

ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN VAN DROOGTIJDVERKORTING BIJ
KUNSTMATIGE DROGING VAN STRENGPERS- EN VORMBAKPRODUKTEN DOOR
VORMGEVING BIJ HOGERE TEMPERATUUR

door: L.J.A.R. van der Klugt

(Mededeling van het Keramisch Instituut T.N.O.)

ABSTRACT

After a literature survey an experimental study concerning the influence of hot extrusion or moulding of stiff or soft plastic clay on the drying properties is presented in this paper. The paper is divided into two parts. This first part deals with the extrusion process.

The examined clays and products were extruded on a laboratory pug mill at temperatures of the ^{clay} ~~dry~~ column of 25 to 70 °C. Drying was performed at wet bulb temperatures of 25, 45 and 70 °C. It is shown that higher drying rates can be applied the higher the temperature of the extruded product and the higher the wet bulb temperature of the drying air.

With reference to the drying properties it only appears of interest that the clay is kneaded and extruded while it is still warm. So there cannot be ascribed any particular effect of the direct contact between the clay and the steam as is often assumed. Further it is shown that clay pits soften easier when the clay is kneaded while it is warm, so that the product has a better homogeneity, that deformation of hot clay needs less power, de-airing of hot clay is more efficient and texture of hot extruded products can be less harmful. In general lean clays do not appear to stand temperatures as high as heavy clays. The improvement of the drying properties of hot extruded products is ascribed to the better homogeneity of the clay, the more favourable texture and (to a minor degree) extrusion at the same or better plasticity but with less tempering water. These improvements are maintained in principle when the products are cooled down to room temperature and rewarmed afterwards (cold extruded products do not stand warming up unto e.g. 45 °C). As is shown the favourable effect of drying at higher wet bulb temperature can completely be explained from the lower viscosity of the tempering water.

Shortening of drying time is to be expected with adequate adjustment of the drying process to the possibilities of the higher temperature of the newly formed product as drying can be performed at higher wet bulb temperatures, through which in addition to the improved drying properties higher drying rates can be applied, warning up as in moist air drying can be omitted or performed more quickly and shortening of the falling rate period.

KURZFASSUNG

Nach einer Übersicht der Literatur werden experimentelle Versuche beschrieben mit Bezug auf die Einflüsse der Heissaufbereitung und Heissverformung auf die Trockeneigenschaften steif und weich verpresster Ergebnisse. Dieser Aufsatz besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil handelt sich um das Strangpressverfahren.

Die bei den Versuchen verwendete Rohlinge wurden hergestellt auf eine Labor Vakuum-Strangpresse und zwar auf Strangtemperaturen von 25 bis 70 °C und getrocknet bei Nassthermometerwerte von 25, 45 und 70 °C. Es wird gezeigt dass die Rohlinge je schneller getrocknet werden können je höher die Strangtemperatur und je höher die Temperatur des Nassthermometers beim Trocknen ist. Mit Bezug auf die Trockeneigenschaften wurde bei Verwendung von Niederdruckdampf kein spezieller Effekt des direkten Kontaktes zwischen Ton und Dampf gefunden. Es ist also nur von Interesse dass der Ton heiss wird aufbereitet und heiss verformt. Weiter wird noch gezeigt dass die höhere Temperatur während der Aufbereitung günstige Einfluss ausübt auf der Entschluss der fetten Tonklumpchen, so dass das Produkt eine bessere Homogenität besitzt, dass Verformung bei höherer Temperatur weniger Arbeit kostet, die Entlüftung des heissen Tones effektiver ist und die Textur beim Trocknen weniger Schwierigkeiten geben kann. In allgemeinen kann gesagt werden dass magere Tone weniger hohe Strangtemperaturen vertragen als Fette.

Hierbij wordt voornamelijk en in vervolg op een eerder uitgevoerd onderzoek 16 , aandacht besteed aan het voornaamste kenmerk van een droogproces t.w. de natteboltemperatuur van de drooglucht.

De tussen geplaatste cijfers verwijzen naar de literatuurlijst.

II. SAMENVATTING TER BESCHIKKING STAANDE LITERATUUR

Stoombehandeling van klei blijkt invloed uit te oefenen op alle onderdelen van de technologie, terwijl omgekeerd deze onderdelen weer de wijze van stoombehandeling bepalen.

Zo valt met betrekking tot de grondstof op te merken, dat belangrijk zijn:

- de toestand van de klei bij de winning met betrekking tot de marge tussen het aanmaakwatergehalte en het watergehalte van de aangevoerde klei;
- de aard van het kleimineraal met betrekking tot de hoeveelheid te binden water en het gedrag bij hogere temperatuur 9 ;
- de vetheid van de klei met betrekking tot de hoeveelheid kleimineraal in de grondstof, dus met betrekking tot de relatieve invloed die het kleimineraal uitoefent op de eigenschappen van de grondstof bij hogere temperatuur 12, 14, 15 ;

Bij de voorbewerking valt het volgende op te merken:

- de temperatuur van de klei dient zo vroeg mogelijk te worden verhoogd om maximaal effect te verkrijgen. Alle volgende machines zullen dan een geringer krachtverbruik en minder slijtage vertonen, terwijl voor de verwerking van de harde kleipitten het warme water langer kan inwerken;
- i.t.t. bij de vormgeving, kan bij de voorbereiding heel goed afgewerkte, dus lage-drukstrocm worden gebruikt 3, 11 ;
- indirecte verwarming wordt in Nederland in één fabriek bij vormbakklei toegepast. Voor indirecte verwarming van strengpersklei bestaan buitenlandse patenten 3, 6, 16, 17 ;

Bij de vormgeving blijkt dat,

- ten gevolge van het geringere aantal, of de zelfs geheel ontbrekende, vette pitten en vooral door de hogere plasticiteit een moedere streng kan worden verkregen. Dit effect is het meest opvallend bij de vettere kleien.

Bij de nagerste strengperskleien daarentegen, ziet men soms een uitgesproken achteruitgang. Een minder hoge temperatuur^{en} een geringer watergehalte kunnen dan nog gunstig werken;

- ten gevolge van de snelle verdamping de buitenkant van de streng snel afkoelt waardoor de streng opstijft 2, 4, 7 en de afgesneden vervalingen minder last van vervorming tijdens het verder transport ondervinden. Dit verschijnsel kan nadelig zijn wanneer de verdamping te snel plaatsvindt, zodat scheurvorming kan optreden. Men dient dan de verdamping af te remmen. Het is meestal reeds voldoende tocht te vermijden, daar de vervalingen hun eigen vochtig klimaat scheppen;
- ter verkrijging van een goede streng het vacuüm niet gemist kan worden 7. Ten gevolge van de hogere dampspanning van het water in de klei zal het vacuüm dalen. Dit is echter minder beswaarlijk dan het lijkt, omdat de verlaging van het vacuüm wordt veroorzaakt door de waterdamp die de vacuümkamer vult. Bij weer insluiten van deze damp in de klei condenseert deze en dit is niet anders dan bij koude klei. Bovendien is de binding van de lucht aan de klei bij hogere temperatuur geringer, zodat het kan voorkomen dat bij lager vacuüm en hogere temperatuur meer lucht wordt verwijderd dan bij hoger vacuüm en lagere temperatuur 7, 9;
- bij stoominjectie in de strengpers men de voorkeur geeft aan hoge-drukstoom. Ten eerste omdat de stoom door de tamelijk dichte kleimassa uit de toevoerepeningen moet kunnen uitstromen en ten tweede omdat lage-drukstoom ten gevolge van het geringe doordringend vermogen direct condensatie op de kleibonken kan geven, waardoor deze klef worden en slip zou kunnen optreden 8;
- in sommige gevallen minder last van de textuur wordt ondervonden dan bij koude vormgeving 9.

Bij het drogen wordt steeds weer opgemerkt dat ten gevolge van de stoombehandeling verkorting van de droogtijd is te behalen door het wegvallen van de opwarmtijd bij het kunstmatig drogen, gunstiger voorwaarden voor de vloeistofstroming en verbetering van de droogeigenschappen van de vervalingen door betere homogeniteit ten gevolge van betere ontsluiting en bevochtiging 2, 12, 14, 15.

Bij het bakken tenslotte is te verwachten dat ten gevolge van de betere verdeling van de kleidelen door de gehele vormling een betere sintering optreedt, waardoor het eindprodukt, mede door de gunstiger toestand van de gedroogde vormling waarvan wordt uitgegaan, betere eigenschappen bezit wat betreft druksterkte en w.o., terwijl de sortering naar een hoger percentage 1e soort verschuift 2, 11, 15 . Samenvallend blijkt dat het bewerken van de nog niet, reeds gedeeltelijk of geheel voorbereide grondstof met stoom, consequenties heeft voor het gehele fabriekproces en zelfs voor de kwaliteit van het gereede produkt. Deze consequenties vloeien voort uit een verbeterde voorbereiding en vormgeving, gepaard gaande met een geringer krachtverbruik en minder slijtage van de bewerkingsmachines. De verbeterde voorbereiding en warme vormgeving leiden tot een homogener vormling met veelal verbeterde structuur waardoor deze verbeterde droogeigenschappen zal bezitten. Samen met het feit dat kan worden uitgegaan van een reeds warme vormling kan dus bij juiste aanpassing van het droogproces aanzienlijke verkorting van de droogtijd worden verwacht. De gedroogde vormling zal door de meer homogene samenstelling een beter bakresultaat geven, terwijl het eindprodukt dikwijls maatvaster zal blijken te zijn en een lagere wateropneming en een hogere druksterkte zal bezitten. Tenslotte merken diverse auteurs op dat warme vormgeving altijd loont, mits men zich niet beperkt tot een enkel facet, maar alle voordelen die te behalen zijn uitnuut door het proces waar nodig aan te passen. In sommige gevallen kan zelfs op hoogwaardiger produkten worden overgegaan. 8, 11, 15 .

III. EXPERIMENTEEL DROOGONDERZOEK

A. STRENGPERSPROCÉDÉ

1..Methodiek

Voor de warme bereiding van de klei kon slechts worden beschikt over een laboratoriumplaneetsmenger, die geen grotere charges dan 20-25 kg klei kan verwerken (foto 1). Deze hoeveelheid blijkt juist genoeg te zijn om op de kleine laboratoriumstrengpers (foto 2) voldoende vormlingen voor een droogproef te kunnen maken.

4. Kriterium voor de beoordeling van het droogresultaat

Wat betreft het scheuren van de vormlingen, kunnen verschillende vormen worden onderscheiden (foto 4).

- a) Uitwendig zichtbare scheuren die ontstaan in de nog plastische klei, meestal binnen 1 à 2 uur na het inzetten van de vormlingen. Uitgaande van te hoge droog snelheden zijn dit de scheuren die zich het eerst manifesteren. Zij treden verder ook op wanneer de scheurvorming ontstaat ten gevolge van verswakking door opwarming en condensaat en ongelijkmatige droging ten gevolge van dit condensaat en bij ongunstige ondersteuning van de vormling.
- b) Uitwendig zichtbare scheuren die pas aan het eind van het droogproces ontstaan ten gevolge van nakrimp van de bij het drogen te nat gebleven kern. Dat wil zeggen bij de toegepaste droogcondities zijn te grote verschillen in vochtgehalte in de opvolgende lagen ontstaan (te grote vochtgradiënt), waardoor bij de niet meer plastische buitenkant zodanig grote krimp van de kern ontstaat, dat de kern zich van de buitenkant lostrekt. Hierbij ontstaan afhankelijk van de ernst van het geval deuken, haarscheuren en grotere scheuren, terwijl het zelfs mogelijk is dat een bepaald deel van het oppervlak als een slenk naar binnen wordt getrokken.
- c) Scheuren in het inwendige van de vormling die naar buiten toe niet zichtbaar zijn, maar de sterkte van de vormling nadelig beïnvloeden en bij doorbreken van de vormling als scheuren zichtbaar zijn. De minst ernstige vorm is hierbij dat de vormling bij doorbreken, door hem met het midden op een hoekig hard voorwerp te slaan, volgens voorkeurvlakken breekt, dat wil zeggen niet een rechte korrelige breuk vertoont.

De scheurtypen van b) en c) hangen zeer nauw samen met de textuur van de vormling. Het blijkt nu dat het juist niet meer optreden van de rechte, korrelige breuk bij overigens constante omstandigheden (zelfde vormgeving en natteboltemperatuur) zeer scherp met de droogcondities dat wil zeggen het psychrometrisch temperatuurverschil Δt dat de droegkracht van de lucht bepaalt, gecorreleerd is.

Door nu de vormlingen door te breken (foto 5) wanneer ze bij de heersende condities van de drooglucht nagenoeg geen gewichtsverlies meer vertonen, zijn voor elk geval de maximaal toelaatbare condities, waaraan de vormlingen bij het initiaal watergehalte en gedurende de rest van het droogproces kunnen worden blootgesteld, te bepalen. Uit het bovenstaande volgt reeds dat bij dit onderzoek de droogcondities per droogproef constant waren. Bij deze condities behoort een bepaalde droogcurve droogsnelheid $Q = f$ (verdamppt water in % droog gewicht van de vormling: W_d). De curve is voor de verschillende gevallen gekenmerkt door de hoogte van de droogsnelheid in de periode van oppervlakteverdamming (constant rate period). De werkelijke curve vertoont een aanloopverschijnsel, afhankelijk van de temperatuur van de vormlingen bij het eerste contact met de drooglucht en de natteboltemperatuur van die drooglucht (fig. 1).

Door dit verschijnsel weg te denken kan men door extrapolatie, gesteund door de theoretische curve op grond van de oppervlaktekringen gevolge van het verdamppte water, een geïdealiseerde curve vinden die bij het initiaalwatergehalte w_1 een initiale droogsnelheid Q_1 aangeeft. Deze droogsnelheid is nu verder als maat voor de toegepaste droogcondities te gebruiken.

Fig. 1

Hoort een bepaalde Q_1 bij de maximaal toelaatbare droogcondities, dan is deze Q_1 de maximaal toelaatbare initiale droogsnelheid \hat{Q}_1 .

5. Resultaten uitgevoerd onderzoek

Het onder a t/m d⁶ beschreven onderzoek werd uitgevoerd aan vormlingen die vervaardigd werden op een vacuüm-laboratoriumstrengpers, waarbij de worm van de voedingstrop en de worm in de perscilinder in elkaar verlengde liggen. Er is dus geen vacuümvalkamer, maar de klei wordt in dunne strengtjes door het rooster gedrukt en achter het rooster door de worm in stukjes afgesneden.

