

Rundschau.

Die veredelten Aluminium-Silizium-Legierungen.

Nach der Entdeckung des Veredlungsverfahrens für Aluminium-Siliziumlegierungen durch A. Pacz haben diese Legierungen in wenigen Monaten die Aufmerksamkeit der breiten Öffentlichkeit auf sich gelenkt. Nacheinander beschäftigten sich mit der Frage der Veredlung dieser Legierungen nach den ersten Veröffentlichungen des Verfassers¹⁾: Jeffries²⁾, Sutton³⁾, Guillet⁴⁾, Search⁵⁾ und Curran⁶⁾. Schließlich hat Meißner⁷⁾ die Ergebnisse einiger dieser Verfasser in einem Bericht kritisch zusammengefaßt. Seine Ausführungen stützen sich auf die Angaben einiger ausländischer Forscher, deren Ergebnisse sich bei eingehender praktischer Beschäftigung mit dem Stoff zum Teil als recht unvollständig erweisen, zum Teil den Tatsachen widersprechen. Im Nachfolgenden seien hierzu einige Bemerkungen gestattet.

Gußlegierungen.

Die ersten Al-Si-Legierungen wurden von St. Claire Deville⁸⁾ und einige Monate später unabhängig auch von Wöhler⁹⁾ hergestellt. Ihre Versuche erstreckten sich ausschließlich auf die Herstellung von Siliziumkristallen, einerseits aus Gemischen von Aluminium und Fluorkieselnatrium oder -kalium, andererseits durch Überleiten von Siliziumchlorür-Dämpfen über flüssiges Aluminium, wobei Al-Si-Legierungen als zufällige Zwischenerzeugnisse erhalten wurden. Über die mechanischen Eigenschaften der erhaltenen Legierungen finden sich bei beiden Verfassern keine Angaben vor. Deville (a. a. O. S. 399/400) sagt nur, daß Aluminium mit etwa 10 vH Si grau und brüchig und chemisch leicht angreifbar sei. Nach seiner Ansicht ist es daher wichtig, Aluminium von großer Reinheit zu erzeugen.

Technisch angewandt wurden die Al-Si-Legierungen wohl zuerst von C. und A. Tessier¹⁰⁾. Irgendwelche Zahlenangaben werden von ihnen nicht gemacht. Hinweise dieser Art finden sich erst 1891 bei Minet¹¹⁾. Nach seinen Angaben sollen die Festigkeitseigenschaften der Al-Si-Legierungen höher liegen als die des Reinaluminiums. Die höchste Festigkeit der gegossenen Legierungen (8,9 vH Si und 1,57 vH Fe) wird von ihm mit 17,1 kg/mm² bei 2,8 vH Dehnung¹²⁾ angegeben.

Sowohl die von C. und A. Tessier als auch von Minet hergestellten Legierungen dürften auf elektrolytischem Wege erzeugt worden sein, obwohl von Frilley¹³⁾ später allgemein bestritten wird, daß Legierungen mit einem Siliziumgehalt über 5 vH durch Elektrolyse hergestellt werden können.

Nach diesen Forschern hat Pacz 1920 das Studium der Legierungen erneut aufgenommen. Als Ergebnis seiner Untersuchungen gelang es ihm, Gußlegierungen herzustellen, die sich durch Gleichmäßigkeit im Gefügeaufbau und bis dahin unerreichte Feinkörnigkeit auszeichneten. Das überraschendste Ergebnis aber waren die hohen Güteziffern seiner Legierungen. Er erreichte Festigkeitssteigerungen um annähernd 50 vH gegenüber den bis dahin erreichten Leistungen bei einer Erhöhung der Dehnung auf das Vierfache. Der günstige Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften wurde durch ein besonderes Veredlungsverfahren erzielt, das Pacz als Graining-Verfahren (Kornverfeinerung) bezeichnet. Das Veredlungsverfahren ist durch Patente in allen Industriestaaten geschützt.

In Verbindung mit Pacz wurden alsdann diese Legierungen vom Verfasser (a. a. O.) planmäßig erforscht. Auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen nehmen auch die meisten späteren Veröffentlichungen anderer Verfasser Bezug, soweit sie die mechanischen Eigenschaften betreffen. Guillet (a. a. O. S. 304) hat bei der nachträglichen Prüfung der unveredelten Gußlegierung mit 12,44 vH Si eine Festigkeit von nur 15,6 kg/mm² bei 22 vH Dehnung erreicht. Diese Angabe beweist, daß es nicht möglich ist, ohne Anwendung der Kornverfeinerung die von Pacz erstmalig erhaltenen Festigkeitsziffern zu erreichen. Die von Guillet angegebene Dehnung von 22 vH konnte vom Verfasser bei vielen Tausenden von Zerreißproben nicht beobachtet werden.

