Von der Siliziumkeramik zur Metallkeramik

Autor(en): **Hauser, Max**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **125/126 (1945)**

Heft 24

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-83682

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

voir de réglage et enfin la puissance étaient enregistrés automatiquement, avec la notation des temps. La fig. 18 reproduit les courbes des trois périodes caractéristiques des essais. Nos observations peuvent se résumer comme suit:

En marche à vide, la vitesse est maintenue absolument constante, de sorte que la mise en parallèle avec le réseau de la ville s'effectua sans difficulté, après quoi l'installation AK fut chargée graduellement d'une puissance correspondant aux besoins de la fabrique, puis déconnectée du réseau, de façon à fournir seule le courant aux ateliers. Cette période comprenait le moment de la reprise du travail, avec augmentation rapide de la puissance. Les hausses successives de celle-ci sont prises par admission d'air comprimé du réservoir. La courbe du nombre de tours montre des oscillations d'au plus $^1/_2$ % lors des variations les plus fortes de la charge. La régulation suit facilement toutes les fluctuations de la demande d'énergie de la fabrique, voir fig. 18, partie II. La plupart du temps, la soupape de dérivation restait fermée. Elle ne se levait que pour de petites décharges passagères n'exigeant pas d'échappement de l'air du circuit. Les oscillations de la puissance ne dépassaient pas 120 kW et la vitesse variait de 0,2 % au plus.

Puis l'installation AK fut de nouveau synchronisée avec le réseau de la ville, ce qui se fit impeccablement, grâce à la bonne tenue de la fréquence, et la livraison de l'énergie confiée au réseau; l'installation fut alors déconnectée.

L'expérience suivante consista à charger graduellement l'installation jusqu'à 850 kW sur les résistances hydrauliques, ce qui se fit par introduction d'air dans la partie aval du circuit, directement du compresseur de compensation des fuites, afin d'économiser l'air du réservoir.

Une décharge brusque partant de 850 kW pour aboutir à 570 kW fut réglée en partie par dérivation, en partie par échappement à l'air libre, donnant lieu à un passage apériodique d'une vitesse de régime à l'autre. Le feu avait été réglé auparavant de façon à donner une température de 650° devant la turbine. Il ne fut pas modifié lors de la décharge, ce quit permit d'observer un accroissement de la température de 7° à la minute. La régulation de la pression compense automatiquement, en faisant échapper de l'air, l'augmentation de la puissance qui en résulte. Après que la température ait atteint environ 700°, l'injection du combustible fut réduite et la température fixée à 670°. Le diagramme montre l'adaptation automatique du niveau des pressions.

Il fut procédé ensuite à une augmentation de la charge de 550 kW à 1210 kW en deux bonds aussi brusques que possible (voir fig. 18, partie I). La régulation fit face à ces à-coups par introduction d'air du réservoir. L'oscillation de la vitesse, rapidement atténuée, ne dépasse pas 1 %. Au cours de cet essai aussi, le feu ne fut pas modifié, et la température devant la turbine baissa d'environ 13° par minute, l'effet sur la puissance en étant compensé par le réglage de pression.

Le diagramme des pressions pris au cours d'une décharge rapide de 1230 kW à 625 kW, partie III de la fig. 18, réglée en partie par dérivation et en partie par échappement, montre bien l'effet prévu par la théorie, c'est-à-dire que par suite de l'échappement à la partie amont du circuit, la baisse instantanée du rapport des pressions produit la diminution voulue de la puissance, longtemps avant que le niveau correspondant à la nouvelle charge soit atteint. L'allure de la vitesse est apériodique, la plus grande oscillation atteignant environt 1,2 %. La figure 19 donne un exemple de l'effet momentané dû à la modification du rapport des pressions.

Ces essais démontrent que le principe de la régulation est correct. La coincidence remarquable des résultats avec ce que prévoyait la théorie est une des plus belles réussites parmi celles auxquelles le développement de l'installation AK a donné lieu.

