

Heißaufbereitung der Tone in der Ziegelproduktion

Von M. G. LUNDINA, Kandidatin der techn. Wissenschaften am Lehr- und Forschungsinstitut für Baukeramik der UdSSR¹⁾

DK 686.3.022.62:546.212-13

Die Voraussetzung zur Anwendung des Duwanowschen Schnellbrennverfahrens in der Ziegelindustrie ist ein genügender Vorrat an trockenen Rohlingen. Das wichtigste Problem ist daher die Verkürzung der Trocknungsdauer. Einige Ziegeleien in der Deutschen Demokratischen Republik haben bereits damit begonnen, dieses Problem auf dem Wege über die Heißaufbereitung zu lösen. Für diese, aber auch für die übrigen Ziegeleien, wird es von Interesse sein, die eingehenden Untersuchungen von M. G. Lundina zu kennen, die den Einfluß der Dampfbehandlung auf verschiedene technologisch wichtige Eigenschaften der Tone und Rohlinge, insbesondere im Hinblick auf die Beschleunigung der Trocknung, darstellen. Der vorliegende erste Teil behandelt allgemeine theoretische Grundlagen der Trocknung, während die in den nächsten Heften folgenden Teile Laboratoriums- und Betriebsversuche zum Inhalt haben. (Die Redaktion.)

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziele, festzustellen, was für einen Einfluß die Heißaufbereitung verschiedener, in der Ziegelproduktion verwendeter Tone auf das Verhalten des Rohlings während der Trocknung ausübt. Es soll der Trocknungsverlauf des durch Dampf erwärmten Rohlings dargestellt, die der Heißaufbereitung am besten entsprechende Trocknungsmethode und der günstigste Grad der Erhitzung der Masse ermittelt werden. Ferner sollen die Art der Dampfzufuhr zum Tonmischer, der günstigste Dampfdruck festgestellt und allgemeine wirtschaftliche und technische Hinweise gegeben werden, mit dem Ziel, eine breite Anwendung der Dampfaufbereitung in der keramischen Industrie zu empfehlen. Mit dem Einfluß der Heißaufbereitung durch Dampf auf die Trocknung soll gleichzeitig ihr Einfluß auf die Verformbarkeit, Plastizität, Bindefähigkeit, mechanische Festigkeit, Geschwindigkeit und Grad des Aufschlusses, spez. Gewicht, Brennverhalten usw. untersucht werden.

1. Theoretische Grundlagen

Von grundsätzlicher Bedeutung für den Trocknungsverlauf ist die gegenseitige Abstimmung der Geschwindigkeit der kapillaren Diffusion mit der Verdunstung aus der Oberfläche. Bei ungenügender Diffusion aus dem Innern verdunstet das Wasser zu schnell aus der Oberfläche; der entwickelte Dampf drückt auf die Flüssigkeitsoberfläche in den Kapillaren und verhindert das Nachfolgen des Wassers aus dem Innern. Die so zustandekommenden Feuchtigkeitsunterschiede zwischen Oberfläche und Kern verursachen ein unregelmäßiges Schwinden, das Zugspannungen an der Oberfläche zur Folge hat, die zu Rissen führen können.

Die Verdunstung des Wassers aus der Oberfläche ist weitgehend durch die relative Feuchtigkeit, Temperatur und Strömung der Luft regulierbar. Um den Trocknungsprozeß zu beschleunigen, ist es notwendig, die Diffusion der Feuchtigkeit aus dem Innern zu beschleunigen und die durch die Trockenschwindung entstehenden Spannungen zu verringern. Für die Spannungsverhältnisse während der Trocknung ist die Arbeit von A. W. Lykow [1] interessant, die die Abhängigkeit der Trockenrißbildung vom Feuchtigkeitsgehalt der Rohlinge beschreibt. Lykow stellt fest, daß jeder Ton einen kritischen Wert für den Feuchtigkeitsunterschied, den sog. Zerreißungsgrad, besitzt, bei dessen Überschreitung Risse auftreten. Für den Ton von Biskutnikow ermittelte er z. B. einen kritischen Feuchtigkeitsunterschied von 1,25% auf 1 cm, bei dem Ton von Nischni-kotelskow 0,8% auf 1 cm bei einem durchschnittlichen Wassergehalt der Masse von 22%. Nach dem Vortrocknen bis auf 10% durchschnittlicher Feuchtigkeit erhöhte sich der noch zulässige Feuchtigkeitsunterschied auf 2% auf 1 cm. Daraus ergibt sich eine größere Gefährdung des Rohlings in der Anfangsperiode der Trocknung. F. A. Zienkowitsch [2] untersuchte den Feuchtigkeitsgehalt während der Trocknung in verschiedenen Tiefen des Tonballens an sechs

Tonen verschiedener Plastizität und Körnung. Die in Messingzylinder von 45 mm Dmr. und 100 mm Höhe eingebrachten angefeuchteten Tone wurden bei 18 bis 20° C an der freien Oberfläche getrocknet. Nach 48, 95 und 312 h wurden aus verschiedenen Tiefen Proben zur Bestimmung der Feuchtigkeit entnommen und die Schwindung gemessen. Die schwer trocknenden Tone wiesen die größeren Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt auf. Zienkowitsch stellte fest, daß für jeden Ton eine bestimmte Grenze für den Feuchtigkeitsunterschied zweier benachbarter Schichten besteht, nach deren Überschreitung Deformierung eintritt.

Wird die Trocknung so geleitet, daß der zulässige Feuchtigkeitsunterschied in der Tiefe des Rohlings nicht überschritten wird, so müssen die Erzeugnisse fehlerfrei trocknen. Zienkowitsch weist darauf hin, daß diese erforderlichen Trocknungsbedingungen in einigen Fällen durch Magerung der Tone geschaffen werden können.

Z. A. Nosowa [3] untersuchte den Feuchtigkeitsgehalt in verschiedenen Höhen des Zylinders und fand für einen Kaolin 0,15% Feuchtigkeitsunterschied auf 10 cm, während unter den gleichen Bedingungen ein Ton mittlerer Trockenempfindlichkeit (Biskutnikower Ton) 7% besaß, ein stark trockenempfindlicher Ton (Kotlowskauer Ton) in der gleichen Zeit 15 bis 17%. Diese Feststellungen weisen darauf hin, daß die Kapillarströmung aus dem Innern bei trockenempfindlichen Tonen bereits unter natürlichen Bedingungen geringer ist als die Trocknungsgeschwindigkeit an der Oberfläche.

Eine Verbesserung der Eigenschaften der Tone beim Trocknen ist also nur möglich durch eine Verringerung der Schwindungs- und Feuchtigkeitsunterschiede, wodurch die Spannungen während der Trocknung vermindert werden.

Eine Verbesserung der Schwindungsverhältnisse und ein schnellerer Abtransport der Feuchtigkeit aus dem Innern kann durch Magerung mit 10 bis 30% Schamotte, Sand, Sägespänen, Schlacke usw. erzielt werden. Das Vorglühen der plastischen Tone bei 200 bis 500° C, wie es von Z. A. Nosowa [3], M. G. Lundina [4] und K. A. Nohratian [5] empfohlen wurde, hat in der Ziegelproduktion keinen Eingang gefunden.

Mehrere Laboratoriums- und Betriebsversuche wurden mit Koagulatoren durchgeführt. Von Interesse sind in diesem Zusammenhang die Untersuchungen von S. P. Onaki [8] mit Natriumchlorid, Calciumchlorid, Eisen(II)sulfat, Calciumhydroxyd, Eisen(III)chlorid und Aluminiumchlorid. Die besten Ergebnisse wurden mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$, AlCl_3 , FeCl_3 und HCl erzielt. Die Dosierung des Elektrolyten muß sehr genau eingehalten werden. Salzsäure z. B. verbesserte das Trocknungsverhalten nur in den Grenzen von 0,2 bis 0,6%. Calciumhydroxyd über einer Menge, entsprechend 0,8% CaO zugesetzt, verschlechtert erheblich die Eigenschaften bei der Verformung. Wie B. M. Grissik in der Kutschynsker Versuchsfabrik nachweisen konnte, läßt sich die Trocknungsdauer durch Zugabe von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zwar um 30 bis 40% verringern, doch ist die Trockenfestigkeit des -

¹⁾ Gekürzte Übersetzung aus *Materiały Budowlane (Baustoffe, Warschau)* Bd. 6 (1951) Nr. 9/10, S. 252-285.

rissfrei getrockneten Rohlings sehr gering. M. G. Lundina gelang es in einer Biskutnikower Ziegelei die Trocknungsdauer um mehr als 20% herabzusetzen bei einem Zusatz von 0,5% CaO (zugeführt als Kalkmilch). Geringe Abweichungen nach oben verminderten erheblich die Trockenfestigkeit.