Soweit bekannt sind weder vor noch nach den genannten Verfassern weitere Al-Si-Gußlegierungen einer Prüfung unterzogen worden.

Mechanisch verarbeitete Legierungen.

Mechanisch verarbeitete Legierungen sind von verschiedenen Forschern eingehender untersucht worden. Schon Deville¹⁴⁾ und Tessier¹⁵⁾ prüften Al-Si-Legierungen auf ihre Schmiedbarkeit. Die Schmiedbarkeit des Aluminiums soll nach Deville durch einen Si-Zusatz schädlich beeinflusst werden, wenn auch in geringerem Grade als durch Eisen und Kupfer. Nach den Angaben von C. und A. Tessier lassen sich Al-Si-Legierungen mit einem Si-Gehalt von etwa 10 vH, wenn auch schwieriger als Aluminium, noch in gewissen Grenzen bearbeiten.

Die ersten zahlenmäßigen Angaben über die mechanischen Eigenschaften wurden wiederum durch Minet¹⁶⁾ gebracht. Die Festigkeitszahlen von Legierungen mit mehr als 5 vH Si-Gehalt wurden von ihm mit 15,6 bis 19,7 kg/mm² bei 1,4 bis 13 vH Dehnung und bei Si-Gehalten unter 5 vH mit 10 bis 23,5 kg/mm² bei 1,83 bis 21 vH Dehnung angegeben. Die Legierungen wurden durch Hämmern bzw. durch Walzen bearbeitet. Sie wurden nach den Angaben Minets durch Elektrolyse gewonnen.

Guillet¹⁷⁾ erreichte bei Legierungen mit einem Si-Gehalt von mehr als 5 vH Festigkeiten von 13,5 bis 17,2 kg/mm² bei Dehnungen von 17,5 bis 22 vH und bei Legierungen mit geringerem Si-Gehalt als 5 vH Festigkeiten von 11,0 bis 13,4 kg/mm² bei Dehnungen von 21 bis 30 vH. Die Legierungen wurden in Form von Preßdraht geprüft. Angaben über die Herstellung der Legierungen fehlen.

Frilley (a. a. O. S. 520) gibt für verfestigte Legierungen folgende Zahlenwerte an:

Kalt gehärtetes Metall: Festigkeit 22,7 kg/mm², Dehnung 2 vH.

Nach dem Ausglühen: Festigkeit 15,2 kg/mm², Dehnung 18 vH.

¹⁴⁾ u. ¹⁵⁾ J. W. Richards, Aluminium, 1. Aufl. 1887, S. 259.

¹⁶⁾ A. Minet, L'Aluminium, 2. Aufl. 1896, S. 242/43.

¹⁷⁾ L. Guillet, Bericht in Revue de Métallurgie 1922, S. 303/04.

¹⁾ J. Czochralski, Z. f. Metallk. 1921 S. 507.

²⁾ J. Jeffries, Chem. and Met. Eng. 1922 S. 750.

³⁾ H. Sutton, Metal Industry 1922 S. 365.

⁴⁾ L. Guillet, Revue de Métallurgie 1922 S. 303.

⁵⁾ R. E. Search, Metal Industry 1922 S. 138.

⁶⁾ J. J. Curran, Chem. and Met. Eng. 1922 S. 360.

⁷⁾ K. L. Meißner, Z. f. Metallk. 1923 S. 17.

⁸⁾ J. W. Richards, Aluminium, Philadelphia 1890, 2. Aufl. S. 398.

⁹⁾ F. Wöhler, Ann. d. Chem. u. Pharm. 1856 S. 266.

¹⁰⁾ J. W. Richards, Aluminium, Philadelphia, 1. Aufl. 1887, S. 259.

¹¹⁾ A. Minet, Comptes rendus 1891 S. 1215.

¹²⁾ A. Minet. In seinem 1896 in zweiter Auflage erschienenen Buch L'Aluminium (Paris) wird die Festigkeit derselben Legierung infolge eines Druckfehlers mit 19,1 kg/mm² (S. 127) angegeben, im ersten Teil dagegen übereinstimmend mit der Originalarbeit mit 17,1 kg/mm² (S. 243).

