

PHANOMENOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN . UBER DEN EINFLUSS EINIGER
FAKTOREN AUF DAS VERHALTEN DER ZIEGELTERRUGNISSE WAHREND DER TROCKNUNG.

von J.H. van der Velden,

Niederländische Keramische Forschungsanstalt T.N.O.

Rijswijk (Z-H)

PHÄNOMENOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS EINIGER FAKTOREN
AUF DAS VERHALTEN DER ZIEGELEIERERZEUGNISSE WÄHREND DER TROCKNUNG.

von J.H. van der Velden,

Niederländische Keramische Forschungsanstalt T.N.O.
Rijswijk (S-H)

Kurzfassung:

Anhand der Resultate von Trocknungsuntersuchungen in einem Versuchstrockner der niederländischen Forschungsanstalt T.N.O. werden einige Einflüsse auf das Trocknungsverhalten von grobkeramischen Erzeugnissen besprochen.

Zuerst wird auf den Einfluss der Kornfraktion $< 2 \mu$ und der mineralogischen Zusammensetzung der Tone hingewiesen.

Im letzten Abschnitt des Vortrages wird gezeigt, dass die Herstellung der Formlinge im Heisspresverfahren einen günstigen Einfluss auf das Trocknungsverhalten hat. Dieser Einfluss ist um so grösser, je höher die Temperatur des gepressten Formlings gewählt wird. Auch ergibt sich, dass der Formgebungswassergehalt bei höherer Temperatur des Stranges niedriger gewählt werden kann.

Ausserdem wird gezeigt, dass der Feuchtthermometerwert der Trocknungsluft bei warm hergestellten Strangpresserzeugnissen einen sehr grossen Einfluss auf das Trocknungsverhalten hat.

Es zeigt sich, dass der höchstzulässige stündliche Wasserentzug von warm hergestellten evakuierten Strangpressziegeln - bei jeder Strangtemperatur - der Zähigkeit des Wassers beim Feuchtthermometerwert ungefähr umgekehrt proportional ist.

Einführung

Wie bekannt, ist die Mindesttrocknungszeit bei der künstlichen Trocknung von Ziegeleierzeugnissen von vielen Faktoren abhängig. In diesem Zusammenhang nenne ich u.a.:

1. die Mineralogische Zusammensetzung des Rohstoffes,
2. der Kornaufbau,
3. das Mass der Koagulation oder Peptisation,
4. die Homogenität, die Textur, und der Spannungszustand des Formlings,
5. der Luftgehalt und die Luftverteilung im Formling,

6. der Formgebungswassergehalt,
7. die Form und die Abmessungen des Formlings .
8. die Art der Auflage des Formlings,
9. die gegenseitige Anordnung der Formlinge,
10. die Anordnung der Formlinge in Hinsicht auf die Luftströmungsrichtung im Trockner
11. die Luftkonditionierungsmöglichkeiten des Trockners,
12. die Wassertemperatur im Formling während des Trocknens (der Feuchtthermometerwert der Trocknungsluft)
13. die Ungleichmässigkeit der Trocknung im Einsatz einer Trocknereikammer oder in der Ladung eines Trocknereiwagens,
14. die Anforderungen in Bezug auf den mittleren Endwassergehalt und die zulässige Streuung des letzteren,
15. der gewünschte Sättigungszustand der abgeführten Trocknungsluft,
16. die Anforderungen in Bezug auf eine wohl oder nicht zulässige Rissbildung an der Oberfläche oder im Innern des getrockneten Formlings.

Eine Verkürzung der Trocknungszeit muss gesucht werden in einer günstigen Beeinflussung von einem oder mehreren dieser Faktoren. Einige dieser Faktoren sind aber auf wirtschaftlichen Gründen nicht zu ändern.

Man denke zum Beispiel an die mineralogische Zusammensetzung und an den Koruaufbau des Rohstoffes.

