

Kristallchemie natürlicher Telluride

III: Die Kristallstruktur des Minerals Calaverit, AuTe_2

Franz Pertlik

Institut für Mineralogie und Kristallographie der Universität Wien,
Dr. Karl-Lueger-Ring 1, A-1010 Wien

Eingegangen am 19. Juli 1984, in revidierter Form am 30. November 1984

Crystal structure / Gold telluride / Calaverite / AuTe_2

Abstract. The crystal structure of calaverite, AuTe_2 , ($a = 8.76(1)$, $b = 4.410(5)$, $c = 10.15(1)$ Å, $\beta = 125.2(2)^\circ$, space group: Pc , $Z = 4$) was determined by Patterson methods from 577 independent X-ray intensities. The refinement yielded an R value of 0.082 (σ -weighted 0.063).

The two crystallographically different Au atoms are both surrounded by six Te atoms in a $[4+2]$ coordination. Via common Te–Te edges the Au polyhedra are combined to “sheets” normal to $[001]$. These “sheets” are connected by short Te–Te bonds of 2.87 Å (Te_2 dumbbells) to a framework with no pronounced cleavage.

Einleitung

In den Kristallstrukturen der Minerale Sylvanit, AuAgTe_4 und Krennerit, $(\text{Au}_{1-x}\text{Ag}_x)\text{Te}_2$ ($x \approx 0,2$), sind jeweils verzerrte MeTe_6 -Oktaeder ($\text{Me} = \text{Au, Ag}$) über gemeinsame Te–Te-Kanten zu „Schichten“ verknüpft, die über starke Te–Te-Bindungen ($\text{Te–Te} < 2,9$ Å) zu einem Gerüst verbunden werden (Pertlik, 1984a, b). Im Zusammenhang mit der Neubestimmung dieser zwei Kristallstrukturen wurde auch die Struktur des Minerals Calaverit mit modernen Methoden untersucht. Der Strukturtyp des Calaverits wurde von Tunell und Ksanda (1935) bestimmt. In einem zusammenfassenden Artikel über Kristallchemie und chemische Bindungsverhältnisse in den Goldtelluriden wird von Tunell und Pauling (1952) jedoch erwähnt, daß, bezogen auf die Angaben in der Arbeit über den Strukturtyp, eine der Gitterkonstanten zu verdoppeln ist (ohne Angabe der Richtung).

Zu bemerken ist, daß an Calaveritkristallen Flächenformen auftreten, die nicht mit niedrigen Indizes zu belegen und teilweise sogar nicht rational

Tabelle 1. Kristalldaten, Bedingungen bei der Messung der Röntgenintensitäten und Ergebnisse der Strukturbestimmung für Calaverit

$a = 8,76(1) \text{ \AA}$	Kristalldimensionen: $0,15 \times 0,15 \times 0,15 \text{ mm}^3$
$b = 4,410(5) \text{ \AA}$	Strahlung: MoK α
$c = 10,15(1) \text{ \AA}$	ω -scan
$\beta = 125,2(2)^\circ$	Zweikreisdiffraktometer (Stoe Stadi 2)
$Z = 4 \{ \text{AuTe}_2 \}$	Drehachse: $\{010\}$
Raumgruppe Pc	Graphitmonochromator
$\mu(\text{MoK}\alpha) \approx 638 \text{ cm}^{-1}$	Meßbereich: $0 < \sin \vartheta / \lambda < 0,7 \text{ \AA}^{-1}$
$R: 0,083$	gemessene Intensitäten: $2572 (\pm hk \pm l)$
$R_w: 0,063$	symmetrieunabhängige Intensitäten mit $I \geq 2\sigma_I: 577$
$w = 1/\sigma(F_o)$	
Freie Parameter: 53	

indizierbar sind. Bezüglich dieses Problems sei auf die Arbeiten von Peacock (1932), Goldschmidt et al. (1932) und Donnay (1935) verwiesen.