1.1 Einfluß der Temperatur auf die Diffusion der Feuchtigkeit aus dem Innern

Durch die Verminderung von Flüssigkeitsgrad (Viskosität) und Oberflächenspannung des Wassers bei der Erwärmung (Bild 1) wird die Kapillarströmung aus dem Innern des Rohlings beschleunigt. Die Flüssigkeit strömt von den stärker erwärmten Enden der Kapillare in Richtung der kälteren Teile. Der höheren Temperatur entspricht auch ein höherer Dampfdruck, der die mit der Wärmebewegung gleichlaufende Strömungsrichtung der Flüssigkeit begünstigt.

Das Bestehen der Wärmediffusion als eine in Richtung der Wärmebewegung verlaufende Strömungsrichtung der Flüssigkeit hat A. W. Lykow [9] [10] experimentell bewiesen. In einer gegen das Verdunsten der Feuchtigkeit nach außen isolierten Tonkugel traten beim Erwärmen Risse auf. Die Feuchtigkeit hatte sich von der erwärmten Oberfläche nach dem Innern verschoben. Lykow stellte zwischen Entwässerung und Temperatursteigerung eine lineare Beziehung (Bild 2) fest. Für jeden Ton läßt sich ein Faktor ermitteln, der die Wärmediffusion charakterisiert.

hat Lykow z. B. festgestellt, daß ein von ihm untersuchter Ton mit 20% Feuchtigkeit bei einer Temperatursteigerung um 10°, eine Feuchtigkeitssenkung von 0,8% auf 1 cm aufwies.

Durch die Wärmediffusion wird auch das Bestehen einer „kritischen Erwärmungstemperatur“ bei der Trocknung erklärt, bei der Risse entstehen, auch wenn keine Feuchtigkeit verdunsten kann.

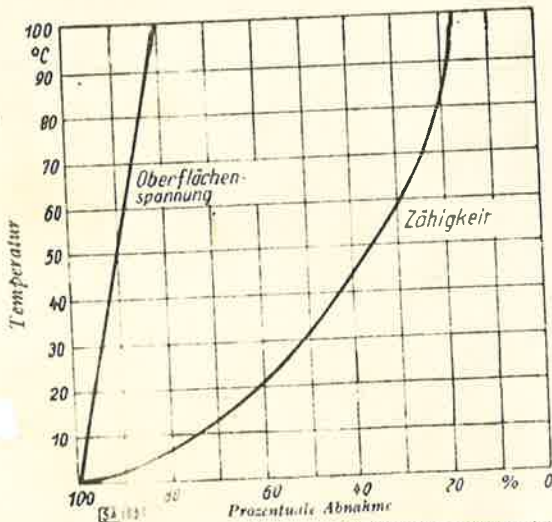


Bild 1. Einfluß der Temperatursteigerung auf die Oberflächenspannung und Zähigkeit des Wassers

1.2 Verschiedene Trocknungsmöglichkeiten mit beschleunigter Kerntrocknung

Um die Diffusion der Feuchtigkeit aus dem Innern zu beschleunigen, werden die Rohlinge im Kern erhitzt. Dazu können verschiedene Methoden angewendet werden. In der feuerfesten Industrie z. B. trocknet man schamottierte Massen bei 90° C und höher [11]. Zu Beginn der Trocknung werden die Steine mit Heißluft schnell erhitzt, ohne daß die Feuchtigkeit verdunsten kann. Sobald die höchste Trocknungstemperatur erreicht ist, wird die Trocknung durch Änderung der relativen Luftfeuchtigkeit so geregelt, daß die Feuchtigkeit aus den inneren Schichten gleichmäßig nachströmt.

Im Jahre 1939 wurden Versuche durchgeführt, in denen die zunächst bei höherer Temperatur bis auf den Kern erhitzten Rohlinge an der Oberfläche so abgekühlt wurden,

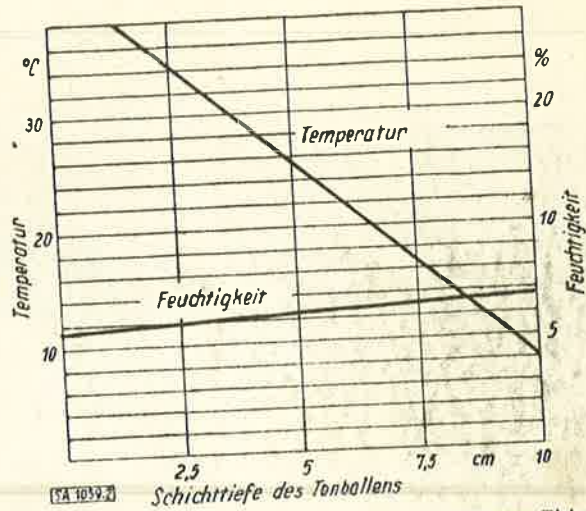


Bild 2. Verteilung von Temperatur und Feuchtigkeit in verschiedenen Tiefen eines Tonballens

daß zwischen Oberfläche und Kern ein Temperaturunterschied von 5° C gehalten wurde. Dadurch konnte die Feuchtigkeit aus dem Innern gleichmäßig beseitigt werden.

Dieses Prinzip der Trocknung wandte K. A. Nohrman [5] mit gutem Erfolg zum Trocknen von Glashäfen an. Er stellte ein entsprechendes elektrisches Wärmegerät in den gegen Luftzutritt verschlossenen Hafen. Durch die Wärmediffusion in Richtung der kälteren Außenfläche erreicht er eine Trocknungsdauer von einem Monat, während früher sechs Monate benötigt wurden.

Glashäfen, Isolatoren, Wannensteine usw. können auch mit technischem Wechselstrom (50 Hz) durch Auflegen von Metallelektroden getrocknet werden. Nach Angaben von Zinnin gelang es mit Hilfe von technischem Wechselstrom, einen Wannenstein mit einem Gewicht von 22 kg innerhalb von 300 h - gegenüber früher 1400 h - auszutrocknen.

Beim Trocknen mit Hochfrequenzstrom befindet sich das Erzeugnis im Hochfrequenzfeld, wobei sich die Teile mit dielektrischen Verlusten erwärmen. Nach A. S. Berkman [13] ist die Differenz des Feuchtigkeitsgehaltes in der Tiefe des Erzeugnisses nicht höher als 1%. Hochspannungsisolatoren mit einem Gewicht von 10 bis 11 kg trocknen fehlerfrei und 20 bis 25 mal schneller bei der HF-Trocknung als bei gewöhnlicher Trocknung. A. I. Awgustnik [14] gibt für die HF-Trocknung einen Temperaturunterschied von 15° C und mehr an. Dieser Unterschied entsteht durch die Verdunstungskälte an der Oberfläche des Formlings.

Verschiedene Ziegeleien bereiten ihre Tone mit heißem Wasser auf. Dadurch wird zwar die Arbeitsweise während der Wintermonate verbessert, doch kann auf diese Weise die Erwärmung des Rohlings im Innern nicht erzielt werden. W. S. Zarietzi [15] weist darauf hin, daß selbst bei Verwendung von Wasser von 90° C die Erwärmung der Masse höchstens 30° C erreichen kann, wenn die gesamte Wassermenge mit dieser Temperatur eingeführt würde. In der Praxis - bei Verwendung grubenfeuchter Tone - beträgt die Erwärmung nicht mehr als 8 bis 10° C.