Remarques générales et conclusion

L'impression principale qui se dégage des essais est extrêmement satisfaisante. Elle peut se résumer ainsi:

Le fonctionnement des appareils et machines sous différentes conditions se présente comme un problème de mécanique et de thermodynamique bien résolu, en ce sens qu'il correspond aux résultats de recherches systématiques, scientifiques, qui ont fourni des bases absolument sûres pour le calcul non pas seulement de l'installation d'essai, mais de toute autre qu'on sera amené à construire. Nous savons que de grandes difficultés ont surgi parfois au cours du développement. Elles étaient en général de nature constructive. De ce côté, il s'en présentera encore, c'est certain, comme il s'en présente encore dans le domaine des turbines à vapeur. La combustion de charbon, pulvérisé ou non, l'élimination des scories entre autres, causeront beaucoup de mécomptes, comme elles en causent dans les chaudières à vapeur. Mais une chose est certaine: le calcul du circuit fermé, la prévision de son comportement et de l'action de la régulation se fera sans hésitation sur des bases solides.

Les constructeurs de l'installation AK peuvent dès maintenant attaquer les problèmes intéressants qui se posent en foule: réchauffage intermédiaire en cours d'expansion, puis les nombreuses variantes, dans les centrales stationnaires, dans les applications à l'industrie sidérurgique, à la propulsion marine et bien d'autres, sans oublier notamment la production d'eau chaude pour chauffages industriels ou domestiques.

Références bibliographiques

a) *J. Ackeret* et *C. Keller:* Eine aerodynamische Wärmekraftanlage. SBZ vol. 113, p. 229* (1939).

b) *J. Ackeret* et *C. Keller:* Aerodynamische Wärmekraftmaschine mit geschlossenem Kreislauf. «Z.VDI» vol. 85, p. 491* (1941). Traductions en français et en anglais au «Bulletin Escher Wyss» 1942/43.

c) *C. Keller:* La turbine aérodynamique comparée aux turbines à vapeur et à gaz. «Bulletin Escher Wyss» 1942/43 p. 20*.

d) *J. Ackeret* et *C. Keller:* Hot air power plant. «The Engineer» Vol. CLXIX, p. 373 (1940).

e) *C. Keller* et *R. Ruegg:* Die aerodynamische Turbine im Hüttenwerk. SBZ Vol. 122, p. 1* (1943).

Von der Siliziumkeramik zur Metallkeramik

Von Dr. MAX HAUSER, Ing.-Chem., Zürich

[Vorbemerkung der Redaktion. Der Verfasser hat ein Verfahren zur Herstellung metallartiger Formkörper entwickelt, wofür ihm das Schwedische Patent Nr. 112 947 erteilt wurde. Das im Laboratorium mit Erfolg ausprobierte Verfahren scheint uns interessante Anwendungsmöglichkeiten zu bieten, besonders bei der Herstellung elektrischer Heizkörper. Es wäre daher erwünscht, wenn Interessenten mit dem Erfinder in Verbindung treten würden.]

Gegenstände aus Metall erhalten durch Giessen, Walzen, Schmieden und durch spanabhebende Bearbeitung die gewünschte Form. Die Formgebung erfolgt hier am fertigen Material. Im Gegensatz dazu werden in der keramischen Industrie die Gegenstände aus einer feuchten, plastischen Masse geformt und erst nachher erhält der Baustoff durch Trocknen und Brennen seine endgültigen Materialeigenschaften.