Experimentelles

Untersuchungsmaterial, Calaverit vom Cripple Creek, Colorado, stellte das Landesmuseum Joanneum in Graz, Mineralogische Abteilung, zur Verfügung (Inv. Nr. 00710).

Elektronen-Mikrostrahl-Analysen zeigten, daß die zur Verfügung stehenden Kristalle homogen sind. Der Silbergehalt liegt bei $\approx 0,20(5)$ Gewichtsprozent; weitere Elemente in Anteilen $> 0,1$ wurden nicht gefunden (Edax-System).

Eine genaue röntgenographische Untersuchung des reziproken Raumes (Weissenberg- und Präzessionsfilmaufnahmen) zeigte, daß gegenüber den Angaben von Tunell und Ksanda (1935) die c -Gitterkonstante zu verdoppeln ist, und daß ein primitives Translationsgitter vorliegt. Die Transformation des direkten Gitters, wie es von Tunell und Ksanda (1935) angegeben wird, nach

$$\begin{pmatrix} 10\bar{1} \\ 010 \\ 002 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_{T+K} \\ y_{T+K} \\ z_{T+K} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

ergibt eine reduzierte monokline Zelle; die in Tabelle 1 angeführten Gitterkonstanten beziehen sich auf diese Zelle. In dieser Tabelle sind auch die Bedingungen für die Messung der Röntgenintensitäten und Angaben zur Strukturberechnung zusammengefaßt.

Die gemessenen dreidimensionalen Röntgenintensitäten wurden nach einer Korrektur der Absorptionseffekte entsprechend der Kristallgestalt, und nach Korrekturen für die Lorentz- und Polarisierungseffekte entspre-

Tabelle 2. Ortskoordinaten und Koeffizienten der anisotropen Temperaturfaktoren ($\beta_{ij} \cdot 10^4$) für Calaverit (Standardabweichungen in Klammern). Zwei invariante Koordinaten zur Festlegung des Ursprungs in der Raumgruppe Pc sind mit je einem Stern versehen. Die anisotropen Temperaturfaktoren sind definiert als

$$\exp - \left(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 h_i h_j \beta_{ij} \right)$$

Atom	x	y	z	β_{11}	β_{22}	β_{33}	β_{12}	β_{13}	β_{23}
Az(1)	0,7483*	0,4938(6)	0,1243*	51(3)	289(10)	62(2)	-15(6)	32(2)	7(6)
Au(2)	0,2460(5)	-0,0059(9)	0,8731(4)	62(3)	298(10)	69(3)	-15(4)	35(2)	12(4)
Te(1)	0,9351(4)	-0,0138(9)	0,5728(5)	57(7)	1011(63)	74(5)	40(13)	46(5)	-33(13)
Te(22)	0,5585(5)	0,0520(9)	0,6747(5)	42(6)	431(29)	70(7)	-38(9)	32(5)	-50(9)
Te(3)	0,0575(5)	0,4464(9)	0,4209(5)	52(6)	448(29)	57(6)	26(10)	29(5)	36(10)
Te(4)	0,4363(5)	0,5585(9)	0,3235(5)	59(6)	325(22)	70(5)	-59(9)	37(4)	-46(9)

chend der Aufnahmegeometrie sowie nach Mittelung von Mehrfachmessungen in Strukturfaktoren übergeführt.

Die Ortskoordinaten sämtlicher Atome wurden anhand einer dreidimensionalen Pattersonsumme bestimmt. Eine anschließende Verfeinerung dieser Koordinaten und der isotropen Temperaturfaktoren in der Raumgruppe $P2/c$ ergab unerwartet hohe Temperaturfaktoren für alle Atome. Eine in diesem Stadium gerechnete Fouriersumme zeigte weiters, daß die Maxima sämtlicher Atome stark ausgelängt bzw. teilweise sogar aufgespalten sind. Diese Tatsache und der in diesem Stadium der Strukturberechnung hohe R -Wert von 17% deuteten auf das Vorliegen einer nicht zentrosymmetrischen Raumgruppe hin. Eine schrittweise Verfeinerung, vorerst der Ortskoordinaten, anschließend diese gemeinsam mit den isotropen und im letzten Stadium mit den anisotropen Temperaturfaktoren nach der Methode der kleinsten Quadrate (volle Matrix) in der Raumgruppe Pc konvergierte bei einem R -Wert von 0,082.