Durch die Aufbereitung der Tone mit Dampf können die Rohlinge auf 50 bis 70° C und höher erhitzt werden. Dadurch ist es möglich, die Diffusion der Feuchtigkeit aus dem Innern zu beschleunigen und die Trocknungsdauer zu verkürzen. Außerdem wird das Trocknungsverhalten durch die Dampfaufbereitung erfahrungsgemäß [16] [17] verbessert. Die Feuchtigkeit verteilt sich sehr gleichmäßig in der Masse. Der bessere Aufschluß des Tones erhöht dessen Bindfähigkeit und damit den Widerstand des Rohlings gegen die bei der Trocknung auftretenden Spannungen.

Die ersten Versuche mit der Heißaufbereitung durch Dampf wurden im Jahre 1937 in der Odysowsker Ziegelei durchgeführt. Der Dampf wurde mit 11 bis 12 atü aus dem Dampfkessel der Lokomotive durch den Deckel des Ton-

mischers zugeführt. Die Ergebnisse waren negativ; der Ton erwärmte sich unbedeutend. Der Dampf konnte sich unter so hohem Druck im Ton nicht kondensieren.

Im Jahre 1939 führte S. W. Kannunikow [18] in der Sargorsker Ziegelei weitere Versuche mit der Heißaufbereitung durch. Der Dampf wurde durch die Mitte des Bodens des Tonmischers zugeführt und die Rohrleitung mit acht Abzweigungen versehen, deren Enden durch ein Sieb geschützt waren. Zum Vorwärmen der Seitenteile wurden zwei weitere Rohre jeweils an den Seiten des Mischers angebracht. Der Dampf, der mit 3 bis 4 atü zugeführt wurde, erwärmte das Material auf 50 bis 60° C. Trockenproben des so erwärmten Rohlings ergaben eine Verkürzung der Trockenzeit von 116 bis 112 h auf 72 bis 40 h. Bei weiteren Versuchen (W. S. Zarietzi [15]), die vom „Rosstromprojekt“ durchgeführt wurden, kam man zu Ergebnissen, die als Grundlagen für die Einführung der Heißaufbereitung in den Ziegeleien angenommen wurden, nämlich: die Verwendung von Dampf mit niedrigerem Druck (0,5 atü gegenüber bisher 3 bis 4 atü) und das Trocknen mit einer Anfangstemperatur, die so hoch ist wie die des erwärmten Rohlings (45 bis 55° C). Die Richtigkeit dieser Hinweise wurde in verschiedenen Ziegeleien bestätigt.

Im Jahre 1940 errichtete das Lehr- und Forschungsinstitut für Baukeramik (M. I. Rogowoj [19]) in der Kasansker Ziegelei eine Heißaufbereitungsanlage für niedrigen Dampfdruck (0,5 atü). Obwohl der Ton aus dem Gebiet von Kasansk sehr trockenempfindlich ist, wurde die Trocknungsdauer von dreizehn und mehr Tagen auf vier bis fünf Tage verkürzt. Die Druckfestigkeit der Erzeugnisse erhöhte sich gleichzeitig von 75,6 auf 157,6 kg/cm². Die auf 60° C vorgewärmten Rohlinge zeigten auch bei der Preilufttrocknung (7° C) keine Trockenrisse. Die Erfahrungen bei der künstlichen Trocknung bestätigten, daß die Trockenkammern vor dem Beschicken auf die Temperatur des Rohlings gebracht werden sollen. Die höchste Verbesserung der Qualität erreichte man beim Vorwärmen der Rohlinge auf 38 bis 46° C.

Im Jahre 1940 wurde bei Messungen in der Bielewsker Ziegelei festgestellt, daß durch die Heißaufbereitung der Verbrauch an Elektroenergie bei der Verformung um 20 % gesenkt wurde. Die Produktivität der Pressen erhöhte sich

von 3100 auf 4000 Steine/h. Die Trocknungsdauer wurde von 90 bis 100 h auf 48 bis 66 h gesenkt. Der Anteil an Ziegeln I. Qualität stieg von 54 auf 73%.

Die zahlreichen befriedigenden Ergebnisse in den verschiedensten Ziegeleien berechtigen dazu, die Heißaufbereitung bedingungslos für die Ziegelproduktion zu empfehlen.

(Fortsetzung im nächsten Heft)

Literatur

- [1] Lykow, A. W.: Vom Zerreißungsgrad der Tone, der von den Feuchtigkeitsunterschieden benachbarter Schichten des Tonballens abhängt. Nachr. allgem. Verb. Wärmetechn. Inst. Nr. 6, 1936.
- [2] Zienkowskij, F. A.: Die Wasserbewegung in den Tonmassen während der Trocknung. Glas u. Keramik Nr. 11/12, 1931.
- [3] Nosowa, Z. A.: Von den Ursachen der Empfindlichkeit der Tone während der Trocknung. Arb. Lehr- u. Forschungsinst. Ziegelind. 1940.
- [4] Lundina, M. G.: Untersuchungen der Jarajsker Tone. Arb. Lehr- u. Forschungsinst. Ziegelind. 1940.
- [5] Nohratian, K. A.: Die künstliche Trocknung in der keramischen Industrie. Teil 1, 1938.
- [6] Onalzi, S. P.: Der Einfluß von Elektrolyten auf die Trocknungseigenschaften der Tone. Arb. CNISM, 1936.
- [7] Grissik, B. M.: Der Einfluß von Elektrolyten auf die Trocknungseigenschaften der Tone. Arb. ROSSSTROMPROJEKT, 1936.
- [8] Lundina, M. G.: Versuche in der Anwendung von Elektrolyten in der Diskutnikower Ziegelei. Arb. Zentr. Lehr- u. Forschungslab. Baumater., 1938.
- [9] Lykow, A. W.: Kinetik und Dynamik der Trocknungs- und Aufbereitungsprozesse. 1938.
- [10] Lykow, A. W., und Auermann, L. J.: Die Trocknungstheorie der kolloidalen und kapillar-porösen Materialien der Lebensmittelindustrie. Moskau, 1946.
- [11] Pierwalow, W. I.: Die Produktion der feuerfesten Erzeugnisse. ONTI, 1936.
- [12] Lundina, M. G.: Möglichkeiten der Kapazitätssteigerung der Trockenkammern in Ziegeleien. 1941.
- [13] Berkman, A. S.: Die Hochfrequenz-trocknung in der Porzellanproduktion. Aus der Sammlung der Arbeiten zum 60-jährigen Jubiläum P. P. Budnikows. 1946.
- [14] Augustinik, A. I.: Das Trocknen keramischer Erzeugnisse mit Hochfrequenzstrom. Glas u. Keramik Nr. 4, 1939.
- [15] Zarietzi, W. S.: Versuche zur Feststellung des Einflusses der Dampfaufbereitung auf die Qualität der Ziegel während der Trocknung in künstlichen Trocknungsanlagen. ROSSSTROMPROJEKT, techn. Inf. Ausgabe IV. ROSSISMESTROM UdSSR, 1940.
- [16] Lundina, M. G.: Die Dampfaufbereitung. Arb. Lehr- u. Forschungsinst. Ziegelind. 1941.
- [17] Lundina, M. G.: Die Tonaufbereitung in der Ziegelproduktion. Baumater.-Ind. Nr. 5, 1940.
- [18] Kannunikow, S. W., und Trubitzin, B. M.: Über das Trocknen des Rohlings unter Anwendung von Dampf in künstlichen Trockenanlagen. Glas u. Keramik Nr. 10. S. 25-30, 1939.
- [19] Rogowoi, M. I.: Aufbereitung der Tone mit Dampf in der Ziegelproduktion. STROJISDAD NARKOMSTROJA, 1944.

Die kolloiden Eigenschaften der Kaoline und Tone

Schluß von Seite 160

mechanische Festigkeit verringern kann, während die Rohbruchfestigkeit bis zu einem gewissen Grade, die Zugfestigkeit und die Durchschlagfestigkeit mit zunehmender Mahlfineinheit größer werden. Ferner nehmen die Weißfärbung und die Transparenz zu, da der feinstverteilte Quarz im Schmelzfluß weitgehend gelöst wird¹⁷⁾.

