XXVI. Theorie der Krystallstructur.

III. Teil.

Über die Hauptstructurarten der Krystalle des kubischen Typus und speciell über die des Zirkon.

Von

E. von Fedorow in Petrowskoje-Razumowskoje bei Moskau.

In dem II. Teile der Theorie der Krystallstructur wurde als sonderbarer Schluß aus der Übersicht der flächenreichsten kubischen Krystalle der folgende hervorgehoben: Nach der Gesamtheit der heutigen experimentellen Daten muß sämtlichen kubischen Krystallen hexaëdrische Structur zugeschrieben werden¹⁾. Weiter heißt es, daß dieser Schluß keineswegs als endgültig bewiesener gelten kann, sondern einfach als das Resultat empirischer Übersicht.

Nun scheint mir, daß auch dieses Mal, wie dies so oft in dem Gebiete der Wissenschaft vorkommt, ein Schluß von rein empirischem Charakter zur Wahrheit im Gegensatze steht, wie dieselbe von einer allgemeinen und zuverlässigen Theorie vorausgesehen wird, und zwar in diesem Falle von der Theorie der Krystallstructur. Diese Theorie sieht nämlich für die kubischen Krystalle die Möglichkeit von drei Hauptstructurarten voraus, und zwar a) der hexaëdrischen (entsprechend Triparalleloëdern), b) der dodekaëdrischen (entsprechend Hexaparalleloëdern) und c) der oktaëdrischen (entsprechend Heptaparalleloëdern).

Die Unterscheidung dieser drei Structurarten muß sich in erster Linie auf die Verschiedenheit der für diese Structurarten geltenden Complicationsgesetze stützen. Dabei müssen aber natürlich ausschließlich die wesentlichen und nicht die seltenen, vorübergehenden, jedenfalls unwesentlichen, Formen in Betracht gezogen werden. Und die Kenntnisse dieser Art sind so zu sagen von individuellem Charakter, da bei den allgemeinen krystallographisch-wissenschaftlichen Beschreibungen von Mineralien, welche schon von einer sehr großen Anzahl von Gelehrten erforscht wurden, bis jetzt keine Methode vorgeschlagen wurde, um den Sicherheitsgrad der Wesentlichkeit jeder

¹⁾ Diese Zeitschr. 36, 225.

gegebenen Form auszudrücken; dabei wird ausschließlich in wenigen Worten erwähnt, daß diese oder jene Form oft oder stets auftritt. Hätten wir unter tausenden von Krystallen eines Minerals die Kenntnis gehabt, wie viele Male jede besondere Form zur Erscheinung gelangt, so würde damit die quantitative Schätzung der Wesentlichkeit der Form geschaffen sein, und dann hätten wir den sicheren Grund gehabt, die wesentlichen Formen von den unwesentlichen zu unterscheiden.

Die allgemeine Erfahrung lehrt uns aber, daß es individuell meistens leicht ist, diese wesentlichen, wenigstens die wesentlichsten, Formen von den übrigen abzugliedern, da die ersten fast an jedem Krystalle, die übrigen aber nur an sehr wenigen auftreten.

Bei der allgemeinen kritischen Übersicht ist es aber sehr schwer, diese Abgliederung auf festen Boden zu stellen. Bis jetzt habe ich noch keinen Versuch in dieser Richtung gemacht und die Hoffnung gehegt, daß dasselbe Resultat auch aus der einfachen Aufzählung der beobachteten Formen hervorgehen würde, daß also wir zur Wahrheit gelangen würden ohne specielle, individuelle Betrachtung jedes Formencyklus eines gegebenen Krystalles.

Nun bin ich zur Überzeugung gekommen, daß dies nicht der Fall ist, und daß das bis jetzt von mir angewandte Verfahren nicht im Stande ist, auf festem Boden die Structurart aufzuklären.

Natürlich bezieht sich dies ausschließlich auf die Krystalle des kubischen Typus und nicht des hypohexagonalen, da dem letzteren nur eine einzige Hauptstructurart eigen ist (entsprechend dem Tetraparalleloëder).

Solche Tatsachen, wie das Erscheinen von Formen wie {211} als unzweifelhaft wichtigste Formen des Complexes, welche sogar manchmal fast allein auftreten, würden ganz unbegreiflich und den Complicationsgesetzen vollständig widersprechend sein, wenn nicht zugleich die von der Theorie der Krystallstructur vorausgesehene oktaëdrische Structur möglich gewesen wäre.

Die Reihe der reticulären Dichtigkeit und folglich der Wichtigkeit der Formen für diese Structurart ist die folgende¹⁾:

Indices:	110	100	211	310	111	321	411	210	
Structurparameter:	$\frac{1}{2}$	1	1.	2.	3	3.	4.	5	u. s. f.

Und nun haben wir im Granat, Leucit, Analcim gerade die ersten drei Formen dieser Reihe als die wichtigsten Vertreter. Daraus ist zu schließen, daß die erwähnten Krystalle zweifellos durch die betreffende Structur charakterisiert sind. Zu verzeichnen ist auch das unverhältnismäßig seltene

1) Diese Zeitschr. **36**, 224. Unter »Parameter« für die Krystalle des kubischen Typus versteht man die Summe der Quadrate der Indices. Für die Structurparameter der oktaëdrischen Structur muß diese Zahl durch vier geteilt werden, wenn unter den Indices zwei ungerade Zahlen sind; für die Structurparameter der dodekaëdrischen Structur gilt das Gleiche, wenn sämtliche drei Indices ungerade Zahlen sind.

Auftreten der, im allgemeinen wichtigsten, Form $\{111\}$ und ganz besonders die häufige Vertretung der Form $\{110\}$.

Aber schon bei der allgemeinen Übersicht der Krystalle sprangen zahlreiche Fälle in die Augen, wo die Reihe der beobachteten Formen nicht mit der allgemeinen, für die Krystalle des kubischen Typus geltenden, sondern mit der eben angegebenen, übereinstimmte.

Nun erlaube ich mir einige dieser Fälle zu verzeichnen.

1. Baryumplatojodnitrit $BaN_2O_4J_2Pt$, 4 aq¹⁾.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = -p_1 + p_2 + p_3 : -p_1 - p_2 + p_3 : 2p_1 + 6p_3 \text{ gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>Aa</i>
eindeutige Indices:	001, 100;	011, 101, 110;	112;	103
angegebene -	(101) (311)	(110) (121)	(010) (100)	(011)

Das Symbol des Complexes²⁾ ist: $\begin{smallmatrix} 4; -14 \\ 71 \cdot \\ -1 \end{smallmatrix}$; der Complex ist also stark

positiv und durch starke monokline Anorthosität (etwa wie im Pyroxen) ausgezeichnet. Als wichtigste Formen werden gerade die Formen $\{011\}$, $\{001\}$, $\{101\}$ und $\{110\}$ verzeichnet.

Die angenommene Aufstellung stimmt mit derjenigen überein, welche von mir als die eindeutige bezeichnet wird.

Die beobachtete Combination:

110, 011, 101, 101 (mit 001 als Fläche unvollkommener Spaltung).

Symbol des Complexes: $\begin{smallmatrix} 4; +7 \\ 43 \cdot \\ 3 \end{smallmatrix}$.

3. $C_6H_4OCl_4$ ⁴⁾.

Für die richtige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = -2p_1 + p_3 : 2p_1 + p_3 : 2p_2 \text{ gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

	<i>D</i>	<i>O</i>
richtige Indices:	110, 110, 011, 101;	111
angegebene -	(100) (001) (122) (122)	(110)

Symbol des Complexes: $\begin{smallmatrix} 4; 9 \\ 47 \cdot \\ 1 \end{smallmatrix}$.

1) Diese Zeitschr. 4, 497.

2) Ebenda 38, 466 ff.

3) Ebenda 5, 300.

4) Ebenda 5, 564.

