

Trocknungsuntersuchungen des Niederländischen Forschungs- instituts T. N. O.

J. H. VAN DER VELDEN,
KERAMISCH INSTITUUT
T. N. O., RIJSWIJK

Gerne hat die Niederländische Forschungsanstalt für die keramische Industrie die Einladung angenommen, über eines ihrer Arbeitsgebiete zu berichten.

Diese Anstalt gehört zu der nationalen Organisation für auf industrielle Anwendung gerichtete naturwissenschaftliche Forschung, bekannt unter der Abkürzung T.N.O., und hat zum Ziel, auf nationalem Niveau einen Beitrag zur Entwicklung der Technologie in der keramischen Industrie zu liefern.

Das gewählte Thema behandelt die Trocknungsuntersuchungen im Laboratorium dieser Forschungsanstalt. Schon seit Jahren beschäftigt sich dieses Institut mit Trocknungsuntersuchungen an niederländischen Tonen um damit, insbesondere für die grobkeramische Industrie, die hauptsächlich mit niederländischen Tonen arbeitet, günstige Bedingungen für eine erfolgreiche Anwendung von künstlicher Trocknung zu schaffen.

Aus der Experimentalforschung an Probestücken mit monodimensionaler Wasserbewegung hat sich unter Einfluß der Art der Trockenprobleme in der Industrie eine Untersuchungsmethode entwickelt, wobei Ziegelformlinge echter Größe in praktisch anwendbarer Anordnung und Unterstützung geprüft werden. Dieses Bestreben, im Laboratorium möglichst viele auch in der Praxis gültige zahlenmäßige Angaben über die Trocknungseigenschaften von Ziegelformlingen zu erwerben, ist charakteristisch für die niederländische laboratoriumsmäßige Annäherung an Trocknungsprobleme.

Seit 1950 steht für diese Trocknungsuntersuchungen ein Versuchstrockner zur Verfügung. Nach der Verlegung des Instituts von Gouda nach Rijswijk, in der Nähe von Delft, im Jahr 1960, wurde ein neuer und verbesserter Versuchstrockner in Betrieb genommen. Bild 1 zeigt einen Teil des Aggregates. Der Versuchstrockner ist ca. 8,5 Meter lang, ca. 3,5 Meter hoch und ca. 3,5 Meter breit.

Bild 2 zeigt schematisch den Aufbau des Versuchstrockners. Der Ventilator V erzeugt einen Luftstrom im

Hauptkreislauf, der hintereinander folgende Hauptteile durchströmt,

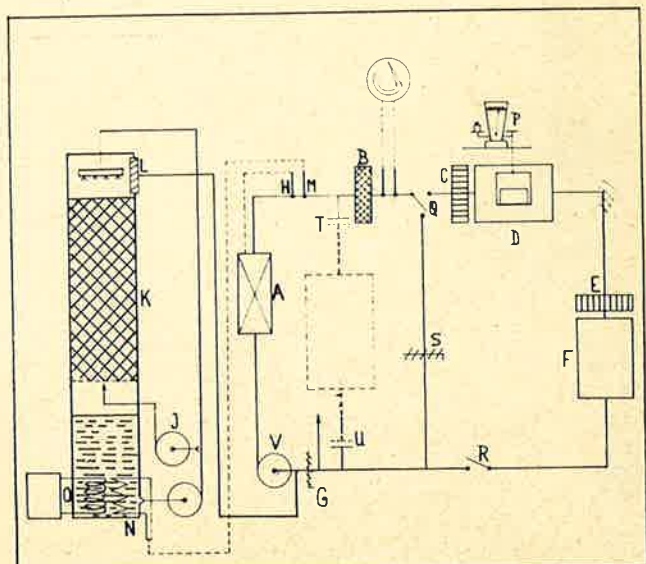
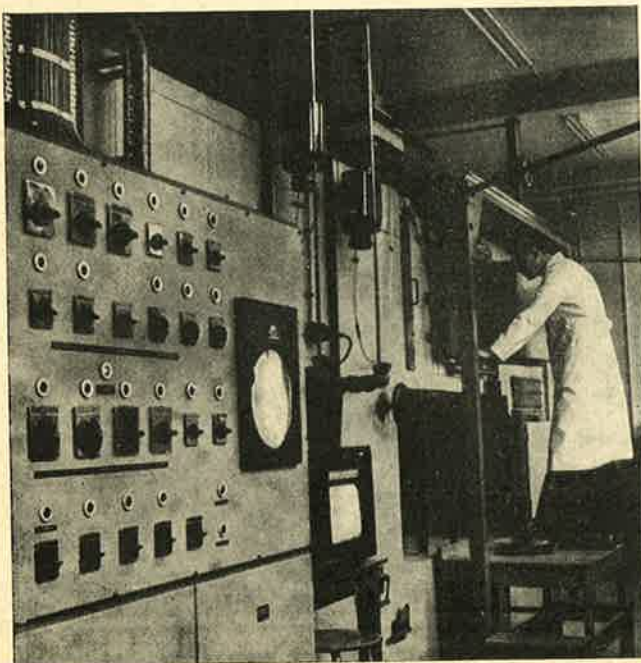
- einen elektrischen Luftheritzer A;
- einen Wärmepuffer B, zum Ausgleichen der Temperaturschwankungen;
- einen Luftgeschwindigkeitsverteiler C;
- einen Meßraum D, der 0,6 Meter breit, 0,6 Meter hoch und 0,9 Meter lang ist und der sich für Trocknungsuntersuchungen mit horizontaler Luftströmungsrichtung eignet;
- einen Luftgeschwindigkeitsverteiler E;
- einen weiteren Meßraum F, geeignet für Trocknungsuntersuchungen mit vertikaler Luftströmungsrichtung mit einem Querschnitt von 0,6 x 0,6 Meter und einer Höhe von 0,75 Meter;
- eine Drosselklappe G, in deren Nähe eine Eintritsöffnung für vorkonditionierte frische Luft und eine Abluftöffnung angebracht sind.