Versuche ergaben, daß die Zunahme der feineren Fraktionen von Flint und Feldspat bei Steingut ein Anwachsen der Schwindung von 6 bis 12% und eine Verringerung der Porosität von 18 bis 0% verursachen. Die Bruchfestigkeit kann sich dabei erheblich verringern. So stellten Geller, Evans und Creamer¹⁸⁾ bei den auf 1150° C gebrannten Steingutmassen einen Rückgang der Bruchfestigkeit von 39% auf 134 kg/cm² und bei den auf 1350° C gebrannten Proben einen Rückgang von 760 auf 302 kg/cm² fest. Wird in einer Steingutmasse Quarzsand durch Kieselgur ersetzt, so läßt

sich überzeugend wahrnehmen, wie erheblich die Schwindung dadurch vergrößert wird. Indessen zeichnet sich bei derartigen Versuchen zugleich die Möglichkeit ab, durch Einführung feinerer Rohstoffe eine größere Verdichtung, und zwar bei niedrigeren Temperaturen, als sie zur Zeit in der Industrie üblich sind, herbeizuführen. Freilich können feinere Korngrößen neben anderen Fehlern auch geringere Formbeständigkeit bedingen.

Eine glasierte Steingutmasse ergab nach fünfständiger Mahldauer bei der Prüfung im Stegerschen Spannungsmesser eine Zugspannung von — 0,06 mm, nach 30 stündiger Mahldauer dagegen eine Druckspannung von + 0,28 mm und nach 60 stündiger Mahldauer von + 0,64 mm, bedingt durch die größere Reaktions- und Umwandlungsfähigkeit des feineren Quarzes. Diese Beispiele ließen sich um zahlreiche andere vermehren, die alle nachweisen könnten, wie stark die Auswirkungen sind, die sich schon bei mechanischer Verfeinerung der Rohstoffe und Massen ergeben. Das gleiche gilt erst recht für die Kaoline und Tone mit ihren von Natur aus viel feineren Fraktionierungen. Deshalb ist die genaue Teilchengrößenbestimmung für die feinkeramische Industrie von besonderer Wichtigkeit. SA 876

¹⁷⁾ Kempke, E.: Über die Abhängigkeit technischer Eigenschaften von der Mahlfineinheit des Porzellans. Ber. dtsch. keram. Ges. Bd. 15 (1934) S. 249-254.

¹⁸⁾ Einfluß der Teilchengrößen von Flintstein und Feldspat auf Steingut. Bur. Stand. J. Res. Bd. 11 (1933) S. 327-40.

Heißaufbereitung der Tone in der Ziegelproduktion Teil II

Von M. G. LUNDINA, Kandidatin der technischen Wissenschaften am Lehr- und Forschungsinstitut für Baukeramik der UdSSR

DK 666.3.022.62: 546.212-13

2. Versuche im Laboratorium

Die zur Verwendung gelangten Tone sind in Tafel 1 charakterisiert. Für die Laboratoriumsversuche wurden nur die Tone I, V und VI verwendet.

2.2 Einfluß der Dampfeinwirkung auf die Quellung der Tone

Die Verformung und Trocknung ist ein vollständiges und gleichmäßiges Quellen des Tones, d. h. eine gleichmäßige Feuchtigkeitsverteilung, wesentlich. Besonders bei hochfesten Tönen treten leicht größere Feuchtigkeitsunterschiede durch trockene Klumpchen und verschieden starkes Quellen auf, dem man durch längeres Mauken begegnete. *Smielew* [20] stellte fest, daß der Grad und die Geschwindigkeit des Quellens der Tone von Größe und Dispersion der Teilchen abhängen. Nach *A. W. Jaroschewski* [21] geht dem Quellen des Tones eine Zerstörung der Verklumpungen der ausgetrockneten Oberflächenschichten der Teilchen voraus. Die Quellfähigkeit dieser Schichten verursacht die Volumenvergrößerung bei Wasseraufnahme. Die Quellung geht mit einer Vergrößerung des Abstandes der Teilchen einher unter gleichzeitiger Vergrößerung der zwischengelagerten Wasserschicht. Dadurch lassen sich die Teilchen leichter gegeneinander verschieben. *Jaroschewski* unterstrich besonders den Einfluß von Zeit und Temperatur auf die Wasseraufnahme und die Dispersion der Teilchen.

Zur Untersuchung des Einflusses der Dampfeinwirkung auf die Geschwindigkeit des Quellens wurde nach einem Verfahren von *I. F. Smielew* [20] die Quellung in der Weise verursacht, daß Wasserdampf von unten durch ein Metallsieb in die zu prüfende Tonprobe eintrat. Im Vergleich zur Anfeuchtung mit Wasser verlief die Quellung der Tone unter Dampfeinwirkung viel schneller und erreichte den Höchstwert bei den verwendeten Tönen spätestens nach 3 h, während mit Wasser dazu bis zu 72 h erforderlich waren (Tafel 2).

Um die Gleichmäßigkeit des Quellens festzustellen, wurden die Feuchtigkeits- und Schwindungsunterschiede gemessen. Dazu wurden auf einer Laboratoriums-Strangpresse Ziegel in den Ausmaßen 60 × 30 × 15 cm geformt und in 15 Streifen zerschnitten. Die Messungen ergaben geringere Feuchtigkeits- und Schwindungsdifferenzen bei der Dampfaufbereitung als bei der Aufbereitung mit Wasser (Tafel 3).

2.2 Einfluß der Dampfeinwirkung auf die plastischen Eigenschaften der Tone

Die von *I. F. Panomarjew* [22] dargestellte Abhängigkeit der Plastizität von der Temperatur (Bild 3) läßt erwarten, daß die Plastizität der Tone durch die Dampfaufbereitung bis zu einem gewissen Erhitzungsgrad erhöht wird.

Die Plastizität wurde verglichen nach dem Verfahren von *Semiatschenski*, bei der die Belastbarkeit einer Tonkugel bis zum ersten Auftreten von Rissen ermittelt wird. Das Verfahren von *Atterberg* konnte nicht verwendet werden, weil bei der Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze der Einfluß des Vorwärmens durch Dampf verwischt würde. Nach *Semiatschenski* wird der Plastizitätsgrad P ermittelt aus

$$P = \frac{D - d}{D} \cdot R,$$

wobei D den Anfangsdurchmesser der Kugel in mm und d den Durchmesser beim Auftreten der ersten Risse bezeichnet. R ist die Belastung in kg, bei der die Risse auftreten. Wichtig ist bei diesem Verfahren, daß die Feuchtigkeit bei allen Proben gleichgehalten wird.

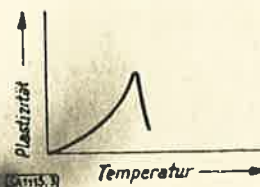


Bild 3 Temperaturabhängigkeit der Plastizität

Die nach dem dargestellten Verfahren ermittelten Vergleichswerte sind in Tafel 4 zusammengestellt; sie zeigen, daß der Dampfaufschluß zu besseren Ergebnissen in bezug auf die Plastizität führt als eine Abliegezeit von 10 Tagen.

Die Plastizität der Tone äußert sich auch in dem Widerstand, den sie beim Durchschneiden mit einem dünnen Draht leisten. Zu diesem Zweck wurde eine Vorrichtung konstruiert, mit deren Hilfe das erforderliche Drahtgewicht zum Durchschneiden eines Ballens von 60 × 30 × 15 cm festgestellt werden konnte. Das Drahtgewicht, bezogen auf 1 cm² Schnittfläche, kann bei gleichen Feuchtigkeitsgehalten als Vergleichswert für die Bindefähigkeit gelten. Der Widerstand gegen das Zerschneiden ist bei Dampfaufbereitung größer als bei dreitägigem Abliegen (Tafel 5).