Deze constructie is voor goede ontluchting van de klei niet al te gunstig en werkt dan ook slechts gunstig onder bepaalde omstandigheden. Bij slappe en kleverige klei bestaat de kans dat de werstjes aan elkaar worden gezeerd, waardoor de ontluchting zeer onvolledig kan zijn. Door verregaande slijtage is slechts met behulp van een grote vacuumpomp een onderdruk van maximaal 680 mm Hg te krijgen. Bij gebruik van de bij de pers behorende vacuumpomp wordt meestal geen beter vacuüm verkregen dan 640 - 650 mm Hg. Deze gegevens zijn van belang voor de bespreking van de resultaten.

De vormlingen waarmee de proeven a t/m d werden uitgevoerd hadden afmetingen van 2,5 x 4 x 12 cm, waarbij 12 cm in de lengterichting van de volle streng (foto 6). Dit type vormling wordt in de Engelse literatuur als "end cut" (batsen voor dakpanfabrikage) aangeduid, i.t.t. "side cut", hetgeen de in Nederland gebruikelijke manier van afnijden voor vfmetselsteen is.

Voor deze proeven werd een vette Groningse strengpersklei (klei A van het supplement) gebruikt, die bij verwerking tot geperforeerde vfmstrengperametselsteen bij kunstmatige droging op laboratoriumschaal bij koude vormgeving, een kortste droogtijd van 4 dagen nodig heeft om tot een aanvaardbaar droogresultaat te komen.

a) Invloed van de temperatuur waarmee de streng uit de pers treedt op de toelaatbare initiale droogsnelheid

De temperatuur van de uitredende streng is het meest eenvoudig te meten. In verband met de mogelijke invloed op de ontluchting zou men eigenlijk de temperatuur van de klei die het rooster passeert moeten worden, terwijl voor de vormgeving de temperatuur vlak vóór en in het mondstuk weer belangrijk is. Aangezien de pers tijdens de vormgeving niet extra werd verwarmd, trad bij toevoer van voorverwarmede klei in het algemeen temperatuurverlies op bij de gang door de pers. Koudbewerkte klei daarentegen, trad ten gevolge van mechanische wrijving-ontwikkeling vrijwel steeds warmer uit de pers dan ze er in ging. Deze omstandigheden vertroebelen enigszins het beeld, dat wil zeggen, bij hogere strengtemperatuur waargenomen verschijnselen behoren eigenlijk bij een

iets hogere temperatuur en de verschijnselen bij lagere temperatuur behoren bij een iets lagere temperatuur. Hierdoor is wel een fenomenologische maar geen numerieke correlatie mogelijk tussen toelaatbare droogsnelheid en strengtemperatuur. Uit de waarnemingen volgt nu dat wel \hat{Q}_1 bij hogere strengtemperatuur t_s toeneemt, maar dat er geen duidelijk verband is met bijvoorbeeld de dampspanning van het water, de adsorptie van lucht aan klei of de oplosbaarheid van lucht in water, bij die temperatuur. Deze grootheden hebben namelijk invloed op de ontluchting van de klei en hiermee op de hydratatie van de kleidelen en de sterkte van de vormling. Verder zou men kunnen correleren met de oppervlaktetensioning en de viscositeit van het aannaakwater. Hoe lager namelijk deze grootheden zijn, hoe beter de bevochtiging kan verlopen, zodat de kleidelen in kleinere eenheden uiteen kunnen vallen en hierdoor beter over de gehele massa verdeeld kunnen worden. Hierdoor neemt ook de sterkte toe, terwijl de plasticiteit verbeterd wordt, waardoor de vormgeving weer gunstiger kan verlopen. Het juistere verdelen van de kleidelen heeft tevens nog consequenties voor het eindprodukt, doordat de kwartskorrels als het ware beter omgeven zijn door de kleimineralen waardoor eerder sintering op kan treden en de gehele vormling ook dichter wordt 1. Hiermee kan verklaard worden waarom men in de praktijk dikwijls vindt dat men iets magerder klei kan verwerken (vooral bij vormbakklei) en het stoken wat gemakkelijker wordt, terwijl een lagere wateropneming kan worden verkregen (meer eerste soort bij straatstenen). Door de hogere temperatuur en de hierdoor geringere oppervlaktetensioning neemt echter ook de treksterkte af. Dit is gunstig voor de ontluchting, doordat de strengtjes in de vacuümkamer gemakkelijker kunnen worden opengescheurd en de lucht dus beter kan ontwijken, maar ongunstig voor de vormgeving. Het bevordert namelijk het ontstaan van draketanden. Dit verschijnsel speelt vooral een rol bij de magerder kleien. In extreme gevallen kan $t_s = 35^\circ \text{C}$ al te hoog zijn. Bij de onderzochte vette klei werd de strengkwaliteit echter t/m de hoogst bereikte temperatuur, ca 70°C , steeds beter. Zie hiervoor ook punt g.5.

Met betrekking tot de invloed van de strengtemperatuur op de toelaatbare initiale droogsnelheid is nu het volgende op te merken. Daar de natteboltemperatuur de vochtgeleidbaarheid van een bepaalde klei bepaalt, dient de invloed van t_n op \hat{Q}_1 onderzocht te worden bij constante natteboltemperatuur t_n . In fig. 2 is voor $t_n = 25^\circ \text{C}$ een lijn getrokken die het gebied met aanvaardbaar resultaat scheidt van het gebied met onaanvaardbaar resultaat. Deze lijn blijkt vrij scherp bepaald te zijn, zodat hieruit de conclusie getrokken mag worden dat bij hogere strengtemperatuur de toelaatbare initiale droogsnelheid toeneemt en wel bij $t_n = 70^\circ \text{C}$ is $\hat{Q}_1 = 6 \text{ g/h/v}$ en bij koude verwerking $\hat{Q}_1 = 4 \text{ g/h/v}$. De verbetering bedraagt dus ca 50 %. Verder blijkt dat verhoging van t_n tot $t_n = 50^\circ \text{C}$ nog weinig effect heeft, terwijl daarboven de verbetering pas goed merkbaar wordt.

De verkregen verbetering in Q_1 betekent nu allereerst dat men bij het begin van het droogproces minder voorzichtig te werk hoeft te gaan. Dit is vooral belangrijk bij kleien die zo gevoelig zijn dat zelfs water moet worden verstoven en de muren natgespoten moeten worden om maar zo snel mogelijk een hoge vochtigheid van de drooglucht te verkrijgen. Wanneer dit achterwege gelaten kan worden, dan is hiermee al aardig wat tijd en geld gewonnen. In ieder geval zou al een groot deel van het zelfs bij sproeien en spuiten nog optredende scheurpercentage kunnen worden voorkomen. De geringere gevoeligheid bij initiaal watergehalte geldt ook gedurende de rest van het droogproces, zodat in totaal, ook bij handhaving van een droogproces op lage natteboltemperatuur, een kortere droogtijd bereikt kan worden. Hierbij geldt uiteraard dat de drooginstallatie over voldoende regelmogelijkheden moet beschikken om de te verkrijgen voordelen en ook inderdaad uit te halen.

b) Invloed van de natteboltemperatuur van de drooglucht op de maximaal toelaatbare initiale droogsnelheid

Het droegen bij hogere natteboltemperatuur heeft als gunstige aspecten een geringer specifiek lucht- en warmteverbruik en een hogere temperatuur van de drogende vorwing. Bij de hogere temperatuur is de viscositeit van water lager en aangezien dit

in de periode van oppervlakteverdamming door stroming naar het oppervlak moet worden gevoerd, kan dit bij hogere temperatuur dus onder invloed van geringere drijvende krachten, zedat bij een bepaalde droogsnelheid een geringere ^{vocht}gradient ontstaat en hiermee geringere krimpverschillen ontstaan. Aangesien de viscositeit veel meer afneemt dan de oppervlaktespanning (waardoor mede de treksterkte wordt bepaald), is dus te verwachten dat bij hogere temperatuur van de vormling hogere droogsnelheden kunnen worden toegelaten dan bij lagere temperatuur. Door nog nader onder c) aan te geven oorsaken kon deze gunstige invloed in het eerder uitgevoerde en gepubliceerde onderzoek 16 naar de invloed t_n van de natteboltemperatuur op \hat{Q}_1 bij koudgevoerde vormlingen uit homogene klei niet worden aangetoond. Door toepassing van warme vormgeving zijn deze oorsaken nu ondervangen en kunnen de gunstige effecten dus wel worden verwacht. In de periode van poriënverdamming dient de waterdamp door diffusie uit het binnenste van de drogende vormling te worden afgevoerd. Door verhoging van de temperatuur van 25 tot 45 °C blijkt de diffusiesnelheid voor waterdamp in lucht nu ca 17 % toe te nemen. Verwacht kan dus worden dat de periode van poriënverdamming bij hogere temperatuur sneller zal kunnen aflopen.

De droogproeven werden nu uitgevoerd bij drie natteboltemperaturen en wel 25, 45 en 70 °C. Een $t_n = 25$ °C wordt aangetroffen in drogerijen zonder luchtverhitters en recirculatie van vochtige lucht: eenvoudige kamer- en tegenstroomtunneldrogerijen ($t_n = 25 - 30$ °C). $T_n = 45$ °C is bereikbaar door gerecirculeerde vochtige lucht door middel van luchtverhitters weer op te warmen: moderne kamerdrogerijen en meer uitgebreide tunneldrogerijen. $T_n = 70$ °C wordt nog zelden aangetroffen doordat deze temperatuur slechts bereikt kan worden wanneer een minimum direct gebruik wordt gemaakt van ovenafvalwarmte (specifiek luchtverbruik van ca 3 kg droge lucht/kg te verdampen water). Een gelijkstroomtunneldrogerij vertoont deze temperatuur als regel op het eind van het droogproces. Hierbij wordt echter ook praktisch alle warmte door middel van luchtverhitters toegevoerd. Deze temperatuur is dan ook gekozen om na te gaan wat maximaal mogelijk is en om een derde punt te hebben teneinde een correlatie tussen \hat{Q}_1 en t_n mogelijk te maken.

Eveneens in fig. 2 zijn de resultaten van de droogproeven bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ en $t_n = 70^\circ\text{C}$ als punten aangegeven. Om de reeds gemoreerde redenen zijn geen punten gegeven voor strengtemperaturen die veel lager zijn dan t_n .

De getrokken lijnen die tenslotte het verband aangeven tussen \hat{Q}_1 en t_n wanneer zich geen opwarmoeilijkheden zouden voordoen bij vormlingen waarbij $t_n \leq t_n$, zijn nu als volgt geconstateerd. Wanneer de stroming zuiver door capillaire krachten zou plaatshebben, dan volgt uit de wet van Hagen-Poiseuille voor laminaire stroming in een capillair, dat de stroomsnelheid evenredig is met $\frac{1}{\eta}$, waarin σ = oppervlaktetension van het water en η = dynamische viscositeit van het water. Geschiedt de stroming echter onder invloed van osmotische krachten ten gevolge van ontstane concentratieverschillen, dan zijn deze concentratieverschillen dus de drijvende krachten en wordt de stroomsnelheid bij gegeven concentratieverschil slechts bepaald door de weerstand van het systeem en de inwendige wrijving (viscositeit) van het stromende water. Bij een gegeven weerstand van het systeem, is de stroomsnelheid ten gevolge van het heersende concentratieverschil dan slechts afhankelijk van de viscositeit en wel omgekeerd evenredig hiernaes. Ook in dit geval kan dus verwacht werden dat bij hogere temperatuur van de vormling een hogere droogsnelheid toelaatbaar zal zijn. Stelt men het gehele mechanisme nu eenvoudig één-dimensionaal voor, dan is de stroomsnelheid van het water rechtevenredig met de droogsnelheid, zodat dus ook het ten gevolge van weerstand tegen stroming van het systeem en de viscositeit van het water ontstane concentratieverschil (vochtgradiënt) rechtevenredig is met de droogsnelheid en hiernaes weer de ontstane spanningen. Tenslotte kan dus verwacht worden dat \hat{Q}_1 evenredig zal zijn met ofwel $\frac{1}{\eta}$ ofwel $1/\eta$.

Teneinde na te gaan welke evenredigheid kan worden aangenomen, worden de volgende punten bestudeerd, zijnde de punten die het meest scherp bepaald zijn.

$$\begin{array}{l} \text{Bij } t_n = 46^\circ\text{C} \text{ is voor } t_n = 25^\circ\text{C} \left. \begin{array}{l} \hat{Q}_1 = 4,5 \text{ g/h/v} \\ \hat{Q}_1 = 7,2 \text{ g/h/v} \end{array} \right\} \frac{\hat{Q}_1 \cdot 45}{\hat{Q}_1 \cdot 25} = \frac{7,2}{4,5} = 1,6 \\ \text{Bij } t_n = 60^\circ\text{C} \text{ is voor } t_n = 25^\circ\text{C} \left. \begin{array}{l} \hat{Q}_1 = 5,3 \text{ g/h/v} \\ \hat{Q}_1 = 11,5 \text{ g/h/v} \end{array} \right\} \frac{\hat{Q}_1 \cdot 70}{\hat{Q}_1 \cdot 25} = \frac{11,5}{5,3} = 2,2 \end{array}$$

Bij $t_s = 67^\circ\text{C}$ is voor $t_n = 25^\circ\text{C}$ $\hat{Q}_1 = 5.7 \text{ g/h/v}$ $\hat{Q}_{1,70} = \frac{13}{5.7} = 2.3$
 en voor $t_n = 70^\circ\text{C}$ $\hat{Q}_1 = 13 \text{ g/h/v}$ $\hat{Q}_{1,25} = \frac{13}{5.7} = 2.3$

en zullen voor het water in de klei zeker andere waarden bezitten (opgeloste zouten, adsorptieve bindingen) dan zuiver water (fig. 3). Het is echter waarschijnlijk dat dezelfde afhankelijkheden van de temperatuur zullen gelden, zodat in de verhoudingen wel met de waarden voor zuiver water gerekend kan worden.

$$\text{Nu is } \frac{1 / t_n = 45^\circ\text{C}}{1 / t_n = 25^\circ\text{C}} = \frac{11.450}{8.050} = 1.42$$

$$\frac{1 / t_n = 45^\circ\text{C}}{1 / t_n = 25^\circ\text{C}} = \frac{1/0.60}{1/0.90} = \frac{0.90}{0.60} = 1.50$$

$$\text{en } \frac{1 / t_n = 70^\circ\text{C}}{1 / t_n = 25^\circ\text{C}} = \frac{15.580}{8.050} = 1.97$$

$$\frac{1 / t_n = 70^\circ\text{C}}{1 / t_n = 25^\circ\text{C}} = \frac{1/0.40}{1/0.90} = \frac{0.90}{0.40} = 2.25$$

Vergelijking met de verhoudingen voor \hat{Q}_1 leert nu dat de evenredigheid met $1/$ beter klopt, dan die voor $/$.

Dit is vooral duidelijk bij $t_n = 70^\circ\text{C}$.