Die Arbeitsweise der Keramik beruht auf zwei grundlegenden Eigenschaften, der Plastizität oder Bildsamkeit der Rohstoffe und der Sinterung bei hohen Temperaturen. Die in ausgedehnten Lagerstätten vorkommenden Tone enthalten als wesentlichen Bestandteil Silikathydrate in Form feiner Teilchen. Mit Wasser oder bestimmten andern Flüssigkeiten angefeuchtet, werden sie plastisch formbar. Die daraus geformten Körper behalten nach dem Trocknen, also nach der Entfernung des zugesetzten Wassers, eine bescheidene mechanische Festigkeit. Werden dann die Formkörper auf hohe Temperaturen erhitzt, so führt dies zu einer dauernden Verfestigung. Die einzelnen Teilchen vereinigen sich und erhalten untereinander einen festen, starren Zusammenhang; sie sintern. Das tritt ein beim Brennen roher keramischer Formkörper. Der Brennprozess kann so geführt werden, dass die Sinterung vollkommen wird und dichte, undurchlässige Körper entstehen, oder sie kann bei porösen Gebilden stehen bleiben. Sie ist nicht an einen Schmelzprozess gebunden und tritt auch ein ohne jegliche Schmelzerscheinung. Man kann in diesem Falle von Trockensinterung sprechen.

Viele Tone besitzen eine derart hohe Bildsamkeit, dass sie erhebliche Mengen unplastischer pulvriger Stoffe zu binden vermögen. Man macht davon Gebrauch beim Aufbau keramischer Massen, z. B. der Porzellanmasse aus Kaolin, Feldspat und Quarz. Es gibt aber Tone, die ein noch viel grösseres Bindevermögen besitzen als der hier erwähnte Kaolin. Von solchen Tonen genügt oftmals ein geringfügiger Zusatz zu pulvrigen unplastischen Stoffen, um bildsame Massen zu erhalten. Der Schmelzpunkt des Feldspats liegt tiefer als die für Porzellan angewandte Brenntemperatur. Die Masse enthält also einen Bestandteil, der beim Brennen schmilzt. Man kann hier den Vorgang als Schmelzsinterung bezeichnen.

Die Sinterung, d. h. das Zusammenbacken einzelner Teilchen zu starren Gebilden bei hohen Temperaturen, ist nicht nur bei den Rohstoffen der Keramik zu finden. Sie zeigt sich auch bei Metallen. Aufbauend auf dieser Erscheinung, hat sich in neuerer Zeit eine besondere Technik der Verarbeitung von Metallen entwickelt, die Pulvermetallurgie. Reine Me-

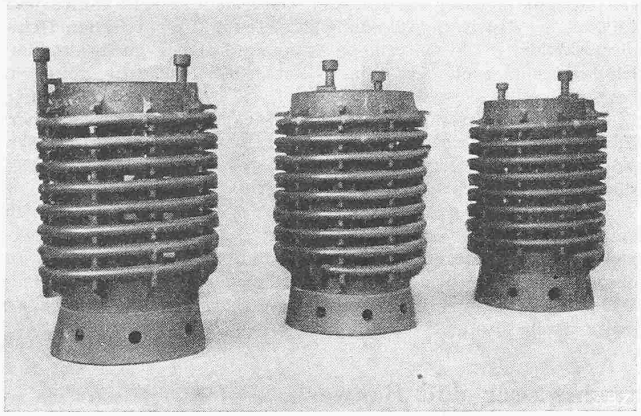

Abb. 1. Kühlschlangen. Rohr aus bildsamer Siliziummasse, auf den Träger aufgewunden und mit diesem zusammen gebrannt

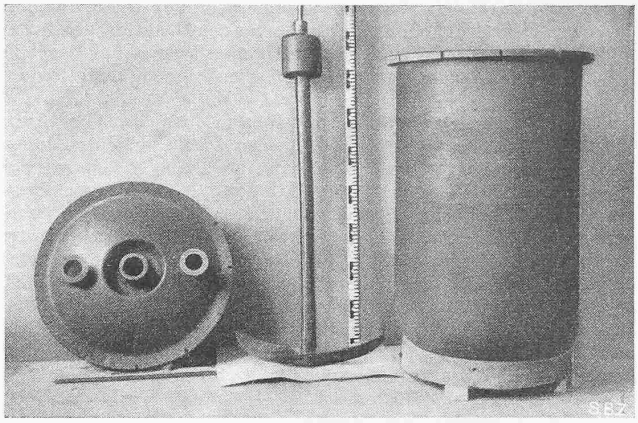

Abb. 2. Kessel mit Rührer und Deckel aus wärmeleitendem keramischem Siliziummaterial