Im Rahmen dieses Kolloquiums kommt es mir nützlich vor, auf die Bedeutung der Rohstoffzusammensetzung für das Trocknungsverhalten hinzuweisen. Der erste Teil dieses Vortrages ist deshalb diesem Thema gewidmet.

Der zweite Teil behandelt den Einfluss der Heissverarbeitung der Tone auf das Trocknungsverhalten.

Wie von mehreren Forschern schon gezeigt worden ist, werden einige der vorher genannten Trocknungsfaktoren durch die Heissverarbeitung der Tone im günstigen Sinne beeinflusst.

In diesem Zusammenhang nenne ich die Homogenität, die Textur und den Spannungszustand des frischen Formlings. Der resultierende Einfluss auf die Trocknungseigenschaften von warm hergestellten Formlingen wird an einen bestimmten Fall verfolgt. Dem Einfluss des Feuchtthermometerwertes der Luft wird hierbei besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die Besprechung der genannten Themas wird an Hand der Resultate der Untersuchungen im Versuchstrockner der Niederländischen Keramischen Forschungsanstalt T.N.O. geschehen. (Die Ziegelindustrie H₄ - 1963)

I. DIE UNTERSUCHUNGSMETHODE BEI DER FESTSTELLUNG DER TROCKNUNGSEMPFINDLICHKEIT VON ZIEGELERZEUGNISSEN.

In der genannten Forschungsanstalt werden im allgemeinen eine Reihe Trocknungsuntersuchungen zur zahlenmässigen Feststellung der Trocknungsempfindlichkeit von Ziegeleierzeugnissen durchgeführt. Die Trocknungsbedingungen der Luft, wie die Temperatur, die Temperatur des feuchten Thermometers und die Luftgeschwindigkeit, werden bei jedem Versuch auf einen konstanten Wert eingestellt. Bei jedem folgenden Versuch wird nur die Lufttemperatur geändert, bis die Luftbedingungen gefunden worden sind, wobei die Formlinge nach dem Trocknen sowohl im Innern, sowie an der Oberfläche gerade noch keine Risse aufweisen.

Bei jedem Trocknungsprozess wird der Trocknungsgeschwindigkeitsverlauf der Formlinge festgestellt. Einige Beispiele eines solchen Trocknungsgeschwindigkeitsverlaufes unter konstanten Luftbedingungen zeigt Abbildung 1.

Q ist die Trocknungsgeschwindigkeit in Gramm pro Stunde per Formling und ΔW der Gewichtsverlust des Formlings in Prozenten vom Gewicht des vollkommen trockenen Formlings.

Beim Formgebungswassergehalt W_0 ist $\Delta W = 0$

In der Nähe des Formgebungswassergehaltes ist der Trocknungsgeschwindigkeitsverlauf von der Anfangstemperatur der Formlinge abhängig. Bei der Aufheizung von kalten Formlingen bis zum Temperaturniveau des feuchten Thermometers verläuft die Trocknungsgeschwindigkeit zum Beispiel wie Kurve 1. Bei der Abkühlung von warmen Formlingen bis zum Feuchtthermometerwert der Luft, hat die Trocknungsgeschwindigkeitskurve den mit 2 bezeichneten Verlauf.

Durch Extrapolation kann man auf Grund der Kenntnis der theoretischen Neigung der Trocknungsgeschwindigkeitskurve im ersten Trocknungsabschnitt, die Anluferscheinungen eliminieren.

Für diese idealisierte Kurve 3 findet man beim Beginnwassergehalt W_0 eine Trocknungsgeschwindigkeit Q_0 , die als Masstab für die verwendeten Trocknungsbedingungen gebraucht werden kann.

Gehört eine bestimmte Q_0 bei den höchstzulässigen Trocknungsbedingungen der Trocknungsluft, dann ist dieser Q_0 ebenfalls die höchstzulässige Anfangstrocknungsgeschwindigkeit und dann gibt dieser Wert als Beurteilungsmaßstab für die Rissempfindlichkeit der untersuchten Formlinge.

In folgenden werde ich diesen Wert mit dem "maximalen Wasserentzug" in Gramm pro Stunde ~~per~~ Formling bezeichnen.

II. UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS DER KORNFRAKTION $< 2 \mu$ AUF DAS TROCKNUNGSVERHALTEN VON TONEN GLEICHER MINERALOGISCHEN ZUSAMMENSETZUNG DER KORNFRAKTION $< 2 \mu$.

Diese Untersuchungen wurden durchgeführt an "Waalformaat"-Streichsteinen, die aus gut aufbereiteten Flusstonen hergestellt wurden. Die mineralogische Zusammensetzung der Kornfraktion $< 2 \mu$ ist bei diesen Tonen meistens ziemlich konstant. Der Hauptbestandteil dieser Kornfraktion ist Illit. Ausserdem besitzen diese Tone im allgemeinen ein ziemlich konstantes Gewichtsverhältnis zwischen den Kornfraktionen $< 2 \mu$, $< 10 \mu$ und $< 20 \mu$. Hierdurch besteht meistens ein guter Zusammenhang zwischen dem Kornaufbau und den physikalischen Eigenschaften dieser Tone.

Abbildung 2 zeigt den gefundenen Zusammenhang zwischen der Kornfraktion $< 2 \mu$ in Gewichtsprozenten (horizontal) und dem maximalen Wasserentzug G_m in Gramm pro Stunde pro Formling (vertikal).

Weiter zeigt die Abbildung den Zusammenhang zwischen der Kornfraktion $< 2 \mu$ und dem Formgebungswassergehalt bei der richtigen Verformbarkeit des Tones. Wie aus diesem Diagramm ersichtlich ist, nimmt der maximale Wasserentzug bei steigendem Lutungehalt stark ab. Ausserdem nimmt bei steigendem Lutungehalt der Formgebungswassergehalt zu.

Die Trockenzeit dieser Formlinge wird deshalb bei steigendem Lutungehalt stark zunehmen. In der Praxis schwankt die Trockenzeit von "Waalformaat"-Streichsteinen dieser Tone zwischen 24 und 96 Stunden.

III. VERGLEICH DER TROCKNUNGSEIGENSCHAFTEN VON ZWEI IN MINERALOGISCHER HINSICHT VERSCHIEDENEN EUROPÄISCHEN TONEN.

Die Versuche wurden durchgeführt an einem Tonmuster aus Realmont in Süd-Frankreich und an einem Niederländischen Seetonmuster. Es wurde versucht, den Kornaufbau des Niederländischen Tones so viel wie möglich dem Kornaufbau des Süd-Französischen Musters anzupassen. Sowie aus der folgenden Tabelle festzustellen ist, gelang dies nur zum Teil.

Kornaufbau in Gewichtsprozenten	Niederländischer Seeton	Ton aus Realmont Süd-Frankreich
Fraktion > 200 μ	1	2
Fraktion < 20 μ	70	79
Fraktion < 10 μ	58	68
Fraktion < 2 μ	39	35

Die mineralogische Zusammensetzung der zwei Muster gibt die folgende Tabelle in welcher auch die mineralogische Zusammensetzung der Kornfraktion < 2 μ wiedergegeben ist. Besonders auffällig ist der grosse Unterschied in dem Gehalt des in physikalischer Hinsicht aktiven schwellenden Illits.

Mineralogische Zusammensetzung in %	Total		Kornfraktion < 2 μ	
	Niederländischer Seeton	Ton aus Realmont Süd-Fr.	Niederländischer Seeton	Ton aus Realmont Süd-Fr.
Schwellendes Illit	19	1	42	3
Glimmer	15	30	18	49
Kaolinit	11	10	16	17
Quarz	40	29	15	8
Feldspat	9	5	6	4
Limonit	-	2	-	6
Hematit	-	8	-	8
Chlorit	2	3	1	2
Kalzit	3	3	2	1
Dolomit	1	9	0,3	2

Zur Vornahme der Trocknungsversuche wurden beide Tonmuster im kalten Zustand in ähnlicher Weise aufbereitet und auf dieselbe Verformbarkeit gebracht.