Door nu met $1/$ te rekenen zijn de lijnen voor $t_n = 45^\circ\text{C}$ en $t_n = 70^\circ\text{C}$ te construeren.

Wanneer deze evenredigheid nog bij andere kleien en voralingen aangetoond zou kunnen worden, dan zou hiermee een belangrijk middel gevonden zijn om te kunnen voorspellen wat het effect zou zijn van het toepassen van een hogere natte boltemperatuur.

Uit het bovenstaande blijkt wel heel duidelijk dat de winst door drogen bij hogere natte boltemperatuur (althans bij geëvacueerde strengpersproducten) aanzienlijk groter is dan door stomen alleen wordt verkregen. Helaas is de winst door drogen bij hogere natte boltemperatuur i.h.a. alleen te behalen wanneer de vormlingen ook inderdaad uit warme klei worden gevormd.

Echter is de winst dan ook weer extra hoog!

In fig. 3 zijn de droogcurven gegeven die de vormlingen vertonen bij droging onder constante, maximaal toelaatbare droogcondities van de drooglucht. Hierbij is curve 1 die voor vormgeving bij lage temperatuur en droging op een laag natte boltemperatuurniveau. Kennelijk werden de vormlingen niet nagenoeg de temperatuur van de natte thermometer in de drogerij geplaatst. De bij 70°C vervaardigde en bij die temperatuur in de drogerij geplaatste vormlingen vertonen zeer hoge, snel afnemende droogsnelheden t.g.v. het grote verschil in dampspanning van het oppervlak van de vormling en in de drooglucht. Bij de natte boltemperatuur van 70°C blijkt dat het oppervlak van de vormling kennelijk toch al iets was afgekoeld. De opwarming verloopt echter snel. De stippellijnen geven aan hoe de initiale droogsnelheid wordt gevonden.

Het restwatergehalte van de bij lage temperatuur vervaardigde vormlingen bedroeg 4,5% dr.st. tegen dat van de bij 70°C vervaardigde vormlingen 35%. T.g.v. het 4% dr.st. lagere aanmaakwatergehalte van de bij 70°C vervaardigde vormlingen eindigt de droogcurve eerder. Ook hierdoor is de totale droogtijd dus korter.

c) Invloed van de temperatuur van de vormling waarbij deze in droging wordt genomen, op het gedrag van de vormling i.v.m. de condities van de drooglucht.

Er zijn hierbij verschillende gevallen te onderscheiden:
 - de vormling wordt met een temperatuur gelijk aan of ten naaste bij gelijk aan de strengtemperatuur t_s in de droogruimte geplaatst.

- de vormling wordt na de vormgeving afgekoeld tot omgevingstemperatuur en vervolgens in de drogerij geplaatst. Hierbij doen zich nog de volgende mogelijkheden voor:

- de natte boltemperatuur t_n is lager dan de temperatuur t_v van de vormling.

De vormling zal nu onder hoge, snel afnemende droogsnelheden afkoelen tot t_n , waarna het droogproces geheel verloopt als overeenkomt met de droogcondities en de aard van vormling en klei. Bij de hoge droogsnelheden in het eerste begin van de afkoeling bestaat de mogelijkheid dat scheurvorming optreedt. Dit is te voorkomen door de vochtigheid van de lucht hoger te kiezen of de luchtbeweging af te remmen. Aangesien de vochtgradient echter nog gevormd moet worden en als drijvende kracht voor het watertransport bovendien nog de thermodiffusie werkt kunnen gedurende korte tijd zeer hoge droogsnelheden verdragen worden (fig. 1, lijn a).

- t_n is gelijk aan t_n : de vormling begint direct te drogen met een door de condities bepaalde droogsnelheid. Bij de vormgeving van de vochtgradient vermindert a.h.w. het effectief geëxposeerd oppervlak (gedeeltelijk verdamping in de poriën), zodat de droogsnelheid na enige tijd zich toeh op een lager niveau instelt.

- t_n is hoger dan t_v : hierbij kan t_v nog weer gelijk aan of hoger of lager zijn dan de dauwpuntstemperatuur. In de eerste twee gevallen zal de vormling zich onder aanvankelijk minder anelle droging opwarmen tot t_n . Is t_v echter lager dan de dauwpuntstemperatuur, dan treedt een extra complicatie op in de vorm van condensatie. Dit effect kan nadelig werken doordat het condensaat bij ongelijkmatige droging van de vormling ongelijkmatig verdamppt en hierdoor weer een extra ongelijkmatige belasting ontstaat. Bij overmatige condensatie kan het condensaat zelfs uitzakken en zich op bepaalde plaatsen verzamelen, waar het op de klei kan inwerken, waarbij deze week wordt en geringere spanningen kan verdragen. In ieder geval treedt ook hierbij weer een ongelijkmatige spanningsverdeling op. Het is duidelijk en ook experimenteel gevonden dat hier veel afhangt van de klei en de geometrische vorm van de vormling. [16]

Krijgt de vormling bij de opwarming tot t_n een hogere temperatuur dan waarmee hij de pers verlaten heeft, dan ontstaan bovendien nog extra opwarmspanningen. Deze worden veroorzaakt door de expansie van water, reeds als belletjes aanwezige lucht en de lucht die t.g.v. de geringere oplosbaarheid van lucht in water bij hogere temperatuur vrij komt. Inhomogene vocht- en luchtverdeling versterkt het effect in niet geringe mate. Bovendien bevindt zich tussen de in de strengpers ontstane en op elkaar gedrukte textuurvlakken extra veel water, zodat bij temperatuurverhoging de mogelijkheid bestaat dat deze vlakken uit elkaar worden gedrukt, in ieder geval een extra zwak punt ontstaat. Het is duidelijk dat door deze effecten wanneer eenmaal vacuum wordt toegepast ook een zeer goede ontluchting gewenst is. Bij minder goede ontluchting krijgt men meer en minder ontluchte en dus ook meer of minder verdichte plaatsen. Dit blijkt voor het kunstmatig drogen tenslotte nadeliger te zijn dan helemaal geen ontluchting; helaas is echter zonder ontluchting in het algemeen niet het gewenste product bij de gewenste productiesnelheid te verkrijgen.

Bij het onderzoek bleek nu dat de als bovenbeschreven, bij lage temperatuur vervaardigde vormlingen de opwarming tot 45°C d.m.v. condensatie niet goed verdroegen. Op geen enkele wijze waren dese vormlingen heel te houden. Een vette klei uit Zuid-Frankrijk (klei C) ondervond hiervan echter geen nadelige gevolgen.

De bij $t_n = 45^{\circ}\text{C}$ en hoger vervaardigde en voorafgekoelde vormlingen verdroegen de opwarming echter goed, d.w.z. Q_1 werd er niet nadelig door beïnvloed. De afkoeling werd hierbij onder plastic uitgevoerd teneinde geen neveneffecten als versteviging door voorafgaande verdamping in te voeren. Opwarming bij $t_n = 70^{\circ}\text{C}$ gaf echter een zo sterke condensatie dat hierdoor, mede door de hoge temperatuur, wel verveking moest optreden.

Door $Q_1 = 7 \text{ g/h/v}$ te kiezen konden de bij $t_g = 70^\circ\text{C}$ vervaardigde vormlingen echter na voorafgaande afkoeling ook bij $t_n = 70^\circ\text{C}$ vervaardigde vormlingen echter na voorafgaande afkoeling ook bij $t_n = 70^\circ\text{C}$ worden gedroogd. Hierbij werden zeer sterke vormlingen verkregen. Na volledige verdamping van het condensaat kon de droog snelheid weer aanzienlijk worden opgevoerd.

Deze resultaten zijn van groot belang voor de toepassing van warme vormgeving in de praktijk. Immers, het zal in de praktijk bijna nooit gelukken om afkoeling door verdamping geheel te vermijden.

Bij continu werkende tunneldrogerijen zal volledige afkoeling van de vormlingen die pas 's-nachts en in het weekeinde in droging genomen worden zelfs als regel voorkomen, terwijl men bij kamerdrogerijen ook niet direct het gewenste natte boltemperatuur niveau kan instellen. Het is dan noodzakelijk te weten of de verbetering van de droogeigenschappen ook geldt wanneer eerst volledige afkoeling heeft plaatsgehad. Dit blijkt althans bij onder toepassing van vacuüm vervaardigde strengpersvormlingen het geval. Door de reeds verdampte hoeveelheid water zal bovendien nog versterking optreden, zodat \hat{Q}_1 weer iets hoger kan liggen althans wanneer het criterium wordt gevormd door het optreden van uitwendige scheuren in de nog plastische klei. Blijft echter wel gehandhaafd, dat \hat{Q}_1 in hoge mate door t_n beheerst wordt. Wanneer de hogere t_n dus niet snel bereikt kan worden, dient de opwarming dus toch nog wel voorzichtig te gebeuren, hoewel dit bij stijgende t_n onder steeds toenemende droog snelheden kan. Bij ernstige afkoeling van $50^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}$ door verdamping, verliest de vormling ca. 1,5% van zijn droog gewicht. Dit levert een rendement voor het warmteverbruik op dat ongeveer gelijk is aan dat van een kunstmatige drogerij. Het feit dat warme vervaardigde vormlingen opwarming door condensatie beter kunnen verdragen dan koud vervaardigde vormlingen, houdt tevens in dat men hierdoor verliezen ontstaan door condensatie kan voorkomen en bij tunneldrogerijen.

Waarbij de opwarming geschiedt doordat bijv. een derde deel van de lengte als gelijkstroombrogerij is uitgevoerd (afzuiging vochtige lucht op ca. een derde deel van de lengte vanaf het koude eind), dit gelijkstroombrogerij nu tot tegengestroomdroging kan worden omgebouwd waarbij men direct al met behoorlijke snelheid kan beginnen te drogen, zodat de capaciteit van de droging niet onbelangrijk kan worden uitgebreid of de doorschuifnelheid verhoogd, waardoor op drogerijwagens kan worden bespaard. Om een hogere beginsnelheid te kunnen behalen is dan uiteraard nodig dat de droogkracht van de lucht aan het natte eind van de tunnel nog voldoende groot is. Dit is te bereiken door de hoeveelheid doorstromende lucht te vergroten. Door nu de vochtige lucht van een deel weer naar het droge eind te leiden, wordt een hogere natteboltemperatuur bereikt, terwijl mede door de hogere natteboltemperatuur en de recirculatie van de vochtige lucht het specifiek warmte- en luchtverbruik gelijk blijft of zelfs lager wordt. De gerecirculeerde lucht moet echter wel door middel van een luchtverhitter worden opgewarmd.

d) Invloed van de wijze waarop de hogere temperatuur van de klei bereikt wordt.

In de literatuur wordt dikwijls grote waarde gehecht aan het directe contact tussen klei en stoom. Speciaal bij toepassing van over verhitte stoom zou een gunstig effect verkregen worden. Dit zou dan hierin bestaan dat de stoom niet direct op de buitenkant van een te bevochtigen brokje klei condenseert, maar hierin eerst als damp doordringt en dan binnenin het brokje te condenseren een extra goede bevochtiging zou geven [8]. Hierbij zal dan tevens, doordat bij het binnendringen van de stoom lucht is uitgedreven, bij het condenseren een vacuümholte achterblijven. Deze kunstmatige

zou het drogen later ten goede komen. Een dergelijk ontluuchtend effect kan echter moeilijk worden aangetoond omdat de lucht die op de ene plaats eventueel wordt uitgedreven op een andere plaats weer wordt ingekneed.

De betere bevochtiging zou tot uitdrukking moeten komen in extra verbetering van bijv. de droogeigenschappen.

Nu was voor het hier beschreven onderzoek slechts verzadigde stoom beschikbaar die onder 0,5 ato. in de planeetmenger werd geblazen. Deze stoom was bovendien niet al te droog.

Getracht werd nu op de volgende wijze verschil in droogeigenschappen te verkrijgen. Gepoederde klei werd in een droogstoof tot 105°C verhit, vervolgens in de droge, voorverwarde planeetmenger gestort en ofwel met stoom ofwel met heet water plastisch gemaakt. Bij de toevoeging van water werden direct kluitjes gevormd (het water werd gewoon in een straaltje toegevoerd. Bij de stoombehandeling duurde de bevochtiging zeer lang doordat slechts condensatie kon plaatsvinden door warmteafgifte naar de omgeving. Hierdoor bleef de klei zeer lang in poedervorm aanwezig en werd dus bij ca. 100°C onder voortdurende menging langzaam bevochtigd. Dit mag een optimale bevochtiging genoemd worden. Door na het bereiken van de gewenste plasticiteit de menger te laten doordraaien, kon door warmteafgifte naar de omgeving en door verdamping de temperatuur verkregen worden die ook bij de toevoeging van het water werd bereikt.

Als resultaat van deze proeven kan vermeld worden, dat op geen enkele wijze bleek dat de droogeigenschappen door stoominwerking extra verbeterd waren t.a.v. de verbetering verkregen door andere verwarming. Ook wanneer van reeds plastische, echter stijve klei werd uitgegaan, werden dezelfde gunstige droogeigenschappen bereikt. Besloten kan dus worden, dat de verbeteringen van de eigenschappen niet aan enige inwerking van de stoom, doch slechts aan de bereikte hogere temperaturen tijdens de vormgeving te danken zijn. De betekenis van deze conclusie is dat men dan net zo goed met indirecte verwarming kan werken op plaatsen waar de klei te nat is om nog extra vocht uit de condenserende stoom toe te kunnen laten. De gunstige resultaten die d.m.v. indirecte verwarming in Nederland [6] bij vormbak- en in Duitsland [17] bij strengpersklei bereikt

vorden (gecombineerd met direct contact met stoom, bevestigen dit.

- e) Invloed van de temperatuur van de streng en de natteboltemperatuur bij het drogen op de toelaatbare initiale droogsnelheid bij vormlingen van ander formaat of type dan de vormlingen gebruikt bij het bovenbeschreven onderzoek, bij hetzelfde of een ander criterium voor de beoordeling van het droogresultaat.

Op dezelfde pers als waarop de vormlingen 2,5 x 4 x 12 cm voor het onder a t/m d beschreven onderzoek werden vervaardigd, werden nu vormlingen van hetzelfde type geperst, waarbij de afmetingen echter 3 x 6 x 12 cm waren. (foto 6) Door de ongunstiger verharding oppervlak/inhoud wordt \hat{Q} niet in verhouding tot het oppervlak groter, terwijl bovendien de textuur van de vorm van de pers minder vervormd wordt. Ook hierdoor zal deze vormling in verhouding gevoeliger zijn. Tevens werd een ander Groningse klei gebruikt. Deze klei B van het supplement was weliswaar van overeenkomstig type maar iets vetter en ook minder prettig te verwerken doordat ze sterk kleefde. Deze klei werd zowel koud als warm ($t_s = 50^\circ\text{C}$) verwerkt en de vormlingen werden zowel bij $t_n = 25^\circ\text{C}$ als bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ gedroogd.

