bei den Bromid-Versuchen (siehe unten und Anm.<sup>5</sup>) der Berechnung immer eine Differenzwägung zugrunde gelegt. Bei Jodiden ist jedoch die Neigung zur thermischen Dissoziation während der Elektrolyse so groß, daß das Salz nachher wahrscheinlich beträchtliche Abweichungen von der chemischen Formel aufwies. Darum hielten wir eine Nitratwägung hier für zuverlässiger als eine Differenzwägung. Aus diesen Gründen sind die in Tab. 2 gegebenen Gehalte mit einer Unsicherheit von einigen Prozenten behaftet. Obwohl der Versuch nur 14 Stunden dauerte, war das Trennrohr und sein Glas-pulver von der Schmelze stark angegriffen, wobei das Pulver mehr oder weniger gelb gefärbt war, eine Färbung, die ausschließlich bei Jodidschmelzen aufgetreten ist.

Das nach dieser chemischen Analyse erhaltene Nitrat wurde einer Massenanalyse unterworfen (siehe unten).

### Messungen an Lithiumbromid

Außer dem früher erwähnten Versuch<sup>4</sup> sind drei weitere Versuche von Interesse für die Bestimmung des Masseneffektes. Bei diesen Versuchen wurden zwei verschiedene Ketten in Apparaturen aus Supremaxglas elektrolysiert:

Kathodenkohle + Br<sub>2</sub>/LiBr/PbBr<sub>2</sub>/Anodenkohle + Br<sub>2</sub>  
bei Versuch 1 \*\*,  
Kathodenkohle/Pb/PbBr<sub>2</sub>/LiBr/PbBr<sub>2</sub>/Anodenkohle + Br<sub>2</sub>  
bei Versuchen 3 und 4.

\*\* Die Bezeichnungen der verschiedenen Versuche stimmen mit Anm.<sup>5</sup> überein. Der früher beschriebene Versuch ist mit 2 bezeichnet.

Die wichtigsten Daten dieser drei Versuche sind in Tab. 1 zusammengestellt. Bei Versuch 1 hatten wir eine gewöhnliche Lichtbogenkohle als Kathode, sonst war die Versuchsanordnung derjenigen des früheren Versuches 2 ähnlich<sup>4</sup>. Das an der Kathode erhaltene Lithiummetall wurde nicht vollständig in Salz zurückgeführt, weshalb das Gefäß nach einigen Stunden infolge der Reaktion zwischen Lithium und Glas zersprang, worauf der Versuch sofort abgestellt wurde. Die Abtrennung von Bleibromid und die Überführung in Nitrat wurde wie bei Versuch 2 vorgenommen, worauf das Nitrat einer Analyse im Spektral-Photometer und der Massenanalyse unterworfen wurde. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 zusammengestellt.

Die Versuche 3 und 4 ähneln dem oben erwähnten Versuch mit der entsprechenden Kette von Jodiden, nur verlief alles hier viel ruhiger. So war die ganze Zeit die Grenze im Trennrohr deutlich sichtbar. Es war auch hier eine Neigung zum Auftreten „trockener Gebiete“ im Trennrohr vorhanden, aber nicht so ausgeprägt wie bei den Jodiden. (Die thermische Zersetzung von Bleibromid beginnt bei 600 °C<sup>9</sup>.) In Tab. 4 sind die Ergebnisse der chemischen Analyse zusammengestellt.

### Massenanalyse

Das für die Analysen verwendete Massenspektrometer war mit einer thermischen Ionenquelle ausgestattet, die der von PALMER<sup>10</sup> für Lithium verwendeten im Prinzip ähnlich war. Die Proben wurden als LiNO<sub>3</sub> auf zwei Seitenstreifen aus Nickel in die Ionenquelle eingeführt, so daß sich die Streifen 2–3 mm entfernt auf beiden Seiten eines Glühfadens aus Wolfram befanden. Die Wärmeabstrahlung des Wolframfadens genügte, LiNO<sub>3</sub>-Moleküle von dem Seitenstreifen abzudampfen. An der Oberfläche des erwärmten Mittelfadens fand thermische Ionisierung statt. Dadurch, daß ganze Moleküle der Proben verdampft wurden, konnte man die sonst besonders bei Lithiumanalyse auftretenden Fraktionierungserscheinungen zum größten Teil verhindern. Die noch

<sup>9</sup> B. S. HARRAP u. E. HEYMANN, Trans. Faraday Soc. **51**, 259 [1955].

<sup>10</sup> G. H. PALMER, Proc. 1955 Harwell Isotope Conf. Chapter 19.