4. Vanadinsaures Baryum $Ba_2V_{10}O_{28}$, 19 aq¹⁾.

Für die richtige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_1 + p_2 + p_3 : p_1 - p_2 : -p_3 \text{ gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

H	D	C
100; 110, 110, 101, 011, 011, 101;		121, 121
(110) (100) (010) (001) (011) (101) (111)		(021) (201)

$$4; +10 \cdot 7.$$

Symbol des Complexes: 54.; +30.

$$-5.$$

5. Hydroberberinäthyltrijodid $C_{20}H_{21}NO_4 \cdot C_2H_5J_3$ ²⁾.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_3 : p_1 \text{ gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

H	D	C
010, 001; 101, 011; 211, 211		
(001) (100) (110) (101) (121) (121)		

$$4; -11$$

Symbol des Complexes: 53. .

$$0$$

6. Az-p-Chlorphenyl-ald-Phenylnaphtholtriazin

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_1 : p_3 \text{ gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

H	D	C
010, 100; 110, 011, 101, 101, 011; 121		
(100) (010) (110) (101) (011) (011) (101) (211)		

$$4; 1 \quad 1$$

Symbol des Complexes: 49.; ±90.

$$3$$

7. Dibromhydrochelidonsäuremethyläther

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_1 : p_3 \text{ gültig.}$$

1) Diese Zeitschr. 17, 5.

2) Hoefinghoff, Krystallographische Untersuchungen einiger organischer Körper (Inaug.-Dissert. Halle 1889). Ref. diese Zeitschr. 20, 305.

3) Diese Zeitschr. 20, 326.

4) Ebenda 20, 334.

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{c} 110, 101, 0\bar{1}1, 011 \\ (110) (011) (\bar{1}01) (101) \end{array}$$

$$4; -18.$$

Symbol des Complexes: $\frac{52}{2}$.

8. Dioxim der Hydrochelidonsäure $C_7H_{10}O_4N_2$, 2 aq¹⁾.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_3 : p_2 : p_1 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{cc} H & D \\ 001; 011, 101, 10\bar{1} \\ (100) (110) (101) (\bar{1}01) \end{array}$$

$$4; +1$$

Symbol des Complexes: $\frac{67}{8}$; dieser ziemlich stark positive Krystall ist nach {001} tafelig.

9. Essigsaures Blei $Pb(C_2H_3O_2)_2$, 10 aq²⁾.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_3 : p_1 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{cc} H & D \\ 100; 101, 011, 110 \\ (010) (110) (101) (011) \end{array}$$

$$4$$

Symbol des Complexes: $\frac{46}{2}$.

10. Inactive Asparaginsäure $CO_2H.CH_2.CHNH_2.CO_2H^3)$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_3 : p_2 : p_1 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccc} H & D & C \\ 001, 100; 011, 110; 112, 11\bar{2} \\ (100) (001) (110) (011) (211) (\bar{2}11) \end{array}$$

$$4; +6$$

Symbol des Complexes: $\frac{69}{5}$.

1) Diese Zeitschr. 20, 334.

2) Chemical News 1890, 61, 196. Ref. diese Zeitschr. 20, 518.

3) Atti d. Soc. Toscana di Sc. Nat. 1890, 11. Ref. diese Zeitschr. 20, 619.

11. Cernitrat $Ce_2N_6O_{18}$, 12 aq¹⁾.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_1 + p_2 : p_1 - p_2 + p_3 : -p_3 \text{ gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccc} H & D & C \\ 100; & 110, 1\bar{1}0, 01\bar{1}, 10\bar{1}, 0\bar{1}\bar{1}, \bar{1}0\bar{1}; & \bar{1}2\bar{1} \\ (110) & (100) (010) (001) (011) (\bar{1}\bar{1}\bar{1}) (\bar{1}01) & (0\bar{1}\bar{1}) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} 4; -10 \quad 6 \\ \text{Symbol des Complexes: } 32; \pm 90. \\ -5 \end{array}$$

12. Kaliumvanadat $K_2V_4O_{11}$, 4 aq²⁾.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_1 + p_2 : p_1 - p_2 : 2p_3 \text{ gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccc} D & C \\ 110, 1\bar{1}0, 0\bar{1}\bar{1}, \bar{1}01, 011, 101; & 2\bar{1}\bar{1} \\ (100) (010) (\bar{1}\bar{1}\bar{1}) (\bar{1}\bar{1}\bar{1}) (\bar{1}\bar{1}\bar{1}) (111) & (131) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} 2 \quad 1 \\ \text{Symbol des Complexes: } 53; ?. \\ -0 \end{array}$$

13. Diacetyläther des Dioxynaphtalins $C_{10}H_6 \begin{smallmatrix} OCOCH_3 \\ OCOCH_3 \end{smallmatrix}^3)$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_1 : p_3 \text{ gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{c} 110, 101, 011 \\ (110) (011) (101) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} 4 \\ \text{Symbol des Complexes: } 38. \\ 8 \end{array}$$

14. Trinitrobutyltoluol $C_8H_7CH_3C(CH_3)_3(NO_2)_3^4)$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_3 : p_1 \text{ gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccc} H & D & C \\ 001, 010; & 110, 01\bar{1}, 101; & 21\bar{1}, 211 \\ (100) (001) & (011) (\bar{1}01) (110) & (\bar{1}21) (121) \end{array}$$

1) Diese Zeitschr. **22**, 34.

2) Ebenda **22**, 39.

3) Ebenda **22**, 130.

4) Ebenda **22**, 132.

Symbol des Complexes: $\begin{matrix} 4; -13 \\ 44 \\ 4 \end{matrix}$.

15. Natrium-Silberthiosulfat $NaAgS_2O_3$, aq¹⁾:

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_1 : p_3 : p_2 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

H	D	A	C
001; $\bar{1}10$, 110, 101, 011;	012;	$\bar{1}12$, 112	
(010) ($\bar{1}01$) (101) (110) (011)	(021)	($\bar{1}21$) (121)	

Symbol des Complexes: $\begin{matrix} 4; 0 \\ 67 \\ 4 \end{matrix}$.

16. Ammoniummanganchlorid $(NH_4)_2MnCl_4$, 2 aq²⁾.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_1 + p_3 : p_1 - p_3 : 2p_2 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

H	D
110, $1\bar{1}0$, 101, 0 $\bar{1}1$	
(100) (001) (111) ($\bar{1}11$)	

Symbol des Complexes: $\begin{matrix} 4; 0 \\ 53 \\ -3 \end{matrix}$.

17. $K_2(SbO)_2(C_4H_4O_6)_2 + NaNO_3 + aq^3)$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_1 : p_3 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

H	D	A	C
100, 010;	110, 011, 101;	210;	$\bar{1}21$
(010) (100)	(110) (101) (011)	(120)	(2 $\bar{1}1$)

Symbol des Complexes: $\begin{matrix} 4 \\ 33 \\ 3 \end{matrix}$.

18. Dimethylaminchloroplatinat $[(CH_3)_2NH.HCl]_2PtCl_4$, β -Mod.⁴⁾.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_3 : p_1 \quad \text{gültig.}$$

1) Diese Zeitschr. **23**, 502. Ref. aus Földtani Közlöny **22**, 353.

2) American chemic. Journ. **14**, 127 ff. Ref. diese Zeitschr. **23**, 617.

3) N. Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. **8**, 499 ff. Ref. diese Zeitschr. **24**, 186.

4) Diese Zeitschr. **24**, 819.