Zu bemerken ist, daß der Koeffizient β_{22} des Atoms Te(1) etwa dreimal so groß ist wie die vergleichbaren Koeffizienten der übrigen Atome. Eine Erklärung dafür wäre eine geringfügige Aufspaltung dieser Atompositionen in zwei statistisch besetzte Lagen bei Beibehaltung der Symmetrie oder eine Reduzierung der Symmetrie der gesamten Kristallstruktur, wobei hier nur die Möglichkeit der Beschreibung in der Raumgruppe $P1$ möglich erscheint. Die Verfeinerung der Kristallstruktur in $P1$ wurde versuchsweise durchgeführt, eine Unterscheidung zwischen Symmetrierniedrigung bzw. statistischer Besetzung konnte jedoch aufgrund der hohen Korrelationen der Ortskoordinaten der übrigen Atome rechnerisch nicht ermittelt werden.

Die Ergebnisse der Strukturbestimmung (Ortskoordinaten und Koeffizienten der anisotropen Temperaturfaktoren) sind in Tabelle 2 angeführt. Sämtliche Berechnungen wurden mit Programmen von Prewitt (1966) und Sheldrick (1976) durchgeführt.

Diskussion

Die anisotrope Schwingung des Atoms Te(1) parallel zur y -Achse (mittlere Amplitude $\cong 0,16$ Å, vgl. oben) deutet nach Ansicht des Verfassers darauf hin, daß das Ergebnis der Strukturanalyse eine „gemittelte“ Struktur beschreibt. Es wird zuerst auf diese in der Diskussion eingegangen, und sodann werden die zwei Grenzfälle behandelt. In Tabelle 3 sind die wichtigsten interatomaren Abstände in der „gemittelten“ Struktur des Calaverits angeführt.

Die Neubestimmung der Struktur ergab im Vergleich zu dem von Tunell und Ksanda (1935) veröffentlichten Strukturvorschlag neben einer Änderung von Metrik und Raumgruppe auch Verschiebungen in den (transformierten) Ortskoordinaten, die zu Änderungen in den interatomaren Abständen von maximal 0,5 Å führten. Dadurch liegen prinzipiell andere Koordinationsver-

Tabelle 3. Interatomare Abstände in der Struktur des Calaverits (Standardabweichungen in Klammern). In den Au-Polyedern sind vom Zentralatom aus alle Abstände bis 4,0 Å, in den Te-Polyedern bis 3,3 Å angegeben. Für das Atom Te(1) sind die mathematisch ermittelten Standardabweichungen nicht angeführt, da aufgrund der Anisotropie dieses Atoms den Werten keine Signifikanz zukommt. Sämtliche Abstände zwischen Ligandatomen in den angeführten Polyedern sind > 3,5 Å

Au(1) – Te(3) = 2,654(4)	Au(2) – Te(1) = 2,672
– Te(4) = 2,688(4)	– Te(2) = 2,692(6)
– Te(2) = 2,832(4)	– Te(3') = 2,768(5)
– Te(1) = 2,901	– Te(4) = 2,809(5)
– Te(1') = 3,032	– Te(4') = 3,153(5)
– Te(2') = 3,131(4)	– Te(3) = 3,158(5)
Te(1) – Au(2) = 2,672	Te(2) – Au(2) = 2,692(6)
– Au(1') = 2,901	– Au(1) = 2,832(4)
– Au(1) = 3,032	– Au(1') = 3,131(4)
– Te(3) = 3,091	– Te(4) = 2,871(6)
Te(3) – Au(1) = 2,654(4)	Te(4) – Au(1) = 2,688(4)
– Au(2) = 2,768(5)	– Au(2) = 2,809(5)
– Au(2') = 3,158(5)	– Au(2') = 3,153(5)
– Te(1) = 3,091	– Te(2) = 2,871(6)

hältnisse vor, die einen direkten Vergleich der Ergebnisse problematisch erscheinen lassen.