Ook bij deze vormlingen en deze klei bleek het criterium voor een al dan niet aanvaardbaar droogresultaat te zijn het optreden van inwendige scheuren. Bij $t_n = 25^\circ\text{C}$ en koude verwerking bleek voor dit criterium $\hat{Q}_1 = 5,5 \text{ g/h/v}$. Opwarming door condensatie bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ werd ook in dit geval niet verdragen (zie c).

Bij warme vormgeving bij $t_s = 50^\circ\text{C}$ en droging bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ bleek $\hat{Q}_1 = 9 \text{ g/h/v}$. Deze verbetering is bereikt door de lagere viscositeit en venetueel door gunstiger vormgeving. T.g.v. de lagere viscositeit zou $\hat{Q}_1, t_n = 45^\circ\text{C} = \frac{0,60}{0,40} \times 5,5 = 8,25 \text{ g/h/v}$. Hierbij dient wel bedacht te worden dat de bepaling van \hat{Q}_1 niet voldoende nauwkeurig is om \hat{Q}_1 nauwkeuriger op te geven dan afgerond op 0,5 g/h/v.

Past men bij het initiaal watergehalte hogere droogsnelheden toe dan de bovenstaande waarden voor \hat{Q}_1 , dan treedt bij een bepaalde waarde nog in de periode van oppervlakteverdamming

uitwendige scheurvorming op. Voor dit criterium vindt men bij $t_n = 25^\circ\text{C}$ $\hat{Q}_1 = 8 \text{ g/h/v}$ en bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ $\hat{Q}_1 = 12 \text{ g/h/v}$. De verbetering is voor dit criterium dus 1,5 maal en kan dus veroorzaakt zijn t.g.v. de lagere viscositeit van het water. Kennelijk heeft de vorageving bij hogere temperatuur geen effect op het ontstaan van uitwendige scheuren bij geëvacueerde strengpersproducten, tensij de bepaling niet scherp genoeg is om dit effect te kunnen aanwijzen, In elk geval is dit effect niet groot. Ook bij een magere strengpersklei werd bij verwerking bij $t_n = 50^\circ\text{C}$ en droging bij $t_n = 25^\circ\text{C}$ geen enkele verbetering gevonden voor de droogsnelheid waarbij nog juist geen uitwendige scheuren optraden. Men kan dit geval nu zo zien dat deze uitwendige scheuren ontstaan wanneer de spanningen op een bepaald punt hoger zijn dan de treksterkte ter plaatse. Kleine inhomogeniteiten als kalkpitjes en grofsand of sandophingen vormen nu wanneer zij toevallig in een ribbe van een vormling liggen, ter plaatse een onderbreking van het verband waardoor geringere spanningen op deze plaatsen voldoende zijn om scheurvorming te veroorzaken. Door vorageving bij hogere temperatuur worden de harde inhomogeniteiten niet opgelost, zodat bij dezelfde spanning toch scheurvorming optreedt. Werden bij koude vorageving de inhomogeniteiten gevormd door onvoldoende geweekte kleipitten, dan bestaat natuurlijk wel de kans dat deze bij hogere temperaturen voldoende verveken om fijngeveven te kunnen worden, zodat dan wel een verminderde scheurgevoeligheid bereikt kan worden. Dit hangt echter geheel af van de omstandigheden. Droging bij hogere natteboltemperaturen resulteert weer in beter stromen van het water waardoor bij dezelfde droogsnelheid geringere spanningen ontstaan ofwel bij dezelfde maximaal op te nemen spanning een hogere droogsnelheid kan worden toegepast.

Dese waarnemingen bevestigen dus de onder b) toegepaste theorie, waardoor deze met meer zekerheid in de praktijk gehanteerd kan worden. In het bijzonder is ook meer zekerheid verkregen over de toepasbaarheid van de theorie op de scheuren die nog in de periode van oppervlakteverdamming ontstaan op de inhomogeniteiten en de plaatsen waar vanwege de vorm van de vormling de spanningen maximaal uitwerken (kerfwerking).

Op een inmiddels aangeschafte andere laboratoriumstrengpers (foto 7) die wel van een vacuumkaner voorzien is, waarbij bovendien de uit het rooster tredende dunne strengetjes in ca. 1 mm-dunne plakjes worden uitgesmeerd en waarbij regelmatig een vacuum van $0,98 \text{ kg/cm}^2$ onderdruk wordt verkregen, werden nu vormlingen $2,5 \times 4 \times 12$ cm voorzien van 2 kanalen $1 \times 1,2 \times 12$ cm (type "Langloch") vervaardigd (foto 6) en wel uit 3 uiteenlopende kleien.

Bij koude verwerking van de klei B en droging bij $t_n = 25^\circ\text{C}$ werd gevonden $\dot{Q}_1 = 10 \text{ g/h/v}$. Opwarming bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ door condensatie werd ook in dit geval niet goed verdragen. Verwerking bij $t_n = 50^\circ\text{C}$ en droging bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ leverde op $\dot{Q}_1 = 16,5 \text{ g/h/v}$. Bij dit type vormling wordt het criterium voor aanvaardbaar droogresultaat gevord door het al dan niet optreden van een scheur in de langsrichting van de vormling in het "tussenschot" (wand tussen de twee kanalen). Het optreden van deze scheur wordt veroorzaakt door het in droging achterblijven van het tussenschot, doordat vanwege de vrij grote weerstand van de kanalen de hoeveelheid doorstromende lucht aansienlijk geringer is en bovendien sneller in droogkracht afneemt doordat in elk kanaal aan 4 wanden vocht opgenomen kan worden, dan aan de buitenkant van de vormling langsstromende lucht. Hierbij wordt ook via de contactplaatsen van de tussenwand met de buitenwanden van de vormling water afgevoerd, waarbij ook in de breedte van tussenwand een vochtgradient ontstaat.

Hierdoor verhardt de klei van de tussenwand op de kontaktplaats sneller dan de klei van het midden, zodat dit midden de zwakke plaats is waar de trekspanning bij overschrijden van de treksterkte tot scheurvorming kan leiden. Daar het verschil in droging tussen uitwendige en invendige wanden bij strengere droogcondities toeneemt, is er een maximale droogsnelheid aan de wijzen waarbij nog juist geen scheurvorming optreedt.

Hogere vochtgeleidbaarheid van het materiaal ofwel lagere viscositeit van het water verkleinen het verschil in droging, zodat \hat{Q}_1 i.h.a. hoger zal zijn naarmate het materiaal nagerder is of de temperatuur van de vormling hoger. Kennelijk is dit laatste hier het geval. Bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ kan verwacht worden $\hat{Q}_1, t_n = 45 = 15 \text{ g/h/v.}$ zodat nog $1,5 \text{ g/h/v}$ overblijft voor toename van de sterkte door verwerking bij hogere temperatuur. Van een klei uit Zuid Frankrijk (klei C van supplement) waar grote zeer dunwandige holle bouwstenen van gemaakt worden, die na vorageving bij ca. 60°C in een tegenstroomtunneldroog-inrichting in 2 à 3 uur gedroogd worden [7, 13, 20] was juist voldoende klei aanwezig om koud te verwerken (bij warme vormgeving is in het laboratorium meer klei nodig). Bij $t_n = 25^\circ\text{C}$ bleek $\hat{Q}_1 = 17,5 \text{ g/h/v.}$ Scheurvorming bleek hierbij op dezelfde wijze plaats te vinden als bij de vormlingen uit klei B. Deze klei bezit dus dermate gunstige droogeigenschappen dat ze ca. 75% strengere droogcondities kan verdragen dan de Groningse klei bij overeenkomstige verwerking. Hierbij komt dan nog een ca. 5-6% lager aanmaakwatergehalte, zodat deze klei aanzienlijk kortere droogtijden toestaat. Een andere merkwaardigheid is dat vormlingen uit deze klei opwarming door condensatie bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ zonder nadelige gevolgen kan verdragen, dit in tegenstelling tot de vormlingen uit Groningse klei.

Helaas komt het voordeel van de hogere vormlingtemperatuur er niet volledig uit. Gevonden werd nl. bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ $\hat{Q}_1 = 20 \text{ g/h/v.}$ Dit is dus minder dan de verwachte $\hat{Q}_1 = 1,5 \times 17,5 = 26 \text{ g/h/v.}$ Aangesien hiervoor een aannemelijke verklaring is te geven, behoeft het gevonden resultaat geen twijfel te wekken aan de theorie betreffende de invloed van de lagere viscositeit bij hogere vormlingtemperatuur op \hat{Q}_1 . Het condensaat slaat ook in de kanalen van de vormling neer en kan hieruit moeilijker verdampen dan het aan de buitenkant neergeelagen condensaat. Hierdoor ontstaat een extra ongelijkmatigheid in de droging, waardoor een te grote trekspanning in het midden van de tussenwand ontstaat op een moment dat daar nog onvoldoende versterking heeft plaatsgevonden om die spanning te kunnen opnemen.

Wordt direct van een warme vormling uitgegaan, dan treedt de extra ongelijkmatige droging niet op en kan dus een strengere droogconditie verdragen worden. Zoals reeds vermeld werd, kon deze proef echter helaas niet worden uitgevoerd. Merkwaardig is verder dat de buigsterkte gemeten aan op een vacuumstrengpers vervaardigde ronde proefstaafjes met in natte toestand een diameter van 12 mm ca. 95 kg/cm^2 bedroeg tegenover de Groningse klei ruim 175 kg/cm^2 . Dit betekent dat deze klei ook veel geringere spanningen kan opnemen, zodat besloten kan worden dat de vochtgeleidbaarheid van deze klei aanzienlijk beter moet zijn dan de vochtgeleidbaarheid van de Groningse klei. Verder bleek dat bij verwerking tot een volle vormling $2,5 \times 4 \times 12$ cm althans op de voor dit onderzoek ter beschikking staande persen een dermate slechte textuur te ontstaan, dat deze ook bij de geringste droogsnelheid nog sterk tot uitdrukking kwam door het optreden van scheurtjes op de kop en in een niet aanvaardbare breuk. Het merkwaardige is echter dat bij direct plaatsen van een verse volle-vormling in een droogstoof bij 105°C dit verscheijnsel nauwelijks toeneemt en ook verder geen scheuren ontstaan, terwijl de Groningse klei zich uitstekend laat vervormen en bij plaatsing in 105°C zo sterk scheurt dat de vormling in stukken uiteen valt. Op grond van deze ervaringen kan worden aangenomen dat bij verwerking tot een hol product met dunne wanden en wijde kanalen waardoor flink veel lucht kan doorstromen inderdaad zeer strenge droogcondities kunnen worden verdragen en snelle droging dus ook reeds mogelijk is bij koude verwerking. De verwerking bij hoge temperatuur als in Frankrijk gebeurt, verbetert dan zeer waarschijnlijk in aanzienlijke mate de plasticiteit waardoor het watergehalte nog enige procenten kan worden gedrukt [7] , terwijl de hoge temperatuur ervoor zorgt dat de droging direct met maximale snelheid op iedere plaats van de vormling kan beginnen, zodat geen tijd wordt verloren aan opwarming en de hieraan inherente ongelijkmatige droging wordt voorkomen.

Uit de in het supplement gegeven analyseresultaten blijkt, dat de Zuid-Franse klei geen kadmium is zoals wel eens is verondersteld, maar z'n goede droegeigenschappen dankt aan het ontbreken van de zwellende illiet die in de Groningse klei: rijkelijk aanwezig is. De Franse bezit in plaats hiervan hoofdzakelijk niet-zwellende mica. Dit zwellen komt tot uitdrukking in bijv. de lineaire uitzetting bij vochtadsorptie (waarmee schade van droge vormlingen door vocht-opneming uit de lucht is gecorreleerd) en wanneer een droge vormling water opzuigt (zie foto).

Dat de Franse klei ook gemakkelijker water afstaat blijkt uit het lagere watergehalte bij dezelfde pF (waterspanning).

Omgekeerd blijkt bij het op consistentie brengen van de klei de Franse klei: veel gemakkelijker water aan te nemen, dan de Groningse klei. In de laatste komen dan ook snel pitten voor. Klei D van het supplement is een klei uit Noord Limburg die tot holle bouwsteen verwerkt wordt. Deze klei bleek kwa gehalte slechts iets lager te liggen dan de Franse klei en kwa watergehalte en specifiek oppervlak nagenoeg gelijk te liggen. Het werd interessant geacht na te gaan in hoeverre deze klei op de Franse klei leek. Gevonden werd nu dat de droegeigenschappen van de klei D dermate gunstig zijn dat de "Langloch"-vormlingen direct in een droegstoof bij 105°C geplaatst konden worden zonder dat scheurvorming optrad. In de drogerij bleek opwarming bij $t_n = 45^\circ\text{C}$ door condens uittekend te worden verdragen terwijl bij de maximaal instelbare condities van een droge boltemperatuur van 100°C en een natte boltemperatuur van 45°C werd behaald $Q_1 = 32,5 \text{ g/h/v}$. Hierbij trad nauwelijks enige scheurvorming aan de kop op. Het eerder gehanteerde criterium werd dus niet bereikt, terwijl de vormlingen ook op grond van de kopscheurtjes nog geheel aanvaardbaar werden bevonden. Bij de benodigde grote droogkracht kon $t_n = 25^\circ\text{C}$ niet bereikt worden. Bij $t_n = 32^\circ\text{C}$ bleek bij $Q_1 = 30 \text{ g/h/v}$ onaanvaardbare scheurvorming aan de kop te ontstaan, waarbij de scheur in de tussenwand echter nog niet optrad.

Hoewel dus blijkt dat de hogere natte baltemperatuur ook hier gunstig werkt, kan dus moeilijk worden nagegaan in hoeverre de viscositeitsverlaging een rol speelde. Overigens blijkt wel heel duidelijk dat deze klei uitstekende droogeigenschappen besit die zelfs nog gunstiger zijn dan die van de Franse klei. Aangesien de buigsterkte van klei D 130 kg/cm^2 bedraagt en zich goed laat vervormen is er voorlopig geen enkele reden om aan te nemen dat van deze klei niet dezelfde holle producten als in Frankrijk gemaakt kunnen worden, waarna eveneens de zeer snelle droging kan worden toegepast en dezelfde voordelen van automatisering kunnen worden bereikt [18, 20] .

f) Invloed van de vormgevingstemperatuur op de mate waarin de textuur tot uitdrukken kan komen en nadelig kan werken bij het kunstmatig droogproces.

