Ueber Pentahalogenverbindungen der Alkalimetalle

von H. L. WELLS und H. L. WHEELER,
nebst ihrer Krystallographie von S. L. PENFIELD.¹

Mit 7 Figuren im Text.

Im Verlaufe unserer Untersuchungen über die Alkali-Trihalogenide² gelangten wir auch zu den Verbindungen $\text{CsCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$, $\text{RbCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ und $\text{KCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$. Das Kaliumsalz ist schon lange von FILHOL³ beschrieben worden. Dieser Autor stellte auch den Körper $\text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ dar und erhielt eine ähnliche Magnesiumverbindung, wahrscheinlich von der Zusammensetzung $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{Cl}_3\text{J} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Aber er machte keine weiteren Versuche, in gleicher Weise die analogen Salze des Natriums und anderer bekannter Metalle darzustellen.

Aus dem besonderen Verhalten des Cäsium-Tribromids und Trijodids, welches in den früheren⁴ Abhandlungen erwähnt wurde, ging hervor, daß noch ein höheres Bromid resp. Jodid existieren müsse. Letztere wurden nun als Pentahalogenide identifiziert.

Im Zusammenhang mit diesen Körpern haben wir außerdem das Natrium- und Lithium-Analogon von FILHOL's Salz dargestellt. Diese unterscheiden sich von allen anderen Polyhalogenverbindungen, welche wir untersucht haben, durch ihren Gehalt an Krystallwasser.

Eine große Zahl anderer Alkali-Pentahalogenide ist theoretisch möglich; aber wir konnten, obgleich wir zahlreiche Versuche zur Darstellung der am meisten versprechenden Verbindungen durchführten, nicht zu dem gewünschten Ziele gelangen. Es mag darauf hingewiesen werden, daß wir besondere Anstrengungen machten, ein Kalium- und Rubidium-Pentajodid zu erhalten.

Der Körper bildet sich in unreinem Zustand als eine schwarze, gegen 73° erstarrende Flüssigkeit, wenn man Cäsiumtrijodid mit heißem Wasser, oder festes Jod mit einer heißen Lösung von Cäsiumjodid behandelt. Alle künstlichen Gemische von Cäsiumtrijodid und

¹ Ins Deutsche übertragen von F. W. SCHMIDT.

² Diese Zeitschr. 1. 85 und 93, sowie 97.

³ Journ. Pharm. 25. (1839). 431.

⁴ Diese Zeitschr. 1. 93, 97.

Jod, welche von CsJ_4 bis CsJ_9 in der Zusammensetzung variierten, schmelzen durchweg bei der gleichen Temperatur von ungefähr 73° . Daraus geht hervor, daß die Zusammensetzung der schwarzen Flüssigkeit nicht durch ihren Schmelzpunkt kontrolliert werden kann.

Cäsiumtrijodid, welches in Alkohol spärlich löslich ist, wird sehr viel leicht löslicher in diesem Lösungsmittel bei Gegenwart von zwei Atomen Jod auf ein Molekül des Salzes. Eine analog bereitete, sehr konzentrierte Lösung giebt beim Abkühlen Krystalle des Pentajodides, aber ein weit besseres Produkt wird erhalten, wenn man über Schwefelsäure eindunstet, wobei ein kleiner Überschufs von Jod angewandt wurde, um den Verlust durch Verdampfen auszugleichen. Die Krystalle sind gut ausgebildet und besitzen eine glänzend schwarze Farbe. Sie können von Jod-Krystallen, welche sich manchmal bei Anwendung eines zu grofsen Überschusses dieser Substanz abscheiden, leicht unterschieden werden durch ihre Sprödigkeit sowohl, wie durch ihre Form. Der Körper schmilzt unscharf bei 73° . An der Luft verliert er Jod ungefähr so rasch, wie Jod selbst sich verflüchtigt. Er enthält weder Wasser noch Alkohol.

Drei Proben der Krystalle, welche rasch zwischen Papier getrocknet wurden, gaben bei der Analyse folgende Zahlen:

	Dargestellt durch Abkühlen.	Durch Verdampfung; verschiedene Produkte.		Berechnet für CsJ_5 .
Cäsium	15.20	20.96	16.02	17.32
Jod	—	—	—	82.68

CsBr_3 .