In der „gemittelten“ Struktur werden die zwei kristallographisch verschiedenen Au-Atome bis 2,90 Å von je vier Te-Atomen praktisch planar quadratisch umgeben. Je zwei weitere Te-Atome mit Abständen zwischen 3,03 und 3,16 Å ergänzen die Koordination um die beiden Au-Atome zu einem stark verzerrten Oktaeder ([4+2]-Koordination). Neben dieser [4+2]-Koordination sind in der Regel in Au(III)-Chalkogen-Verbindungen nur planare [4]-Koordinationen um Au(III)-Atome bekannt (vgl. Wells, 1975). Diese wurden mit den jeweiligen Abständen um das Au-Atom in Tabelle 4 zusammengestellt. Die vier in einer Ebene liegenden Au(III)-Chalkogen-Abstände zeigen nur geringe Unterschiede. Dies betrifft sowohl die Einzelwerte als auch den jeweiligen Mittelwert. Die Einzelwerte variieren in der Regel in Au(III)–O-Verbindungen zwischen 1,93 und 2,08 Å, bei Au(III)–Se-Verbindungen zwischen 2,45 und 2,50 Å und bei Au(III)–Te-Verbindungen zwischen 2,64 und 2,69 Å. Es sind weiters in den angeführten Verbindungen die Abstände vom Au(III)-Atom zu den vier etwa koplanar angeordneten Chalkogen-Atomen mindestens 20% kürzer als die Abstände zu weiteren Nachbarn. Aus diesem Grund kann angenommen werden, daß diese relativ weit entfernten Nachbarn auf die Länge der vier koplanaren Au(III)-Chalkogen-Abstände keinen starken Einfluß ausüben.

Eine Ausnahme bildet die Struktur des Calaverits, wo der Mittelwert der vier koplanaren Au(1)–Te- und Au(2)–Te-Abstände 2,74 und 2,77 Å beträgt. Die Ursache für diese größeren Werte sind je zwei Te-Atome, die nur

Tabelle 4. Zusammenstellung von Au(III)-X-Abständen (X = Chalkogen) in Å. Diese Abstände sind den Strukturanalysen der neueren Literatur entnommen. Es sind weiter jeweils nur die vier koplanaren Au(III)-X-Abstände angeführt

KAu(NO ₃) ₄ (Garner und Wallwork, 1970)	Au – O: 2,02 (2 ×); 1,99 (2 ×)
Li ₅ AuO ₄ ¹	Au – O: 2,03 (4 ×)
Li ₃ AuO ₃	Au – O: 2,08 (4 ×)
KAuO ₂	Au – O: 2,08 (4 ×)
RbAuO ₂	Au – O: 2,08 (4 ×)
(Wasel-Nielen und Hoppe, 1970)	
Na ₆ (Au ₂ O ₆)	Au – O: 2,12 (2 ×); 2,17 (2 ×)
(Klassen und Hoppe, 1976)	
Au ₂ O ₃	Au – O: 1,93; 2,01; 2,04; 2,07
(Jones et al., 1979a)	
AuOCl	Au – O: 1,99; 2,01; 2,07 – Cl: 2,24
(Jones et al., 1979b)	
AuSeBr	Au – Se: 2,45 (2 ×) – Br: 2,46 (2 ×) Au – Se: 2,49 (4 ×)
(Mootz et al., 1973)	
α-AuSe	Au – Se: 2,47 (2 ×); 2,49 (2 ×)
β-AuSe	Au – Se: 2,50 (4 ×)
(Rabenau und Schulz, 1976)	
AuTe ₂ Cl	Au – Te: 2,67 (4 ×)
AuTe ₂ I	Au – Te: 2,69 (4 ×)
(Haendler et al., 1974)	
AuTeI	Au – Te: 2,64; 2,65; 2,68 – I: 2,68
(Fenner und Mootz, 1978)	
AuAgTe ₄ ²	Au – Te: 2,68 (2 ×); 2,69 (2 ×)
(Pertlik, 1984a)	
(Au _{1-x} Ag _x)Te ₂ (x ≈ 0,2) ³	Au – Te: 2,67; 2,68; 2,70; 2,73
(Pertlik, 1984b)	