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{cc} H & D \\ 100; & 101, 110, 011 \\ (010) & (110) (011) (101) \end{array}$$

Symbol des Complexes: $\begin{smallmatrix} 4 \\ 43. \\ 3 \end{smallmatrix}$

19. Dihydrosantinsäuremonobromderivat $C_{15}H_{17}BrO_2$, β -Mod. 1).

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 \stackrel{+}{=} p_1 : p_3 : p_2 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{cc} H & D \\ 100, 010; & 110, \bar{1}10, 011, 101 \\ (100) (001) & (101) (\bar{1}01) (011) (110) \end{array}$$

Symbol des Complexes: $\begin{smallmatrix} 4; 4. \\ 40. \\ 4. \end{smallmatrix}$

20. Natriumsilicotungstat $W_{12}SiO_{40}Na_4$, 2 aq²⁾ B.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = -p_3 : p_2 : p_1 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccc} H & D & C \\ 100; & 011, 0\bar{1}1, \bar{1}\bar{1}0, \bar{1}10, 101; & 211, \bar{1}21, 121 \\ (001) & (110) (1\bar{1}0) (0\bar{1}1) (011) (10\bar{1}) & (11\bar{2}) (121) (12\bar{1}) \end{array}$$

Symbol des Complexes: $\begin{smallmatrix} 4; +15 \quad 3 \\ 47.; \quad -25. \\ 2 \end{smallmatrix}$

21. Pentachlorphenolbenzoat $C_6Cl_5O.C_7H_5O^3)$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_1 : p_3 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccccc} H & D & B & C & \mathfrak{A} \\ 010, 001; & 110, 0\bar{1}1, 011, 101; & 1\bar{2}2; & 1\bar{1}2, 211, 2\bar{1}1; & 213 \\ (100) (001) & (110) (\bar{1}01) (101) (011) & (\bar{2}12) & (\bar{1}12) (121) (\bar{1}21) & (123) \end{array}$$

Symbol des Complexes: $\begin{smallmatrix} 4; -7 \\ 52. \\ 1 \end{smallmatrix}$

1) Gazz. chim. ital. **22** (I). Ref. diese Zeitschr. **24**, 344.

2) Bullet. soc. franç. de minér. **19**, 249 ff. Ref. diese Zeitschr. **29**, 659.

3) Ebenda **19**, 390. Ref. diese Zeitschr. **29**, 684.

22. Paramidobenzoësäure¹⁾.

In Übereinstimmung mit dem Verf. (Hrn. Negri) haben wir die Combination:

104, $\bar{1}04$, 110, 011.

4; +10

Symbol des Complexes: $\begin{matrix} 43 \\ 10 \end{matrix}$.

23. Chlorhydrat des 4-Phenyl-3-Imidotriazolins

In Übereinstimmung mit dem Verf. (Hrn. Ferro) haben wir die Combination:

$\begin{matrix} H & D & C \\ 100, 010; & 011, 101, \bar{1}01, 110; & \bar{1}21. \end{matrix}$

4; +7

Symbol des Complexes: $\begin{matrix} 38 \\ 4 \end{matrix}$.

24. Dipropylaminplatinchlorid $PtCl_6[NH_2.C_3H_7C_3H_7]_2$ ³⁾.

In Übereinstimmung mit dem Verf. (Hrn. A. Ries) haben wir die

Combination: $\begin{matrix} H & D & C & \mathfrak{A} & Aa \\ 001; 101, 011, \bar{1}01; & 121, \bar{1}12; & \bar{1}23; & 013. \end{matrix}$

Auch für die mit derselben isomorphen Verbindung $PtCl_6[NH_2.C_3H_7.C_4H_9]_2$ ⁴⁾ besteht die Combination:

001; 101, 011, $\bar{1}01$; 121, $\bar{1}12$; $\bar{1}23$; 013, $\bar{1}03$ und noch $\bar{1}10$.

4; 0

Das Symbol des Complexes für die beiden ist: $\begin{matrix} 74 \\ 2 \end{matrix}$.

25. Luteokobaltsulfat $(SO_4)_3(Co.6NH_3)_2, 5aq$ ⁵⁾.

In Übereinstimmung mit dem Verf. (Hrn. T. Klobb) haben wir die

Combination: $\begin{matrix} H & D & C & \mathfrak{A} & A\beta \\ 001, 100; & 101, 10\bar{1}, 011, 110; & 112, 11\bar{2}, 12\bar{1}; & 321; & 32\bar{3}. \end{matrix}$

Auch für das isomorphe Seleniat $(SeO_4)_3(Co.6NH_3)_2, 5aq$ ⁶⁾ besteht die Combination:

001; 101, 10 $\bar{1}$, 011, 110; 112, 11 $\bar{2}$, 12 $\bar{1}$; 321, 123; 32 $\bar{3}$.

4; 0

Symbol des Complexes: $\begin{matrix} 62 \\ 3 \end{matrix}$.

1) Gazz. chim. ital. 1896, 1, 68. Ref. diese Zeitschr. 30, 185.

2) Rivista di Min. 1898, 18, 79. Ref. diese Zeitschr. 32, 528.

3) Diese Zeitschr. 36, 337.

4) Ebenda 36, 345.

5) Bull. d. l. soc. fr. min. 24, 307. Ref. diese Zeitschr. 37, 273, 6) Ebenda 274.

Es mögen diese Beispiele genügen, um zu zeigen, wie scharf die für die oktaëdrische Structur charakteristische Complication hervortreten kann, sogar ohne genaue individuelle Erforschung des Wichtigkeitsgrades jeder gegebenen Form.

Stellen wir, zu größerer Anschaulichkeit, die verzeichneten Formen zusammen, so erhalten wir folgende Tabelle (mit der Angabe der Anzahl der Flächenpaare):

Nr.	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>O</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	$\mathfrak{A}$	<i>Aa</i>	<i>Aβ</i>	Zusammen:
	{100}	{110}	{111}	{210}	{221}	{211}	{321}	{310}	{323}	
1	3	5	—	—	—	1	—	2	—	11
2	—	6	—	—	—	—	—	—	—	6
3	1	5	2	—	—	—	—	—	—	8
4	1	6	—	—	—	2	—	—	—	9
5	2	3	—	—	—	4	—	—	—	9
6	2	5	—	—	—	1	—	—	—	8
7	—	6	—	—	—	—	—	—	—	6
8	1	4	—	—	—	—	—	—	—	5
9	1	6	—	—	—	—	—	—	—	7
10	2	4	—	—	—	4	—	—	—	10
11	1	6	—	—	—	1	—	—	—	8
12	—	6	—	—	—	1	—	—	—	7
13	—	6	—	—	—	—	—	—	—	6
14	2	5	—	—	—	4	—	—	—	11
15	1	6	—	—	—	4	—	—	—	11
16	—	6	—	—	—	—	—	—	—	6
17	2	6	—	2	—	4	—	—	—	14
18	1	6	—	—	—	—	—	—	—	7
19	2	6	—	—	—	—	—	—	—	8
20	1	5	—	—	—	3	—	—	—	9
21	2	6	—	—	—	6	2	—	—	16
22	—	6	—	—	—	—	—	—	—	6
23	2	6	—	—	—	2	—	—	—	10
24	1	4	—	—	—	4	2	2	—	13
24a	1	6	—	—	—	4	2	4	—	17
25	2	6	—	—	—	6	2	—	2	18
25a	1	6	—	—	—	6	4	—	2	19
in Sa.:	32	148	2	2	0	57	12	8	4	265
	3	6	4	12	12	12	24	12	12	
	$10\frac{2}{3}$	$24\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	0	$4\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	
	1	$\frac{1}{2}$	3	5	9	$11\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	

Die in Summa erhaltenen Zahlen sind durch die Zahlen dividirt, welche die vollständige Anzahl der Flächenpaare jeder gegebenen Form darstellen, um daraus diejenige Zahl zu ermitteln, welche als Ausdruck des Wichtigkeitsgrades jeder Form gelten muß.

Nun sieht man in sehr scharfer Weise die Übereinstimmung der auf diesem Wege erhaltenen Zahlenreihe mit derjenigen der reticulären Dich-

tigkeit für die oktaëdrische Structurart, da die zuletzt angegebene Zahlenreihe diejenige ist, welche den Quadraten der reticulären Dichtigkeit umgekehrt proportional ist.

In dieser Krystallreihe tritt besonders der merkwürdige Umstand hervor, daß die, sonst als die wichtigste erscheinende Form $\{111\}$ ganz unverhältnismäßig selten vertreten ist. Schon dieser Umstand deutet auf sehr sparsames Vorkommen dieser Structurart im Krystallreiche hin. Denselben Schluß ziehen wir besonders aus der Übersicht der Krystalle der kubischen Syngonie, wo fast durchwegs $\{111\}$ als die wichtigste Form unter allen, sogar die Form $\{100\}$ mitgerechnet, auftritt.