Wenn eine konzentrierte Lösung von Cäsiumbromid mit einem grofsen Überschufs von Brom aufgeschüttelt wird, so findet keine Abscheidung von Cäsiumtribromid statt, wie in jenem Fall, in welchem man die hierfür theoretische Menge Brom verwendet. Ein grofses Teil des Cäsiumbromides geht in dem flüssigen Brom in Lösung, und sobald eine genügende Menge von Cäsiumbromid aufgenommen ist, wird die Farbe der Flüssigkeit heller als die des Broms selbst.

Eine in dieser Weise dargestellte Lösung von Cäsiumbromid in Brom überliefs man der freiwilligen Verdampfung unter 0° . Schliesslich schied sich eine dunkelrote feste Substanz aus, welche zur Analyse bei der gleichen Temperatur zwischen Papier geprefst wurde. Nachdem das anhaftende Brom entfernt war, gab die Substanz sehr rasch dampfförmiges Brom ab.

	Gefunden.	Berechnet für CsBr_5 .
Cäsium	29.93	24.95
Brom	—	75.05

Die Analyse stimmt mit der Formel CsBr_5 so gut, als bei der grossen Unbeständigkeit der Verbindung erwartet werden konnte.

CsCl. ClJ₃.

Diese Substanz läßt sich darstellen durch Auflösen von 40g Cäsiumchlorid in einem Gemisch von 600 ccm Wasser und 200 ccm konzentrierter Salzsäure, welchem 30g Jod (ein Atom) zugegeben worden, und Durchleiten von Chlor bis zur Sättigung.

Während der Operation wird die Temperatur hinreichend hoch erhalten, um jede der etwa ausfallenden gelben Verbindungen wieder aufzulösen; schliesslich kühlt man zum Krystallisieren ab. Die Anwendung von Salzsäure verhindert eine gleichzeitige Bildung, resp. Fällung eines sauren Cäsiumjodates.

	Gefunden.	Berechnet für $\text{CsCl. Cl}_3\text{J}$.
Cäsium	32.44	33.09
Chlor	34.79	35.32
Jod	31.11	31.59

Die Krystalle haben eine blafs orangegelbe Farbe. Sie bilden dünne Prismen, welche gewöhnlich in paralleler Richtung in Form plattenähnlicher Gruppen angeordnet sind. Der Körper ist nur spärlich in Wasser löslich und kann daraus unter geringer Zersetzung umkrystallisiert werden. An der Luft ist er fast vollkommen beständig. Beim Erhitzen wird er augenscheinlich umgewandelt in CsCl. ClJ , denn er schmilzt in der offenen Kapillare wie diese Substanz bei 238° (unkorrigiert).

RbCl. ClJ₃.

Der Körper kann bequem bereitet werden, wenn man 40g Jod zu einer fast gesättigten Lösung von 38g Rubidiumchlorid hinzufügt und durch die Flüssigkeit Chlor bis zum Vorwalten des letzteren hindurchleitet. Die Flüssigkeit erwärmt sich durch die eintretende Reaktion, und beim Abkühlen erhält man grosse orangegelbe Platten.

	Gefunden.	Berechnet für $\text{RbCl. Cl}_3\text{J}$.
Rubidium	24.12 23.63	24.11
Chlor	39.00 —	40.05
Jod	35.31 —	35.83

Die Verbindung ist löslich in Alkohol und wird von Äther nicht angegriffen. Beim raschen Erhitzen in der offenen Kapillare schmilzt sie unter teilweiser Zersetzung bei 213° (unkorrigiert) und wird gegen 270° vollkommen weifs. Diese Zahlen stimmen durchaus mit dem Schmelzpunkt und der Temperatur des Weifswerdens von $\text{RbCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$, so dafs sicherlich zunächst ein Verlust von zwei Atomen Chlor eintritt, bevor weitergehende Zersetzung stattfindet. In Anbetracht dieser Thatsache ist es bemerkenswert, dafs, wenn zwei Proben von $\text{RbCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ und $\text{RbCl} \cdot \text{ClJ}$ nebeneinander der Luft während dreier Monate ausgesetzt werden, die Verbindung mit gröfserem Chlor-Gehalt fast vollständig zersetzt ist, während die andere beinahe unverändert bleibt. Es ist daher wahrscheinlich, dafs $\text{RbCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ bei gewöhnlicher Temperatur zerfällt, indem Cl_3J als Ganzes entweicht, wogegen beim Erhitzen eine andere Zersetzung Platz greift.