tallpulver oder Gemische von solchen werden in Matrizen gepresst. Da es sich hier um unplastische Stoffe handelt, sind Pressdrücke von 1000 bis 10 000 kg/cm² erforderlich[1]), damit die Presslinge nicht wieder zu Pulver zerfallen. Diese Methode blieb daher bisher auf die Herstellung kleiner, einfacher Gebilde beschränkt. Sie besitzt Bedeutung bei der Anfertigung von Körpern aus hochschmelzenden Metallen, aus denen Drähte für Glühlampen gewonnen werden, für Hartmetalle, Magnete und poröse Lagermetalle. Bei dieser Pulvermetallurgie zeigen sich ähnliche Erscheinungen wie in der Keramik. Auch hier erhält man, je nach der Natur der Metallpulver, der Sintertemperatur und Sinterdauer, poröse oder dicht gesinterte Körper. Nach der Ausdrucksweise von Dawihl[2]) kann man hier von Trockensinterung sprechen, wenn das Metallpulver keine Anteile enthält, die bei der angewandten Sintertemperatur schmelzen. Schmelzsinterung liegt vor, wenn in einem Gemisch von zwei oder mehreren Metallpulvern ein Bestandteil unterhalb der Sintertemperatur schmilzt, wie beispielsweise zugefügter Kobalt bei der Herstellung von Hartmetallen aus Wolframkarbid.

Die Pulvermetallurgie besitzt insofern eine gewisse Aehnlichkeit mit der Keramik, als in beiden Fällen die Anwendung hoher Temperaturen (Brennprozess) eine Verfestigung durch Sinterung bewirkt. Man spricht deshalb bei Metallen auch von Sintermetallurgie. Ungeeignet erscheint in diesem Zusammenhang der gelegentlich gebrauchte Ausdruck «Metallkeramik[3]), denn es fehlt den Rohstoffen nicht nur der Oxyd- oder Silikatcharakter, sondern auch die Plastizität oder Bildsamkeit, die bei den rohen keramischen Massen für ihre Formgebung wesentlich ist.

Von Metallkeramik wird man dort mit grösserer Berechtigung sprechen, wo nicht nur unplastische Metallpulver für sich allein unter hohem Druck gepresst werden, sondern wo sich durch Mitverwendung von Silikatrohstoffen plastische Massen nach keramischer Arbeitsweise formen lassen. Ein Verfahren dieser Art, das in der Schweiz seit 20 Jahren industriell angewendet wird[4]), findet sich verwirklicht in der Silizium-Keramik. Die in Abb. 1 und 2 wiedergegebenen Beispiele von Erzeugnissen aus keramischer Siliziummasse zeigen deutlich, was für Gestaltungsmöglichkeiten die keramische Formgebung bietet.

Das Silizium zeigt, neben metallischen Eigenschaften, wie hohe Wärmeleitfähigkeit und elektrische Leitfähigkeit, ein chemisches Verhalten, das eher an Nichtmetalle erinnert, so beispielsweise seine vollkommene Säurefestigkeit, weshalb die Erzeugnisse der Silizium-Keramik von der chemischen Industrie als wärmeleitende und säurefeste Baustoffe geschätzt werden. Auch hinsichtlich seiner Beständigkeit gegen Oxydation nimmt es eine Sonderstellung ein. So können Formkörper aus keramischen Siliziummassen in üblicher Weise gebrannt werden, ohne dass eine augenfällige Oxydation des Siliziums eintritt. Ganz andersartig ist das Verhalten der gebräuchlichen Schwermetalle. So wird beispielsweise das Eisen bei hohen Temperaturen leicht oxydiert. Wollte man also in keramischen Massen das Silizium durch Schwermetall ersetzen, so müssten Vorkehrungen getroffen werden, um beim Brennprozess die Erzeugnisse vor der Einwirkung einer oxydierenden Atmosphäre zu schützen. Schon in der schweizerischen Patentschrift 128 404[4]) sind hiefür geeignete Massnahmen vorgesehen. Trotzdem war nur das Arbeiten mit Silizium oder Siliziumlegierungen erfolgreich. Die Verwendung von Metallpulvern führte zu Schwierigkeiten, die damals nicht überwunden werden konnten, da die Möglichkeit zur Durchführung von Versuchen fehlte.