Versuch	Probe Nr.	Länge mm	LiBr mg	PbBr <sub>2</sub> mg	(Na, K) Br mg	CaBr <sub>2</sub> mg	<sup>7</sup> Li/ <sup>6</sup> Li
1	0	35,5	36,8	1845,1	13,7		11,59
	1	23,2	10,1	676,1	15,3		15,29
	2	23,5	206,5	104,1	34,3		18,18
	3	27,5	353,8	15,5	25,5		13,00
	4	25	264,4	17,1	36,7		12,39
	5	25	299,5	8,3	37,6		12,41
	6	36,3	459,7	17,2	23,4		12,36
	7	35	431,9	36,4	28,8		12,32
3	8	5	9270,7	36,7	154,7		12,32
	1	48	0,1	1913,0	3,1	32,7	20,0
	2	30	55,7	634,2	10,4	55,0	26,05
	3	29,4	470,5	26,1	50,2	3,3	17,23
	4	30,8	467,7	5,7	7,7	2,5	12,73
	5	29,0	455,0	8,6	8,2	1,8	12,32
	6	32,8	458,7	6,9	6,1	1,9	12,28
	7	30,2	353,4	8,6	10,7	1,2	12,28
	8	9,5	1934,3	12,9	95,0	3,0	12,29
	9	—	99,0%	0,4%	0,4%	0,2%	—
4	0	—	s	2906,2	7,0	—	—
	1	36	29,3	1651,8	32,4	17,6	156,0
	2	33	142,6	49,3	70,7	13,9	122,6
	3	29,4	254,9	4,8	26,3	2,0	62,75
	4	33,0	303,1	5,3	13,2	1,6	26,69
	5	29,8	296,1	4,6	9,2	1,3	17,00
	6	34,5	331,1	7,1	12,4	1,9	13,14
	7	24,0	479,8	5,6	20,2	1,4	12,51
	8	—	2088,4	15,0	—	—	12,35

Tab. 3. Analysenergebnisse der Versuche mit Bromiden. Die Proben 3:9 und 4:8 stammen aus dem oberen Teil des Kathodenraumes und Probe 4:0 aus dem Anodenraum. Betreffend s siehe Tab. 2.

vorhandene Fraktionierung betraf die Massen 68 und 69, nicht 6 und 7, und die dadurch entstandenen Fehler an Relativmessungen waren im Vergleich mit anderen Faktoren vernachlässigbar.

Für das Messen der Ionenströme wurde eine Elektrometerröhre, ein Gleichstromverstärker und ein Speedomax-Schreiber verwendet. Nach Einstellung des thermischen Gleichgewichtes wurden die Ionenströme der zwei Isotope wiederholt auf dem Schreiber verglichen. Der Magnetstrom konnte zwischen den Massen 6 und 7 grob umgeschaltet werden, und durch Feinregelung ließ sich der Speedomax-Zeiger auf den Maxima der Spitzen halten. Während einer halben Stunde wurde der Ionenstrom jeder Masse etwa 30-mal gemessen. Der Zeiger-Ausschlag des größeren Ionenstroms wurde durch geeichte Bereichschalter dem des kleineren ungefähr gleich gemacht. Sämtliche Spitzen wurden dann gemessen und ein Mittelwert über die Meßperiode berechnet.

Das Gerät zur Stabilisierung des Mittelfadenstroms war nach AITKEN, HART und REYNOLDS<sup>11</sup> gebaut.

Während einer Meßperiode betragen die Schwankungen im Verhältnis der abgelesenen Spitzenhöhen weniger als 0,2%.

Die größte Fehlerquelle war die ungenügende Eichung der Bereichschalter des Schreibers. Dies gab bei höheren Anreicherungen eine Unsicherheit bis zu 0,5%.

<sup>11</sup> K. L. AITKEN, F. HART u. P. REYNOLDS, J. Sci. Instrum. 32, 190 [1955].

Fehlerquellen wie Nullpunktschwankungen und ungenügende Linearität des Verstärkers gaben eine Unsicherheit von höchstens 0,2%.

Bedeutende praktische Schwierigkeiten wurden besonders bei hoch angereicherten Proben und Proben mit einer niedrigen Li-Konzentration durch Memory-Erscheinungen verursacht. Ionenquelle und Rohr mußten nach jeder Messung mehrere Stunden unter Vakuum ausgeheizt werden. Auch die Platten der Ionenquelle mußten mehrmals chemisch gereinigt werden.

Um den Einfluß sich verändernder systematischer Fehlerquellen zu begrenzen, wurden alle Proben jeder separaten Serie unter gleichen Meßbedingungen und innerhalb möglichst kurzer Zeit (etwa 1–2 Proben pro Tag) vermessen. Die Reproduzierbarkeit konnte dadurch innerhalb 0,1% für wenig angereicherte Proben und innerhalb 0,6% für Proben mit höherem Isotopenverhältnis (wo der Memory-Effekt schwer zu beseitigen war) gehalten werden. Die Resultate können jedoch nicht als Absolutmessungen angesehen werden. Wo die Zeitfrist zwischen den Messungen verschiedener Serien etwa einige Monate war, waren gewisse Veränderungen des Referenzniveaus und damit des Normalprobenwertes unvermeidlich.