Tafel 1 Daten der Versuchstone

Nr.	Bezeichnung der Tone	Chemische Analyse							Glühverlust %	Reaktion mit HCl	
		SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	Sonstiges %			
I	Kotlarsker	57,48	20,31	6,99	1,10	3,11	0,50	7,29	3,22	keine	
II	Tschobarsker	67,52	15,50	6,70	0,60	1,65	0,24	5,45	2,33	keine	
III	Pewzonsker	65,45	10,77	6,38	4,70	1,73	0,57	8,30	2,99	stark	
IV	Wirpajewsker	62,18	10,09	6,16	6,85	2,07	0,43	9,99	2,28	stark	
V	Kutschonsker	63,52	11,50	7,40	3,80	2,46	0,58	7,23	2,51	gering	
VI	Taldykurgansker	55,08	11,53	6,57	10,20	2,71	0,85	10,28	2,08	stark	
		Korngrößenverteilung (ermittelt n. d. Methode v. <i>Sabanin</i>)				Wasserzuzusatz f. d. Verformung %	lineare Trockenschwindung %	Plastizitätszahl n. <i>Semiatschenski</i>	Bemerkungen (Produktion)		
		> 0,25 mm %	0,25 bis 0,05 mm %	0,05 bis 0,01 mm %	< 0,01 mm %				Trocknungsdauer h	Trockenempfindlichkeit	
I		4,70	6,38	10,0	78,92	37,5	12,0	3,5	144	} ge- magert	sehr empfindl. empfindlich
II		3,20	4,50	35,10	57,20	30,0	9,0	3,0	144		
III		1,45	17,45	29,97	51,13	27,0	7,5	2,2	120	} unge- magert	empfindlich mittel
IV		0,80	9,39	37,03	52,78	25,0	6,5	1,8	120		
V		0,22	11,90	26,10	61,78	26,5	9,0	2,4	96 bis 120	} unge- magert	mittel wenigempfindl.
VI		3,02	11,10	39,72	47,16	24,0	5,0	2,5	24 bis 36		

Mit einer nach *W. W. Ochotin* [25] konstruierten Vorrichtung wurden Zugversuche durchgeführt. Bei dem ursprünglich von *Ochotin* vorgesehenen Verfahren wurde die Kraft gemessen, die zum Abheben einer an dem Tonballen festgesaugten Blechplatte erforderlich ist. Diese Methode wurde in der Weise abgeändert, daß die Tonprobe in einen zweiteiligen Hohlzylinder eingestrichen und entlang der Öffnungen der beiden Zylinderhälften mit einem Draht abgeschnitten wurde. Die beiden Teile wurden nunmehr wieder aufeinander gelegt und 5 min lang mit einem Gewicht von 2 kg beschwert. Die Kraft, die erforderlich ist, um die beiden Tonoberflächen auseinander zu reißen, entspricht der Klebkraft des Tones in g/cm². Der Zylinder, in dem die Untersuchungen durchgeführt wurden, wurde vorher bis zur Temperatur der Tone vorgewärmt. Daneben wurden auch Proben nach dem Abkühlen der heiß aufbereiteten Tone durchgeführt (Tafel 6). Die Klebkraft verminderte sich auch nach dem Abkühlen nicht und lag höher als nach dreitägigem Abliegen ohne Dampfbehandlung.

Das spezifische Gewicht wird, wie Tafel 7 zeigt, durch die Dampfentwicklung etwas erhöht.

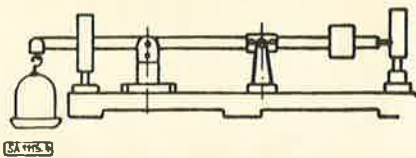


Bild 4 Vorrichtung von *Olschewski* zur Ermittlung der Stauchhöhe

Mit einer von *Olschewski* konstruierten Vorrichtung (Bild 4) wurden Druckversuche durchgeführt. Bei diesem Verfahren wird die Stauchhöhe eines Metallzylinders von konstantem Gewicht (1 kg) in bestimmten Zeitabständen (5 min) auf einer Skala abgelesen. Da die Stauchhöhe von der Feuchtigkeit abhängt, wurden Versuche mit Proben verschiedener Feuchtigkeit und Temperatur vorgenommen. Die mit Dampf aufbereiteten Proben hatten während der Versuche eine Temperatur von 50 bis 60° C. Der in Bild 5 eingezeichnete Kurvenverlauf zeigt für die mit Dampf vorbehandelten Proben gegenüber den mit Wasser aufbereiteten bei gleichem Feuchtigkeitsgehalt eine geringere Stauchhöhe.

Zur Prüfung der Rohdruckfestigkeit wurden Würfel von 7 cm Kantenlänge verwendet, deren Feuchtigkeitsgehalt den in Bild 5 eingetragenen Werten entsprach. Die Ergebnisse sind in Tafel 8 wiedergegeben. Sie zeigen für die mit Dampf aufbereiteten Proben eine Erhöhung um 10 bis 20% gegenüber den mit Wasser aufbereiteten. Nach dem Abliegen von 3 Tagen betrug dagegen die Erhöhung nicht mehr als 5%.

Zur Prüfung der Verformbarkeit stehen keine Meßmethoden zur Verfügung. Es wurde daher die Qualität des

Tafel 2 Vergleichswerte für das Quellen der Tone bei Wasser- und Dampfaußschluß

Zeit h	Quellung in cm ³ /g Ton					
	Ton I		Ton V		Ton VI	
	Wasser	Dampf	Wasser	Dampf	Wasser	Dampf
1	0,015	0,105	0,018	0,088	0,025	0,033
2	0,026	0,114	0,032	0,092	0,028	0,033
3	0,040	0,116	0,050	0,093	0,030	0,033
6	0,052	0,116	0,060	0,093	0,032	0,033
8	0,060	0,116	0,070	0,093	0,035	0,033
12	0,002	0,116	0,085	0,093	0,035	0,033
24	0,010	0,116	0,090	0,093	0,035	0,033
36	0,112	0,116	0,090	0,093	0,035	0,033
48	0,113	0,116	0,090	0,093	0,035	0,033
72	0,113	0,116	0,090	0,093	0,035	0,033

aus der Laboratoriums-Strangpresse austretenden, warmverformten Tonstranges durch Augenschein geprüft. Die Qualitätsverbesserung durch die Heißaufbereitung war offensichtlich.

Die Trockenschwindigkeit zeigte keine Veränderungen durch die Vorbehandlung mit Dampf. Diese Feststellungen stehen in Einklang mit den Feuchtigkeitsgehalten, die bei Verwendung von Dampf in den normalen Grenzen liegen.

Zur Ermittlung der Oberflächenentwicklung in Abhängigkeit von der Dispersion der Tonteilchen wurde die Wasserdurchlässigkeit und die Ansauggeschwindigkeit verschieden aufbereiteter Tonballen gemessen. Die Korngrößenverteilung ist der Tafel 1 zu entnehmen.

Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit geschah nach dem Verfahren von *N. N. Antipow-Karatajew* [24]. Bei diesem werden 5 g getrockneten und durch ein Sieb mit 900 Maschen/cm² geseibten Tonpulvers in einen mit Filterpapier ausgelegten Trichter gefüllt und mit 50 cm³ Wasser begossen. Das Wasser wird mit einem konstanten Unterdruck von 50 mm WS durch das Filter gesaugt. Die abgesaugte Menge wird alle 100 s bestimmt. Um den Einfluß des Quellens der Teilchen auszuschalten, wird die Probe so oft wiederholt, bis das Ergebnis konstant bleibt. Zur Ermittlung des Einflusses der Dampfeinwirkung auf die Wasserdurchlässigkeit wurden die betreffenden Tonproben vor dem Einfüllen in den Trichter in einem Kolben durch Dampf aufgeschlossen. Weiter wurde in der geschilderten Weise verfahren. Die Ergebnisse (Bild 6) zeigen eine Verminderung der Filtrationsgeschwindigkeit nach dem Dampfaußschluß.

P. A. Semiatschenski [25] wies darauf hin, daß sowohl die Menge als auch die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme von den Durchmessern der Kapillaren des Tonballens abhängen. Bei grobkörnigen Tönen ist die Ansauggeschwindigkeit groß, jedoch die Menge klein.