¹ Kristallchemische Formel: Li₄(Li_{0,5}Au_{0,5})₂O₄

² Sylvanit

³ Krennerit

um etwa 10% größere Abstände aufweisen als die vier koplanaren Te-Atome, und die die planare [4]-Koordination um die Au-Atome zu [4 + 2] ergänzen. Eine weitere Ausnahme bildet die Verbindung Na₆Au₂O₆, in der die vier koplanaren Au(III) – O-Abstände deutlich länger sind. Als Ursache kann die Verknüpfung der planaren AuO₄-Gruppen über gemeinsame O – O-Kanten zu Au₂O₆-Gruppen angesehen werden.

Die vier kristallographisch verschiedenen Te-Atome im Calaverit werden in einem Bereich bis 3,3 Å von jeweils drei Au-Atomen und einem Te-Atom umgeben. Die Koordinationspolyeder können nur näherungsweise als Tetraeder beschrieben werden. Auffällig ist der Abstand Te(2) – Te(4) mit

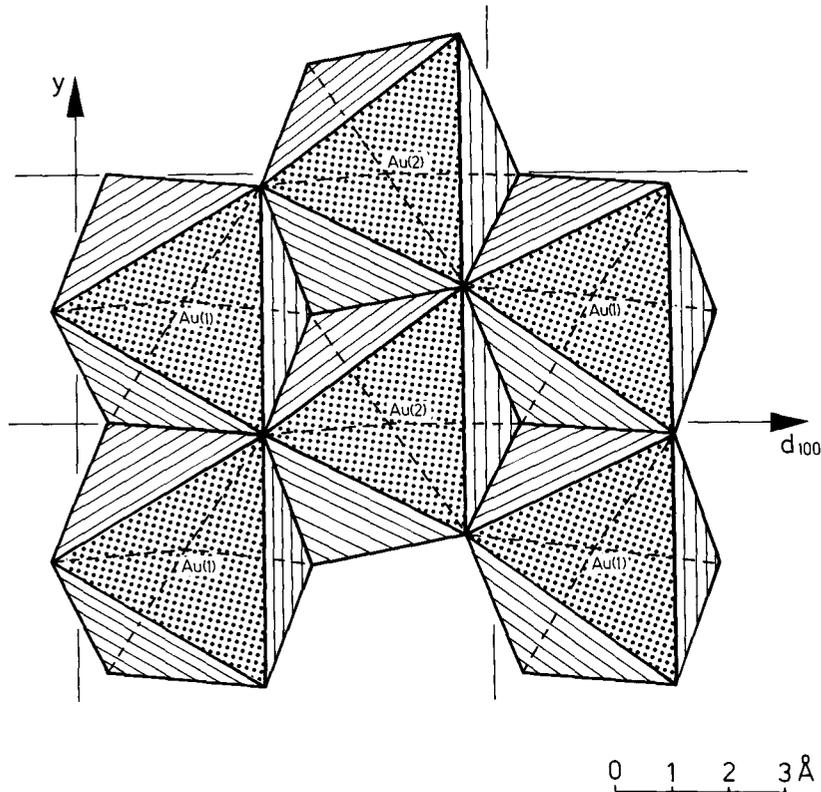


Abb. 1. Projektion einer aus AuTe_6 -Polyedern aufgebauten Schicht parallel $[001]$. In den beiden kristallographisch verschiedenen AuTe_6 -Polyedern sind die vier koplanaren Au-Te-Abstände gestrichelt eingezeichnet