Erst neuerdings, im Rahmen einer Forschung, die sonderbare Erscheinungen der Silizium-Keramik aufklärte[5]), wurden auch die Vorgänge an keramischen Metallmassen näher untersucht. Es ergab sich daraus ein neues Verfahren, die eigentliche Metallkeramik. Sie wendet nicht nur die Arbeitsweise der Keramik auf metallische Gegenstände an, sondern erzielt auch Materialien mit neuartigen Eigenschaften.

Zum Verständnis der Schwierigkeiten, die einer solchen Metallkeramik bisher im Wege standen, und der Wirkungsweise des erfolgreichen Verfahrens, müssen einige chemische Vorgänge erörtert werden. Die Tone enthalten als wesentlichen Bestandteil Aluminiumsilikathydrate, beispielsweise Kaolinit $Al_2O_3 . 2\,SiO_2 . 2\,H_2O$. Das Wasser ist derart in die Substanz eingelagert, dass es nicht einfach durch Trocknung entfernt werden kann. Seine Abspaltung beginnt erst bei erhöhter Temperatur, in der Regel oberhalb 400°, und ist erst bei heller Rotglut beendet. Beim Brennen von Tonwaren entwickelt sich also stets Wasserdampf. Er kann, da die rohen trockenen Formkörper porös sind, aus dem Innern nach aussen abströmen. Meistens sind aber die Poren so fein, dass der Gasdurchtritt nur langsam erfolgt. Dies ist der Grund, warum rohe Tonwaren nicht plötzlich hohen Temperaturen ausgesetzt werden können und das Brennen einen allmählichen Temperaturanstieg erfordert. Bevor wir nun auf das Verhalten von Gemischen aus Metallpulver und Ton, d. h. keramischen Metallmassen, beim Brennen bzw. Sintern eingehen, ist das Verhalten von Metallpulvern gegenüber Wasserdampf zu erläutern.

Zunächst ist der bedeutende Unterschied zu berücksichtigen, der zwischen massiven Stücken und feinem Pulver besteht. Mit zunehmender Unterteilung eines Körpers wächst die Gesamtoberfläche. Wenn es gelingen würde, einen Würfel von 10 mm Kantenlänge und 6 cm² Oberfläche in Würfelchen von 0,1 mm Kantenlänge aufzuspalten, so entstünden 1 000 000 Würfelchen mit einer Gesamtoberfläche von 600 cm²; die Oberfläche würde also durch diese Unterteilung auf das Hundertfache anwachsen. Bei chemischen Reaktionen, an denen feste Stoffe teilnehmen, kommt der Oberfläche, die sie dem Angriff darbieten, grosse Bedeutung zu. Das Fortschreiten einer chemischen Einwirkung auf einen massiven Körper wird oftmals dadurch behindert, dass das Reaktionsprodukt an der Oberfläche eine festhaftende Schutzschicht bildet. Handelt es sich aber um sehr feine Materialteilchen, so verschwindet diese Beeinträchtigung, denn die Dicke der Schutzschicht kommt dem Durchmesser der Teilchen nahe.