Die Ansauggeschwindigkeit wurde bestimmt nach einem von der kommunalen Wirtschaftsakademie ausgearbeiteten Verfahren, bei dem ein Tonballen von 50×50×50 mm über eine Asbestschnur das Wasser aus einem Meßzylinder ansaugt. In dem Meßzylinder wird ein konstanter Druck aufrechterhalten; die Eintrittsstelle der Asbestschnur ist mit Paraffin abgedichtet. Die mit Dampf aufbereiteten Proben hatten eine geringere Ansauggeschwindigkeit (Bild 7).

2.3 Einfluß der Dampfeinwirkung auf das Trocknungsverhalten der Tone

Die theoretischen Voraussetzungen, von denen die Verbesserung der Eigenschaften während der Trocknung abhängt, wurden bereits im ersten Teil dieser Abhandlung

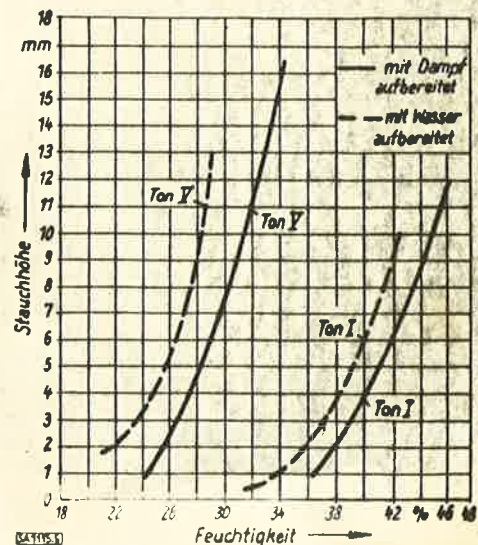


Bild 5 Einfluß des Dampfaußschlusses auf die Stauchhöhe

Tafel 3 Maximale Feuchtigkeits- und Schwindungsdifferenzen zwischen fünfzehn Schichten des Tonstranges

	max. Unterschiede der Feuchtigkeits- bei der Verformung %		max. Unterschiede der linearen Trockenschwindung %	
	Dampf	Wasser	Dampf	Wasser
	Ton I	1,9	3,3	0,6
Ton V	0,6	1,3	0,5	1,0
Ton VI	0,4	1,4	0,3	0,8

Tafel 4 Einfluß des Dampfaufschlusses auf den Plastizitätsgrad (Plastizitätszahlen nach Semiatshchenski)

Art des Aufschlusses	Ton I		Ton V		Ton VI	
	Plastizitätszahl	Feuchtigkeit %	Plastizitätszahl	Feuchtigkeit %	Plastizitätszahl	Feuchtigkeit %
mit Wasser						
ohne Abliegen	3,4	35,5	2,4	26,5	2,9	22,7
3 Tage Ablieg.	3,6	35,3	2,8	26,2	2,9	22,4
10 Tage Ablieg.	4,2	35,7	3,1	26,3	3,1	22,8
mit Dampf						
erhitzt auf 40°C	3,7	36,0	3,8	25,4	3,2	21,5
erhitzt auf 60°C	4,7	—	3,9	26,6	—	—
erhitzt auf 80°C	5,1	36,5	4,5	26,4	3,5	22,2

Tafel 5 Einfluß des Dampfaufschlusses auf die Bindefähigkeit der Tone (ermittelt nach dem Drehgewicht zum Durchschneiden der Tonballen)

Art des Aufschlusses	Temperatur der Tone während der Versuche	Ton I		Ton V		Ton VI	
		Grad der Bindefähigkeit	Feuchtigkeit %	Grad der Bindefähigkeit	Feuchtigkeit %	Grad der Bindefähigkeit	Feuchtigkeit %
mit Wasser							
ohne Abliegen ..	20	211	35,1	155	23,4	189	23,0
3 Tage Abliegen ..	20	260	34,8	189	23,0	220	22,8
mit Dampf							
erhitzt auf 40°C .	35	280	34,8	210	22,8	237	22,8
erhitzt auf 60°C .	46	300	35,0	355	23,5	243	22,6
erhitzt auf 80°C .	20	302	34,8	339	23,4	245	22,6

geschildert. Als Hauptursachen der Verbesserung der Trocknungseigenschaften durch die Heißaufbereitung mit Dampf sind demnach folgende zu nennen:

a) Verminderung der Feuchtigkeitsunterschiede während der Trocknung, d. h. Verringerung der Spannungen, die durch uneinheitliche Trockenschwindung hervorgerufen werden;

b) Erhöhung der kapillaren Diffusion als Folge der verringerten Oberflächenspannung und Viskosität des erwärmten Wassers;

c) Richtungsänderung der Wärmediffusion, so daß die Wärmeströmung mit der Strömung der Flüssigkeit in gleicher Richtung (nach außen) verläuft;

d) Beschleunigung der Wasserabgabe aus dem Innern als Folge der erhöhten kapillaren Diffusion;

e) Trocknung bei höherer Anfangstemperatur infolge des Vorwärmens der Rohlinge, wodurch die Trocknungsdauer verkürzt wird;

f) gleichmäßige Feuchtigkeitsverteilung in der ganzen Tiefe des Formlings zur Verminderung der inneren Spannungen.

Um den Einfluß der Dampfaufbereitung auf die Feuchtigkeitsunterschiede zwischen verschiedenen Schichten eines Tonballens während des Trocknungsverlaufes zu ermitteln, wurden aus heiß aufbereiteten (bis zu 60°C erhitzten) und gewöhnlich aufbereiteten Tönen Probekörper mit den Aus-

Tafel 6 Einfluß der Dampfeinwirkung auf die Klebkraft der Tone (Zugversuche)

Erhitzungs-temperatur der Tone °C	Temp. der Tone während der Ver- such-temperatur °C	Zustand der Masse	Ton I		Ton V		Ton VI	
			Klebkraft g/cm²	Feuchtigkeits %	Klebkraft g/cm²	Feuchtigkeits %	Klebkraft g/cm²	Feuchtigkeits %
ohne Dampf	20—21	ohne Abliegen	152,2	39,2	125,8	32,2	38,9	22,6
	20—21	3 Tage Abliegen	177,3	39,2	132,9	28,0	42,3	22,4
	40	30—31 ohne Abkühlung	185,8	39,8	—	—	—	—
60	47—48	ohne Abkühlung	190,0	40,0	139,4	28,0	49,4	22,2
60	22—24	abgekühlt nach der Belastung	188,0	40,0	144,7	28,0	48,4	22,3
60	23—24	abgekühlt vor der Belastung	190,2	39,6	143,0	28,2	48,1	22,0
80	58—65	ohne Abkühlung	192,0	39,8	151,5	28,5	50,0	22,5
80	24—26	abgekühlt nach der Belastung	194,0	39,5	151,0	28,5	50,2	22,5
80	23—25	abgekühlt vor der Belastung	191,8	39,3	152,0	28,4	50,8	22,1

Tafel 7 Einfluß der Dampfeinwirkung auf das spezifische Gewicht

Art des Aufschlusses	spez. Gewicht in g/cm³								
	frisch geformt	lufttrocken	auf Gewichtskonstanz (110°C) getrocknet	frisch geformt	lufttrocken	auf Gewichtskonstanz (110°C) getrocknet	frisch geformt	lufttrocken	auf Gewichtskonstanz (110°C) getrocknet
ohne Dampf	1,91	2,25	2,09	2,09	2,25	2,17	2,07	1,95	1,92
mit Dampf									
erhitzt auf 60°C ...	1,93	2,27	2,15	2,11	2,28	2,19	2,13	1,99	1,98
erhitzt auf 80°C ..	1,95	2,28	2,19	2,18	2,30	2,22	2,14	1,99	1,96