¹³⁾ R. Frilley, Revue de Métallurgie 1911 S. 519.

Die Werte beziehen sich auf eine Legierung mit 10 vH Si. Nach seinen Angaben nimmt die Festigkeit in dem Maße ab, wie die Menge des Siliziums zunimmt; der Höchstwert der Festigkeit soll bei einem Si-Gehalt von 3 vH liegen. Die Legierungen wurden auf thermischem Wege gewonnen. Ihre Erzeugung durch Schmelzflußelektrolyse war Frilley nicht gelungen.

Schirmeister¹⁸⁾ untersuchte Al-Si-Legierungen bis zu 18 vH Si-Gehalt. Die Gußplatten wurden warm bei 400° C in Stichen von 1 bis 3 mm ausgewalzt. Die Zwischenglühungen wurden bei der gleichen Temperatur vorgenommen. Nach der letzten Glühung wurden die Proben kalt auf 1,3 bis 1,5 mm fertig gewalzt. Den Versuchsergebnissen gemäß hat Schirmeister selbst bei den kalt bearbeiteten Proben als Höchstwert der Festigkeit 16,7 kg/mm² in keinem Fall überschritten. Wie Frilley untersuchte er nur Legierungen im verarbeiteten Zustande, Gußlegierungen wurden von beiden nicht geprüft.

Demnach wurden bei mechanisch verarbeiteten Legierungen von den verschiedenen Forschern als Höchstwerte Festigkeiten von 19,7; 17,2; 22,7 und 16,7 kg/mm² erreicht.

Die nach dem Verfahren von Pacz veredelten Legierungen ergeben nach der mechanischen Verarbeitung wesentlich höhere Ziffern. Die Festigkeitswerte liegen je nach dem Grade der Kaltreckung zwischen 16 und 30 kg/mm² bei einer Dehnung von 5 bis 30 vH¹⁹⁾. Auch diese Versuchsergebnisse beweisen, in wie hohem Maße die unveredelten den nach dem Pacz-Verfahren veredelten Legierungen unterlegen sind.

Die veredelten Legierungen.

Um zu einer klaren Einschätzung der veredelten Legierungen zu kommen, muß man in Betracht ziehen, daß bei Gußlegierungen die Höchstleistung von 17,1 kg/mm² und 2,85 vH Dehnung durch die Erfolge von Pacz auf solche bis 25 kg/mm² und 10 vH Dehnung heraufgesetzt worden ist. Wenn Meißner nach Jeffries ausführt, daß die Al-Si-Legierungen schon 1858 als mechanisch wertvoll erkannt worden seien, so muß darauf aufmerksam gemacht werden, daß sich solche Angaben in der einschlägigen Literatur nicht vorfinden. Der Hinweis, daß die Schmiedbarkeit der Legierungen durch einen Si-Zusatz nicht leiden soll (St. C. Deville und C. und A. Tessier, s. Fußnote 14 und 15), erweist sich bei genauem Nachlesen der betreffenden Literaturstellen als unzutreffend, da dort gerade der entgegengesetzte Standpunkt vertreten wird. Nur Minet²⁰⁾ ist der Ansicht, daß die Schmiedbarkeit durch Si-Zusätze nicht leide, eine Anschauung, die aber mit der Erfahrung in Widerspruch steht. Al-Si-Legierungen lassen sich viel schwieriger mechanisch verarbeiten als Reinaluminium. Die Querschnittsabnahmen müssen etwa um 50 vH geringer bemessen und die Zwischenerzeugnisse beim Walzen häufig ausgeglüht werden. Dies sei besonders betont, da auch in der neueren Literatur die gleichen fälschlichen Angaben noch vielfach anzutreffen sind.

Gefüge der veredelten Legierungen.

Meißner betont in seinem Bericht, daß nach den Angaben Jeffries die elektrolytisch gewonnenen Legierungen ein anderes Gefüge und andere Eigenschaften zeigen als die aus den Bestandteilen zusammengeschmolzenen; dies soll bereits Frilley erkannt haben. Solche Angaben finden sich aber in der Arbeit von Frilley nicht vor. Soweit von Eigenschaften die Rede ist (vergl. a. a. O. S. 524), beziehen sich diese nur auf das chemische Verhalten der Legierungen, und zwar Salzsäure gegenüber. Über die mechanischen Eigenschaften der elektrolytisch gewonnenen Legierung fehlen ebenfalls jegliche Angaben, im Gegenteil kann sogar festgestellt werden, daß Frilley Legierungen in den von Pacz geschützten Konzentrationsgrenzen überhaupt