Bij de proeven als onder e) beschreven, waarbij verse vormlingen in verzadigde atmosfeer werden bewaard teneinde uitdrogen te voorkomen, werd een verschijnsel ontdekt dat nog niet eerder in de literatuur beschreven werd gevonden, doch dat inmiddels ook reeds in de praktijk werd aangetroffen (foto 7). Het betreft het verschijnsel dat bij het bewaren van verse vormlingen in verzadigde atmosfeer onder bepaalde omstandigheden na verloop van door de omstandigheden bepaalde tijd, een kwaliteitsvermindering van de vormlingen optreedt. Deze kwaliteitsvermindering houdt in een aanzienlijke verhoging van de scheurgevoeligheid, waardoor soms in het geheel geen scheurvrije droging bij nog redelijke droogsnelheid meer mogelijk is, verminderen van de plastische vervormbaarheid en bij voortschrijdende kwaliteitsvermindering het optreden van inwendige scheuren (foto 8). Deze scheuren komen tot uitdrukking wanneer de nog plastische vormling wordt doorgebroken (hetgeen mogelijk is doordat er geen plastische vervorming bij buigbelasting meer optreedt), maar ook wanneer de vormling na voorzichtige, uitwendig scheurvrije droging, wordt doorgebroken. De scheuren komen in de "end out" volle vormlingen in alle richtingen voor en zijn zeer verschillend van lengte. Bij nadere bestudering blijken de spleten de overdwarse doorsnede te zijn van eerst met

Kon de, 21. 11. 1954. De verschijnsel is bekend uit de literatuur.

elkaar in contact geweest zijnde vlakken die later hebben losgelaten. De vlakken blijken veelal rond te zijn en komen in grootte variërend van dubbeltjes, kwartjes tot en met rijksdaalders voor. Om deze reden heeft het verschijnsel inmiddels de populaire benaming "kwartjesstructuur" gekregen. De aard van het verschijnsel is nog niet geheel duidelijk en het onderzoek past ook beter in het onderwerp "Textuur". Echter kan met betrekking tot vorageving bij verschillende temperaturen het volgende worden opgemerkt.

Bij verwerking op de pers die bij het onderzoek a) t/m d) gebruikt werd en die, zoals gezegd, geen al te gunstige ontluchting geeft, bleek bij koude verwerking van de klei A bij een vacuum van ca. ^{0,30} 660 mm Hg zowel in volle vormlingen 2,5 x 4 x 12 cm als in volle vormlingen 3 x 6 x 12 cm binnen enkele uren de plastische vervormbaarheid verdwenen, d.w.z. bij belasting op buiging trad direct breuk op, terwijl bij inspectie na 19 ^{uur} reeds een maximaal aantal scheuren aanwezig was. Vormlingen die bij een strengtemperatuur van 40°C werden ^{verdroogd} gedroegen zich precies eender, zodat deze temperatuursverhoging van de streng bij deze vette klei geen effect sorteerde. Het vacuum was hierbij t.g.v. de hogere dampspanning van het water teruggelopen tot ^{0,86} 645 mm Hg (zie g.3.). Bij vorageving bij een strengtemperatuur van 70°C bleek weliswaar na enkele uren de plastische vervormbaarheid te zijn verdwenen, maar inwendige scheuren verschenen slechts in zeer beperkte mate na verloop van 5 dagen. Het vacuum bedroeg bij deze strengtemperatuur ca. ^{0,85} 480 mm Hg (zie foto 9). Bij ^{verder} latere proeven bleek dat bij een strengtemperatuur van 55°C en een vacuum van ^{0,82} 600 mm Hg vervaardigde vormlingen na afkoeling gedurende ca. 20 uur direct scheurden bij dezelfde condities als waarbij de warm in droging genomen vormlingen nog geheel gaaf en aanvaardbaar droogden, terwijl het voor vormlingen vervaardigd bij een strengtemperatuur van 60°C geen verschil maakte of ze vooraf al dan niet waren afgekoeld.

Handwritten notes:
 Na onderzoek de pers
 heeft geen
 (1/20 of 1/200-1/1000)
 2. (ong. water)

... in de eerste plaats ...
... de tweede plaats ...
... de derde plaats ...
... de vierde plaats ...
... de vijfde plaats ...

~~Het toepassen van het principe van de ...~~
~~dat het punt is het ontstaan van de ...~~

... de werking van het ...
... de kwaliteit van de ...
... van het ...
... de ...
... van de ...
... kan men dus stellen, dat ...
... het ...
... van de ...
... dan die van de ...

... de ...
... de ...

Dese vormlingen waren zelfs na 14 dagen nog goed. Kennelijk is dus voor deze vette klei bij de gebruikte pers en vacuum-pomp minstens een strengtemperatuur van 60°C nodig om al te sterke en snelle kwaliteitsvermindering te voorkomen.

Bij een magere strengpersklei uit Noord Brabant (klei E van het supplement) bleek het effect van vormgeving bij hogere temperatuur op het beschreven verschijnsel sterker dan bij de Groningse klei. Bij een strengtemperatuur van 50°C werden hierbij n.l. al zeer goede vormlingen verkregen (op de oude laboratoriumpers) die zelfs na 14 dagen nog een goede plastische vervormbaarheid bezaten. Dit bleek eveneens het geval wanneer deze klei bij zeer goed vacuum (720 mm Hg) in koude toestand op de nieuwe pers verwerkt werd. Bij koude verwerking, bij het matig vacuum van de oude pers, ontstond binnen 20 uur een maximaal aantal inwendige scheuren. Deze

(Verhoogde don-
getuige te maken
van een deel
van de vormlingen)

waarneming was in de richting van een verband tussen het optreden van de kwaliteitsvermindering en de mate van ontluchting. Teneinde hieromtrent beter inzicht te verwerven werd de volgende proef uitgevoerd.

Op de nieuwe pers werden achtereenvolgens van klei B vormlingen $2,5 \times 4 \times 12$ cm vervaardigd bij vacuums van $320 - 590$ en 720 mm Hg. Deze vormlingen werden direct in plastic zakjes verpakt en vervolgens na 3, 19, 27 uren onderzocht. Hierbij bleken de niet ontluchte en de zeer goed ontluchte vormlingen na ruim een week nog geen inwendige scheuren te vertonen. Bij de goed ontluchte vormlingen bleek wel de plastische vervormbaarheid na 3 uur te zijn verdwenen, maar hierna bleef de kwaliteit constant. De niet ontluchte vormlingen bezaten uit de aard der zaak ook direct na de vormgeving geen plastische vervormbaarheid, zodat hieraan in het geheel niets veranderde. De vormlingen vervaardigd bij een vacuum van 370 mm Hg bezaten eveneens direct na de vervaardiging geen plastische vervormbaarheid en bleven tot 5 dagen onveranderd, waarna een enkel scheurtje werd opgemerkt.

De vormlingen die bij een vacuum van 590 mm Hg ^{0,8°} waren vervaardigd vertoonden daarentegen na 19 uur reeds een maximum aan scheuren; na 3 uur was ook hier slechts het verlies van de plastische vervormbaarheid te constateren (foto 10). Visueel waarneembare inwendige scheuren blijken dus te ontstaan wanneer, gezien de verhoogde plastische vervormbaarheid direct na de vormgeving t.o.v. de niet ontluchte streng en gezien vroegere metingen van het gehalte aan vrije lucht van strengen vervaardigd bij verschillend vacuum [5] reeds aansienlijke ontluchting heeft plaatsgevonden, maar nog een bepaalde (geringe) hoeveelheid vrije lucht aanwezig is. Aangezien onttrekking van deze laatste hoeveelheid vrije lucht door toepassing van zeer hoog vacuum bij koude verwerking van de klei, leidt tot geheel achterwege blijven van de kwaliteitsvermindering, kan nu gesteld worden dat het eveneens achterwege blijven van de kwaliteitsvermindering bij vormgeving bij hogere strengtemperatuur en gelijk of zelfs lager vacuum dan waarbij bij koude verwerking het nadelig verschijnsel wel optreedt, een aanwijzing is dat ontluchting bij hogere kleitemperatuur veel effectiever is dan bij lagere temperatuur. Hoewel deze stelling nog nader experimenteel geverifieerd dient te worden (wanneer weer beschikt kan worden over de luchtgehaltemeter van Van Nieuwenburg), zijn er voor de juistheid ervan diverse argumenten aan te voeren. Zo neemt bij hogere temperatuur de oppervlaktespanning van het water en hiermee de treksterkte van de klei af. Hierdoor kan de klei gemakkelijker openscheuren wanneer de aanwezige luchtballen bij de heersende onderdruk in de vacuümkamer willen expanderen. Door de hogere dampspanning van het water zijn de luchtballen extra groot wanneer ze reeds konden expanderen bij de opname van de waterdamp of staan onder overdruk wanneer dit niet het geval was. In beide gevallen zullen de luchtballen eerder willen ontwijken.

Verder neemt de oplosbaarheid van lucht in water sterk af, waardoor bij de opwarming van de klei lucht uit het water vrij komt en er dus meer of grotere luchtballen in de klei aanwezig zijn die de klei ook eerder doen scheuren.

Bij afkoeling van de vormlingen is het water dan onverzadigd en kan een eventueel restant vrije lucht dus geheel of gedeeltelijk opnemen. Tenslotte neemt bij hogere temperatuur de adsorptie van lucht aan vaste stof af, zodat ook om die reden de lucht zich beter laat onttrekken.

Het verschil in benodigde temperatuur tussen een vette en een magere klei om eenzelfde effect te bereiken, ligt nu in het verschil in aantal deeltjes.

Door het grotere aantal kleine deeltjes is het effect van de oppervlaktespanning voor de treksterkte bij de vette klei veel groter, zodat de treksterkte groter is. Om de vette kleistrengtjes in de vacuumkamer dus te kunnen openscheuren is een hogere temperatuur nodig om de treksterkte te doen afnemen (gering effect), maar vooral om de inwendige krachten (door de luchtbelletjes) te vergroten. Om deze reden is bij vettere klei bij koude verwerking ook een hoger vacuum nodig dan bij magere klei, terwijl een vettere klei bij de lagere temperatuur in de winter ook eerder moeilijkheden geeft die op de textuur zijn terug te voeren.

In verband met het bovenstaande kan nu voor de verklaring van het mechanisme voor het optreden van inwendige scheuren bij in verzadigde atmosfeer bewaarde verse vormlingen, de volgende werkhypothese worden opgesteld.

De klei wordt in de strengpers voor het mondstuk onder hoge druk (ca. 5 kg/cm^2) samengeperst, zodat eventuele luchtballen platgedrukt worden (ronde vorm van de vlakken). Deze lucht staat dus onder druk. Bij uittreden van de streng valt de uitwendige druk weg. De lucht zal nu expanderen met een snelheid tot een totale volumevergroting die afhangt van de weerstand die de klei tegen vervorming biedt. Deze weerstand is een functie van de consistentie, de aard van de klei en de mate van ontluchting, zodat voor verschillende gevallen verschillende tijden benodigd zijn om tot eenzelfde mate van kwaliteitsvermindering te komen.

Deze waarnemingen zijn voor de praktijk vooral daar van belang waar om een of andere reden de verse vormlingen langere tijd bewaard worden alvorens in droging genomen te worden (voorraad vermindering van het weekend bij voorbeeld). Verder bleek ook de gunstige invloed op de textuur en het belang hiervan zal duidelijk zijn voor een ieder die wel eens te maken heeft gehad met vormlingen waarin de textuur duidelijk tot uitdrukking kwam! Tenslotte bevestigt de praktijk de waarnemingen zelf doordat zeer dikwijls, vooral op de bedrijven die ~~vettare klei verwerken~~, de moeilijkheden pas komen wanneer de kleitemperaturen lager worden.

g) Diverse waarnemingen met betrekking tot de verwerking op de strengpers.

1) Stroomverbruik.

Behalve dat verbetering der droogeigenschappen van vormlingen vervaardigd uit warme klei wordt verkregen, blijkt dat verwarming van klei van invloed is op de rheologische eigenschappen, zowel in warmt toestand als na afkoeling. Dit kan blijken uit de benodigde krachten bij de verwerking zoals bijv. het krachtverbruik van de bewerkingsmachines en de waarden die men vindt met plasticiteitsmeters als het triaxiaal apparaat [4], de plasticiteitsmeter van Linsers [12, 13] en "Parallelplattenplaste-meter" [9, 10].

In fig. 5 is het stroomverbruik van de oude strengpers gegeven als functie van het watergehalte bij koude verwerking en bij verwerking bij een strengtemperatuur van ca. 70°C van klei A op de oude laboratoriumpers en het mondstuk 2,5 x 4 cm zonder doorn. Het nullastverbruik van de pers bedraagt 2,8 Amp., terwijl klei die een stroomverbruik van 4,5 Amp. oplevert nog maar nauwelijks verwerkt kan worden.

De strengpers

met de verandering van de watergehalte

Uit de waarnemingen zijn 2 conclusies te trekken, nl. ~~dat het stroomverbruik bij warme verwerking aanzienlijk lager ligt dan bij koude verwerking en dat het zelfs bij tamelijk stijve klei nog lager ligt dan bij de koude klei nog niet bereikt wordt wanneer het watergehalte zo hoog is, dat de klei te slap is voor strengpersverwerking.~~ Bij een watergehalte ^{dr. st.} betrokken op de droge stof van 37,5% heeft de koude klei ~~nl.~~ een consistentie van 17,5 mm Pfefferkorn stuikhoogte, terwijl dit normaal 24-28 mm bedraagt. Bij een strengtemperatuur van 70°C ~~kan het watergehalte dan dalen tot ca. 27,5% dr. st., waarbij de koude klei een consistentie van 31,5 mm Pfefferkorn stuikhoogte zou bezitten, hetgeen~~ Dit is ^{zo} ~~zeer~~ ^{dat} ~~stijf, te~~ ^{dit} ~~daar de pers 32 mm~~ nog maar nauwelijks kan verwerken. Verder zijn nog enkele punten voor een strengtemperatuur van ca. 55°C aangegeven. Hieruit blijkt dat ^{hier is} ~~het~~ ^{als bij bovenstaande gevallen} ~~zelfde stroomverbruik bij deze temperatuur wordt bereikt bij een watergehalte van ca. 30% dr. st.~~ Aangezien er een vast verband blijkt te bestaan tussen de consistentie van de klei (onafhankelijk van het type van de klei, althans wanneer de consistentie volgens de methode van Pfefferkorn wordt gemeten) en het stroomverbruik van de pers, mag men aannemen dat bij gelijk watergehalte doch hogere temperatuur, de plasticiteit is toegenomen.

F. Om de pers
aan te maken
verbonden de pers
kan

persaan ligt

2) Aanmaakwatergehalte.