$\text{KCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$.

Diese Verbindung, welche FILHOL zuerst beschrieb, ist dargestellt worden wegen eines genaueren Studiums ihrer Krystallform. Sie wird leicht erhalten nach der bei der entsprechenden Rubidium-Verbindung angegebenen Methode. Die beim Abkühlen sich auscheidenden Krystalle haben die Form sehr dünner Nadeln, aber durch Verdampfen ihrer Mutterlauge bei gewöhnlicher Temperatur bilden sich dickere, für Messungen brauchbare Prismen.

	Gefunden.	Berechnet für $\text{KCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$.
Kalium	11.98	12.66
Chlor	45.31	46.10
Jod	42.50	41.23

$\text{NaCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Um diesen Körper darzustellen, werden Chlornatrium und Jod in den berechneten Mengen mit so viel Wasser, dafs es auch beim Erwärmen zur Auflösung des Chlornatriums nicht genügt, zusammengebracht; hierauf leitet man bei gelinder Wärme Chlor bis zur Sättigung durch die Mischung und filtriert die noch warme Flüssigkeit. Das Filtrat giebt beim Abkühlen auf niedere Wintertemperatur ein Haufwerk dünner Nadeln; durch Abdampfen im Exsiccator erhält man jedoch bessere Krystalle. Letztere lieferten, nach raschem Trocknen zwischen Papier, bei der Analyse folgende Resultate:

	Gefunden.	Berechnet für $\text{NaCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
Natrium	7.17	7.01
Chlor	42.92	43.29
Jod	38.23	38.71
Wasser	12.84 ¹	10.97

Das Wasser bestimmte man durch direktes Wägen im Chlorcalciumrohr, wobei die Halogene durch ein erhitztes Gemenge von Bleioxyd und Bleichromat zurückgehalten wurden.

Der Körper wird an der Luft rasch zersetzt. Er schmilzt langsam zwischen 70 und 90° und wird gegen 115° weifs. Starker Alkohol, sowie Äther zersetzen ihn.

Man stellt es dar durch Zugeben von 60 g Jod zu einer heifs gesättigten Lösung von 20 g Lithiumchlorid in verdünnter Salzsäure, Sättigen mit Chlor und Abkühlen. Eine grofse Menge von langen, gelben Nadeln wurde erhalten. Beim Verdunsten der Mutterlauge im Exsiccator schieden sich gröfsere Prismen ab.

	Gefunden.	Berechnet für $\text{LiCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.
Lithium	2.03	2.16
Chlor	39.96	39.94
Jod	37.54	36.77
Wasser	20.93	—
		20.68

Läfst man die Substanz an der Luft liegen, so zerfließt sie rasch unter Bildung einer gelben Flüssigkeit. Letztere verliert nach und nach ihre Farbe, indem schliesslich eine Lösung von Lithiumchlorid zurückbleibt. Der Körper schmilzt zwischen 70 bis 80° und wird weifs gegen 180°. Die Krystalle dieser Verbindung wurden nicht gemessen.

Krystallographische Eigenschaften.

Das Krystall-System von CsJ_5 ist triklin. Durch langsames Verdunsten seiner Lösung im Exsiccator resultierten Krystalle von fast 10 mm Durchmesser. Krystalle von zwei Darstellungen wurden untersucht; bei der einen herrschte der in Fig. 1 gezeigte Habitus vor, während die Krystalle der zweiten etwas mehr modifiziert waren, wie in Fig. 2 und 3.