Aus dem bei der allgemeinen kritischen Übersicht des Krystallreiches verfaßten Verzeichnisse der Krystalle der kubischen Syngonie ist es ersichtlich, daß darunter nur sehr wenige vorhanden sind, bei welchen die oktaëdrische Structur sehr scharf ausgeprägt ist. Dazu gehört z. B. das hexakis-tetraëdrisch krystallisierende Doppelsalz $(3Na_2C_2O_4 + CrC_6O_{12})$, 9 aq, in welchem lediglich die Formen $\{211\}$ und $\{110\}$ zur Beobachtung gelangt sind ¹⁾.

Aber so gestaltet sich die Sache nur heraus, wenn man sich mit dem einfachen Formenverzeichnis begnügt und von der relativen Wichtigkeit jeder einzelnen Form absieht, deren Kenntnis übrigens fast immer durch specielle individuelle Erforschung erlangt werden kann.

Nun denken wir uns, daß dies wirklich geschehen sei und der relative Wichtigkeitsgrad seinen zahlenmäßigen Ausdruck erhalten habe. Auf welche Weise, durch die Anwendung welchen Kriteriums können wir dann diese Structurart auf überzeugende Weise constatieren?

In der Arbeit »Allgemeinste Krystallisationsgesetze . . . « ²⁾ wurde ein solches Kriterium unter den Krystallen des kubischen Typus nur für die hexaëdrische Structurart entwickelt. Jetzt wollen wir die Sache für die übrigen Structurarten ergänzen.

Dieses Kriterium findet sich in der Anwendung der Formel ³⁾:

$$W = \frac{R}{J} \frac{\text{arc tang } \alpha}{90^\circ} \sin \alpha \sin \beta \cos (A - \gamma),$$

wo W den Wahrscheinlichkeitsgrad, R den reellen, J den ideellen Wert der Aufstellung bedeutet; für die übrigen Glieder, welche für die kubischen Krystalle sämtlich fast genau die Größe 1 erhalten, ist auf die betreffende Arbeit zu verweisen.

Die Zahl R wird bekanntermaßen aus dem Formenverzeichnis ermittelt, und die Zahl J a priori direct aus der betreffenden Tabelle, gemäß der Flächenanzahl, entlehnt.

1) Rammelsberg, Handbuch d. kryst.-physik. Chem. 1882, 2, 61.

2) Diese Zeitschr. 38, 321 ff.

3) Diese Zeitschr. 38, 366.

Für die hexaëdrische Structurart wurde schon früher folgende Tabelle zusammengefaßt 1):

Nummer der Flächenpaare:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Indices:	100	010	001	110	110	101	101	011	011
Die dem Quadrate der reticulären Dichtigkeit proportionale Größe:	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ideeller Wert der Aufstellung (J):	1	2	3	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
10	11	12	13	14—25	26—37	38—49	50—61	62—73	74—85
111	111	111	111	210	211	221	310	311	320
0,33	0,33	0,33	0,33	0,20	0,17	0,11	0,10	0,09	0,08
				12	12	12	12	12	12
6,33	6,66	6,99	7,32	9,72	11,76	13,08	14,28	15,36	16,32
86—109	110—121	122—133	134—145						
321	322	410	411						
0,07	0,06	0,06	0,06						
24	12	12	12						
18,03	18,73	19,43	20,72						

Für die oktaëdrische Structurart läßt sich folgende analoge Tabelle zusammenstellen:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
110	110	101	101	011	011	100	010	001	211	121	112	211	121
2	2	2	2	2	2	1	1	1	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
2	4	6	8	10	12	13	14	15	15,66	16,32	16,98	17,64	18,30
15	16	17	18	19	20	21	22—33	34—37	38—61				
112	211	121	112	211	121	112	310	111	321				
0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,40	0,33	0,29				
							12	4	24				
18,96	19,62	20,28	20,94	21,60	22,26	22,92	27,72	29,07	36,00				
62—73	74—85	86—97	98—121	122—133	134—157								
411	210	332	431	510	521								
0,22	0,20	0,18	0,16	0,16	0,13								
12	12	12	24	12	24								
38,64	43,44	45,60	49,44	51,36	54,48								

Endlich für die dodekaëdrische Structurart ergibt sich folgende analoge Tabelle:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
111	111	111	111	100	010	001	110	110	101	101	011	011
1,33	1,33	1,33	1,33	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1,33	2,66	3,99	5,32	6,32	7,32	8,32	8,82	9,32	9,82	10,32	10,82	11,32

1) Diese Zeitschr. 38, 362.

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
311	131	113	311	131	113	311	131	113	311	131	113
0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
11,68	12,04	12,40	12,76	13,12	13,48	13,84	14,15	14,51	14,87	15,13	15,49
26—37	38—49	50—61	62—73	74—97	98—109	110—121	122—145				
331	210	211	511	531	221	310	532				
0,21	0,20	0,17	0,15	0,11	0,11	0,10	0,09				
12	12	12	12	24	12	12	24				
18,01	20,41	22,45	24,25	26,89	28,21	29,41	31,57				

Jetzt wollen wir diese Tabelle zur Anwendung bringen und durch zahlenmäßigen Ausdruck die relative Wahrscheinlichkeit dafür ermitteln, daß in der oben angegebenen Krystallreihe wirklich die oktaëdrische Structur vertreten ist.

Ermitteln wir zuerst die ideellen Werte J .

Unter Annahme der hexaëdrischen Structurart erhalten wir für die Krystalle:

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	11	6	8	9	9	8	6	5	7	10	8	7	6	11	11	6
	6,66	4,5	5,5	6,0	6,0	5,5	4,5	4,0	5,0	6,33	5,5	5,0	4,5	6,66	6,66	4,5
	17	18	19	20	21	22	23	24	24a	25	25a					
	14	7	8	9	16	6	10	13	17	18	19					
	7,52	5,0	5,5	6,0	7,92	4,5	6,33	7,32	8,12	8,32	8,52					

bei der Annahme der oktaëdrischen Structurart respective:

16,32	12	14	15	15	14	12	10	13	15,66	14	13	12	16,32	16,32	12	
18,30	13	14	15	19,62	12	15,66	17,64	20,28	20,94	21,60						

bei der Annahme der dodekaëdrischen Structurart respective:

10,32	7,32	8,82	9,32	9,32	8,82	7,32	6,32	8,32	9,82	8,82	8,32	7,32				
10,32	10,32	7,32	11,68	8,32	8,82	9,32	12,40	7,32	9,82	11,32	12,79					
13,12	12,48		256,51													

Für die Ermittlung des Wertes R stellen wir die Tabelle zusammen:
unter Annahme der hexaëdrischen Structurart:

100	110	111	210	211	321	310	323				
32	148	2	2	57	12	8	4				
: 1	2	3	5	6	14	10	22				
32	74	0,66	0,40	9,5	0,86	0,8	0,18				

bei der Annahme der oktaëdrischen Structurart respective:

: 1	$\frac{1}{2}$	3	5	$\frac{3}{2}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{11}{2}$				
32	296	0,66	0,40	38	3,44	3,2	0,72				

bei der Annahme der dodekaëdrischen Structurart respective:

:	1	2	$\frac{3}{4}$	5	6	14	10	22
	32	74	2,64	0,40	9,5	0,86	0,8	0,18; 120,38

Also haben wir für die angeführten Krystalle zusammengekommen:
unter Annahme der hexaëdrischen Structur:

$$R = 118,4; J = 162,86; R/J = 0,73;$$

unter Annahme der oktaëdrischen Structur:

$$R = 374,42; J = 408,66; R/J = 0,92;$$

unter Annahme der dodekaëdrischen Structur:

$$R = 120,38; J = 256,54; R/J = 0,47.$$

Die Annahme der letzteren Structur ist also von vornherein unwahrscheinlich. Aber auch der Unterschied zwischen den beiden ersten Zahlen ist scharf genug, um auf überzeugende Weise den Krystallen die oktaëdrische Structur zuzuschreiben.

Aus denjenigen Mineralien, welche von mir persönlich untersucht wurden, sind in dieser Hinsicht besonders die isomorphen Melanterit und Bieberit von Interesse.

Für das erste wurde schon früher die Combination:

H D O C Aa Aa^3
100, 010, 004; 110, 101, $\bar{1}01$, 011; 111; 112, 121, $\bar{1}21$, 211; 013, 304, 403; $\bar{1}05$
constatiert und für das letzte folgende

H D O C Aa
010, 004; 110, 101, $\bar{1}01$, 011; 111; 112, 121, $\bar{1}21$, 211; 013, 403
von mir gefunden ¹⁾.