Op grond van het bovenstaande mag men dus verwachten dat bij verwerking bij dezelfde plasticiteit van de klei als in koude toestand, het aanmaakwatergehalte aanzienlijk kan dalen. Bij het met klei A uitgevoerde onderzoek bleek dit inderdaad het geval, zoals moge blijken uit fig. 6 waarin het verband tussen aanmaakwatergehalte en strengtemperatuur is gegeven. Hierbij is steeds gestreeft naar een op het gevoel gelijke plasticiteit. Opvallend is dat het aanmaakwatergehalte vooral boven een strengtemperatuur van ca. 50°C sterk daalt. Het effect kan worden toegeschreven aan betere ontsluiting van de klei waardoor de kleimineralen meer homogeen door de klei zijn verdeeld, waardoor tevens een hogere sterkte wordt bereikt [1], de geringere bindingen van het water aan de kleimineralen en de geringere viscositeit van het water bij hogere

temperatuur [9] .. Uit vroeger onderzoek is reeds bekend dat deze effecten bij de vette kleien meer uitgesproken aanwezig zijn dan bij de nagerder kleien. Hiermee hangt ook samen dat de streng bij vette klei bij hogere temperatuur steeds moeier wordt, terwijl de streng van nagerder klei nauwelijks moeier wordt en soms zelfs eerder neiging tot vorming van dakstanden vertoont (zie punt 4).

3. ^{patie} Het beter ^{verweken} oplossen van vette pitten bij hogere kleitemperatuur werd als volgt aangetoond. Koud aangemaakte Groningse klei B werd bij goed vacuüm verwerkt tot vormlingen 3 x 6 x 12 cm. Deze werden gedroogd en daarna weer gewalst. Het is bekend dat geëvacueerde klei moeilijker ^{verweekt} oplost dan nog onbewerkte klei. De hoeveelheid klei werd in 2 porties verdeeld en de ene helft met water van kamertemperatuur aangemaakt en de andere helft met stoom en water. Bij beide porties werd de bevochtiging gespreid over 10 minuten uitgevoerd, waarna de planeetmenger nog 10 minuten kon door-draaien. De warme klei bereikt hierbij een temperatuur van 50 - 55°C.

Van beide ^{porties} kleien werden weer vormlingen 3 x 6 x 12 cm vervaardigd, die werden gedroogd. Door de vormlingen onder een zachte ^{straal} water uit de kraan te houden werd nu een oppervlaktelaag van 1-2 mm weggespoeld. Dit pitten worden hierdoor zichtbaar. Zoals uit foto blijkt, zijn in de gestoomde klei inderdaad aanzienlijk minder pitten aanwezig.

plasticiteit en de gunstiger ontluchting . Door deze effecten kunnen hogere spanningen worden verdragen, terwijl ook minder grote spanningen zullen ontstaan.

Bij droging bij hogere natteboltemperatuur bleken eveneens hogere droogsnelheden te worden verdragen, Hierbij kon plausibel worden gemaakt dat dit effect te danken is aan de bij hogere temperatuur van de vormling lagere viscositeit. De toelaatbare droogsnelheid bij het initiaal watergehalte bij verschillende natteboltemperaturen bleek nl. omgekeerd evenredig met de viscositeit van water bij die temperaturen. Door de sterke afhankelijkheid van de viscositeit van de temperatuur zijn door droging bij hogere natteboltemperatuur grotere voordelen te behalen dan door vormgeving bij hogere temperatuur. Echter wordt droging bij hogere temperaturen in de meeste gevallen pas goed mogelijk, wanneer de vormgeving dan tevens bij hogere temperatuur werd uitgevoerd! Maar dan zijn de voordelen ook dubbelgroot doordat de winst van vormgeving bij hogere temperatuur wordt versterkt door de winst door droging bij hogere natteboltemperatuur, opwarming geheel kan vervallen of aanzienlijk sneller worden uitgevoerd, het droogproces in de periode van verdamping in de poriën sneller kan verlopen en in totaal minder water behoeft te worden verdampt. Bovendien kan met een geringer lucht- en warmteverbruik worden gewerkt.

IV. Supplement.

a) Granulaire samenstelling van de bij het onderzoek gebruikte kleisoorten.

Fractie		Groningse Klei A	Groningse Klei B	Zd. Franse Klei C	Nd. Limburgse Klei D	Zd. Hollandse Klei E
Grofzand	> 300	0 %	0 %	2 %	3 %	3 %
Grofzand	200 - 300	1 %	1 %			
Fijnzand	60 - 200	5 %	5 %	7 %	11 %	18 %
Fijnzand	45 - 60	8 %	15 %	4 %	9 %	13 %
Stuifzand	25 - 45	12 %	10 %	5 %	12 %	12 %
Sloef	10 - 25	16 %	13 %	14 %	17 %	14 %
Leem	2 - 10	19 %	16 %	33 %	15 %	16 %
Lutum	< 2	39 %	40 %	35 %	33 %	24 %
Leem + Lutum	< 10	58 %	56 %	68 %	48 %	40 %

b) Verdere vergelijking van de kleien A en C.

	Klei A	Klei C
1) Plasticiteit : Vloei grens % droge stof	59,3	44,3
Uitrolgrens % droge stof	23,4	21,1
Plasticiteitsindex % droge stof	35,9	23,2
2) Specifiek oppervlak m ² /gram droge stof	165	130
3) Adsorptie capaciteit (Na - acetaat) m. Aeg./100 gram dr. st.	24	14,5
4) Watergehalte % droge stof bij pF = 3,5	31	26
5) Waterdampadsorptie % dr. st. uit de lucht bij een relatieve vochtigheid van 75 %	4,5	4
6) Lineaire uitzetting in o/oo droge lengte t.g.v. waterdampadsorptie bij een water- gehalte van 4 % droge stof	2,7	0,6
7) Idem bij 75 % relatieve vochtigheid	3,2	0,6
8) Buigsterkte gemeten aan ronde, geheel droge staafjes van d ≈ 10,5 mm	175	95
9) Totaal mineralogische samenstelling		

	<u>Kwarts %</u>	<u>Kadliniet %</u>	<u>Limoniet %</u>	<u>Hematiet %</u>
Klei A	40	11	-	-
Klei C _p	29	10	2	8

	<u>Veldspaat %</u>	<u>Mica %</u>	<u>Chloriet %</u>	<u>Zwellende illiet %</u>
Klei A	9	15	2	19
Klei C	5	30	3	1

	<u>Calciet %</u>	<u>Dolomiet %</u>
Klei A	3	1
Klei C	3	9

3) Het vacuum.

Wanneer in een luchtledige ruimte een vloeistof gebracht wordt, dan zal deze vloeistof verdampen dat er in deze ruimte een druk heerst die gelijk is aan de verzadigde dampspanning van die vloeistof bij de temperatuur die ze tenslotte heeft aangenomen. Zuigt men de damp af, dan zal de vloeistof verder verdampen en wel onder afkoeling wanneer van buitenaf geen warmte wordt toegevoegd, waardoor de dampspanning zal dalen. Het zal duidelijk zijn, dat de druk in de ruimte slechts dan lager kan worden dan de verzadigde dampspanning van het water, wanneer de damp sneller wordt afgezogen dan ze vanaf het verdampend oppervlak de ruimte kan vullen.

In de vacuum-kamer van de pers wordt nu voortdurend nieuwe klei aangevoerd. Direct bij het binnentreden zal water van het oppervlak van de kleistrengetjes verdampen, waardoor de temperatuur van dat oppervlak daalt en de verdamping snel afneemt. Het hangt nu geheel af van de constructie van de pers, de per tijdseenheid doorstromende hoeveelheid klei en de pompcapaciteit, in hoeverre het vacuum door de dampspanning van de klei wordt beïnvloed.

Zoals reeds gezegd zijn bij de gebruikte oude laboratorium-strengpers de voorwaarden voor een goede ontluchting niet al te gunstig, doordat de vacuumkamer over de gehele hoogte met kleistrengetjes met groot totaal verdampingsoppervlak is bezet, de pers nogal lekt en de pompcapaciteit niet al te groot is. In fig. 7 is het bij de proeven behaalde vacuum in mm kwik uitgezet tegen de strengtemperatuur. Tevens is de theoretisch haalbare druk in de vacuumkamer uitgezet, d.w.z. de druk die bij een bepaalde kleitemperatuur juist behaald zou worden wanneer alle lucht werd weggezogen bij een barometerstand van 760 mm Hg. Uit de figuur blijkt nu dat de druk in de vacuumkamer op deze pers inderdaad en in hoge mate door de dampspanning van de klei beïnvloed wordt. Het bij lagere temperaturen grotere verschil tussen theoretische en werkelijke waarde is te verklaren uit de grotere lek bij grotere onderdruk.

Bij latere proeven op de nieuwe pers (vacuum - valkamer) bleek dat op deze pers het vacuum nauwelijks door de temperatuur van de klei werd beïnvloed. Dit betekent dan echter dat er een aanzienlijke verdamping moet zijn. Door deze verdamping daalt de strengtemperatuur, terwijl tevens een inhomogene vochtverdeling in de hand wordt gewerkt, door-

dat er in de kleisnippers een vochtgradient ontstaat die niet geheel kan worden opgeheven voordat de vormgeving plaatsvindt. Volgens Grimal (7) kan de aan de klei onttrokken warmte bij strengtemperaturen van 80 - 90°C tot ca. 15 % van de ketelbelasting bedragen. Grimal wint deze warmte terug door de uitlaat van de vacuumpomp in de ketelvoedingwater-trog te laten uitmonden.

Uit het feit dat ondanks het geringere vacuüm bij hogere kleitemperaturen de invloed van de textuur zich minder doet gelden en ook de droogeigenschappen bij vormgeving bij hogere temperatuur sterk verbeterd worden, kan geconcludeerd worden dat het lagere vacuüm veroorzaakt door de hogere kleitemperatuur minder ernstig is dan het op het eerste gezicht lijkt. Het heeft waarschijnlijk dan ook weinig zin een grotere vacuumpomp aan te schaffen als men bij koude verwerking wel een goed vacuüm haalt (9).

Per slot van rekening gaat het ook niet om het vacuüm dat de meter aanwijst, maar om het effect dat de entluchting heeft op de eigenschappen van de voraling. Zoals reeds onder f) besproken kan het entluchtend effect bij warme verwerking van de klei bij aanzienlijk geringer vacuüm zelfs betonen zijn dan bij toepassing van hoog vacuüm en koude verwerking van de klei.

4) De bewerkbaarheid.

Het bovenstaande houdt echter niet in dat bij warme verwerking van de klei op de strengpers het vacuüm niet meer nodig zou zijn in gevallen waar het bij koude verwerking ook niet gemist kan worden.

Integendeels: door de hogere temperatuur geringere treksterkte kan een niet geëvacueerde warme streng zelfs minder mooi zijn en ontstaat eerder de menging tot vorming van draketanden. Daar bij hogere temperatuur de voorwaarde voor goede entluchting echter aanmerkelijk gunstiger liggen, is een geëvacueerde warme, mede door de geringere afschuifvastheid in het algemeen steviger en gladder dan een koude streng. De geringere afschuifvastheid kan echter ook nadelig werken, doordat vooral bij vette kleien met weinig grove bestanddelen bij te laag watergehalte, bij een rechthoekige streng gemakkelijk ronde hoeken ontstaan (foto 11). Dit komt door-

dat de klei op de ribben t.g.v. de grote wrijving in de hoekpunten gewoon afschurft, d.w.z. in de hoeken van het mondstuk blijft kleven. Verlaging van het watergehalte is dan de remedie en bij vette klei kan dit in het algemeen zonder bezwaar, bij magerder klei kan men echter dan al snel te maken krijgen met het verschijnsel van het z.g. spontaan scheuren. De oorzaak hiervan ligt in een te groot verschil in dampspanning tussen het oppervlak van de vormling en de omgeving. Door tocht te vermijden of de strengtemperatuur te verlagen is hier natuurlijk ook aan tegemoet te komen, maar er kunnen gevallen zijn dat de streng zo gevoelig is dat de temperatuur zover verlaagd moet worden dat er nauwelijks nog sprake is van warme vormgeving! De vette Groningse kleien A en B bij voorbeeld bleken een zeer ruim bewerkingsgebied te hebben. Zelfs bij stijve verwerking en strengtemperaturen tot 70°C trad nog geen spontaan scheuren op, terwijl bij hoger watergehalten wel het eerder genoemde afschuiven optrad, maar bij voldoende ontluchting geen draketandvorming. Bij een vormbaklei die ook als zodanig verwerkt wordt, maar nog wel tot volle metaalsteen op de strengpers verwerkt kan worden bleek zelfs bij een strengtemperatuur van 35°C nog spontaan scheuren op te treden, terwijl bij iets slappere verwerking al draketanden ontstonden. Op grond hiervan bestaat de indruk dat het toch al nauwe bewerkingsgebied van de magere strengperskleien bij hogere temperaturen nog meer wordt begrensd.

Spontaan scheuren kan ook optreden wanneer bij koude verwerking van de klei door mechanische warmteontwikkeling strengtemperaturen boven 30°C optreden. Bij verwerking tot 5 cm - draineerbuizen bleek zelfs de klei A bij $t_g = 35^{\circ}\text{C}$ te scheuren. Het type van de scheur hangt geheel af van de vorm van de streng en de textuur ontstonden bijv. bij de draineerbuizen fijne scheuren in de lengterichting van de streng (foto 12), terwijl bij volle rechthoekige strengen S - vormige loodrecht op de streng en in de ribben aangrijpende, scheuren ontstaan die waarschijnlijk sterk van de textuur afhangen en bij een streng van holle bouwstenen ditzelfde type die echter minder S - vormig, maar meer rechthoekig zijn (foto 13). Merkwaardig is dat wanneer

de strengtemperatuur door mechanische warmteontwikkeling wordt verkregen, minder hoge temperaturen worden verdragen, dan wanneer de klei voor de pers in warme toestand werd bewerkt. Hoewel dus bij de vettere klei zeer goede resultaten werden verkregen, werd beslist niet de indruk verkregen dat een op de strengpers in koude toestand moeilijk verwerkbaar klei door stroombehandeling meer geschikt wordt. Het tegendeel lijkt waarschijnlijk! Het is duidelijk dat in dergelijke gevallen teleurstellingen kunnen voorkomen, die des te erger zijn naarmate men meer kosten heeft moeten maken om de praktijkproeven mogelijk te maken. Laboratoriumproeven zullen zeer waarschijnlijk steeds goedkoper uitvallen en waardevolle gegevens kunnen opleveren die bij eventuele verdere bedrijfsproeven met vrucht kunnen worden benut.

h. Samenvatting van de resultaten.