Die Einstellung der Luftgeschwindigkeit im Meßraum geschieht mittels Drehzahländerung des Ventilators V und mittels der Drosselklappe G. Die Temperatureinstellung erfolgt mit Hilfe des Luftheritzers A, der von einem Quecksilberkontaktthermometer H gesteuert wird. Die Regulierung der Luftfeuchtigkeit im Hauptkreislauf wird mittels einer Feuchtigkeitsregulierung der Luftmenge erreicht, die bei G in den Kreislauf eintritt. Diese Luftmenge wird vom Ventilator J in der gewünschten Menge aus dem Raum gesogen und durch den Turm K geführt. In diesem Turm wird die Luft mit Wasser gesättigt und über einen Tropfenausscheider L, mit einem absoluten Wassergehalt, der nur von der Wassertemperatur im Turm abhängig ist, bei G in den Hauptkreislauf geführt.

Die Wassertemperatur und somit auch die Luftfeuchtigkeit im Hauptkreislauf werden mit Hilfe eines Quecksilberkontaktthermometers geregelt, das sich als Feuchtthermometer bei M im Hauptkreislauf befindet. Dieses Feuchtthermometer schaltet entweder den elektrischen

Bild 1 (links)

Bild 2. Schema des Versuchstrockners



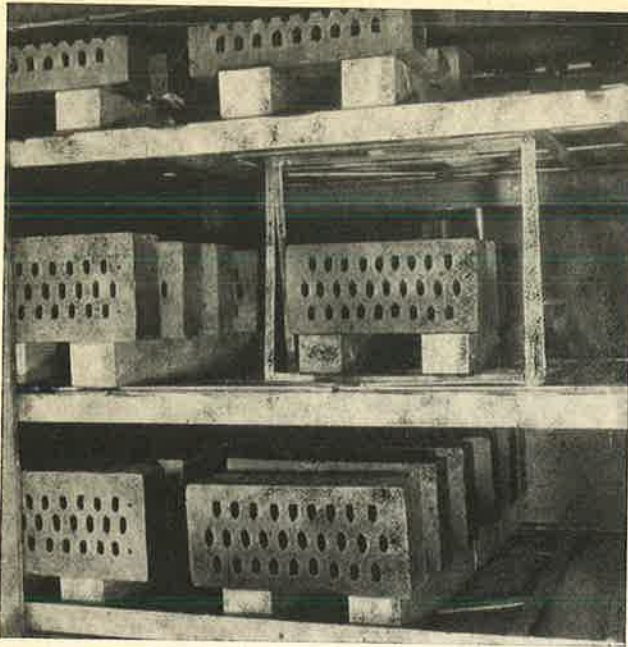


Bild 3

Wassererhitzer N oder die Wasserkühlmaschine O ein, je nachdem ob die Wassertemperatur zu niedrig oder zu hoch ist.

Der Gewichtsverlust der Probeformlinge während des Trocknens kann mittels einer Waage P mit Registriervorrichtung verfolgt werden. Die Probeformlinge können während der Trocknung durch ein Glasfenster beobachtet werden. Die Temperatur- und Feuchtigkeitsmessung geschieht mit registrierenden Instrumenten.

Trocknungssysteme mit wechselnder Luftströmungsrichtung können mittels periodischer Drehung der Probeformlinge nachgeahmt werden. Eine Nachahmung von

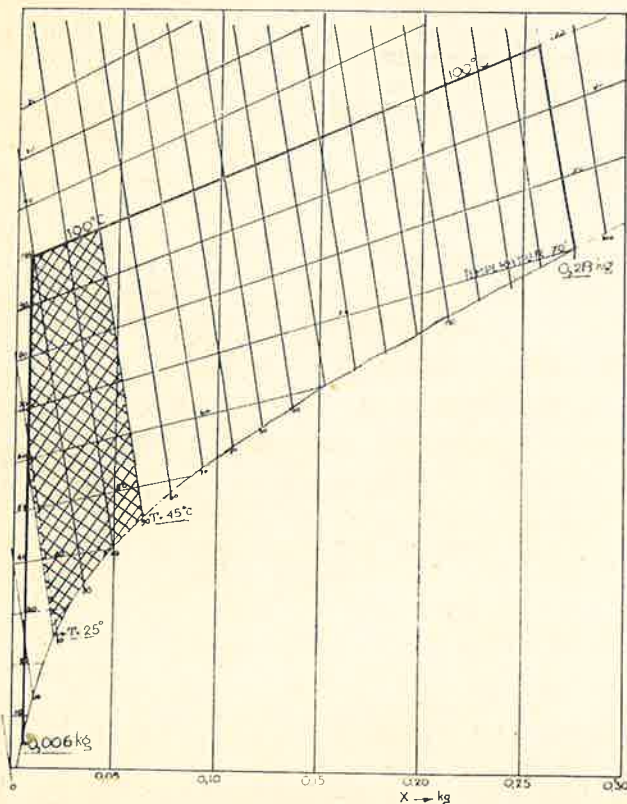


Bild 4. Mollier-Diagramm für feuchte Luft; Trocknungsbedingungen, die im Versuchstrockner verwirklicht werden können

Trocknungssystemen mit periodischem Anblasen der Formlinge kann erfolgen, wenn der Luftstrom vor dem Eintritt im Meßraum mittels Klappe Q periodisch abgelenkt wird.