Mit einer Laboratoriumvakuumstrangpresse wurden kleine Formlinge hergestellt von 25 x 40 x 120 mm; die in der Längs^s-richtung zwei Kanäle von 10 x 12 mm besaßen. An den Formlingen der beiden Tonarten wurde der maximale Wasserentzug bei einem Feuchtthermometerwert von 25°C bestimmt. Die folgende Tabelle zeigt die Resultate dieser Versuche. Ausserdem sind in dieser Tabelle einige wichtige physikalische Eigenschaften der beiden Tonarten erwähnt.

Niederländischer Seeton Ton aus Realmontt
Süd-Frankreich

Trocknungseigenschaften und
andere physikalische Eigen-
schaften.

Formgebungswassergehalt in % der Trockensubstanz.	31	26
Gesamtschwindung beim Trocknen in %	9	6
Maximaler Wasserentzug in Gramm pro Stunde per Formling	10	17,5
Spezifische Oberfläche des Tonens in m ² pro Gramm.	165	130
Adsorptionskapazität in m. Hq. per 100 Gramm Trockensub- stanz.	24	14,5
Lineare Ausdehnung von trockenen Probestäbchen durch Wasserdampfadsorption bei einer relativen Feuchtig- keit von 75 % in /100.	3,2	0,6
Biegefestigkeit von trockenen Probestäbchen aus evakuiertem Ton in kg/cm ² .	175	95

Die Unterschiede im Formgebungswassergehalt und in dem maximalen Wasserentzug zwischen den beiden Mustern können zu einem grossen Unterschied in der Trocknungsdauer führen.

Es war merkwürdig dass bei der Überschreitung des maximalen Wasserentzuges in den Niederländischen Seeton, eine viel ernsthaftere Rissbildung auftrat als in dem Süd-Französischen Ton.

Mit diesen Versuchen ist nochmals gezeigt worden, dass man bei der Beurteilung der Möglichkeiten zur Erreichung kurzer Trocknungszeiten, den Koruaufbau und die mineralogische Zusammensetzung des Rohstoffes besonders berücksichtigen muss.

IV. VERSUCHE ZUR FESTSTELLUNG DES EINFLUSSES DER WEISSEVER BEHEITUNG EINES NIEDERLÄNDISCHEN SEETONES AUF DAS TROCKNUNGSVERHALTEN VON STRANGPRESSERERZEUGNISSEN.

Die Versuche wurden ausgeführt mit einem Seeton, mit der im vorigen Abschnitt dieses Vortrages erwähnten Zusammensetzung.

Die Erwärmung des Tonens geschah in einem Laboratorium-Eirichmischer mit gesättigtem Dampf von 0,5 atü.

Die Probeformlinge wurden mit Hilfe einer Laboratoriumvakumpresse hergestellt.

Durch Vorwärmung der Presse wurde eine zu starke Abkühlung des Tones während der Formgebung verhindert.

Die Abmessungen der frischen vollen Formlingen waren 25 x 40 x 120 mm. Unter Vermeidung von Abkühlung und Austrocknung wurden die Formlinge unmittelbar nach der Herstellung im Versuchstrockner geprüft. Die Trocknungsversuche wurden durchgeführt mit Formlingen von verschiedener Temperatur und mit Trocknungsluft mit Feuchtthermometerwerten von 25, 45 und 70 °C.

Das Kriterium für die Trocknungsbedingungen, die gerade noch vertragen werden konnten, war bei den genannten Formlingen die Rissbildung im Innern des Formlings am Ende des Trocknungsprozesses. Die Resultate der Versuche findet man in Abbildung 3. Die horizontale Achse zeigt die Formgebungstemperatur ϑ_0 in °C. Die vertikale Achse gibt die Trocknungsgeschwindigkeit beim Formgebungswassergehalt, ϑ_0 in Gramm pro Stunde per Formling an.