In Hochdruckkesseln gelangt Wasserdampf bei Temperaturen von weit über 100° mit eisernen Wandungen in Berührung. Eine chemische Umsetzung zwischen Eisen und Wasserdampf kommt dabei praktisch nicht vor. Anders liegen aber die Dinge beim Eisenpulver, das dem Dampf eine sehr grosse

[1]) Vgl. Franz Skampy, Metallkeramik, 1943, Verlag Chemie Berlin W 35. Versuchsweise wurde mit 25 000 bis 30 000 kg/cm² gearbeitet, siehe: W. Trzebiatowski, «Z. f. phys. Chemie», Bd. 24 (1934), S. 75, 87.

[2]) W. Dawihl, Die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen der Pulvermetallurgie, Stahl und Eisen, Jahrg. 61 (1941), S. 909.

[3]) Wie ihn Fr. Skampy in seinem oben zitierten Buch anwendet.

[4]) M. Hauser, Schweiz. Patent Nr. 128 404 vom 28. 4. 26, DRP 576 377.

[5]) M. Hauser, Die Oxydation von Silizium, «Schweiz. Techn. Zeitschrift» 1945, Nr. 16, Seite 209.

Oberfläche darbietet. Wird die Temperatur auf einige hundert Grad gesteigert, so kommt die Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit hinzu. Wenn man der Einfachheit wegen nur das eine Oxyd FeO in Betracht zieht, so spielt sich folgende Reaktion ab:

$$Fe + H_2O \rightleftarrows FeO + H_2$$

Aus Eisen und Wasserdampf bilden sich also Eisenoxyd und Wasserstoff. Nun ist, wie die beiden Pfeile andeuten, diese Reaktion umkehrbar, d. h. man kann auch aus Eisenoxyd und Wasserstoff metallisches Eisen gewinnen. In einem geschlossenen Raum besteht ein Gleichgewicht, d. h. bei konstanter Temperatur geht die Reaktion nur so weit, bis ein ganz bestimmtes Gemisch von Wasserdampf und Wasserstoff vorhanden ist. Wird dagegen dauernd Wasserdampf zu- und Wasserstoff abgeführt, so läuft die Reaktion so lange von links nach rechts, bis alles Eisen in Oxyd verwandelt ist. Wird umgekehrt Wasserstoff zugesetzt und Wasserdampf entfernt, so läuft die Reaktion so lange im Sinne von rechts nach links, bis alles Eisenoxyd zu metallischem Eisen reduziert ist.

Diese Vorgänge, am Beispiel des Eisens erläutert, aber auch für andere Metalle gültig, sind von grundlegender Bedeutung für die Metallkeramik. Wird ein Formkörper, der aus einem Gemisch von Ton und Eisenpulver gebildet wurde, erhitzt, so gelangt man in einen Temperaturbereich, in dem der Ton Wasser abspaltet. Solange die Entwässerung nicht beendet ist, entsteht im Innern des Körpers immer neuer Wasserdampf. Er strömt nun nicht restlos durch die Poren nach aussen ab, sondern ein beträchtlicher Teil reagiert mit den Eisenteilchen unter Bildung von Eisenoxyd. Will man also einen keramischen Eisenkörper erhalten, so muss das gebildete Eisenoxyd in Eisen zurückverwandelt werden. Man muss also, nachdem alles Wasser aus dem Ton abgespalten, der Formkörper aber noch porös ist, so lange in Wasserstoff erhitzen, bis, im Sinne der Formel von rechts nach links, das Oxyd wieder in Metall zurückverwandelt wird. Erst dann darf die Temperatur weiter gesteigert werden, damit sich die Poren schliessen und ein dichtgesintertes Metall entsteht.