2,87 Å, der dem kürzesten Te-Te-Abstand im elementaren Tellur von 2,84 Å (Cherin und Unger, 1967) ähnlich ist. Diese Atome Te(2) und Te(4) bilden eine $[\text{Te}_2]$ -Gruppe (Hantel), ein Bauelement, das auch in den Strukturen folgender Minerale auftritt (Te-Te-Abstände in Klammern): Frobergit, FeTe_2 (2,93 Å) und Mattagamit, CoTe_2 (2,93 Å) (Tengné, 1938), Sylvanit, AuAgTe_4 (2,82 Å) (Pertlik, 1984a) und Krennerit $(\text{Au}_{1-x}\text{Ag}_x)\text{Te}_2$ ($x \approx 0,2$) (2,86 Å). Im Krennerit tritt weiters eine symmetrische $[\text{Te}_3]$ -Gruppe mit Te-Te = 2,88 Å ($2 \times$) auf (Pertlik, 1984b).

Die „gemittelte“ Struktur des Calaverits wird im Prinzip aus AuTe_6 -Polyedern aufgebaut, wobei diese über gemeinsame Te-Te-Kanten zu „Schichten“ verknüpft sind (Abb. 1). Eine weitere Verknüpfung dieser „Schichten“ erfolgt über Te-Te-Bindungen (z. T. $[\text{Te}_2]$ -Hanteln) zu einem dreidimensionalen Gerüst (Abb. 2). Dieses Baumotiv findet sich im Prinzip in

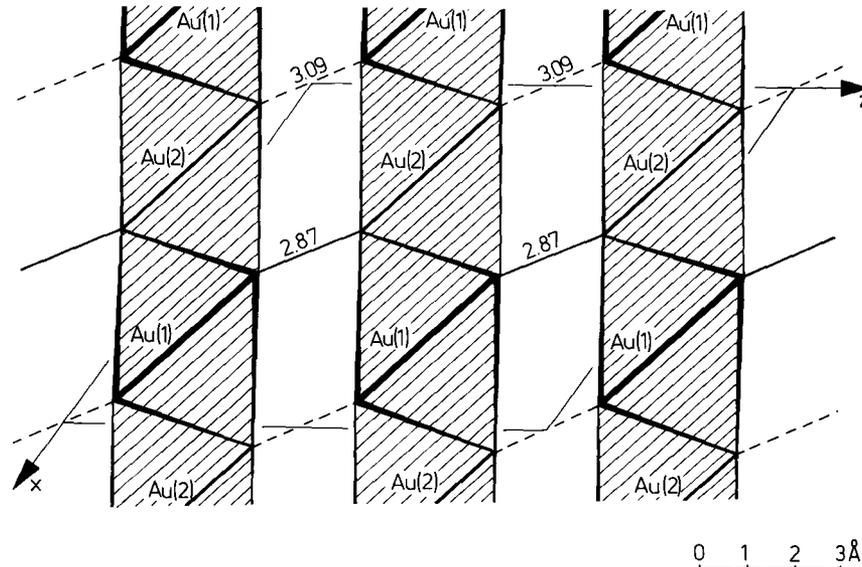


Abb. 2. Projektion der Kristallstruktur des Calaverits parallel [010]. Die über Kanten verknüpften AuTe_6 -Polyeder bilden „Schichten“, die durch kurze Te–Te-Bindungen von 2,87 Å ($[\text{Te}_2]$ -Hanteln) verbunden sind. Die Te–Te-Abstände mit 3,09 Å sind gestrichelt dargestellt