nicht in den Händen hatte. Nach Frilleys eigenen Angaben (a. a. O. S. 518) war es ihm nur gelungen, Legierungen bis zum Höchstgehalt von 5 vH Si auf elektrolytischem Wege herzustellen. Die Entstellung derart eindeutiger Angaben der Literatur läßt die Ausführungen Jeffries wenig zuverlässig erscheinen. Der von Jeffries vertretene Standpunkt, daß die von Frilley elektrolytisch gewonnenen Legierungen ein anderes Gefüge und andere Eigenschaften aufweisen, erweist sich demnach als unzutreffend und irreführend.

Nach Deville (vergl. Fußnote 8) sind die Al-Si-Legierungen brüchig und grobkristallin. Guillemin²¹⁾ gibt an, daß ein Gehalt von 0,8 vH Si das Bruchgefüge kristallinisch, d. h. grob macht, während reines Aluminium einen fasrigen Bruch aufweist, was durch Abbildungen belegt wird. Er ist der Ansicht, daß alle Beimengungen, und zwar ohne Ausnahme, das Aluminium grobkristallin machen, sofern sie in größeren Mengen als 5 vH auftreten.

Nach Minets Angaben, der die Ausführungen Guillemins unwidegesprochen anerkennt, soll das Bruchkorn verarbeiteter Legierungen „gedrängt“ (serré) sein²²⁾. Ob dies auch bei Gußlegierungen zutrifft, wird von ihm nicht weiter festgestellt.

Nun ist es allgemein bekannt, daß sich das Gefüge mechanisch verarbeiteter Legierungen stets durch Feinkörnigkeit auszeichnet. Minets Hinweis ist daher nicht beweiskräftig genug, um irgendwelche Schlüsse auf den Gefügebau der gegossenen Legierungen zu gestatten. Andererseits ist die Veränderung des Gefüges durch die Kornverfeinerung (Graining) so einschneidend und augenfällig, daß sie sich unmöglich der Beachtung des Forschers hätte entziehen können.

Dies beweist auch der Umstand, daß ein hervorragender Fachmann auf dem Gebiete der Al-Legierungen wie Frilley (a. a. O.) die Ergebnisse Minets weder in bezug auf die Herstellung noch auf die Eigenschaften oder das Bruchgefüge der Legierungen wiederholen konnte, im Gegenteil stellt er kristallinischen glänzenden Bruch bei geringen Güteziffern fest und zieht die elektrolytische Gewinnung in Zweifel (a. a. O. S. 521, 520 und 519).

Zweifelloos war Minet der von Pacz gelösten Aufgabe sehr nahe. Er spricht wie auch später Frilley (a. a. O. S. 525) den Al-Si-Legierungen eine größere Zukunft zu als den anderen Leichtlegierungen²³⁾. Er begründet dies damit, daß die Legierungen ein geringeres spezifisches Gewicht haben und billiger als Aluminium hergestellt werden können²⁴⁾. Dem Erfolg stehe aber die geringe chemische Widerstandsfähigkeit im Wege, so daß sie nur mit Schutzanstrichen oder Metallüberzügen versehen verwendet werden dürften. Die Anschauung, daß die Al-Si-Legierungen billiger als Reinaluminium herzustellen seien, hat sich, wie die Erfahrung inzwischen gelehrt hat, leider nicht bestätigt. Die Beständigkeit der Al-Si-Legierungen läßt, seiner Voraussage widersprechend, nichts zu wünschen übrig. Die starken Zersetzungerscheinungen, die er beobachtete, dürften vermutlich durch grobe Verunreinigungen verursacht worden sein. Sollte Minet tatsächlich Veredelungswirkungen gemäß dem Verfahren nach Pacz erreicht haben, so sind diese von ihm weder bemerkt noch näher erkannt worden.

Erst durch die Entdeckung des Kornverfeinerungsverfahrens wurde der Gedanke angeregt, daß auch bei der elektrolytischen Herstellung der Al-Si-Legierungen Veredelungswirkungen auftreten könnten, da bei dieser Erzeugungsart der Rohlegierung Alkalisalze ebenfalls zugegen sind.²⁵⁾

²¹⁾ A. Minet, L'Aluminium, 2. Aufl., 2. Teil, S. 121.

²²⁾ A. Minet, S. 286.