Een vette Groningse klei werd in een laboratorium charge-menger onder toevoeging van stoom van 0,5 ato. en heet of koud water, onder voortdurend kneden op consistentie gebracht. Deze klei werd al dan niet bij hogere temperatuur verwerkt op een laboratorium vacuümstrengpers tot volle vormlingen 2,5 x 4 x 12 cm. (type "end cut"). Verder werd nog gewerkt met vormlingen 3 x 6 x 12 cm (end cut) en 2,5 x 4 x 12 cm, voorzien van 2 kanalen 1 x 1,2 x 12 cm (type "Langloch"), terwijl nog een viertal andere kleien onderzocht werden.

De volle vormlingen 2,5 x 4 x 12 cm werden vervaardigd bij strengtemperaturen van 25 tot 70°C en gedroogd bij natte boltemperaturen van 25, 45 en 70°C. Gedurende iedere droogproef werden de condities constant gehouden. Bij de beoordeling van het droogresultaat werd steeds als eis gesteld dat de vormlingen zowel in- als uitwendig geheel gaaf moesten zijn.

Bij de voorbereiding werd vastgesteld dat de klei sneller en beter bevochtigd kon worden en koude, vette pitten minder in de vormlingen voor kwamen naarmate de klei bij hogere temperatuur op consistentie werd gebracht. Ze werden bijv. bonkjes bij 400°C gecalcineerde vette klei bij 50°C zacht, terwijl ze bij koude verwerking als harde pitten in de vormling aanwezig waren. Verder blijkt de klei bij hogere temperatuur minder te kleven en is meer zelfachtig. De bij hogere temperatuur geringere treksterkte en afschuifweerstand blijken vooral bij

verwerking op de strengpers. Bij een strengtemperatuur van 70°C blijkt het stoomverbruik van de pers aanzienlijk lager te liggen, waarbij bij 70°C , bij nog goed verwerkbaar klei wat betreft de kwaliteit van de streng, zelfs een zo laag stroomverbruik wordt bereikt als bij koude klei slechts mogelijk is wanneer de klei zo slap is dat er nauwelijks een behoorlijke streng uit gevormd kan worden. Dit is te verklaren uit een relatief sterkere daling van de afschuifweerstand van de klei t.o.v. de treksterkte. Tevens blijkt bij hogere temperatuur verwerking van klei mogelijk bij zodanige watergehalte dat de pers koude klei met hetzelfde watergehalte niet meer zou kunnen verwerken.

Bij de vette Groningse klei bleek verwerking bij hogere temperaturen tot en met de hoogst bereikte temperatuur van 70°C slechts gunstig te zijn, Spontaan scheuren kwamen in het laboratorium niet voor, terwijl bij te laag watergehalte slechts de menging tot afronden van de hoeken door afschuiving werd geconstateerd. Bij magerder kleien ligt de zaak echter minder gunstig. Hierbij werd de indruk verkregen dat in koude toestand op de strengpers moeilijk te verwerken kleven bij hogere temperatuur eerder moeilijker dan makkelijker te verwerken zijn. Bij wat stijvere verwerking treedt nl. snel spontane scheurvorming op, terwijl bij wat slappere verwerking spoedig draketanden gevormd worden.

Verder werd een gunstige invloed geconstateerd op de mate waarin bij het drogen hinder kan worden ondervonden van de textuur. Op grond van proeven met verwerking bij verschillende mate van ontluchting, is het zeer waarschijnlijk dat deze gunstige invloed te danken is aan bij hogere temperatuur gunstigere voorwaarden voor goede ontluchting.

Bij droging bij een bepaalde natte boltemperatuur blijken strengere droogcondities verdragen te kunnen worden naarmate de vormlingen bij hogere temperaturen worden gevormd. Tot 50°C is het effect vrij gering, doch neemt dan sterk toe. Bij een strengtemperatuur van 70°C werden zodanige condities verdragen dat de droogsnelheid bij het initiaal watergehalte ca. 50 % hoger lag dan bij de condities die door uit koude klei vervaardigde vormlingen werden verdragen. Dit resultaat kan verklaard worden uit de gunstige verdeling van de kleidelen door de vormlingen, de hierdoor verkregen betere homogeniteit, het lager beginaansmaakwatergehalte bij dezelfde of betere

V. Literatuurlijst.

1. Invloed van stomen op de Nederlandse grofkeramische kleisoorten.
J. Singer, Klei sept. 1951.
2. Heissaufbereitung der Tone in der Ziegelproduktion.
M.G. Lundina, Silikattechnik apr. - mei - juni 1952.
3. Het verwarmen van klei vóór het vormproces.
J. Voskuil, Klei maart 1953.
4. Het rheologisch gedrag van twee rivierkleisoorten bij hogere temperaturen.
T.K. Tan, Klei mei 1953.
5. Lucht bepaling in plastische klei.
Ir. A.W. v. Seters - Drs. P.H. Dal, Klei sept. 1954.
6. Gegevens betreffende de verwarming van klei met stoom.
Keramisch Instituut T.N.O. Klei mei 1955.
7. Enige kleiverwarmingsinstallaties in de praktijk.
J. Voskuil en B.J. Willigen, Klei sept. 1956.
8. Malaxage et façonnage des argiles à haute temperatures par le vapeur d'eau à haute pression.
M. Grimal, la Terre Cuite no. 43 1957.
9. Erfahrungen über die Heissaufbereitung und Heissverformung keramischer Massen.
Anoniem, Die Ziegelindustrie blz. 241 1959.
10. Die neue Entwicklung im Bereich der Aufbereitung der formgebung und Trocknung.
R. Pels Leusden, Die Ziegelindustrie blz. 364 1959.
11. Die Messung des einflusses der Heissaufbereitung auf die Plastizität.
H. Stapenhorst, Die Ziegelindustrie blz. 777 1960.
12. Heissaufbereitung - Heissverformung in der Praxis.
H. Cyrener, Die Ziegelindustrie 1961 blz. 359.
13. Einige Ergebnisse von Laborversuchen mit heissaufbereitetem Ton.
J.C.W. Ebermann, Die Ziegelindustrie blz. 385 1961.
14. Vergelijking van een Zuid-Franse klei met drie Nederlandse kleisoorten.
Keramisch Instituut T.N.O. april 1961.

15. Zusammenhänge der Toneigenschaften bei Bedampfung.
P. Lindl. Die Ziegelindustrie blz. 1962
16. Betrachtungen und Erfahrungen über den Einfluss der Warmaufbereitung auf die Eigenschaften gebrannter Erzeugnisse.
R. Iberg, Die Ziegelindustrie blz. 738 1962.
17. Onderzoek naar de invloed van het bij het drogen van grofkeramische vormalingen toegepaste natte boltemperatuurniveau op de droegeigenschappen van die vormalingen en op het verloop van het droogproces.
18. Neue Vereinfachte wege zu einer Zentrierten Heiss- und Feinstaufbereitung mit beschleunigter verdampfungs-trocknung.
F. Hübner, Die Ziegelindustrie mei 1952,
19. "Holo - Flie" helle schreef warnteutwisselaars.
Motorisering no. 14 1962 (Res. in klei juni 1962 blz. 51).
20. Hot extrusion - advancement towards automation.
B. Taylor, Brick and Clay Record apr. 1963.
21. Schnell-trocknung von Ziegeln mit dünnen Wänden.
H. Dührkopf, Arhne, Aint lanritsen. Die Ziegelindustrie 1962 blz. 845.

Fig. 1

Verschillende typen droogcurven

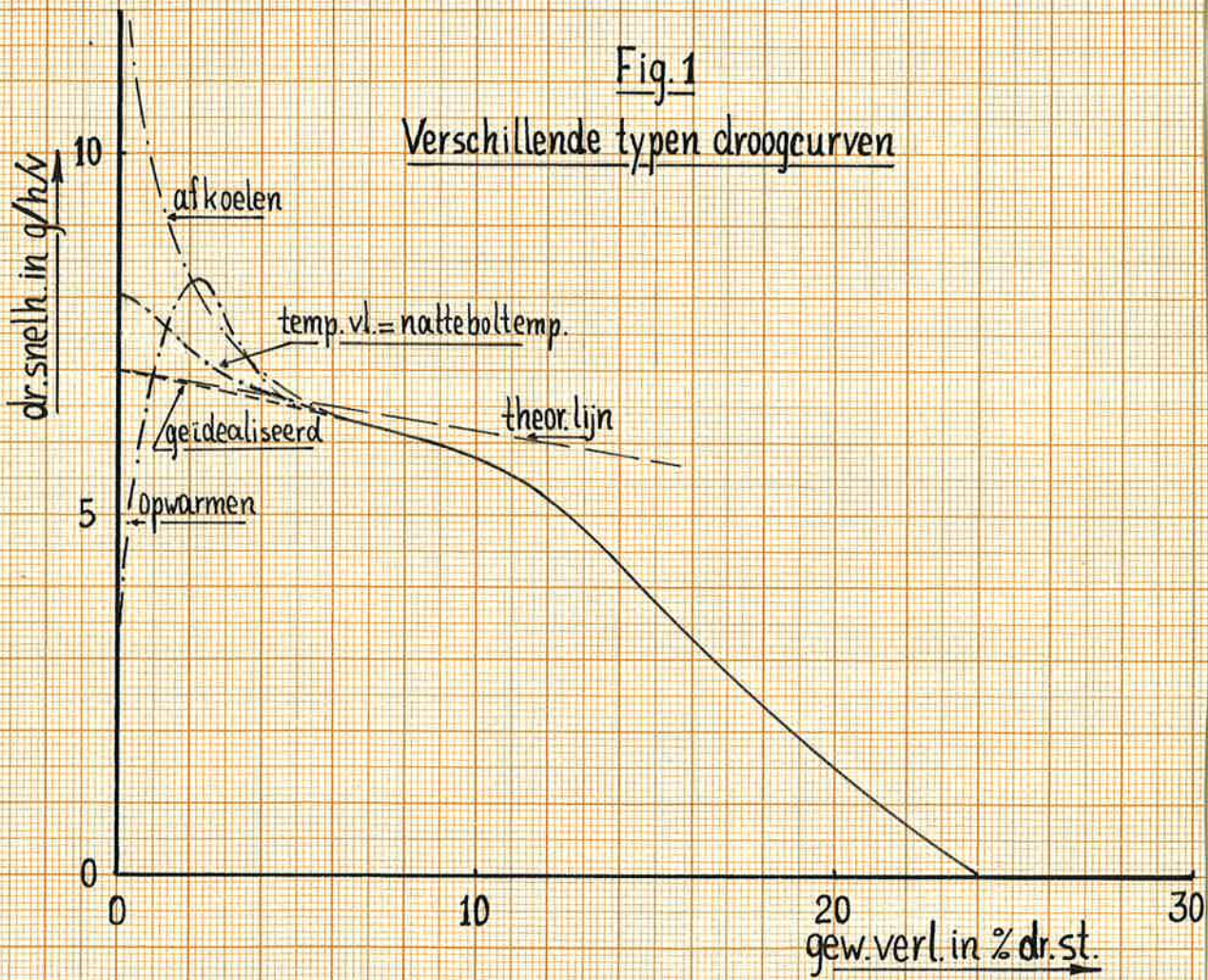


Fig. 2

Invloed strengtemperatuur
op
maximaal toelaatbare initiale droogsnelheid

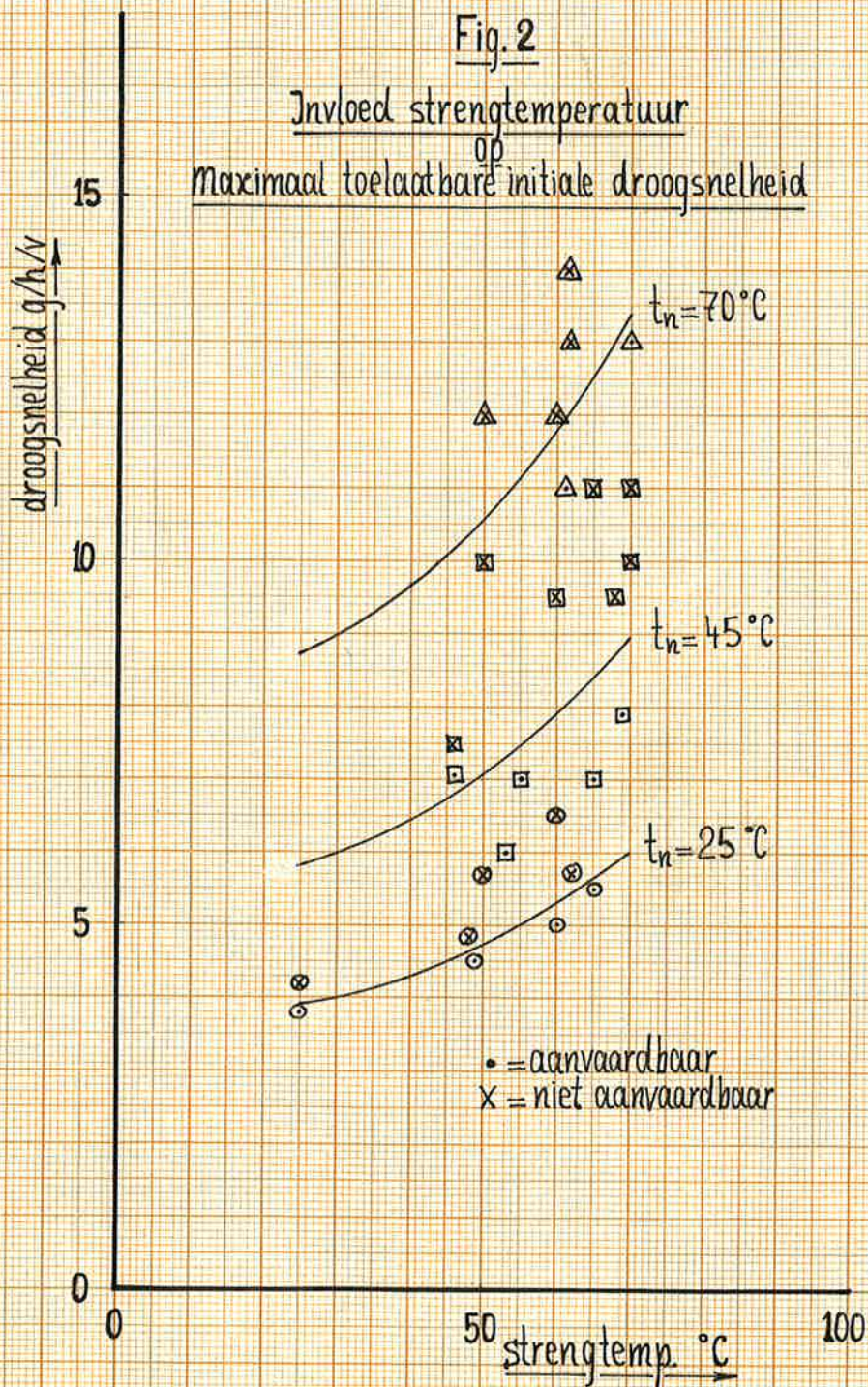


Fig. 3

Kritische droogcurven van vormlingen 2,5x4x12 cm
gevormd bij strengtemperaturen van 25 en 70 °C
en gedroogd bij natteboltemperaturen van 25, 45 en 70 °C