Die Drosselklappe S dient dabei zum Konstanthalten der beförderten Luftmenge. Die Klappen Q und R werden auch benutzt, wenn der Meßraum während des Versuchs geöffnet werden muß.

Der Versuchstrockner eignet sich für Trocknungsuntersuchungen an den meisten grobkeramischen Erzeugnissen. Für besonders große Probestücke, wie zum Beispiel Kanalrohre, reicht der Meßraum nicht aus. Für solche großen Probestücke ist bei T und U der Anschluß eines geeigneten Meßraumes vorgesehen.

Ein Beispiel einer Formlingsanordnung im Meßraum gibt Bild 3. Man sieht, daß eine in der Industrie anwendbare Anordnung angestrebt worden ist. In der Mitte des Meßraumes sieht man die Hängevorrichtung für das Wiegen einiger Probeformlinge. Die Trocknungsbedingungen, die in diesem Versuchstrockner verwirklicht werden können, finden wir im Mollier-Diagramm für feuchte Luft (Bild 4) innerhalb des von dicken Linien begrenzten Gebietes.

Minimum absoluter Wassergehalt der Luft: 6 Gramm Wasser pro Kilogramm trockene Luft.

Maximum absoluter Wassergehalt der Luft: 280 Gramm Wasser pro Kilogramm trockene Luft.

Maximum Temperatur der Luft: 100° C.

Die meisten künstlichen Trocknungsprozesse in der Grobkeramik spielen sich innerhalb des schraffierten Teiles des Diagrammes ab. Die Lufttemperatur und die Temperatur des feuchten Thermometers können im Meßraum mit einer Genauigkeit von ungefähr 0,2° C auf dem gewünschten Wert gehalten werden. Die Luftgeschwindigkeit im leeren Meßraum kann geändert werden zwischen 0,5 und 2 Meter pro Sekunde.

Der Versuchstrockner ist zum Beispiel geeignet für das Studium des höchstzulässigen Trocknungsgeschwindigkeitsverlaufes während des Trocknungsprozesses.

In diesem Vortrag möchte ich Ihnen eine gedrängte Übersicht über die Ergebnisse einer Anzahl rezenter Trocknungsuntersuchungen dieser Art geben, die von der Trocknungstechnischen Abteilung unserer Forschungsanstalt ausgeführt worden sind. Bevor ich jedoch hierauf eingehe, möchte ich kurz die in der niederländischen grobkeramischen Industrie verwendeten Tone charakterisieren. Die in der niederländischen grobkeramischen Industrie verwendeten Tone sind hauptsächlich junge Fluß- und Seetone. Im Osten und Süden der Niederlande werden außerdem noch glaziale Tonarten und einige tertiäre Tonarten verarbeitet.

Die Tone enthalten in der Fraktion kleiner als zwei Mikron (der sogenannten Lutumfraktion), hauptsächlich das Tonmineral Illit und kleine Mengen Quarz, Montmorillonit und Kaolinit. Es gibt Anweisungen, daß Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften niederländischer Tone mit einem gleichen Lutumgehalt, vor allem dem Unterschied in dem zwar kleinen, aber in physikalischer Hinsicht aktiven Montmorillonitgehalt zuzuschreiben sind.

Glücklicherweise sind die am meisten verwendeten Fluß- und Seetone in mineralogischer Hinsicht praktisch ähnlich. Außerdem gibt es bei diesen Tönen im allgemeinen auch ein ziemlich konstantes Verhältnis zwischen den Fraktionen < 2 µ, < 10 µ, < 20 µ. Hierdurch besteht im allgemeinen ein guter Zusammenhang zwischen dem Kornaufbau und den physikalischen Eigenschaften dieser Tone.

Bild 5 zeigt diesen Zusammenhang für die in mineralogischer Hinsicht normalen niederländischen Tone. Rechts findet man den Zusammenhang zwischen den Fraktionen < 2 µ, 20 µ und < 10 µ, links den Zusammenhang zwischen Kornaufbau und einigen physikalischen Eigenschaften der Tone. Die Fraktion < 2 µ der

niederländischen grobkeramischen Tone schwankt zwischen 5 und 50%. In der Praxis sind beim Strangpreßverfahren Tone über $21\% < \mu$ und beim Streichverfahren Tone unter $28\% < 2 \mu$ in Anwendung.

Der Kornaufbau der normalen Dachziegeltone und der Straßenklinkertone ist mit DA, beziehungsweise ST bezeichnet. Der Anmachewassergehalt schwankt beim Streichverfahren zwischen 23% und 45% und beim Strangpreßverfahren zwischen 22% und 40%. Die lineare Trockenschwindigkeit wechselt zwischen 3% und 13%. Der hygroskopische Wassergehalt niederländischer Tone hat bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90% einen Höchstwert von ca. 10%. Die dazu gehörende lineare Quellung hat eine Größenordnung von 0,6%. Die Porosität getrockneter Tone wechselt zwischen 17 und 12 cm³ pro 100 Gramm der trockenen Masse.

Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung werden zur Charakterisierung der Tone bei Trocknungsuntersuchungen meistens nur der Humusgehalt und der Kalziumkarbonatgehalt bestimmt.

Der Humusgehalt ist im allgemeinen nicht höher als 2,5%. Je fetter der Ton ist, desto höher ist im allgemeinen der Humusgehalt.