Berücksichtigt man nur diejenigen Formen, welche beiden gemeinsam sind, so erhält man folgende Tabelle:

{100}	{110}	{111}	{211}	{310}	
2	6	2	8	4	22

also unter Annahme von hexaëdrischer Structur:

:	1	2	3	6	10	
	2	3	0,66	1,25	0,4	7,35

unter Annahme von oktaëdrischer Structur:

:	1	$\frac{1}{2}$	3	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{2}$	
	2	12	0,66	6	1,6	22,26

unter Annahme von dodekaëdrischer Structur:

:	1	2	$\frac{3}{4}$	6	10	
	2	3	2,64	1,25	0,4	9,29

¹⁾ Bulletin de l'Académ. Imp. des Sc. de St. Pétersb. 1902, 17, 94.

Daraus folgt, daß unter respectiven Annahmen man erhält:

$$1) \frac{7,35}{9,12}, \quad 2) \frac{22,26}{23,32}; \quad 3) \frac{9,26}{14,87}.$$

Die oktaëdrische Structur ist somit auch durch diesen zahlenmäßigen Ausdruck sehr scharf ausgesprochen.

Sehen wir unter kubischen Krystallen die Combination {110}, {100}, {211} allein vertreten, so können wir, dem Gesagten gemäß, mit vollständiger Sicherheit ($W = 1$) behaupten, daß dem betreffenden Krystalle oktaëdrische Structur zukommt. Aber gerade diesen Fall haben wir vor uns in solchen Mineralien, wie Granat, Leucit, Analcim; obgleich wir an denselben manchmal verschiedene andere Flächen antreffen (speciell am Granat), so kommt dies doch verhältnismäßig so selten vor und die angegebene Combination dominiert in der überwiegenden Zahl der Exemplare so sehr, daß bei der zahlenmäßigen Schätzung der Wichtigkeit aller übrigen Formen denselben ein der Null sehr nahe kommender Coëfficient zukommt.

Unter den allgemein bekannten Mineralien ist die oktaëdrische Structur vielleicht am schärfsten an den Feldspäten ausgesprochen. Einige auf die allgemeine Übersicht sich beziehende charakteristische Zahlen sind aus dem Cursus der Krystallographie (1904) S. 168 zu entnehmen und auch in dem II. Teile dieser Arbeit ¹⁾ erwähnt.

Nimmt man z. B. als die gewöhnlichste und verbreitetste Combination des Orthoklases:

$$\begin{matrix} n & y & P & M & o & l, T & x \\ H\{100\}, \{001\}; & D\{110\}, \{1\bar{1}0\}, \{101\}, \{0\bar{1}1\}; & C\{112\} \end{matrix}$$

an, so findet man leicht für R/J die Werte: 0,80 bei der Annahme der hexaëdrischen, 0,52 bei der Annahme der dodekaëdrischen Structur, während bei der Annahme der oktaëdrischen Structur diese Combination sich als die ideelle erweist (also $R/J = 1$), und demgemäß die Zugehörigkeit zu dieser Structur als fast absolut sicher festgestellt behauptet werden kann.

Aus diesem Beispiele ersieht man am besten, wie wichtig der in dieser Arbeit vertretene Standpunkt ist, wie verhältnismäßig scharf auf diesem Wege Schlußfolgerungen gezogen werden können.

Aus der Reihe der von mir persönlich untersuchten Mineralien erlaube ich mir noch eines zu erwähnen, welches mir von besonderem Interesse erschien.

Ich muß dabei erwähnen, daß, seitdem die Grundlage für die eindeutige Aufstellung (in der Arbeit »Allgemeinste Krystallisationsgesetze...«) festgestellt worden war, ich in meiner eigenen Praxis jeden einzelnen Krystall (mit genügender Combination) direct nach der Herstellung seines Diagramms

¹⁾ Diese Zeitschr. 36, 226.

mit solchen Indices bezeichne. Soll dieses ein Mineral darstellen, welches in meine »Kritische Übersicht der Krystalle des Mineralreiches« aufgenommen wurde, so finde ich direct nach dem einzelnen Diagramm, ohne Zeit zu verlieren, durch die Aufsuchung verschiedener Quellen und verschiedener Voraussetzungen, was es für ein Mineral ist.

Vor kurzem untersuchte ich die Mineralien, welche Hr. W. W. Nikitin aus den (Gold-)Wascharbeiten des Bergkreises Tomsk¹⁾ entnommen hat. Diese Mineralien erschienen in zum Teil sehr schönen Krystallen, aber in abgerollter Form; und darunter werden verschiedene gefunden.

Nur erwies sich eines davon als pseudokubisches mit der Abweichung von echt kubischen Krystallen höchstens um 3° und dabei in einer Combination, welche mit derjenigen eines Leucits oder eines Granats als identisch gelten kann. Die Gesamtheit der Flächen ist also mit der vom Granat fast vollständig übereinstimmend mit Abwesenheit einzelner Flächen ohne jede Rücksicht auf Symmetrieverhältnisse, wie dies auch in kubischen Krystallen fast stets vorkommt.

Ist dem aber so, so wird zugleich jede Willkür in der Aufstellung beseitigt und nun, der Anschaulichkeit wegen, gebe ich das vollständige Flächenverzeichnis eines solchen Krystalles auf einer Hemisphäre, während die andere durch eine einzige Spaltungsfläche ersetzt wurde, und zwar (100):

$\begin{matrix} H & D & C \end{matrix}$
 $0\bar{1}0; 101, 110, 10\bar{1}, 0\bar{1}\bar{1}; 112, 1\bar{1}2, 1\bar{1}\bar{2}, 11\bar{2}, 121, 1\bar{2}1, 1\bar{2}\bar{1}, 12\bar{1}, 2\bar{1}1, 2\bar{1}\bar{1}.$

Daraus ersieht man das Fehlen von 100 (gerade die sehr deutliche Spaltungsfläche), 001, 110, 211, 211; sonst würde die vollständige Combination eines kubischen Krystalles vorliegen.

Inwiefern auch die sphärischen Coordinaten denjenigen der kubischen Krystalle entsprechen, ersieht man aus folgender Tabelle (berechnete Werte, welche auf der Winkelgröße $100:101 = 47^{\circ}50'$ und $100:110 = 45^{\circ}0'2''$ ihren Grund haben).

Sphärische Coordinaten					
die der gefundenen Krystalle:			die der kubischen Krystalle:		
p	φ	ϱ	φ	ϱ	q
010	0° 0'	90° 0'	0° 0'	90° 0'	110
110	45 0	90 0	45 0	90 0	100
101	90 0	42 10	90 0	45 0	111
121	26 34	63 44	26 34	65 54	311
112	45 0	32 39	45 0	35 46	101

Bringt man aber die Transformationsformel:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_1 + p_2 : p_1 - p_2 : p_3$$

1) System von Kelbek (d. Mat. war von Herrn Korotkow gesammelt).

2) In der Tat wurde $45^{\circ}2'$ gefunden, aber dies weicht nur in den Fehlergrenzen ab.

zur Anwendung, so findet man die in der letzten Colonne angeführten Indices, und dann erweist sich, daß die betreffenden Winkel für Zirkon ganz genau übereinstimmen.

Berücksichtigen wir also diesen einzigen Krystall, so würde man fast zweifellos schließen müssen, daß Zirkon ein pseudokubisches Mineral ist von oktaëdrischer Structur.

Zieht man aber mehrere Krystalle desselben in Betracht, so stößt man bald auf einige Widersprüche.