¹ In einer besonderen Portion bestimmt.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Beobachtete Formen sind:

$a, 100, i\bar{i}$	$d, 011, 1\bar{i}'$	$o, \bar{3}11, 3\bar{3}'$
$c, 001, O$	$f, 041, 4\bar{i}'$	$x, \bar{3}41, -4\frac{1}{3}'$
$m, 110, I'$	$e, 0\bar{2}1, 2\bar{i}$	$y, \bar{3}41, 4\frac{1}{3}'$
$M, 1\bar{1}0, I$	$p, 311, -3\bar{3}'$	

Das Axen-Verhältnis gestaltet sich folgendermaßen:

$$\tilde{a} : \tilde{b} : \tilde{c} = 0.9890 : 1 : 0.42765$$

$$\alpha = 96^\circ 56' \quad \beta = 89^\circ 55\frac{1}{2}' \quad \gamma = 90^\circ 21\frac{1}{2}'$$

Die Krystalle gaben im Goniometer gute Reflexionen. In den folgenden Tabellen sind die Messungen, welche als Grundlage gewählt wurden, mit einem Sternchen bezeichnet:

Gemessen.	Berechnet.	Gemessen.	Berechnet.
$a \wedge c, 100 \wedge 001 = *90^\circ 2'$		$c \wedge m, 001 \wedge 110 = 85^\circ 8'$	$85^\circ 9'$
$m \wedge M, 110 \wedge 1\bar{1}0 = *89^\circ 47'$		$c \wedge M, 001 \wedge 1\bar{1}0 = 85^\circ 7'$	$85^\circ 7\frac{1}{2}'$
$a \wedge m, 100 \wedge 110 = *44^\circ 43'$		$e \wedge m, 0\bar{2}1 \wedge 1\bar{1}0 = 65^\circ 9'$	$65^\circ 3'$
$c \wedge e, 001 \wedge 0\bar{2}1 = *43^\circ 26'$		$e \wedge M, 0\bar{2}1 \wedge 1\bar{1}0 = 65^\circ 8'$	$65^\circ 18'$
$e \wedge d, 0\bar{2}1 \wedge 011 = *65^\circ 25'$		$d \wedge m, 011 \wedge 110 = 70^\circ 3'$	$70^\circ 2'$
$a \wedge M, 100 \wedge 1\bar{1}0 = 45^\circ 4'$	$45^\circ 4'$	$d \wedge M, 011 \wedge 1\bar{1}0 = 70^\circ 6'$	$70^\circ 4'$
$a \wedge e, 100 \wedge 0\bar{2}1 = 90^\circ 6'$	$90^\circ 16'$	$p \wedge m, 311 \wedge 110 = 40^\circ 41'$	$40^\circ 41'$
$a \wedge d, 100 \wedge 011 = 89^\circ 57'$	$89^\circ 54'$	$f \wedge d, 041 \wedge 011 = 32^\circ 30'$	$32^\circ 37\frac{1}{2}'$
$a \wedge p, 100 \wedge 311 = 41^\circ 18'$	$41^\circ 19'$	$x \wedge m, \bar{3}41 \wedge 110 = 25^\circ 46'$	$25^\circ 44\frac{1}{2}'$
$a \wedge o, 100 \wedge \bar{3}11 = 41^\circ 31'$	$41^\circ 25'$	$y \wedge M, \bar{3}41 \wedge 1\bar{1}0 = 25^\circ 56'$	$25^\circ 52'$

Fig. 4.

Das $\text{CsCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ krystallisiert monoklin. Bei zahlreichen Krystallisationen wurde dieses Salz immer in Nadeln erhalten, welche manchmal eine Länge von über 20 mm und den Habitus in Fig. 4 besaßen.

Beobachtete Formen:

$b, 010, i\bar{i}$	$p, 212, -1\bar{2}$	$s, \bar{2}11, 2\bar{2}$
$l, 210, i\bar{2}$	$g, 211, -2\bar{2}$	$d, 041, 4\bar{i}$

Das Axen-Verhältnis ist folgendes:

$$\tilde{a} : \tilde{b} : \tilde{c} = 0.9423 : 1 : 0.4277, \quad \beta = 100 \wedge 001 = 86^\circ 20'$$