Der Kalziumkarbonatgehalt schwankt ausgedrückt in Prozenten Kalziumoxyd zwischen 0 und 10%.

Aus der Praxis ist bekannt, daß die höchstzulässige Trocknungsgeschwindigkeit eines bestimmten Formlings in den verschiedenen Trocknungsabschnitten nicht nur von der Form und den Abmessungen des Formlings, sondern auch von vielen anderen Faktoren abhängig ist. Durch Trocknungsuntersuchungen im Versuchstrockner wurden über den Einfluß der wichtigsten Faktoren zahlenmäßige Angaben gesammelt zur Beurteilung ihrer

relativen Bedeutung. Als Maßstab für die Trocknungsempfindlichkeit wurde der höchstzulässige stündliche Wasserentzug direkt nach der Aufheizung der Formlinge gewählt. Dieser höchstzulässige stündliche Wasserentzug ist die Trocknungsgeschwindigkeit eines Formlings sofort nach dem Aufheizvorgang eines Trocknungsprozesses unter konstant bleibenden Trocknungsbedingungen der Luft, wobei die Probeformlinge nach dem Trocknen gerade noch keine Risse oder unerwünschte Deformationen aufweisen.

Im folgenden werde ich diesen Wert bequemlichkeithalber mit dem „maximalen Wasserentzug“ in Gramm pro Formling per Stunde bezeichnen.

Die Trockenempfindlichkeit eines bestimmten Formlings ist in erster Linie abhängig von dem Kornaufbau des Tones.

Dieser Zusammenhang konnte für „Waalformaat“ Streichsteine im Versuchstrockner festgestellt werden.

Die Streichsteine wurden dabei aus gut aufbereiteten Flußtonen gleicher mineralogischer Zusammensetzung hergestellt und unter vergleichbaren Umständen getrocknet.

Bild 6 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Lutumgehalt des Tones (horizontal) und dem maximalen Wasserentzug (vertikal) in Gramm pro Stunde per Formling.

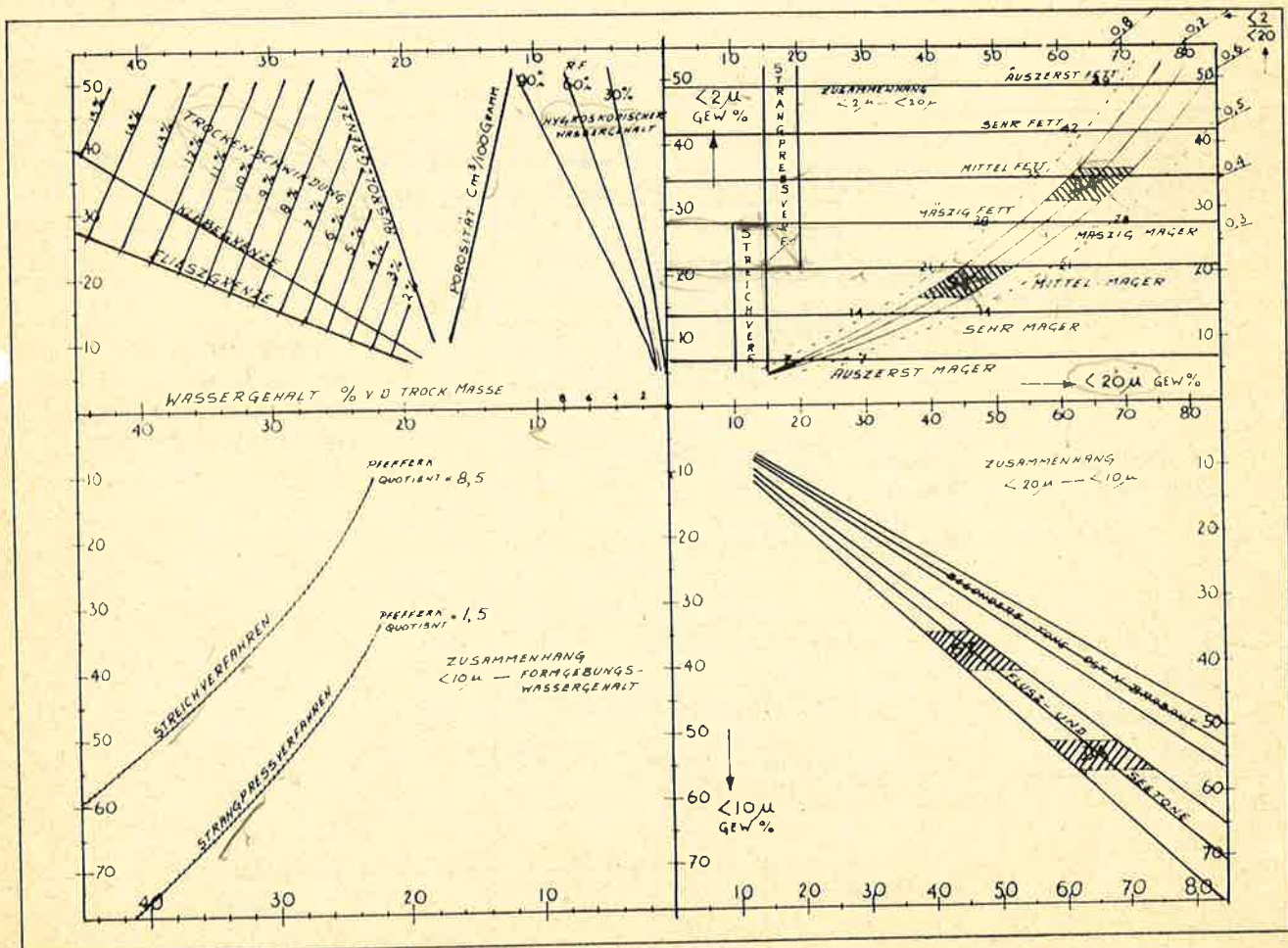
Das Diagramm zeigt, daß der maximale Wasserentzug bei zunehmendem Lutumgehalt stark abnimmt.