Wie erwähnt, ersieht man schon an dem angeführten Krystalle, daß die Fläche $\{1\bar{1}0\}$ durch zwei Flächen $\{2\bar{1}\bar{1}\}$ und $\{2\bar{1}1\}$ ersetzt worden ist. Bei der Übersicht mehrerer Krystalle findet man sogar, daß die zwei letzteren sich von größerer Wichtigkeit erweisen, als die erste: aus acht Krystallen, welche in einer Partie zusammen gesammelt worden waren, wurde in allen ohne Ausnahme die Form $\{112\}$, und nur in vier derselben die Form $\{104\}$ und in zwei auch die Form $\{110\}$ constatiert (sogar in diesen beiden durch eine einzige Fläche, oder, genauer, Flächenandeutung). Unter Annahme der oktaëdrischen Structur ist dies wenig begreiflich, da gerade diese Flächen die wichtigsten sein müssen. Noch weniger begreiflich ist das stetige Erscheinen von $\{112\}$, da solches nur mit der Annahme eines stark positiven Krystalles stimmte, und in der Tat weisen die Eigenschaften des Zirkons eher auf sein negatives Antlitz (oft prismatisch nach der Verticalaxe, deutliche Spaltbarkeit nach zwei senkrechten Flächen derselben Zone, vollständige Abwesenheit der Form $\{004\}$ an meinen Krystallen und zahlreicheres Auftreten der positiven Formen). Gerade mit allen diesen Tatsachen ist die übliche Aufstellung in Übereinstimmung. Wirft man dann aber einen Blick auf diese Tabelle, so findet man die Zugehörigkeit des Zirkons zu den Krystallen von dodekaëdrischer Structur wahrscheinlicher. Deswegen wenden wir uns der Frage zu, ob ernsthafte Tatsachen für die Annahme dieser letzteren vorhanden sind.

Nun seien wieder einige wenige von mir angemerkte Beispiele (bei der Ausführung der allgemeinen kritischen Übersicht des Krystallreiches) wegen des sehr scharfen Ausdruckes dieser Structur aufgezählt.

1. Sarkinit $AsO_4Mn(MnOH)^1$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 + p_3 : -p_2 + p_3 : p_1 + p_3 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

<i>H</i>	<i>O</i>	<i>Aa</i>
100, 004;	111, 1 $\bar{1}$ 1;	3 $\bar{1}$ 1
($\bar{1}$ 11) (100)	(001) (110)	(021)

¹⁾ Die Combinationen dieses und der folgenden Mineralien sind den »Krystallographischen Winkeltabellen« Goldschmidts entnommen.

Das Symbol des Complexes dieses monoklinen trigonaloiden Krystalles
 $3; \frac{1}{2}$
 ist: 66 .
 -3

2. Sarkolith $Si_9O_{36}Al_6Ca_8Na_2$.

Die beobachtete Combination dieses tetragonalen Minerals ist:

H	D	O	A	$A\gamma$	Ab
100, 004;	110, 044;	111;	210;	311, 113;	331, 133.

Symbol des Complexes: $\frac{4}{54}$.

3. Wernerit (Mejonit) $[Si_2AlO_8]_3Al_2[AlO]Ca_4$.

Die beobachtete Combination dieses tetragonalen Minerals ist:

H	D	O	A	Aa	Ab
100, 004;	110, 044;	111;	210;	311;	331.

Symbol des Complexes: $\frac{4}{32}$.

4. Natrolith $[SiO_3]_3Al[AlO]Na_2$, 2 aq.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_1 : p_3 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

H	D	O	A	B	Aa	Ab	$A\gamma$	$Aa^2\gamma$
100, 040, 004;	110, 044, 104;	111;	210;	221;	130, 304, 034;	331;	344, 134;	454 u. a.

Symbol des Complexes: $\frac{4}{27}$.

5. Skolezit $[SiO_3]_3Al[Al.2OH]Ca$, 2 aq.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_1 : p_3 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

H	D	O	A	Ab	$A\gamma$	BA
100, 040;	110, 044;	111, 111;	210, 120;	331;	134, 341;	534 u. a.

Symbol des Complexes: $\frac{4; 0}{27}$.

6. Saures unterphosphorsaures Natrium $Na_2H_2P_2O_6$, 6 aq¹⁾.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 + p_3 : -p_2 + p_3 : p_1 + p_3 \quad \text{gültig.}$$

¹⁾ Diese Zeitschr. 3, 608.

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{cccc} H & D & O & A\gamma \\ 100, 001; & 101; & 111, \bar{1}\bar{1}\bar{1}, 11\bar{1}; & 311 \\ (\bar{1}\bar{1}\bar{1})(100) & (111) & (001)(110)(\bar{2}01) & (\bar{1}\bar{1}2) \end{array}$$

$$3; +16.$$

Symbol des Complexes: $70.$; also ist dieser ein sehr stark positiver trigonaloider Krystall, weshalb er tafelig nach (111) erscheint.

7. Parabromphenol $C_6H_4Br(OH)^1$.

Die beobachtete Combination dieses tetragonalen Krystalles ist:

$$H \ 100; \ O \ 111; \ A\gamma \ 131.$$

Symbol des Complexes: $\frac{4}{32}.$

8. Dimethylammonium-Kupferchlorid $N(CH_3)_2H_2Cl.CuCl_2^2$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 + p_3 : -p_2 + p_3 : -p_1 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{cccc} H & D & O & A\gamma \\ 100, 00\bar{1}; & 110, 0\bar{1}\bar{1}, 10\bar{1}, 1\bar{1}0; & 1\bar{1}\bar{1}, 11\bar{1}, \bar{1}\bar{1}\bar{1}; & 1\bar{1}\bar{3}, \bar{1}\bar{3}\bar{1} \\ (011)(100) & (001)(21\bar{1})(010) & (110)(101)(10\bar{1}) & (310)(11\bar{2}) \end{array}$$

$$3; +2.$$

Symbol des Complexes: $\frac{63}{-6}.$

9. Acetylorthoamidobenzoësäure $C_6H_4CO_2H.NHC_2H_3O^3$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_1 : p_3 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{cccc} H & O & Ab & A\gamma \\ 001; & 111; & 313; & 113, 311 \\ (001) & (111) & (133) & (113)(131) \end{array}$$

$$\frac{4}{1}$$

Symbol des Complexes: $76.$

10. Platoäthylsulfinnitrit $Pt(ONO)_2.2S(C_2H_5)_2^4$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : p_1 : p_3 \quad \text{gültig.}$$

1) Diese Zeitschr. 7, 582.

2) Oversigt o. d. K. D. Vidensk. Selsk. Forh. 1882. Ref. diese Zeitschr. 8, 252.

3) Journ. of chem. Soc. 1880, 37, 754. Ref. diese Zeitschr. 9, 92.

4) Diese Zeitschr. 14, 125.

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{cccc} H & 001; & O & 111; & A\gamma & 113; & Aa^2\gamma & 115 \\ & (001) & & (111) & & (113) & & (115) \end{array}$$

4

Symbol des Complexes: 76. In diesen nach (004) tafeligen Krystallen

3.

ersieht man in (004) vollkommene Spaltbarkeit.

11. Orthotoluolsulfonamid $NH_2SO_2C_6H_4CH_3$ ¹⁾.

In diesem tetragonal-bipyramidalen Krystalle wurde folgende Combination beobachtet:

$$D \ 110; \ O \ 111; \ Ab \ 331; \ A\gamma \ 311.$$

Symbol des Complexes: $\frac{4}{26}$.

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_3 : p_1 : p_2 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccccccccc} H & & D & & O & & A & & A\gamma \\ 010, 001, 100; & 110, 1\bar{1}0, 101; & 111, 1\bar{1}1; & 201, 021; & 131, 311 \\ (100)(010)(001) & (101)(1\bar{1}01)(011) & (111)(1\bar{1}1) & (012)(210) & (311)(113) \end{array}$$

4; 2.

Symbol des Complexes: $\frac{37}{-1}$.

—1.

Die unten stehende Zahl —1 weist darauf hin, daß der Winkel (110): (110) = 87°. von dem rechten weniger abweicht, als der Winkel (100): (010) = 86°.

Mit dieser Propylverbindung ist die analoge Äthylverbindung isomorph. Dieselbe zeigt die Combination ³⁾:

$$\begin{array}{ccccccccc} H & & D & & O & & A & & A\gamma \\ 010, 100; & 110, 1\bar{1}0; & 111, 1\bar{1}1; & 201; & 131, 311 \\ (100)(001) & (101)(1\bar{1}01) & (111)(1\bar{1}1) & (012) & (311)(113) \end{array}$$

Für die eindeutige Aufstellung gelten die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = -3p_1 + p_3 : -p_1 - 4p_2 - p_3 : p_1 + p_3,$$

1) Diese Zeitschr. 15, 249.