²³⁾ A. Minet, L'Aluminium, 2. Aufl., 2. Teil, S. 128.

²⁴⁾ A. Minet, S. 245/46.

²⁵⁾ Aus diesem Grunde sind die Pacz-Patente auf die Verwendung der elektrolytisch gewonnenen Erzeugnisse sowie auf alle andern Mehrstoffarten dieser Legierungen ausgedehnt worden.

¹⁸⁾ H. Schirmeister, Stahl u. Eisen 1915, S. 875.

¹⁹⁾ J. Czochralski, Z. f. Metallk. 1922 S. 3.

²⁰⁾ A. Minet, L'Aluminium, 2. Aufl. 1896, S. 241.

Die Vorgänge bei der Veredlung.

Die Ursache der Veredlung nach dem Pacz-Verfahren hat man bisher noch nicht mit völliger Sicherheit aufklären können. Über die Natur des wirksamen Bestandteiles dürften dagegen von vornherein keine Zweifel bestanden haben. Die einfachsten chemischen Gesetze geben darüber Aufschluß. Läßt man Kaliumchlorid auf metallisches Aluminium einwirken, so erhält man metallisches Kalium neben Kaliumaluminiumchlorid. Ähnlich verhält sich auch Natriumchlorid. Dieses Umsetzungsverfahren wurde bereits 1902 durch D.R.P. Nr. 140 737 geschützt. Es ist ohne weiteres verständlich, daß in ähnlicher Weise auch das Kaliumsiliziumfluorid mit dem Aluminium reagiert. Dieser Weg der Umsetzung, den schon Wöhler (a. a. O. S. 266) beschrieben hat, ist von Pacz betriebsmäßig erprobt worden.²⁶⁾

Einige Forscher (Curran a. a. O. S. 361) scheinen diese einfachsten chemischen Gesetze als besonders bemerkenswerte Feststellungen zu betrachten, ohne aber den Schwerpunkt der Frage überhaupt zu erkennen. Auch der Erklärungsversuch Guillels (a. a. O. S. 310), nach dem das Natriumfluorid nur eine reinigende Wirkung ausüben soll, erweist sich als unzutreffend. Würden den Alkalifluoriden die Eigenschaften eines Reinigungsmittels zukommen, so müßte sich dies auch bei andern Legierungen äußern. Dies ist indes, wie der Verfasser durch eingehende Versuche feststellen konnte, keineswegs der Fall.

Über die Wirkungsweise der Alkalimetalle gibt die bereits erwähnte Feststellung des Reaktionsverlaufes aber noch keinen Aufschluß. Aus den Ergebnissen kann nur entnommen werden, daß durch die Verwendung gewisser besonders wirkender Zuschläge bei den Al-Si-Legierungen bisher in der Legierungskunde noch nicht bekannte Wirkungen hervorgerufen werden, die sich neben der Kornverfeinerung in der Beeinflussung der physikalischen Eigenschaften äußern. Der Vorgang der Veredlung beruht im wesentlichen offenbar darauf, daß das Natrium in Form einer festen Lösung nach einem allgemeinen Gesetz die Kristallisationsgeschwindigkeit verringert und die Zahl der Kristallisationskerne vermehrt, was gleichbedeutend ist mit einer weitestgehenden Dispersitätssteigerung. Die Auffassung ist bereits 1921 von den Patentbehörden anerkannt worden. Sie ist gut vereinbar mit der

Erscheinung, daß auch durch andere physikalische Einflüsse (z. B. schroffes Abschrecken) ähnliche Wirkungen erzielt werden können, wenn auch diese weit hinter den durch das Pacz-Verfahren erzielbaren Wirkungen zurückbleiben²⁷⁾. Durch ganz eingehende Versuche wurde bereits 1921 vom Verfasser festgestellt, daß schon bei Natriummengen von weniger als etwa 0,01 bis 0,02 vH noch ganz einwandfreie Veredlungswirkungen erzielt werden können, während häufig bei viel höheren Natriumgehalten die Veredlungswirkung ausbleiben kann. Insofern erscheint es nicht ausgeschlossen, daß noch andere Bestandteile, die mit den Zuschlägen vielleicht in katalytischer Verdünnung der Legierung zugeführt werden, die Eigenschaften der Al-Si-Legierungen zu beeinflussen vermögen.