Wie aus dem vorhergehenden Diagramm ersichtlich war, nimmt außerdem bei steigendem Lutumgehalt der Anfangswassergehalt der Formlinge zu.

Man kann also sagen, daß die Trockenzeit der „Waalformaat“-Streichsteine bei steigendem Lutumgehalt sehr stark zunimmt.

Hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen der Trockenempfindlichkeit und der mineralogischen Zusammensetzung

Bild 5



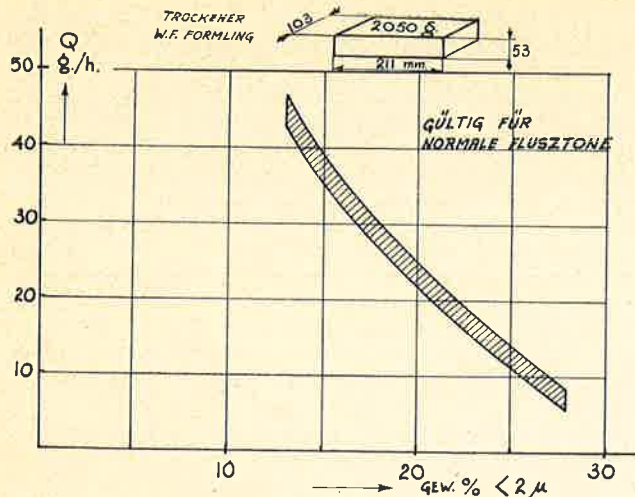


Bild 6. Höchstzulässige Trocknungsgeschwindigkeit von WF-Streichsteinen

zung der Lutumfraktion sind noch zu wenig zuverlässige Angaben aus eigenen Versuchen vorhanden.

Bei Trocknungsuntersuchungen an Strangpreßziegeln konnte kein so guter Zusammenhang zwischen Trockenempfindlichkeit und Lutumgehalt festgestellt werden, wie er bei den Trocknungsuntersuchungen an Streichsteinen gefunden wurde.

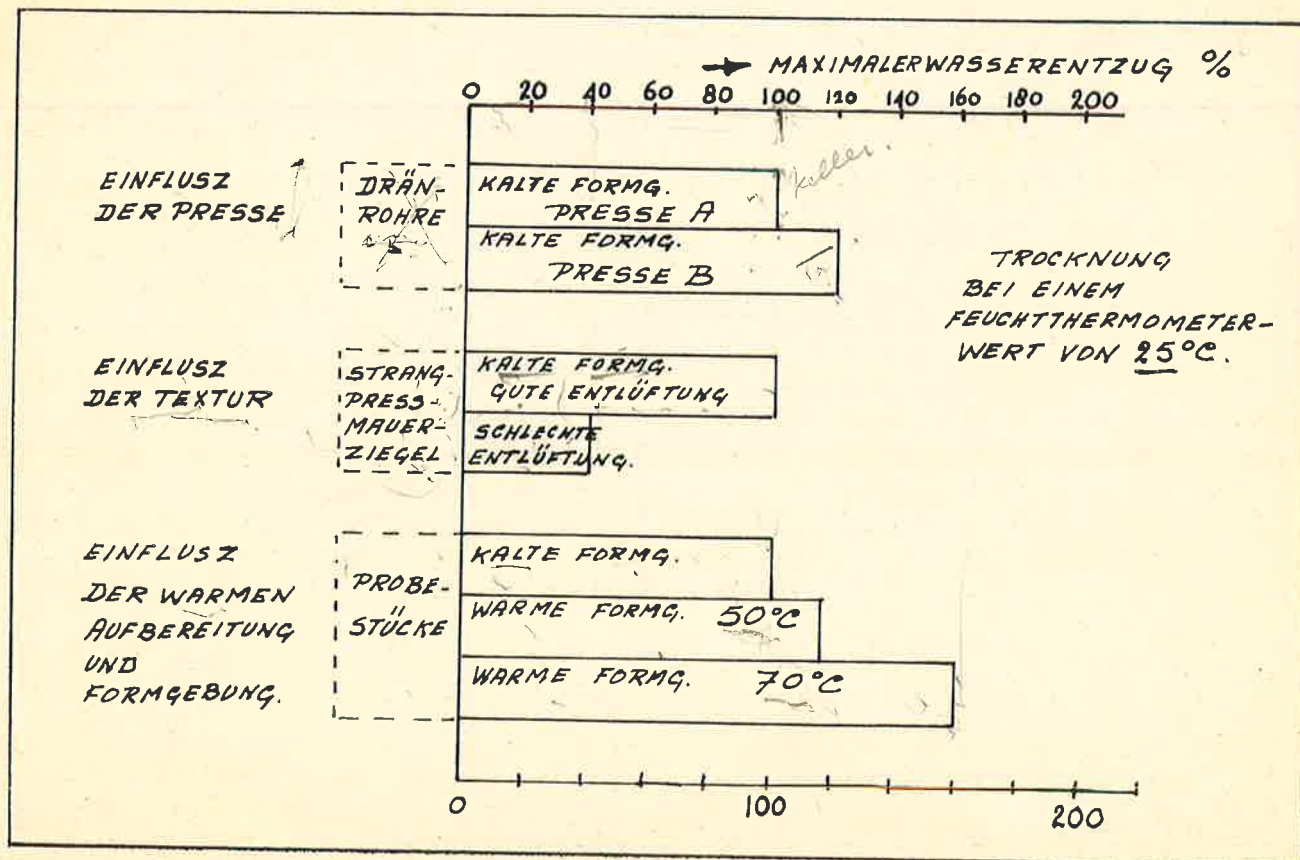
Diese Tatsache führt zu einer anderen Faktorengruppe, die die Trocknungsempfindlichkeit beeinflusst. Dies sind die Faktoren, die mit der Aufbereitung und der Formgebung zusammenhängen, wie zum Beispiel Homogenität und Textur des Formlings, Spannungszustand im frischen Formling, Luftgehalt des Tones, kalte oder warme Aufbereitung und Formgebung.