Tafel 8 Einfluß des Dampfaufschlusses auf die Rohdruckfestigkeit

Art des Aufschlusses	Druckfestigkeit kg/cm²		
	Ton I	Ton V	Ton VI
mit Wasser			
ohne Abliegen	88,6	70,9	30,7
3 Tage Abliegen	92,8	72,9	30,9
mit Dampf			
erhitzt auf 60°C	95,9	74,0	32,8
erhitzt auf 80°C	97,2	78,2	36,7

maßen 70×70×70 mm geformt und in einem Trockenschrank getrocknet. Der Temperaturverlauf im Trockenschrank ist aus Bild 8 ersichtlich. Nach dem Verdampfen von 10, 25 und 50% der Gesamtfeuchtigkeit wurden die Proben in fünf Plättchen zerschnitten und die verbliebene Feuchtigkeit bestimmt. Die Mittelwerte aus jeweils drei Einzelmessungen sind in Bild 9 eingetragen. Der Verlauf der Kurven zeigt, daß bei den mit Dampf aufbereiteten Proben die Trocknung aus dem Innern schneller vor sich geht, während die Oberflächentrocknung langsamer verläuft als bei den gewöhnlich aufbereiteten Tönen. Die Feuchtigkeitsunterschiede während der Trocknung werden demnach durch die Heißaufbereitung verringert. Besonders deutlich war dies bei dem Ton I, der sehr trockenempfindlich ist, während bei dem ohnehin unempfindlichen Ton VI kein wesentlicher Einfluß durch die Dampfbehandlung verzeichnet werden konnte.

Die Wärmediffusion wurde nach dem Verfahren Lykows [10] in der Weise festgestellt, daß ein Probekörper aus Ton V, auf 80°C mit Dampf erhitzt, 1 h lang in einem Exsikkator abgekühlt wurde, ohne daß Feuchtigkeit verdunsten konnte. Danach wurde der Körper von der Mitte aus in drei gleiche Schichten zerschnitten und Feuchtigkeitsgehalt sowie Temperatur jeder Schicht bestimmt. Das Gesamtgewicht des Probekörpers während des Versuches blieb unverändert. Die Ergebnisse (Tafel 9) zeigten, daß

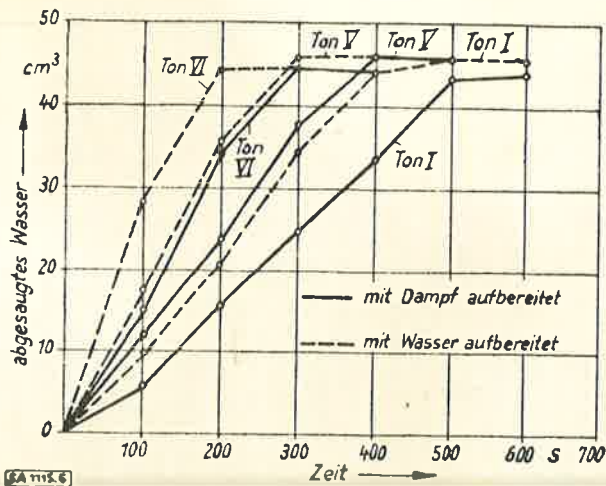


Bild 6 Einfluß des Dampfaufschlusses auf die Wasserdurchlässigkeit der Tone

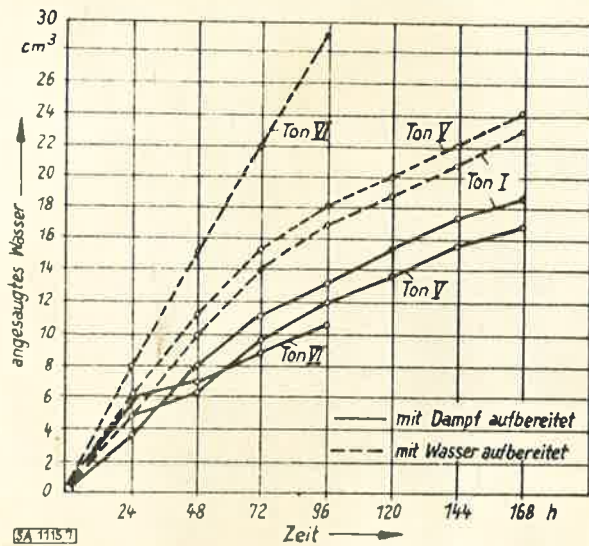


Bild 7 Einfluß der Heißaufbereitung durch Dampf auf die Ansauggeschwindigkeit der Tone

Tafel 9 Ermittlung der Wärme- und Feuchtigkeitsbewegung im Tonhullen

Nr. der Schichten von der Oberfläche aus	Vor dem Versuch		nach 1 h Kühlen im Exsikkator	
	Temperatur °C	Feuchtigkeit %	Temperatur °C	Feuchtigkeit %
1	55	25,14	30	25,76
2	60	25,17	48	25,41
3	60	25,18	50	24,30

nach 1 h der Feuchtigkeitsgehalt im Kern um 1,46% geringer war als an der Oberfläche, während die Temperatur in Richtung zur Oberfläche abnahm.

Die Temperaturverteilung im Formling während der Trocknung wurde sowohl bei steigender Temperatur, entsprechend Bild 8, als auch bei konstanter Temperatur von 60° C in der Trockenkammer gemessen, und zwar bei den Probekörpern von 70x70x70 mm im Mittelpunkt des Prüfkörpers (35 mm Tiefe) und an der Oberfläche (10 mm Tiefe). Die Temperatur der durch Dampf vorgewärmten Proben betrug nach dem Abformen 40 bzw. 60° C. Die Ergebnisse sind in den Bildern 10a und 10b dargestellt. Bei Übereinstimmung der Trocknungstemperatur mit der Temperatur des Rohlings treten fast keine Temperaturunterschiede zwischen den Schichten auf.

Berücksichtigt man den Einfluß der Wärmediffusion bei der höheren Temperatur der inneren Schichten, so müßte der Trocknungsverlauf so gewählt werden, daß die Tem-

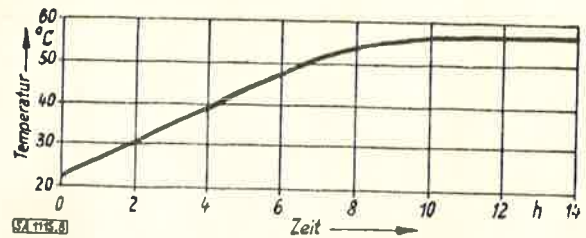


Bild 8 Verlauf der Trocknungstemperatur

Tafel 10 Beschreibung der getrockneten Proben

Trocknungs-temperatur	Temperatur der Rohlinge °C	Prozentualer Anteil an Fehlerklassen				Druckfestigkeit kg/cm²
		a) fehlerfrei %	b) kleine Flächenrisse %	c) Kantenrisse %	d) durchgehende Trockenrisse %	
Ton I						
nach Bild 8 ansteigend	20	20	—	—	80	52,0
	42	50	—	60	—	62,0
40° C gleichbleibend	20	—	—	100	—	60,0
	42	100	—	—	—	70,0
60° C gleichbleibend	20	—	—	—	100	—
	42	—	80	—	20	64,8
80° C gleichbleibend	20	—	—	—	100	—
	40	—	—	100	—	33,4
	60	—	—	100	—	46,4
Ton V						
nach Bild 8 ansteigend	20	0	40	60	—	64,0
	45	50	50	—	—	65,3
40° C gleichbleibend	20	80	20	—	—	65,8
	43	100	30	20	—	53,7
60° C gleichbleibend	20	—	—	—	100	62,3
	58	100	—	—	—	63,8
80° C gleichbleibend	20	—	—	—	100	52,0
	42	20	20	20	40	56,0
	55	40	20	20	20	62,1
	20	—	—	—	100	—
	40	—	40	20	40	59,8
	50	—	60	40	—	61,5
Ton VI						
80° C gleichbleibend	20	100	—	—	—	28,3
	43	100	—	—	—	29,3
	58	100	—	—	—	29,0

peratur der Trockenkammer in der Anfangsperiode des Trocknens etwas niedriger liegt als die Temperatur des vorgewärmten Rohlings.