Wir sind heute noch weit davon entfernt, eine hinreichende Erklärung für den Vorgang der Veredlung zu geben. Jedenfalls ist es aber in Deutschland durch planmäßige Forschungsarbeit gelungen, eine Al-Si-Legierung, das Silumin, einzuführen, die einen wesentlichen Fortschritt in der Technik der Al-Legierungen bedeutet. Im Ausland dagegen beginnt dieselbe Legierung als „Alpax“ sich erst jetzt durchzusetzen.

J. Czochralski.

Sondermessing.

(Schluß von S. 51.)

Aluminium-Mangan-Messing.

Die Fließgrenze, Zugfestigkeit und Härte der gegossenen Proben werden durch den Mn-Zusatz nahezu gar nicht verändert, wogegen die Geschmeidigkeitswerte vermindert werden. Nach dem Schmieden ändern sich die Verhältnisse. Beide Werte werden bemerkenswert verbessert. Durch den Mn-Zusatz wird die β -Struktur der Legierung in die $\alpha + \beta$ -Form verschoben, was der Befund von Ätzenschliffen bestätigt.

Durch Steigerung des Al-Gehaltes der Legierung A M 5 (Zahlentafel 8) werden die Fließgrenze und Zugfestigkeit beträchtlich verbessert, doch geschieht das auf Kosten der Geschmeidigkeit (A M 4 in Zahlentafel 9). Durch Steigerung des Al-Gehaltes auf 2,59 vH, Verminderung des Mn-Gehaltes auf 2,08 vH sowie des Cu-Gehaltes auf 57,23 vH (A M 2 B in Zahlentafel 9) wurden, abgesehen von der etwas niedrigen Fließgrenze, die Festigkeitswerte kaum beeinflusst.

²⁶⁾ D. R. P. angemeldet: Verfahren zur Darstellung von Legierungen.

²⁷⁾ D. R. P. angemeldet: Verfahren zur Erzielung feinkörniger Struktur bei Al-Si-Legierungen.

Zahlentafel 8. Wirkung von Mn-Zusätzen auf Al-Messing mit 1,0 und 1,5 vH Al-Gehalt.

| Ver- such Nr. | Cu vH | Zn vH | Al vH | Mn vH | P vH | Fe vH | Be- handlung | Fließ- grenze kg/ mm ² | Zug- festigkeit kg/ mm ² | Dehnung auf 50 mm vH | Einschnü- rung vH | Bruch- aussehen | Schlag- probe Schlag- zahl | Aussehen des Schlag- bruches | Brinell- härte Nr. | Kristall- körner auf 1 cm ² |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------------|--|--|----------------------------|-------------------------|--|-------------------------------------|--|--------------------------|--|
| A 1 | 59,48 | 39,55 | 1,00 | 0 | 0 | 0 | gegossen | 22,9 | 49,2 | 30 | 33,5 | grob, steinig | 46 | fein, steinig | 114 | $\alpha + \beta$ |
| | | | | | | | geschm. | 17,2 | 48,5 | 41 | 44,6 | fein, steinig | 67 | fein, steinig, halbglassig | 104 | $\alpha + \beta$ |
| AM 5 | 59,45 | 35,85 | 0,98 | 3,49 | 0,01 | 0,22 | gegossen | 20,7 | 49,2 | 25 | 24,6 | fein, körnig, kurz | 18 | fein, steinig, kristallinisch | 114 | $\alpha + \beta$ |
| | | | | | | | geschm. | 32,4 | 54,4 | 36 | 47,2 | steinig, körnig | 75 | fein, steinig, seidig | 134 | $\alpha + \beta$ |
| A 2 | 58,35 | 40,11 | 1,54 | 0 | 0 | 0 | gegossen | 25,4 | 54,5 | 17 | 18,5 | Aussehen zwischen A 1 und Nr. 6 | 23 | grob, kristalli- nisch, steinig | 129 | $\alpha + \beta$ |
| | | | | | | | geschm. | 17,9 | 56,4 | 28 | 34,0 | kristallinisch | 41 | grob, kristalli- nisch, steinig | 138 | $\alpha + \beta$ |
| AM 2 | 59,45 | 36,60 | 1,56 | 1,97 | 0,02 | 0,40 | gegossen | 26,3 | 55,6 | 22 | 20,0 | hochkristalli- nisch, fahlgelb, glanzlos | 27 | kurz, fein, kristallinisch, schwacher Glanz | 138 | 143 |
| | | | | | | | geschm. | 26,6 | 57,3 | 28 | 30,6 | — | 41 | fein, steinig, körnig | 148 | 170 |