An Hand mehrerer Trocknungsuntersuchungen an Strangpreßziegeln, die aus einem fetten Ton hergestellt wurden, wurde versucht, den Einfluß einiger dieser Faktoren festzustellen. Die Trocknungsuntersuchungen fanden dabei immer unter vergleichbaren Bedingungen statt. So war der Feuchttthermometerwert der Luft im Meßraum zum Beispiel bei allen Versuchen 25°C . Bild 7 zeigt die Resultate. Untereinander sehen wir Beispiele der relativen Bedeutung verschiedener Faktoren. Der Einfluß der verschiedenen Faktoren konnte nicht immer an Ziegeln gleicher Art festgestellt werden. Darum sind im Diagramm nicht die absoluten Werte des maximalen Wasserentzugs, sondern die relativen Werte. Der maximale Wasserentzug, der vor Änderung der Aufbereitungsweise oder der Formgebungsweise gefunden wurde, bekam dabei immer den Wert 100%. Die Wahl einer anderen Vakuumpresse bei gleichbleibender Aufbereitung ergab zum Beispiel bei Dränrohren eine Erhöhung des maximalen Wasserentzuges bis 120%. In einem anderen Fall, bei Strangpreßmauerziegeln, sank der maximale Wasserentzug wegen schlechter Entlüftung des Tonstranges und wegen starker Texturbildung in den Ziegeln bis auf 40%.

Der Einfluß der Presse ist beim Streichverfahren im allgemeinen viel geringer als beim Strangpreßverfahren. Diese Feststellung wird wahrscheinlich verursacht durch die Verwendung einer sehr feuchten und weichen Tonmasse beim Streichverfahren, wodurch die Bildung einer schlechten Textur und das Auftreten unerwünschter Spannungen in den frischen Formlingen nicht so leicht möglich sind.

Trocknungsuntersuchungen an Streichsteinen, die im Laboratorium hergestellt waren, zeigten, daß sich nur bei schwierigem Loslassen derselben aus der Streichform der maximale Wasserentzug zuweilen stark verringerte. Die Trocknungsuntersuchungen an warm hergestellten Strangpreßziegeln ergaben eine Erhöhung des maxima-

Bild 7. Einflüsse auf die Trocknungsempfindlichkeit von Ziegeln



len Wasserentzuges. Die Probestücke wurden aus einem fetten Ton bei 70° C beziehungsweise 50° C hergestellt und sofort nach der Herstellung im Versuchstrockner bei einem Feuchttthermometerwert von 25° C auf Trocknungsempfindlichkeit geprüft. Die Probestücke, die bei 70° C hergestellt waren, hatten nach dem Erreichen des Beharungszustandes bei 25° C einen maximalen Wasserentzug von 160%. Der maximale Wasserentzug der bei 50° C hergestellten Probestücke war bei 25° C 115%. Der maximale Wasserentzug kalt hergestellter Probestücke wurde dabei auf 100% gestellt. Trocknungsuntersuchungen an warm hergestellten Streichsteinen ergaben in einigen Fällen Empfindlichkeitsverbesserungen gleicher Größenordnung.

Die Trocknungsempfindlichkeit der Ziegelformlinge wird auch durch die Temperatur des Wassers im Formling im ersten Trocknungsabschnitt beeinflusst. Wie bekannt ist, stimmt die Formlingstemperatur im ersten Trocknungsabschnitt mit dem Feuchttthermometerwert der Luft überein. Aus theoretischen Gründen darf man erwarten, daß die Trocknungsempfindlichkeit durch Erhöhung dieses Feuchttthermometerwertes im günstigen Sinne geändert werden kann. Trocknungsuntersuchungen an kalt geformten Ziegeln bestätigen diese Erwartung in verschiedenen Fällen nicht.

Bild 8 zeigt die Resultate der Trocknungsuntersuchungen. Der maximale Wasserentzug von kalt geformten Ziegeln bei einem Feuchttthermometerwert der Luft von 25° C wurde wieder auf 100% gestellt. Bei kalt hergestellten Streichsteinen bleibt der maximale Wasserentzug bei Feuchttthermometerwerten zwischen 25° C und 45° C im allgemeinen beinahe konstant. Bei kalt geformten Strangpreßziegeln wurden durch Steigerung des Feuch-

thometerwertes von 25° C bis 45° C sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen im maximalen Wasserentzug festgestellt.