Diese Ueberlegungen, die sich bei unzähligen Versuchen als richtig erwiesen haben, bilden die Grundlage der neuen Metallkeramik. Ein weiterer Schritt kommt hinzu. Wie gesagt, entsteht beim Erhitzen von Massen aus Metallpulver und Ton immer Metalloxyd, das wieder zu Metall reduziert werden muss. Man kann deshalb die rohe Masse ebensogut aus Metall o x y d und Ton bilden, die Formkörper erhitzen, bis die Wasserabspaltung vollendet ist und dann, am porösen Formling, die Reduktion zu Metall durchführen. Diese Arbeitsweise bietet sogar erhebliche Vorteile. Metalloxyde sind sehr viel leichter und billiger in Pulverform zu erhalten als Metalle. Man kann sogar direkt von natürlichen Erzen ausgehen. Zu den Versuchen diente beispielsweise Roteisenstein (Hämatit) vom Gonzen bei Sargans.

Das neue Verfahren überträgt die Arbeitsweise der Keramik auf die Metallurgie. Plastische Massen werden geformt und die Formkörper erhalten ihre endgültigen metallischen Eigenschaften durch einen Reduktions- und Sinterprozess. Durch Veränderung der Zusammensetzung der rohen Masse, d. h. durch Auswahl und Kombination verschiedener Metalle bzw. Metalloxyde und das Mischungsverhältnis mit Silikaten, sowie durch geeignete Sinterbedingungen, kann eine unabsehbare Reihe von Materialien mit verschiedenen Eigenschaften gewonnen werden. Am einen Ende dieser Reihe stehen keramische Erzeugnisse üblicher Art mit geringem Metallgehalt, am anderen Metallkörper mit ganz geringem, fein verteiltem Silikatgehalt. Zwischen diesen Grenzen sind die mannigfaltigen Produkte einzureihen, die in gewünschter Abstufung die Eigenschaften von Metallen mit denjenigen der üblichen keramischen Materialien vereinigen. Es wird die Aufgabe weiterer Untersuchungen sein, die Eigenschaften derartiger Produkte genauer zu prüfen. Daraus werden sich die Brauchbarkeit und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens für verschiedene Zwecke ergeben.

Eine bedeutende Anwendung der Metallkeramik liegt nahe, nämlich die H e r s t e l l u n g v o n e l e k t r i s c h e n W i d e r s t ä n d e n u n d H e i z k ö r p e r n. Dadurch, dass man keramische Materialien mit Metallgehalt versieht, werden sie elektrisch leitend oder — von der anderen Seite her betrachtet — dadurch, dass man metallische Stoffe gewinnt, die von nichtleitenden Teilchen gleichmässig durchsetzt sind, gelangt man zu Erzeugnissen mit reduzierter elektrischer Leitfähigkeit, d. h. zu elektrischen Widerständen. Die Leitfähigkeit solcher metallkeramischer Materialien richtet sich weitgehend nach dem Mischungsverhältnis von metallhaltigen und nichtmetallischen Stoffen in der rohen Masse. Besonders wertvoll ist die ausgezeichnete Formbarkeit des Rohmaterials. Man wird nicht nur kleine Gebilde, wie Heizstäbe, herstellen können, sondern auch Platten mit grosser strahlender Oberfläche, sowie Rohre und Gefässe, bei denen die Wandung zugleich den elektrischen Heizkörper bildet. Die Oberfläche kann mit einer nichtleitenden Schutzschicht nach Art einer keramischen Glasur versehen werden.

Die Metallkeramik verwendet elektrolytisch gewonnenen Wasserstoff, elektrisch geheizte Reduktions- und Sinteröfen. Ein bedeutendes Anwendungsgebiet ist die elektrische Heizung. Die schweizerischen Verhältnisse sind hiefür denkbar günstig.

Die Grundlagen der Metallkeramik wurden ausgearbeitet in den Jahren 1942/43 im Rahmen einer Untersuchung über elektrisch leitende keramische Materialien. Der Verfasser erhielt an diese Arbeit von der Stiftung der Schweiz. Landesausstellung 1939 für Kunst und Forschung einen Beitrag, den er auch an dieser Stelle bestens verdankt.