Die kreisförmigen Messwerte gehören zu den Versuchen ausgeführt bei einem Feuchtthermometerwert von 25 °C, die viereckigen zu einem Feuchtthermometerwert von 45 °C und die dreieckigen zu einem Feuchtthermometerwert von 70 °C.

Die nicht ausgefüllten Kreise, Vierecke und Dreiecke stellen die Messwerte der guten Trocknungsergebnisse vor, die ausgefüllten Messwerte, die durch Rissbildung fehlerhaften Trocknungsergebnisse.

Die maximalen Wasserentzugswerte bei einem Feuchtthermometerwert von 25 °C konnten sehr scharf festgestellt werden.

Die durch die Messwerte gezogene Linie zeigt, dass der maximale Wasserentzug bei steigender Temperatur des Tonstranges zunimmt.

Die maximalen Wasserentzugswerte bei Feuchtthermometerwerten von 45 °C und 70 °C konnten wie man sieht weniger scharf festgestellt werden.

Der Kornstruktur der Grenzlinien zwischen den guten und den schlechten Trocknungsergebnissen wurde für diese Feuchtthermometerwerte eine Hypothese zugrunde gelegt.

Es wurde angenommen dass der maximale Wasserentzug bei jeder Strangtemperatur vielleicht der Zähigkeit des Wassers bei dem Feuchtthermometerwert der Luft umgekehrt proportional sein könnte.

Auf Grund dieser Annahme wurden die bei einem Feuchtthermometerwert von 25 °C gefundenen maximalen Wasserentzugswerte multipliziert mit dem Quotient

$\frac{\text{Wasserzähigkeit bei } 25^\circ\text{C}}{\text{Wasserzähigkeit bei } 45^\circ\text{C}}$ um die maximalen Wasserentzugswerte bei

einem Feuchtthermometerwert von 45°C zu bekommen. In ähnlicher Weise wurden die maximalen Wasserentzugswerte bei einem Feuchtthermometerwert von 70°C berechnet.

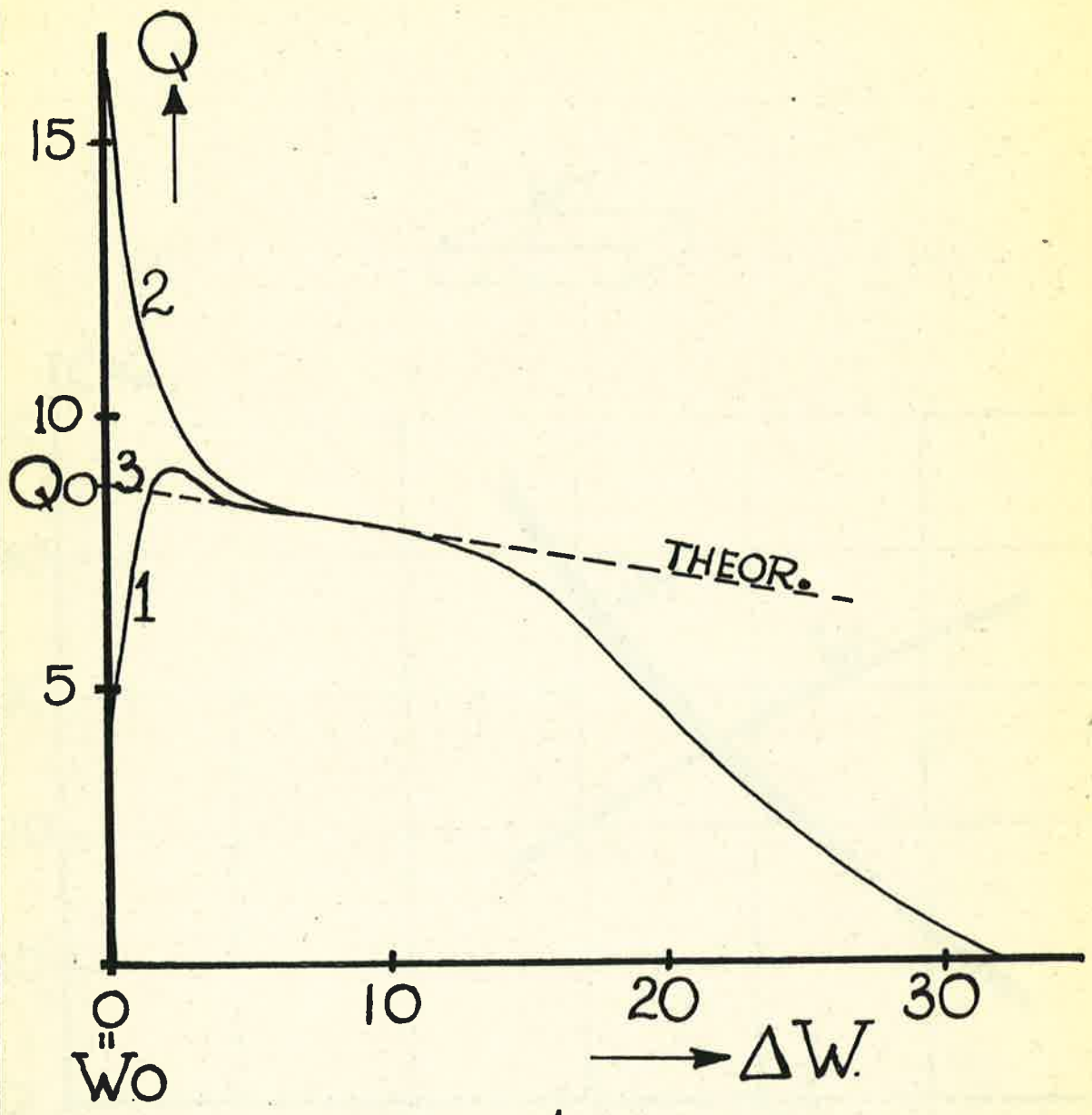
Man sieht im Diagramm, dass die in dieser Weise konstruierten maximalen Wasserentzugskurven bei beiden Feuchtthermometerwerten einen gut annehmbaren Verlauf besitzen.