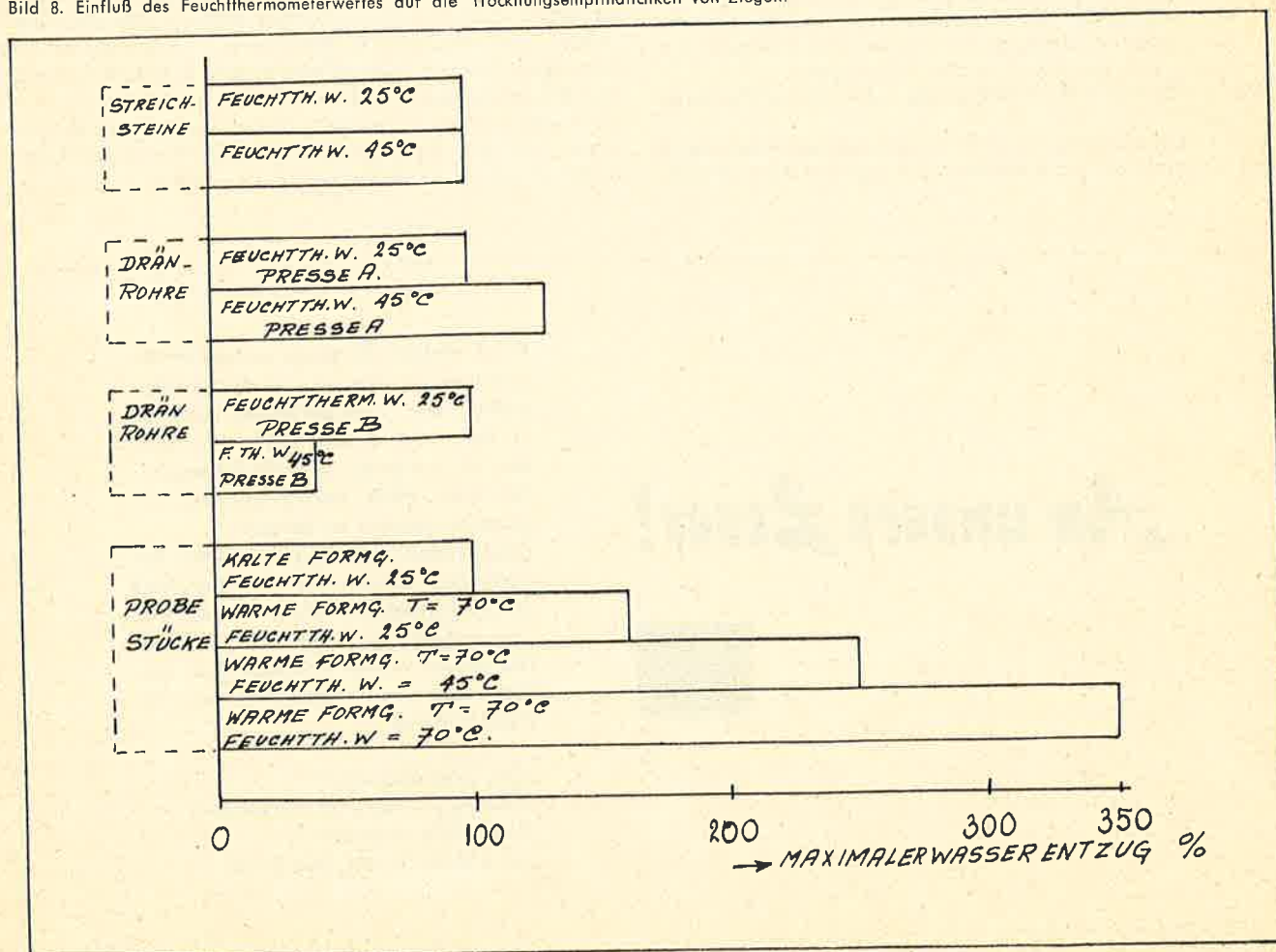
Die mit einer bestimmten Presse hergestellten Dränrohre ergaben bei Steigerung des Feuchttthermometerwertes bis 45° C einen maximalen Wasserentzug von 130%.

Dränrohre, die bei gleichbleibender Aufbereitung des Tones mit einer anderen Presse hergestellt waren, ergaben bei Steigerung des Feuchttthermometerwertes bis 45° C einen maximalen Wasserentzug von nur 40%.

Der manchmal festgestellte weniger günstige Einfluß einer Erhöhung des Feuchttthermometerwertes auf das Trocknungsverhalten von kaltgepreßten Ziegeln muß der Schwächung der Ziegel während der Aufheizung zugeschrieben werden. Diese Schwächung kann zum Beispiel verursacht werden durch Kondensbildung am Ziegel, durch Verschlechterung der Textur bei der Aufheizung und durch Schwellung des Ziegels bei der Aufheizung, insbesondere wenn der Ton freie und in Wasser gelöste Luft enthält, wie dies zum Beispiel bei Streichsteinen der Fall ist. Wenn diese Schwächung während der Aufheizung im Trockner durch eine warme Formgebung ausgeschaltet wurde, konnte ein sehr günstiger Einfluß des Feuchttthermometerwertes auf die Trocknungsempfindlichkeit festgestellt werden. Die Trocknungsuntersuchungen wurden an bei 70° C aus einem fetten Seeton hergestellten Strangpreßformlingen vorgenommen.