Regenwasser und Bauwerk

Von F. VENOSTA, Zürich

Durch Regenaufschlag benetzte Aussenwände eines Bauwerkes verlieren weitgehend an Wärmeisolierfähigkeit; ausserdem kann die Feuchtigkeit bis zur Innenseite durchschlagen und so Schäden verursachen. Eine grundsätzliche Betrachtung der sich hier abspielenden Vorgänge dürfte für die Fachleute von Interesse sein [1]).

a) M e t e o r o l o g i s c h e s

Um Schlüsse auf die durch Regen oder Schnee in ein Bauwerk gelangende Feuchtigkeit ziehen zu können, müssen folgende meteorologische Daten bekannt sein: Die Niederschlagsmenge im betrachteten Zeitabschnitt in mm und die mittlere Luftgeschwindigkeit in m/s während der gleichen Zeit nach Grösse und Richtung. Diese Angaben sind von den meteorologischen Stationen erhältlich oder können ohne grosse Schwierigkeiten auch an Ort und Stelle bestimmt werden. Bei Windmessungen ist darauf zu achten, dass für die Berechnung nicht die maximale Geschwindigkeit eines Windstosses, sondern die mittlere Geschwindigkeit mehrerer Stösse während der Beregnungszeit massgebend ist. Der für die Bestimmung der Mauerbenetzung massgebende Einfallwinkel des Regens ist abhängig von der Fallgeschwindigkeit des Regens und diese von der Tropfengrösse gemäss Tabelle 1.

Tabelle 1: Fallgeschwindigkeit für verschiedene Tropfengrössen [2])

Tropfendurchmesser (mm) . . .	0,02	0,2	2,0	5,2	7,8
Fallgeschwindigkeit (m/sek) . .	0,0013	0,78	5,8	7,9	7,8

Bei Landregen sind die Tropfen kleiner, bei kurzen, intensiven Platzregen grösser. Für die in der Praxis vorkommenden Fälle kann man mit den in Abb. 1 wiedergegebenen Werten rechnen.

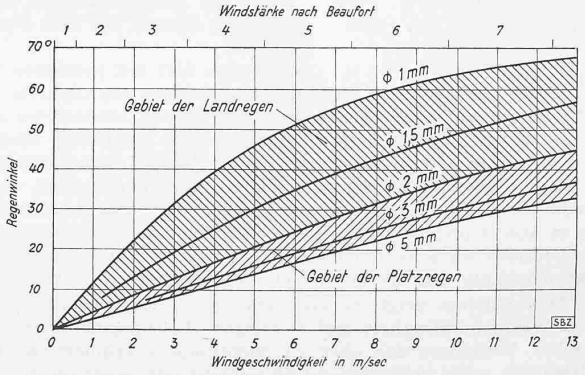

Abb. 1. Fallwinkel des Regens in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit und der Tropfengrösse

b) D i e V e r h ä l t n i s s e a m R o h b a u

Je nach dem Winkel, mit dem der Regen das Mauerwerk trifft, sind eine, zwei oder drei Flächen des Baukörpers an der Wasseraufnahme beteiligt. Beim Rohbau sind die horizontalen Kopfflächen der Mauern der ganzen Intensität des Regens ausgesetzt. Für den prismatischen Mauerkörper sind die senkrechten Flächen auf die Horizontalebene zu projizieren, da die Niederschlagsmengen als lotrechte Höhen gemessen werden. Mit den in Abb. 2 enthaltenen Bezeichnungen ist die wasseraufnehmende Fläche des Körpers in m^2:

[1]) Siehe auch: «Ziegelblätter» M 3/4 (Feuchtigkeit), Herausgeber: Verband Schweiz. Ziegel- und Steinfabrikanten, Zürich.

[2]) *Hann-Suring*, Lehrbuch der Meteorologie, 5. Auflage, 1. Bd., S. 431. Leipzig 1939.