2) Ebenda 18, 568.

3) Ebenda 18, 564.

4) Ann. d. Sc. phys. et nat. Genève 21, 33. Ref. diese Zeitschr. 20, 264.

deswegen ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccccccc}
 H & D & O & Ab & A\gamma & Aa^2\gamma & BA \\
 0\bar{1}0, 100; & \bar{1}10; & 1\bar{1}1, \bar{1}\bar{1}1, 111, \bar{1}11; & \bar{3}31; & \bar{3}\bar{1}1; & 1\bar{3}1; & \bar{3}\bar{5}1 \\
 (010) (\bar{1}01) & (1\bar{1}\bar{1}) & (001) (101) (0\bar{1}2) (1\bar{1}1) & (1\bar{1}0) & (100) & (011) & (110) \\
 & & 4; 1 & 4 & & & \\
 \text{Symbol des Complexes:} & 34; & +20. & & & & \\
 & 4 & & & & &
 \end{array}$$

14. α -Dypnopinakon $C_{32}H_{28}O_2$ 1).

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_1 : p_3 : p_2 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccc}
 H & 001, 100, 010; & O \ 111; \ A\gamma \ \bar{1}13 \\
 & (010) (100) (001) & (111) \quad (\bar{1}31) \\
 & 4; 2 & \\
 \text{Symbol des Complexes:} & 51 & . \\
 & 0 &
 \end{array}$$

15. Phenylacridin $C_6H_4.CN.C_6H_5.C_6H_4$ 2).

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 : -p_1 : p_1 + p_3 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccc}
 H & D & O & A\gamma \\
 100; & 110, 011, 0\bar{1}1; & 1\bar{1}1, 111; & 311 \\
 (010) & (\bar{1}11) (\bar{1}02) (100) & (110) (\bar{1}12) & (\bar{1}32) \\
 & 4; -8. & & \\
 \text{Symbol des Complexes:} & 34 & . & \\
 & 0 & &
 \end{array}$$

16. p-Xylolsulfonsaures Natrium $C_6H_3(CH_3)_2SO_3Na$, aq 3).

Für die eindeutige Aufstellung sind die Transformationsgleichungen:

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_2 + p_3 : -p_2 + p_3 : p_1 + p_3 \quad \text{gültig.}$$

Demgemäß ist die beobachtete Combination:

$$\begin{array}{ccc}
 H & O & A\gamma \\
 001, 100; & 111, 11\bar{1}, 1\bar{1}1; & 11\bar{3} \\
 (100) (\bar{1}11) & (001) (\bar{2}01) (110) & (\bar{1}01) \\
 & 3; 0 & \\
 \text{Symbol des Complexes:} & 74 & . \\
 & -2. &
 \end{array}$$

1) Bull. de l'Acad. R. de Belg. **22**, 470 ff. Ref. diese Zeitschr. **23**, 478.

2) Diese Zeitschr. **23**, 572.

3) Ebenda **38**, 93.

Zählt man auch jetzt für jeden Krystall die Anzahl der Flächenpaare jeder einzelnen Form, nur die wichtigsten Formen berücksichtigend, so erhält man die folgende, der S. 538 angeführten analoge Tabelle:

Nr.	111	100	110	311	331	210	
1	3	3	—	2	—	—	8
2	4	3	6	12	12	4	41
3	4	3	6	8	4	4	29
4	4	3	6	8	4	2	27
5	4	2	4	4	2	4	20
6	4	3	2	—	—	—	9
7	4	3	—	8	—	—	15
8	4	3	5	4	—	—	16
9	4	1	—	8	4	—	17
10	4	1	—	2	—	—	7
11	4	—	4	8	4	—	20
12	4	3	4	4	—	4	19
12a	4	2	2	4	—	2	14
13	4	2	1	1	1	—	9
14	2	3	—	2	—	—	7
15	4	1	4	2	—	—	11
16	4	3	—	1	—	—	8
in Summa:	65	39	44	78	31	20	277
:	4	3	6	12	12	12	
	$16\frac{1}{4}$	13	$7\frac{1}{3}$	$6\frac{1}{2}$	$2\frac{7}{12}$	$1\frac{2}{3}$	
	$\frac{3}{4}$	1	2	$2\frac{3}{4}$	4	5	

Nun ersieht man aus dieser Tabelle, daß trotz dieser sehr kleinen Statistik die Zahlen gerade in derjenigen Reihenfolge angeordnet sind, wie dies für die Krystalle der dodekaëdrischen Structur von der Theorie vorausgesehen wird.

Wir können dasselbe Resultat auch auf anderem Wege erbringen, indem die oben angegebenen theoretischen Tabellen zur Anwendung gebracht werden.

Ermitteln wir zuerst die ideellen Werte J .

Unter Annahme der hexaëdrischen Structurart erhalten wir für die Krystalle:

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	8	41	29	27	20	9	15	16	17	7	20	19
	5,5	12,2	10,4	10,06	8,72	6,0	7,72	7,92	8,12	5,0	8,72	8,52
								12a	13	14	15	16
								14	9	9	11	8
								7,52	6,0	5,0	6,66	5,5; 129,56

bei der Annahme der oktaëdrischen Structurart respective

11	30,2	26,12	25,32	22,26	15	18,96	19,62	20,28	13	22,26	21,6
	18,3	15	13	16,32	14;	325,54					

und bei der Annahme der dodekaëdrischen Structurart respective:

8,82 18,84 16,33 15,91 13,84 9,32 12,04 12,4 12,76 8,32 13,84
13,48 11,68, 9,32 7,32 10,32 8,82; 203,33.

Für die Ermittlung des Wertes R fassen wir die Tabelle zusammen unter Annahme der hexaëdrischen Structurart:

444	400	440	344	334	240
65	39	44	78	34	20
: 3	4	2	11	19	5
<hr/>					
21,66	39,0	22,0	7,1	1,63	4,0; 95,36

bei der Annahme der oktaëdrischen Structurart respective:

: 3	4	$\frac{1}{2}$	11	19	5
<hr/>					
21,66	39,0	88,0	7,1	1,63	4,0; 161,39

bei der Annahme der dodekaëdrischen Structurart respective:

: $\frac{3}{4}$	4	2	$2\frac{3}{4}$	$4\frac{3}{4}$	5
<hr/>					
86,64	39,0	22,0	28,4	6,52	4,0; 186,56

Also haben wir für die angeführten Krystalle, zusammengenommen, unter Annahme der hexaëdrischen Structur:

$$R = 95,36; J = 129,56; R/J = 0,72;$$

unter Annahme der oktaëdrischen Structur:

$$R = 161,39; J = 325,54; R/J = 0,50;$$

unter Annahme der dodekaëdrischen Structur:

$$R = 186,56; J = 203,33; R/J = 0,92.$$

So scharf drückt sich im Mittel die dodekaëdrische Structurart zahlenmäßig aus.

Für die Krystalle dieser Structurart tritt die Form {444} als die wichtigste hervor. Nun aber ist gerade diese Form in den Krystallen des Mineralreiches besonders beständig vertreten, was darauf hindeutet, daß diese Hauptstructurart im Mineralreiche besonders oft vertreten ist, obgleich zur Zeit nicht gut möglich erscheint, diesen Schluß auf überzeugende Weise in jedem Einzelfalle festzustellen.

Unter den Krystallen des Mineralreiches scheint man hierzu die Mineralien der Spinellgruppe rechnen zu müssen.

Als die wichtigste Combination, wenn man von dem verbreitetsten Falle des alleinigen Auftretens der Form {444} absieht, erscheint {444}, {440}, {344}. Wenn wir also von den übrigen, selteneren, Formen absehen, so erhalten wir für R

unter Annahme der hexaëdrischen Structur	die Zahl	5,42
- - - oktaëdrischen	- - -	14,42
- - - dodekaëdrischen	- - -	12,68

und die betreffenden Zahlen für J (für 22 Flächenpaare) 9,12, 23,32, 14,87. Für R/J erhalten wir also respective die Zahlen 0,59, 0,62 und 0,85.