Gemessen. Berechn.		Gemessen. Berechn.	
$l \wedge l, 210 \wedge \bar{2}\bar{1}0 =$	$^{\circ}50' 22'$	$l \wedge s, \bar{2}\bar{1}0 \wedge \bar{2}\bar{1}1 =$	$28^{\circ} 35' \quad 28^{\circ} 34'$
$l \wedge p, 210 \wedge 212 =$	$^{\circ}44' 51'$	$p \wedge p, 212 \wedge \bar{2}\bar{1}2 =$	$32^{\circ} 59' \quad 33^{\circ} 2'$
$p \wedge s, 212 \wedge \bar{2}\bar{1}1 =$	$^{\circ}106' 35'$	$p \wedge b, 212 \wedge 010 =$	$73^{\circ} 31' \quad 73^{\circ} 29'$
$l \wedge q, 210 \wedge 211 =$	$27^{\circ} 3' \quad 27^{\circ} 7'$	$b \wedge d, 010 \wedge 041 =$	$31^{\circ} 0' \quad 30^{\circ} 21'$

Das Krystall-System von $\text{RbCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ ist monoklin. Dieses Salz wurde sehr oft umkrystallisiert, wobei es immer in Platten von manchmal über 20 mm Breite, aber selten 1 mm Dicke zurückblieb. Den Habitus zeigt Fig. 5.

Fig. 5.

Beobachtete Formen:

$b, 010, i-i$	$m, 110, I$	$s, \bar{1}11, 1$
$c, 001, O$	$p, 111, -1$	

Das Axen-Verhältnis ist folgendes:

$$a : b : c = 1.1390 : 1 : 1.975, \beta = 100 \wedge 001 = 67^{\circ} 6\frac{1}{2}'$$

Gemessen.		Gemessen. Berechnet.	
$c \wedge m, 001 \wedge 110 =$	$^{\circ}74' 26'$	$c \wedge s, 001 \wedge \bar{1}11 =$	$82^{\circ} 12' \quad 82^{\circ} 15'$
$c \wedge p, 001 \wedge 111 =$	$^{\circ}55' 20'$	$s \wedge m, \bar{1}11 \wedge \bar{1}10 =$	$23^{\circ} 20' \quad 23^{\circ} 19'$
$p \wedge p, 111 \wedge \bar{1}\bar{1}1 =$	$^{\circ}76' 21'$	$p \wedge m, 111 \wedge 110 =$	$19^{\circ} 5' \quad 19^{\circ} 6'$

Im Polarisations-Mikroskop zeigen die Blättchen Auslöschung parallel ihren Diagonalen. Im konvergenten Licht ist das Ringsystem nicht sichtbar, aber ein dunkler Balken kreuzt das Feld in der Richtung der Symmetrie-Ebene zum Beweis, daß das Clino-Pinacoid Ebene der optischen Axen.

Der Krystall-Habitus und die Axen-Verhältnisse von $\text{CsCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ und $\text{RbCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ sind derart verschieden, daß alle Versuche, irgend welche Ähnlichkeit oder mathematische Beziehung aufzufinden, fehlgeschlagen müssen. Wir haben uns bemüht, eine etwa vorhandene, versteckte Beziehung zu entdecken, indem wir verschiedene Krystallisationen von Lösungen, welche beide Salze enthielten, untersuchten. So wurde jede Form für sich oder ein Gemisch von beiden erhalten, aber es konnten keine Krystalle einer intermediären Form beobachtet werden. Eine ungemischte Krystallisation vom Habitus und den Winkeln des $\text{CsCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ enthielt ungefähr sechzehn Prozent von $\text{RbCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$, während in einer anderen vom Habitus und den Winkeln des $\text{RbCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ gegen elf Prozent von $\text{CsCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ vorhanden war.

Diese Resultate zeigen, daß isomorphe Mischungen jeder Form darstellbar sind, abhängig von dem Vorherrschen des einen oder anderen Salzes; hierbei führt uns das Nichtvorhandensein einer intermediären Form oder mathematischer Beziehungen zwischen den beiden Arten von Krystallen auf den Gedanken, daß die Verbindungen dimorph auftreten.

Fig. 6.