Tabelle 5. Abstände um das Atom Au(1) bei Änderung der y -Koordinate ($y = -0,0138$) von Te(1) um einen Betrag, der 0,16 Å entspricht. Die übrigen Koordinaten aller Atome sind identisch mit den Angaben in Tabelle 2

a) $y = -0,0501$	b) $y = 0,0225$
Au(1)–Te(3) = 2,654(4)	Au(1)–Te(3) = 2,654(4)
–Te(4) = 2,688(4)	–Te(4) = 2,688(4)
–Te(1) = 2,787	–Te(2) = 2,832(4)
–Te(2) = 2,832(4)	–Te(1) = 2,913
–Te(1') = 3,155	–Te(1') = 3,020
–Te(2') = 3,131(4)	–Te(2') = 3,131(4)

zwei weiteren Strukturen natürlicher Telluride. In der Struktur des Sylvanits, AuAgTe_4 , (Pertlik, 1984a) bilden AuTe_6 - und AgTe_6 -Polyeder kantenverknüpfte „Schichten“, die durch $[\text{Te}_2]$ -Hanteln verbunden werden. In der Struktur des Krennerits, $(\text{Au}_{1-x}\text{Ag}_x)\text{Te}_2$, $x \approx 0,2$, werden die Edelmetallpolyeder zwar ebenfalls über Kanten verknüpft; die daraus resultierenden „Schichten“ werden über $[\text{Te}_2]$ -Hanteln und $[\text{Te}_3]$ -Gruppen verbunden, die „Schichten“ selbst sind jedoch stark gewellt (Pertlik, 1984b).

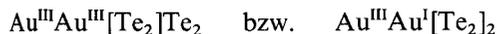
Wird die y -Koordinate des Atoms Te(1) um einen Betrag $\cong \pm 0,16$ Å verändert, ergeben sich bei Beibehaltung aller übrigen Atomkoordinaten um

das Atom Au(1) die in Tabelle 5 angeführten Abstände. In beiden Grenzfällen bleibt der Abstand Te(1) – Au(2) innerhalb des einfachen Fehlers gleich groß und es ergeben sich auch keine wesentlichen Änderungen in den Polyederwinkeln.

Wird y von Te(1) auf $-0,0501$ gesetzt (Tabelle 5; a), werden die Abstände vom Atom Te(1) zu zwei Atomen Te(3) etwa gleich groß ($\approx 3,20 \text{ \AA}$) und die Abstände im Polyeder um das Atom Au(1) deutlich regelmäßiger im Sinne einer $[4 + 2]$ -Koordination.

Wird y von Te(1) auf $0,0225$ gesetzt (Tabelle 5; b), ergeben sich stark unterschiedliche Te(1) – Te(3) Abstände ($2,99$ und $3,45 \text{ \AA}$) und somit die Tendenz zur Ausbildung einer $[\text{Te}_2]$ -Hantel. Die Au – Te-Abstände im Polyeder um das Atom Au(1) liegen zwischen $2,65$ und $3,13 \text{ \AA}$.

Aus diesem Grund nimmt der Autor an, daß im ersten Fall, in dem beide Au-Atome eine ausgeprägte $[4 + 2]$ -Koordination aufweisen, diese Atome in der Wertigkeitsstufe III vorliegen, daß im zweiten Fall das Atom Au(1) jedoch die Wertigkeitsstufe I besitzt. Diese Annahme wird durch die kristallchemische Erfahrung unterstützt (vgl. Wells, 1984). Anhand dieser Interpretation kann für das Atom Au(1) eine Mischwertigkeit angenommen werden, und es lassen sich für die zwei Grenzfälle folgende Formeln für Calaverit aufstellen:



wobei $[\text{Te}_2]$ als $[\text{Te}_2]$ -Hantel zu verstehen ist.

Dank. Der Autor dankt Herrn Prof. Dr. J. Zemann für viele anregende Diskussionen und Herrn Dr. W. Postl, Landesmuseum Joanneum in Graz, für die Bereitstellung des Probenmaterials. Die Analysen wurden an einem Gerät des „Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung“ (Proj. Nr. 1939) durchgeführt. Rechenzeit wurde vom „Interuniversitären Rechenzentrum Wien“ zur Verfügung gestellt.