Abgesehen davon ob die Hypothese vollständig^{richtig} ist, kann man doch sagen dass der Einfluss des Feuchtthermometerwertes auf das Trocknungsverhalten warm hergestellter evakuierter Strangpressziegel sehr gross ist.

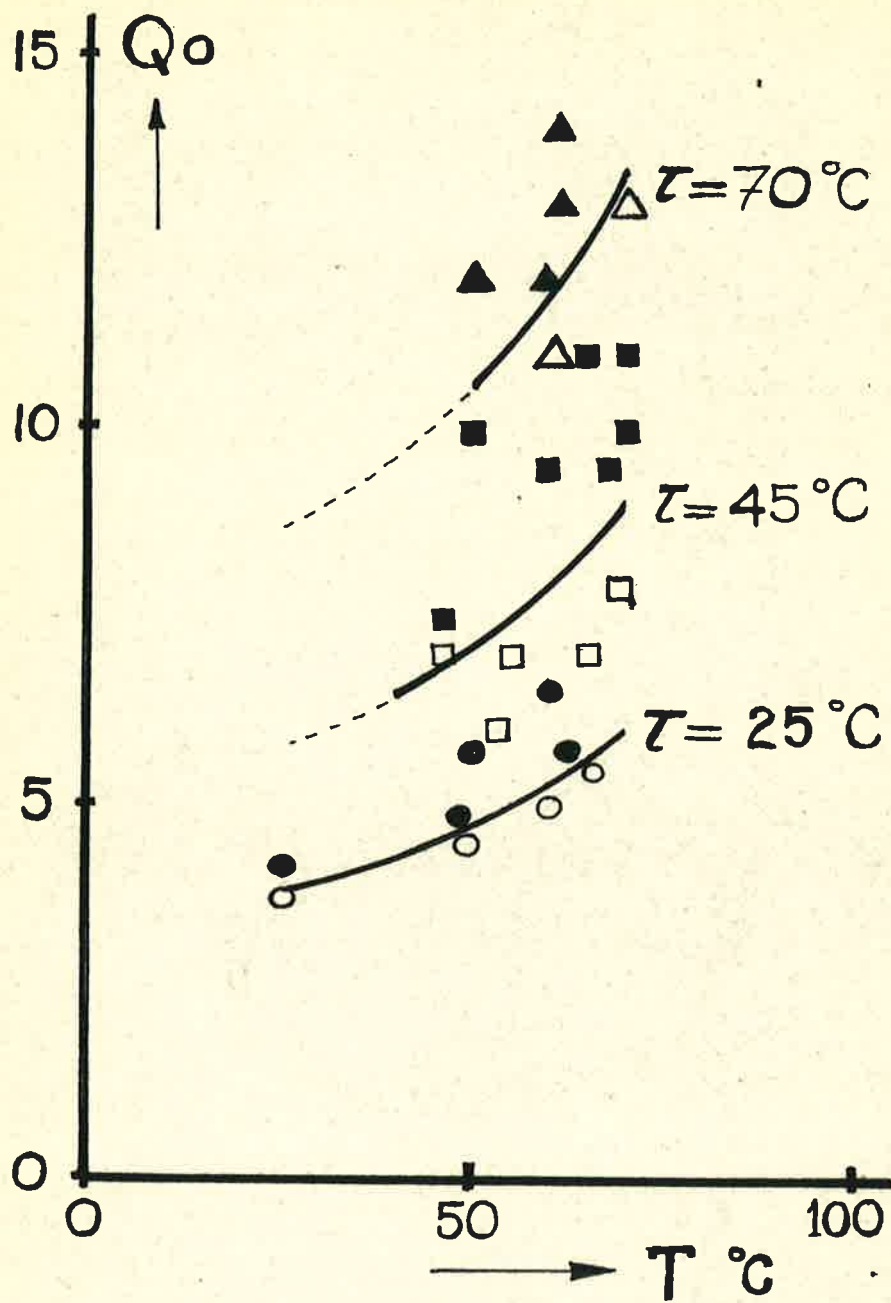
Die Heissformgebung ist dabei eine Voraussetzung^{auf}, denn der Einfluss einer Erhöhung des Feuchtthermometerwertes der Trocknungsluft den maximalen Wasserentzug kalt hergestellter Formlinge ist manchmal sogar ungünstig (die Ziegelindustrie H₄ - 1963), was die Schwächung der Ziegel während der Aufheizung im Trockner zugeschrieben werden muss. 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, ins besondere wenn der Ton freie und in Wasser gelöste Luft enthält. Diese Schwächung wird bei einer Heissverarbeitung des Tones ausgeschaltet. Auch wenn die warmen Probestücklinge vor der Trocknung abkühlen konnten, blieb derselbe günstige Einfluss des Feuchtthermometerwertes auf das Trocknungsverhalten anwesend, sobald wenigstens übermässige Kondensbildung während der Aufheizung vermieden wurde. Dies rechtfertigt die Annahme dass die Heissformgebung einen günstigen Einfluss auf die Textur und den Luftgehalt von evakuierten Strangpressziegeln hat.

Bei den Versuchen wurde weiter noch festgestellt, dass der Formgebungswassergehalt der Formlinge desto niedriger gewählt werden konnte, je höher die Strangtemperatur war. Eine Formgebung bei 70°C mit einem Wassergehalt von 27 % von der Trockensubstanz ergab zum Beispiel denselben Stromverbrauch der Laboratoriumstrangpresse wie eine Formgebung bei 25°C mit einem Wassergehalt von 31 %.

Trocknungsuntersuchungen an warm hergestellten Streichsteinen ergaben in verschiedenen Fällen auch sehr deutliche Empfindlichkeitsverbesserungen bei der Trocknung. Merkwürdig ist jedoch, dass der Feuchtthermometerwert der Luft sowohl bei der Kalt - wie bei der Heissformgebung dieser Streichsteine keinen Einfluss hat auf den maximalen Wasserentzug.



. 1.



.3.