Weiterhin wurden aus den mittels Dampf bis auf 60 bzw. 80° C vorgewärmten Tonen auf der Laboratoriums-Strangpresse Probekörper mit den Ausmaßen 120 x 60 x 30 mm geformt. Während der Verformung sank die Temperatur des Stranges auf 40 bis 60° C. Die Proben wurden in der Trockenkammer bei einem Temperaturverlauf entsprechend Bild 8 sowie bei gleichbleibenden Temperaturen von 40, 60 bzw. 80° C getrocknet. Der beim Trocknen unempfindliche Ton VI wurde nur bei 80° C getrocknet. Die Geschwindigkeit der Wasserabgabe stieg in allen Fällen mit der Temperatur der Vorwärmung der Rohlinge an.

Die Qualität der unter diesen verschiedenen Trocknungsbedingungen getrockneten Proben wurde zunächst durch

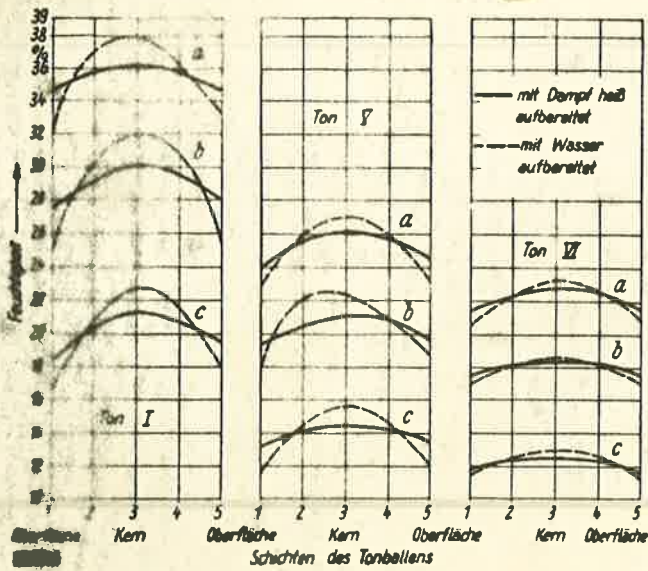


Bild 9 Feuchtigkeitsunterschiede beim Trocknen; a - nach Abgabe von 10% Gesamtfeuchtigkeit; b - nach Abgabe von 25% Gesamtfeuchtigkeit; c - nach Abgabe von 50% Gesamtfeuchtigkeit

Tafel 11 Einfluß der Heißaufbereitung durch Dampf auf die Eigenschaften der gebrannten Proben

	Ton I		Ton V		Ton VI	
	ohne Dampf		ohne Dampf		ohne Dampf	
	60° C	80° C	60° C	80° C	60° C	80° C
Brennwindung in %						
bei 900° C	1,8	1,6	1,6	0,0	0,14	0,14
bei 1000° C	aufgebläht	0,0	0,43	0,48	0,49	0,0
bei 1100° C	aufgebläht	—	0,23	6,06	5,67	3,11
spez. Gewicht in g/cm³						
bei 900° C	1,94	1,98	1,99	1,85	1,87	1,89
bei 1000° C	aufgebläht	—	1,86	1,89	1,92	1,58
bei 1100° C	aufgebläht	—	2,12	2,15	2,19	1,92
absorbierbare Porosität in %						
bei 900° C	8,9	8,8	8,4	12,7	—	12,7
bei 1000° C	aufgebläht	—	12,1	12,1	11,9	21,7
bei 1100° C	aufgebläht	—	2,3	1,5	1,6	11,3
Trockenfestigkeit in kg/cm²						
bei 900° C	407	481	534	460	493	510
bei 1000° C	aufgebläht	—	489	—	519	81
bei 1100° C	aufgebläht	—	588	645	667	—

Augenschein geprüft, wobei vier Klassen unterschieden wurden:

- a) fehlerfrei,
- b) kleine Flächenrisse,
- c) Kantenrisse,
- d) durchgehende Trockenrisse.

Außerdem wurde die Rohdruckfestigkeit gleichzeitig getrockneter Würfel von 70×70×70 mm bestimmt. Die Untersuchungen zeigten, daß die Heißaufbereitung durch Dampf das Trocknungsverhalten verbessert (Tafel 10). Am deutlichsten kommt dies bei den trockenempfindlichen Tonen zum Ausdruck. Bei diesen wurden die besten Ergebnisse bei einer Trocknungstemperatur von 40° C erzielt, wenn die Temperatur der Formlinge nicht unter dieser Temperatur lag. Bei Erhöhung der Trocknungstemperatur über die Erwärmungstemperatur der inneren Schichten der Formlinge verschlechterte sich die Qualität bei der Trocknung.

2.4 Einfluß der Heißaufbereitung mit Dampf auf die Eigenschaften der gebrannten Proben

Die Probekörper wurden bei 900, 1000 und 1100° C gebrannt und danach verschiedenen Prüfungen unterzogen. Die Ergebnisse (Tafel 11) zeigten eine Erhöhung des spez. Gewichts und der mechanischen Festigkeit bei den Proben mit vorangegangener Heißaufbereitung.

2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Laborversuchen

Die Dampfeinwirkung verbessert die plastischen Eigenschaften der Tone, ihr Bindevermögen und ihre Verformbarkeit; sie erhöht die mechanische Festigkeit im rohen und gebrannten Zustand. Diese Eigenschaften verbessern sich, je höher die Tone bei der Heißaufbereitung durch Dampf erhitzt werden. Erklärbar werden diese experimentellen Feststellungen durch die Vergrößerung der Dispersion der Teilchen, durch das bessere Quellen und gleichmäßige Verteilen der Feuchtigkeit im Formling unter der Einwirkung des Dampfes. Die Heißaufbereitung durch Dampf zeigt bezüglich der plastischen Eigenschaften bessere Ergebnisse als das drei- und sogar zehntägige Abliegen.

Das Verhalten während der Trocknung wird durch die Heißaufbereitung ebenfalls verbessert, indem die Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede innerhalb des Tonballens verringert werden. Die Beschleunigung der kapillaren Diffusion ermöglicht eine wesentliche Verkürzung der Trocknungsdauer und -qualität, was besonders bei trockenempfindlichen Tonen zum Ausdruck kommt. SA 1115

(Schluß folgt in Heft 6)

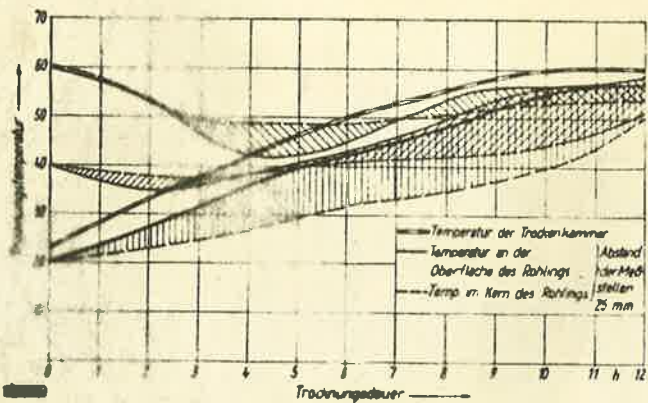


Bild 10a Bei ansteigender Trocknungstemperatur

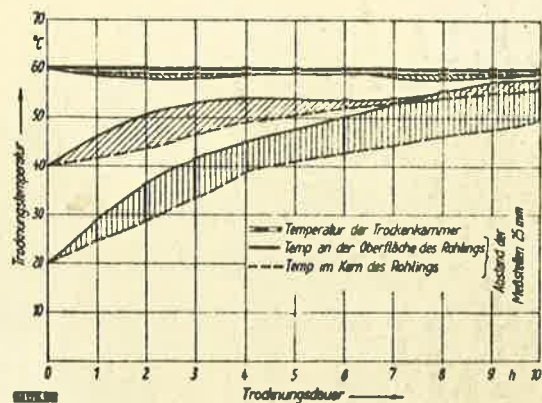


Bild 10b Bei gleichbleibender Trocknungstemperatur von 60° C

Bild 10 a und b Vergleich der Temperaturdifferenzen im Rohling bei der Trocknung nach Kaltaufbereitung (20° C) und Heißaufbereitung bei 40 bzw. 60° C