Dasselbe bezieht sich auf die Fehlerze mit der herrschenden Combination {111}, {110}, {311}, auf Sphalerit mit der Combination {111}, {311}, {110}, {100}, auf Monimolit mit der Combination {111}, {311}, auf Pyrochlor {111}, {110}, {311}, Mikrolith mit der Combination {111}, {110}, {100}, {311} und viele andere. Aber bevor dieses Resultat als ganz sicher festgestelltes anzusehen wäre, ist nötig, auf statistischem Wege die relative Wichtigkeit dieser Combinationen auf Grund directer Erfahrung zu bestätigen. Bis dahin wäre dasselbe nur als sehr wahrscheinlich anzusehen.

Überhaupt scheint für die betreffenden Structurarten das Auftreten, als sehr wichtiger Form des Complexes, von {211} für die oktaëdrische, von {311} für die dodekaëdrische und von {210} für die hexaëdrische Structurart charakteristisch.

Zum Schlusse wollen wir die hier angedeutete Methode der individuellen Erforschung zur Entscheidung der Frage über seine Hauptstructur an dem Beispiele des Zirkons prüfen.

Schon oben wurde darauf hingewiesen, daß bei der Annahme der oktaëdrischen Structur und pseudokubischen Aufstellung man auf einige Widersprüche stößt. Aber die Widersprüche scheinen sich noch zu steigern, wenn man die dodekaëdrische Structur und die übliche Aufstellung annimmt. Jedenfalls steht die Frage zwischen diesen beiden Annahmen.

Wegen der sichersten Auflösung dieser Aufgabe habe ich sämtliches krystallographisches mir zu Gebote stehendes Material (aus der mineralogischen Sammlung der landwirtschaftlichen Akademie) durchstudiert und dabei folgendes erhalten¹⁾.

Die meisten Krystalle sind dem Miascit des Ilmengebirges entnommen. An allen diesen Krystallen, kleinen und großen, wurde stets eine und dieselbe Combination constatiert: a, m, s . Die Anzahl der Krystalle betrug ca. 50.

An zwei großen Krystallen wurde die Combination a, m, s, q, π constatiert (gemessen $s q$ ca. 20° und $s \pi$ ca. $28\frac{1}{2}^\circ$; an einem Krystalle wurde in einer Zone s, q und in einer anderen s, π beobachtet, als ob die verticale vierzählige Symmetrieaxe gefehlt hätte).

Unter vielen Zirkonkrystallen, welche aus den Goldwäschereien der Wysokaja Gora stammen, wurden an zwölf die Combination a, m, s und an zehn nur m, s beobachtet.

Ebenfalls unter sehr vielen Krystallen aus Blue Ridge am Green River,

1) Überhaupt wurden folgende Formen beobachtet:

Buchstabe:	a	m	c	s	λ	q	π
pseudokubische	110	100	112	101	211	201	301
übliche Aufstellung:	100	110	101	111	311	221	331

N.-Carolina, wurde an ca. 40 die Combination a, m, s^1), an 13 die Combination m, s, π und an einem a, m, s, λ, π constatiert.

Unter vielen abgerundeten aus Alluvionen von Ceylon herstammenden Hyacinthkrystallen wurde an zehn die Combination a, m, e, s, ϑ constatiert (e und λ in der Form von sehr schmalen Abstumpfungsflächen). Diese kleinen Krystalle ähneln in hohem Grade einem Granat, etwa Almandin, in der Combination $\{110\}, \{211\}$ mit Hinzutreten von $(100), (010)$ (und ohne (001)); der Winkel $(101):(101) = 84^\circ 10'$ (nicht sehr genau infolge Verschwommenheit der Reflexe).

Endlich unter den von Herrn Nikitin aus den Goldwäschereien vom Bergkreise Tomsk mitgebrachten Krystallen wurde an zweien die Combination a, m, s, e, λ , an einem $a, m, s, e, \lambda, \varrho^2$), an einem m, e , an zweien e, s und noch an zweien nur s gefunden.

Jetzt sind wir in der Lage, jeder beobachteten Form einigermaßen die ihr zukommende Wichtigkeit in der Combination zuzuerteilen und demgemäß die aufgestellte Frage auf statistischem Wege zu lösen, wenngleich die Statistik noch nicht sehr vollkommen ist.

Dies geschieht mit Hilfe von folgenden Tabellen:

Anzahl der Kryst.:	Pseudokubische Aufstellung:							Übliche Aufstellung:							Anzahl der Flächenpaare:
	110	101	100	112	211	301	201	111	100	110	101	311	331	221	
50	2	4	2	—	—	—	—	4	2	2	—	—	—	—	400=8.50
2	2	4	2	—	—	4	4	4	2	2	—	—	4	4	32=16.2
40	2	4	2	—	—	—	—	4	2	2	—	—	—	—	320=8.40
13	—	4	2	—	—	4	—	4	—	2	—	—	4	—	130=10.13
1	2	4	2	—	8	4	—	4	2	2	—	8	4	—	20=20.1
10	2	4	2	4	8	—	—	4	2	2	4	8	—	—	200=20.10
12	2	4	2	—	—	—	—	4	2	2	—	—	—	—	96=8.12
10	—	4	2	—	—	—	—	4	—	2	—	—	—	—	60=6.10
2	2	4	2	4	8	—	—	4	2	2	4	8	—	—	40=20.2
1	2	4	2	4	8	—	4	4	2	2	4	8	—	4	24=24.1
1	—	—	2	4	8	—	—	—	—	2	4	8	—	—	14=14.1
2	—	4	—	4	—	—	—	4	—	—	4	—	—	—	16=8.2
2	—	—	—	4	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	8=4.2
	236	572	284	72	120	64	12	572	236	284	72	120	64	12	1360

Für die Ermittlung der Zahl R unter Annahme der oktaëdrischen Structur und pseudokubischen Aufstellung:

Indices:	110	100	211	301	201
	808	284	192	64	12
Parameter:	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{2}$	5
	1616	284	128	25,6	2,4; 2056;

1) a nur in der Form von sehr schmalen Abstumpfungsflächen.

2) Merkwürdig ist das Erscheinen der Flächen λ an den letzten drei Krystallen als fast größten von allen übrigen Flächen der Combination; in den kubischen Krystallen ist dies an der Form $\{311\}$ nicht der Fall.

unter Annahme von üblicher Aufstellung und dodekaëdrischer Structur:

Indices:	111	100	110	311	331	221
	572	236	356	120	64	12
Parameter:	$\frac{3}{4}$	1	2	$\frac{11}{4}$	$\frac{19}{4}$	9
	763	236	178	43,5	13,5	1,3; 1235.

Auf bekanntem Wege finden wir für J aus gegebener Flächenanzahl für oktaëdrische Structur:

15,66	20,24	15,66	15,66	23,32	23,32	15,66	12	22,26	24,32	18,30	14	8
× 50	2	40	13	1	10	12	10	2	1	1	2	2
783	40,48	626,4	203,58	23,32	233,2	187,92	120	44,52	24,32	18,30	28	16
also zusammen genommen: 2349,												

und für dodekaëdrische Structur:

9,82	13,12	9,82	9,82	14,87	14,87	9,82	7,32	13,84	15,13	11,68	8,82	5,32
× 50	2	40	13	1	10	12	10	2	1	1	2	2
also zusammen genommen: 1475.												

Folglich bei der ersten Annahme $R/J = \frac{2056}{2349} = 0,88$ und bei der zweiten $\frac{1235}{1475} = 0,82$.

Daraus folgt, daß Zirkon richtiger als pseudokubischer Krystall mit oktaëdrischer Hauptstructur aufzufassen wäre.

Der Hauptschluß dieser Arbeit ist, daß für die feinere Aufgabe der Entscheidung über die Hauptstructurart eines Krystalles des kubischen Typus es ganz notwendig ist, umständlich zu verfahren und für jeden gegebenen Krystall den Wichtigkeitsgrad jeder einzelnen Form im gesamten Complex zu berücksichtigen. Sonst liegt die Gefahr nahe, auf Widersprüche zu stoßen und sogar falsche Schlüsse zu ziehen.