Literatur

- Cherin, P., Unger, P.: Two-dimensional refinement of the crystal structure of tellurium. *Acta Crystallogr.* **23**, 670 – 671 (1967)
- Donnay, J. D. H.: Morphologie des cristaux de calavérite (Communication préliminaire). *Ann. Soc. Géol. Belg.*, T LVIII, B 222 – 230 (1935)
- Fenner, J., Mootz, D.: The crystal structure of gold telluride iodide Au TeI. *J. Solid State Chem.* **24**, 367 – 369 (1978)
- Garner, C. D., Wallwork, S. C.: The crystal structure of anhydrous nitrates and their complexes. Part V. Potassium Tetranitratoaurate (III). *J. Chem. Soc. (A)*, 3092 – 3095 (1970)
- Goldschmidt, V., Palache, C., Peacock, M.: Über Calaverit. *Neues Jahrb. Mineral., Beil. Bd. 63*, Abt. A, 1 – 58 (1932)
- Haendler, H. M., Mootz, D., Rabenau, A., Rosenstein, G.: The crystal structures of AuTe₂Cl and AuTe₂I. *J. Solid State Chem.* **10**, 175 – 181 (1974)
- Jones, P. G., Rumpel, H., Schwarzmann, E., Sheldrick, G. M., Paulus, H.: Gold(III)oxide. *Acta Crystallogr.* **B35**, 1435 – 1437 (1979a)

- Jones, P. G., Rumpel, H., Schwarzmann, E., Sheldrick, G. M.: Gold(III)chloride oxide. *Acta Crystallogr.* **B35**, 2380–2381 (1979b)
- Klassen, H., Hoppe, R.: Die Kristallstruktur von Na₆[Au₂O₆] ein „Inselaurat“. *Naturwissenschaften* **63**, 387 (1976)
- Mootz, D., Rabenau, A., Wunderlich, H., Rosenstein, G.: The crystal structure of AuSeBr. *J. Solid State Chem.* **6**, 583–586 (1973)
- Peacock, M. A.: Calaverite and the law of complication. *Am. Mineral.* **17**, 317–337 (1932)
- Pertlik, F.: Kristallchemie natürlicher Telluride. I: Verfeinerung der Kristallstruktur des Sylvanits, AuAgTe₄. *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* **33**, 203–212 (1984a)
- Pertlik, F.: Crystal chemistry of natural tellurides. II: Redetermination of the crystal structure of krennerite, (Au_{1-x}Ag_x)Te₂ with $x \sim 0.2$. *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* **33**, 253–262 (1984b)
- Prewitt, C. T.: Structure factor least squares program (unveröffentlicht) (1966)
- Rabenau, A., Schulz, H.: The crystal structures of α -AuSe and β -AuSe. *J. Less-Common Met.* **48**, 89–101 (1976)
- Sheldrick, G. M.: SHELX, program for crystal structure determination. Univ. of Cambridge, England (1976)
- Tengnér, St.: Über Diselenide und Ditelluride von Eisen, Kobalt und Nickel. *Z. Anorg. Allg. Chem.* **239**, 126–132 (1938)
- Tunell, G., Ksanda, C. J.: The crystal structure of calaverite. *J. Wash. Acad. Sci.* **25**, 32–33 (1935)
- Tunell, G., Pauling, L.: The atomic arrangement and bonds of the gold-silver ditellurides. *Acta Crystallogr.* **5**, 375–381 (1952)
- Wasel-Nielen, H. D., Hoppe, R.: Zur Kristallstruktur von Li₃AuO₃, Li₅AuO₄, KAuO₂ und RbAuO₂. *Z. Anorg. Allg. Chem.* **375**, 43–54 (1970)
- Wells, A. F.: *Structural inorganic chemistry* (5th ed.) Oxford: Clarendon Press (1984)