Die in den Tab. 2 und 3 dargestellten Werte von <sup>7</sup>Li/<sup>6</sup>Li sind mit dem Fraktionierungsfaktor  $\sqrt{69/68}$  korrigiert.

### Diskussion

Bei einem Studium der in den Tab. 2 und 3 wiedergegebenen Meßergebnisse ist zu sehen, daß im Gegensatz zu Untersuchungen an anderen Salzen die maximale Anreicherung nicht immer wie erwartet in der ersten Probe vorliegt. Bei Versuch LiBr-1 tritt sogar eine Abreicherung in Probe 0 auf. (Diese Probe ist dreimal im Massenspektrometer gemessen, jedes Mal mit demselben Ergebnis innerhalb der Fehlergrenzen.) Wir haben bisher keine einwandfreie Erklärung für die Abreicherung gefunden, die nur in diesem Versuch aufgetreten ist (vgl. Anm. <sup>5</sup>).

Ein Vergleich der in den Tabellen gegebenen Meßwerte zeigt, daß das „normale“ Isotopenverhältnis bei den verschiedenen Versuchen nicht identisch ist. An sich sind solche Unterschiede zu erwarten, denn das Ausgangssalz stammt aus verschiedenen Präparaten <sup>12</sup>, aber die Unterschiede hängen auch damit zusammen, daß die Bedingungen bei den Massenspektrometermessungen für sämtliche Versuche nicht ganz gleich waren (siehe oben). Als „normales“ Isotopenverhältnis wurden für den Jodidversuch 12,35, für LiBr-1 12,32, für LiBr-3 12,28 und für LiBr-4 12,35 bei der Berechnung des Masseneffektes verwendet.

Für den oben beschriebenen Jodid-Versuch gibt eine Berechnung <sup>13</sup> des Masseneffektes  $\mu = -0,153$ , während ein anderer Versuch <sup>5</sup> nach Korrektion  $\mu = -0,146$  gab. Der dritte Versuch gab einen viel kleineren Wert, was aber durch Störungen während des Versuches zu erklären ist. Wie oben gesagt, war es nicht möglich, die Lage der Grenze im Trennrohr des Versuches sicher festzustellen. Wenn wir beträchtliche Verschiebungen der Grenze gehabt hätten, wäre

der aus den Berechnungen erhaltene Masseneffekt zu klein. Die gute Übereinstimmung der beiden  $\mu$ -Werte stützt die Annahme, daß der erhaltene Masseneffekt innerhalb der Meßgenauigkeit korrekt ist. Für den Masseneffekt in Lithium für Lithiumjodid ergibt sich somit:  $\mu = -0,15 \pm 0,02$ .

Für die drei Bromidversuche in Tab. 3 bekamen wir folgende Masseneffekte

Versuch	1	3	4
$\mu$	-0,139	-0,157	-0,131

Da am Ende des Versuches 4 eine Anreicherung in sämtlichen Proben vorlag, ist zu vermuten, daß der gemessene Masseneffekt zu klein ist <sup>14</sup>. Für den früher veröffentlichten Versuch LiBr-2 <sup>4</sup> haben wir in Berücksichtigung der später entdeckten chemischen Verunreinigungen eine Neuberechnung des Masseneffektes gemacht und  $\mu = -0,136$  gefunden. Als Endergebnis sämtlicher vier Versuche finden wir den Masseneffekt für Lithium in Lithiumbromid:

$$\mu = -0,148 \pm 0,014 .$$

Die Messungen zeigen also, daß der Masseneffekt für Lithium in Lithiumjodid bzw. -bromid fast gleich groß ist. Wenn wir die Masseneffekte der drei untersuchten Lithium-Halogenide vergleichen, finden wir, daß die Zahlenwerte von Chlorid bis Jodid um etwa 7% steigen. Dies ist alles in Übereinstimmung mit den bei anderen Salzen gefundenen Gesetzmäßigkeiten <sup>15</sup>.

Diese Untersuchung ist von „AB Atomenergi“ finanziell unterstützt worden. Wir danken Herrn Dipl.-Ing. P. ZAZULA und Herrn J. KIEDING für ihre Mitwirkung bei den Massenanalysen und Herrn M. LÖVENBY für Hilfe bei den chemischen Analysen.

<sup>12</sup> vgl. A. E. CAMERON, J. Amer. Chem. Soc. 77, 2731 [1955].

<sup>13</sup> A. KLEMM, Z. Naturforschg. 1, 252 [1946].

<sup>14</sup> A. KLEMM, Z. Naturforschg. 7 a, 417 [1952].

<sup>15</sup> A. LUNDÉN, Dissertation, Göteborg 1956, S. 80.