Die warmen Probestücke wurden im Versuchstrockner bei verschiedenen Feuchttthermometerwerten auf Trocknungsempfindlichkeit geprüft. Bild 8 zeigt die Resultate. Der maximale Wasserentzug kalt gepreßter Probestücke

Bild 8. Einfluß des Feuchttthermometerwertes auf die Trocknungsempfindlichkeit von Ziegeln



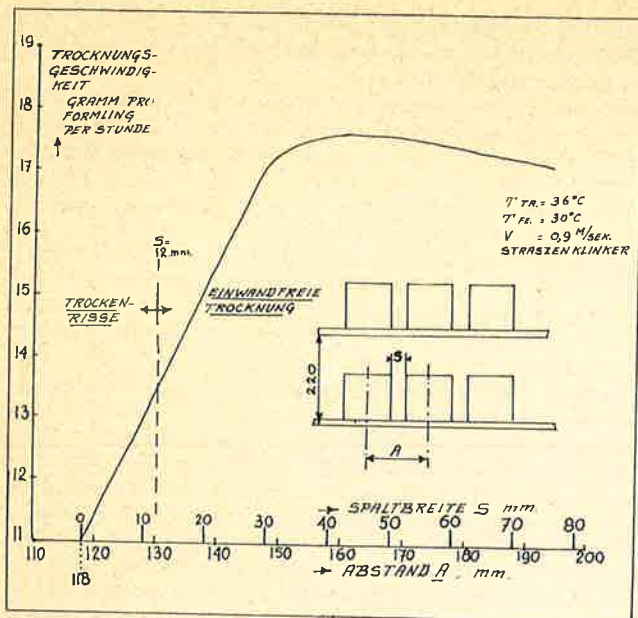


Bild 9. Einfluß der gegenseitigen Anordnung der Ziegel auf das Trocknungsverhalten

bei einem Feuchtthermometerwert von $25^{\circ}C$ wurde wieder auf 100% gestellt.

Infolge der warmen Formgebung ist der maximale Wasserentzug der bei $70^{\circ}C$ hergestellten und bei einem Feuchtthermometerwert von $25^{\circ}C$ getrockneten Probestücke 160%. Bei einem Feuchtthermometerwert von $45^{\circ}C$ 250% und bei einem Feuchtthermometerwert von $70^{\circ}C$ sogar 350%.

Eine vierte Faktorengruppe, die das Trockenverhalten der Ziegel beeinflusst, umfaßt:

- die Unterstützungsweise der Ziegel,
- die gegenseitige Anordnung der Formlinge,
- die Anordnung der Formlinge in Hinsicht auf die Luftströmungsrichtung sowie auch das Wechseln der Größe und der Richtung des Luftstromes.

Aus der Praxis ist die Bedeutung vieler dieser Faktoren bekannt.

Im Versuchstrockner wurden Untersuchungen zur Feststellung des Einflusses der gegenseitigen Anord-

nung auf die Trocknungsgeschwindigkeit ausgeführt. Die Trocknung fand dabei unter konstanten Trocknungsbedingungen statt. Bild 9 zeigt die Trocknungsgeschwindigkeit von Straßenklinkern unmittelbar nach der Aufheizung der Formlinge in Gramm pro Formling per Stunde in Abhängigkeit vom Abstand A (gemessen von Mitte zu Mitte Ziegel), beziehungsweise von der Spaltbreite S (Ziegelabstand). Die Luftgeschwindigkeit im Meßraum wurde bei allen Versuchen — bezogen auf den leeren Querschnitt — konstant gehalten. Man sieht, daß die Trocknungsgeschwindigkeit bei Vergrößerung der Spalte S stark zunimmt.

Der Höchstwert wurde gefunden bei einer Spaltbreite von 40 mm. Bei größer gewählten Spaltbreiten sank die Trocknungsgeschwindigkeit allmählich wegen der Verringerung der mittleren Luftgeschwindigkeit zwischen den Formlingen ab. Bei Spaltbreiten unter 12 mm und kleinen Trocknungsgeschwindigkeiten entstanden Trockenrisse. Bei größeren Spaltbreiten als 12 mm und größeren Trocknungsgeschwindigkeiten war die Trocknung einwandfrei.

Über den Einfluß der anderen genannten Faktoren aus dieser Gruppe sind nur wenig zahlenmäßige Angaben vorhanden. In diesem Jahr wird die laboratoriums-mäßige Untersuchung des Trockenverhaltens von Ziegeln bei der sogenannten „rhythmischen Trocknung“ durchgeführt.

Zum Schluß möchte ich noch erwähnen, daß der Versuchstrockner nicht nur für Trocknungsarbeiten dieser Art, sondern auch direkt für die Lösung von in den einzelnen Betrieben vorkommenden Trocknungsproblemen verwendet wird. Es wird gerade auf Grund der Resultate der besprochenen Untersuchungen deutlich sein, daß derartige, auf die Praxis gerichtete Untersuchungen für die Lösung von Trocknungsproblemen in den Betrieben einen großen Wert haben können.

Ich hoffe, daß ich Ihnen mit diesem Vortrag einen Eindruck von der niederländischen laboratoriums-mäßigen Annäherung an Trocknungsprobleme geben konnte.

An unsere Leser!



Es ist vielfach die Frage an uns herangetragen worden, ob eine Bezugsmöglichkeit der veröffentlichten Aufsätze in Form von Sonderdrucken vorhanden ist, um einem weiteren interessierten Kreis diese Veröffentlichung zugänglich machen zu können.

Diese Frage kann bejaht werden. Bestellungen werden bis zu einer Frist von vier Wochen nach Erscheinen von uns entgegengenommen.

Die Kosten richten sich nach dem Umfang der Veröffentlichung und der Auflagenhöhe.

„Die Ziegelindustrie“
 Bauverlag GmbH, 62 Wiesbaden,
 Kleine Wilhelmstraße 7,
 Tel. 5 95 15, Fs.-Nr. 04-186 792