Das $\text{KCl} \cdot \text{Cl}_3\text{J}$ krystallisiert monoklin. Wenn man eine warm gesättigte Lösung krystallisieren läßt, resultiert das Salz meistens in feinen nadelförmigen, und zwar zu kleinen Krystallen, um gemessen werden zu können. Durch langsames Verdunsten im Exsiccator bei gewöhnlicher Temperatur erhält man aber gedrungene Prismen von über 20 mm Länge und 2 mm Durchmesser, welche den Habitus in Fig. 6 besitzen. Dieselben gaben ausgezeichnete Reflexion und ließen sich bei niedriger Temperatur (0°) ohne Schwierigkeit messen.

Beobachtete Formen sind:

$$\begin{array}{ll} a, 100, i\bar{i} & n, 120, i\bar{2} \\ m, 110, I & d, 023, \frac{2}{3}i \end{array}$$

Das Axen-Verhältnis beträgt, wie folgt:

$$a : b : c = 0.9268 : 1 : 0.44725, \beta = 100 \wedge 001 = 84^\circ 18'$$

Gemessen.		Gemessen. Berechnet.	
$m \wedge m, 110 \wedge 110 =$	$85^\circ 22'$	$a \wedge d, 100 \wedge 023 =$	$84^\circ 32'$
$d \wedge d, 023 \wedge 023 =$	$33^\circ 3'$	$n \wedge n, 120 \wedge 120 =$	$56^\circ 58' \quad 56^\circ 56'$

Die Stellung und die Krystall-Symbole, welche für dieses und das entsprechende Cäsium-Salz in Anwendung kamen, wurden so gewählt, um eine Ähnlichkeit der Axen-Verhältnisse darzulegen. Beide Salze gleichen sich im prismatischen Habitus, aber die Formen, welche sie zeigen, sind bei beiden durchaus verschieden. Wenn wir nicht diese Ähnlichkeit in den Axen-Verhältnissen darlegen wollten, könnte die Krystallographie beider Salze etwas vereinfacht werden, indem man dem oberen Doma d die einfacheren Indices 011 gibt und das Prisma wie die Pyramiden des Cäsium-Salzes als zum Ganzen gehörig betrachtet, anstatt diese zu der makrodiagonalen Reihe zu rechnen.

Die wasserfreien Pentahalogenuide der Alkalimetalle bilden keine wohl definierte krystallographische Reihe, obgleich Beziehungen zwischen drei derselben vorhanden sind, welche uns mehr als nur

zufällig erscheinen. Diese Ähnlichkeit geht aus der folgenden Tabelle hervor:

CsCl.Cl ₃ I	monoklin	$\bar{a}:\bar{b}:c = 0.9423:1:0.4277, \beta = 86^\circ 20'$
KCl.Cl ₃ I	„	$\bar{a}:\bar{b}:c = 0.9268:1:0.44725, \beta = 84^\circ 18'$
CsI ₅	triklin	$\left\{ \begin{array}{l} \bar{a}:\bar{b}:c = 0.9890:1:0.42765 \\ a = 96^\circ 56', \beta = 83^\circ 55\frac{1}{2}', \gamma = 90^\circ 21\frac{1}{2}' \end{array} \right.$

Das NaCl.Cl₃J.2H₂O krystallisiert rhombisch. Beim langsamen Verdunsten seiner Lösung im Exsiccator bilden sich Krystalle von über 10 mm Länge und dem Habitus in Fig. 7.

Beobachtete Formen sind:

$b, 010, i\bar{i}$	$p, 111, 1$
$m, 110, I$	$d, 021, 2\bar{i}$

Das Axen-Verhältnis beträgt:

$$a:\bar{b}:c = 0.6745:1:0.5263.$$

Fig. 7.

Die Krystalle wurden bei einer 0° nahe liegenden Temperatur gemessen und gaben ausgezeichnete Bilder.

Gemessen.		Gemessen.	Berechnet.
$m \wedge m, 110 \wedge \bar{1}\bar{1}0 = 68^\circ 0'$		$m \wedge b, 110 \wedge 010 = 56^\circ 0'$	56° 0'
$m \wedge p, 110 \wedge 111 = 46^\circ 44'$		$b \wedge d, 010 \wedge 021 = 43^\circ 29'$	43° 32'

Sheffield Scientific School, April 1892.