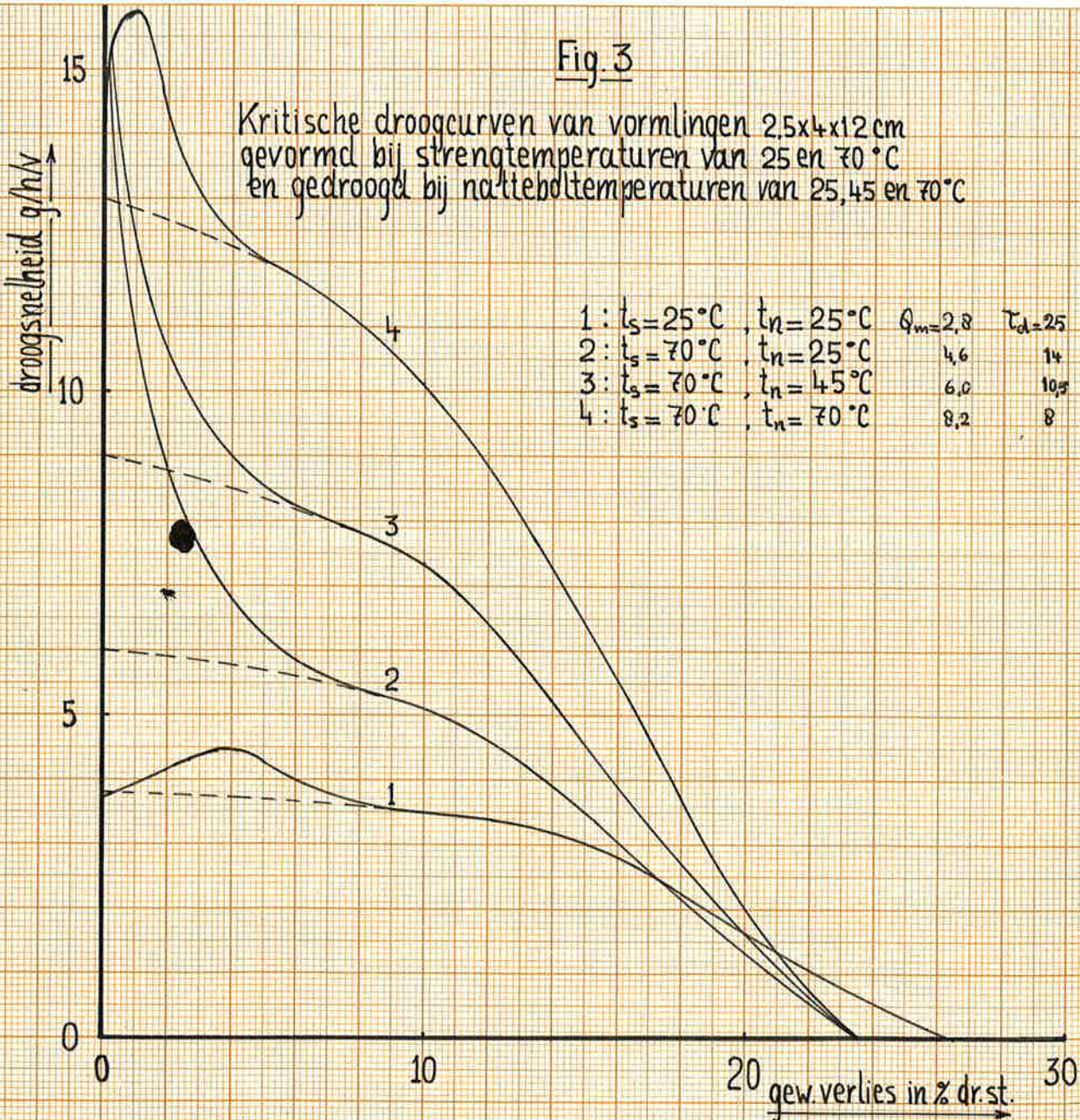


Fig. 4

Viscositeit, oppervlakte- en dampspanning
van water
als functie van de temperatuur

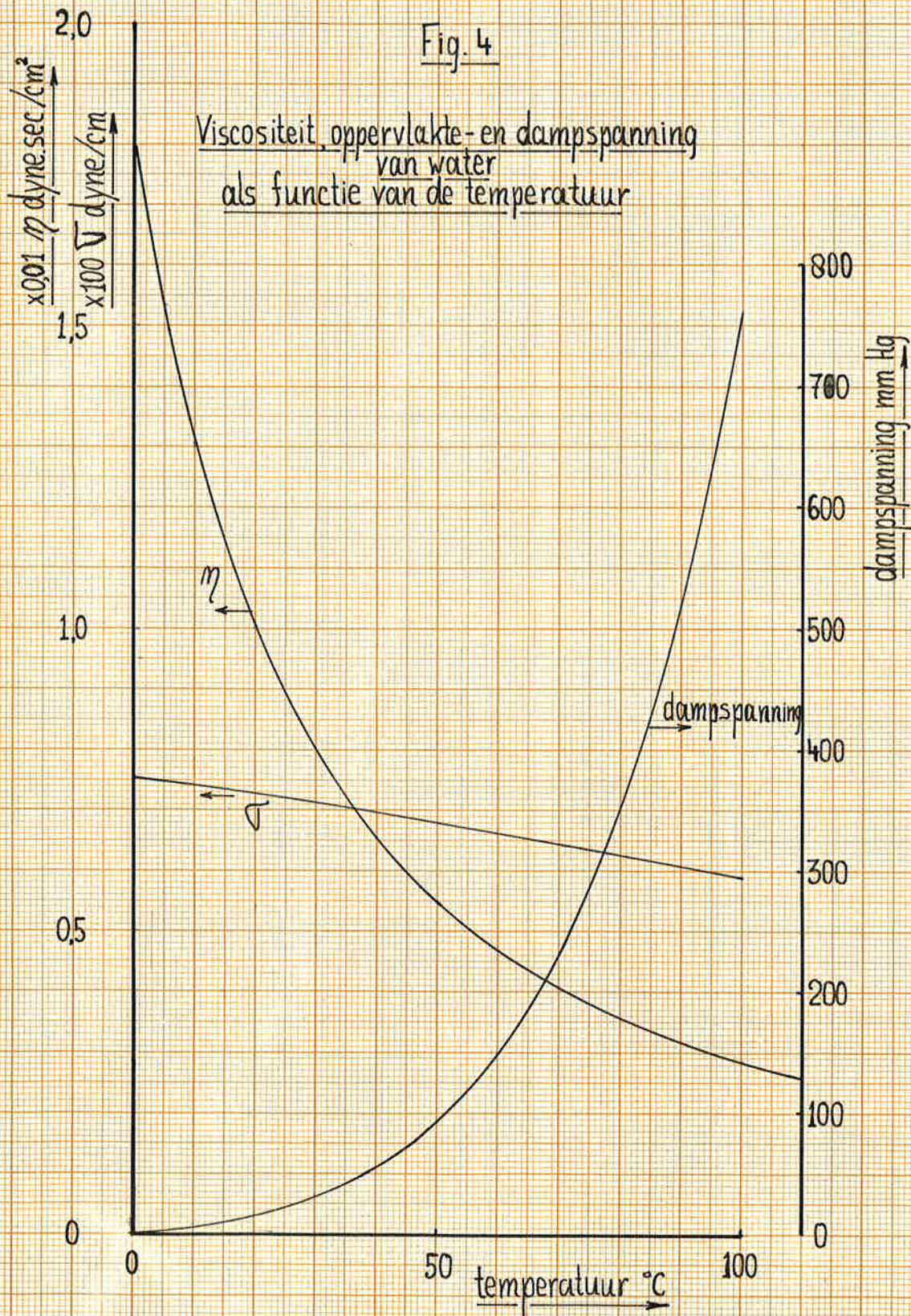
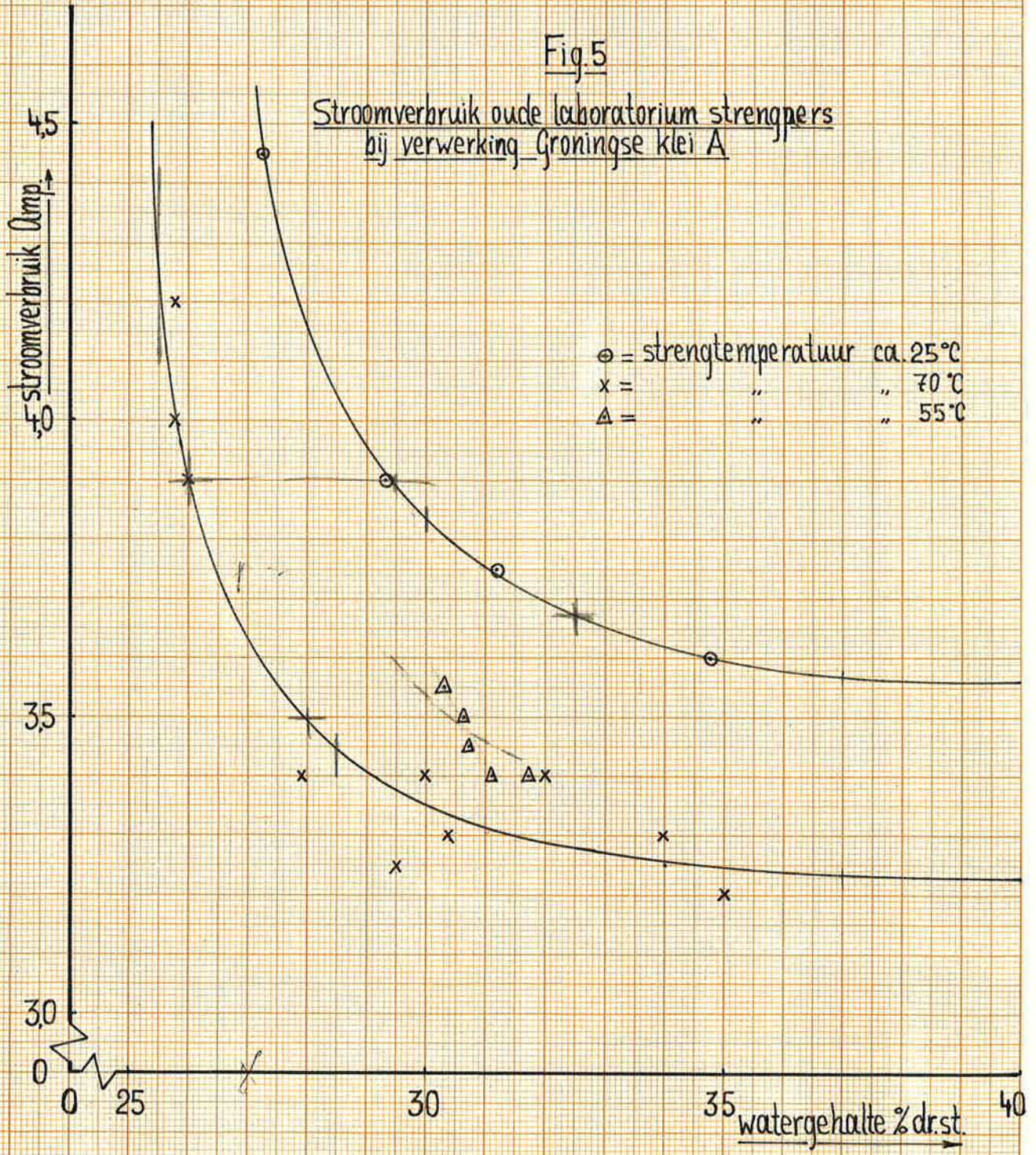


Fig. 5

Stroomverbruik oude laboratorium strengpers
bij verwerking Groningse klei A



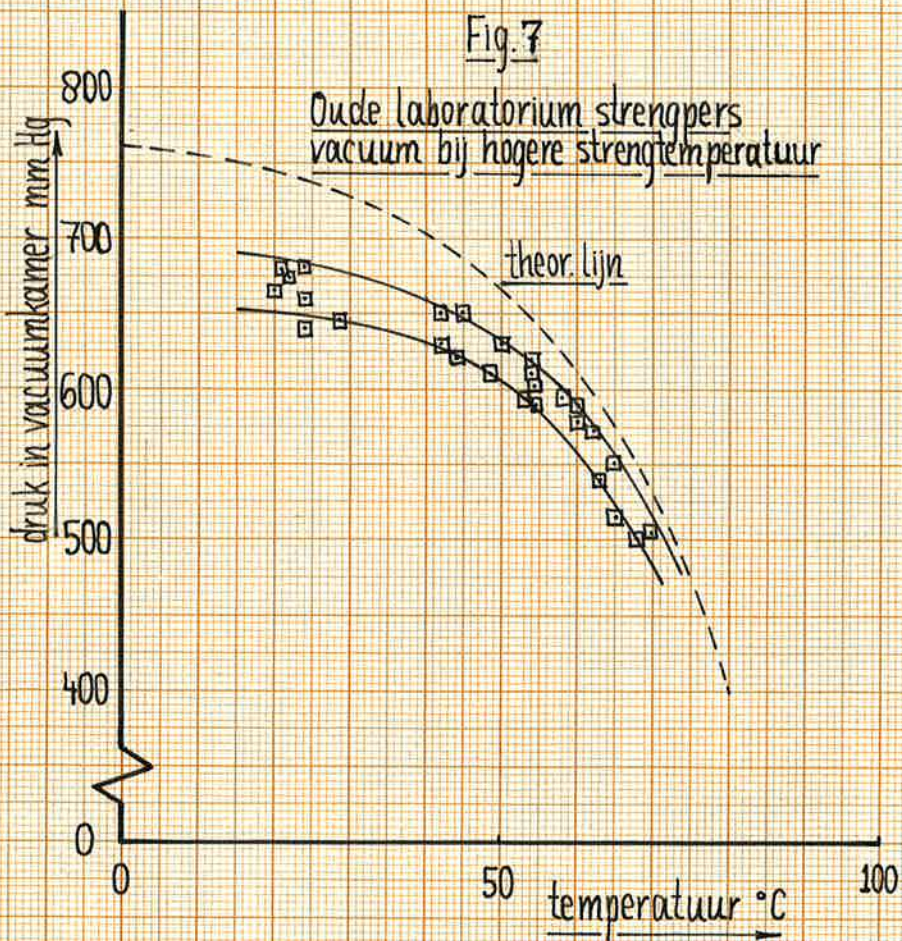
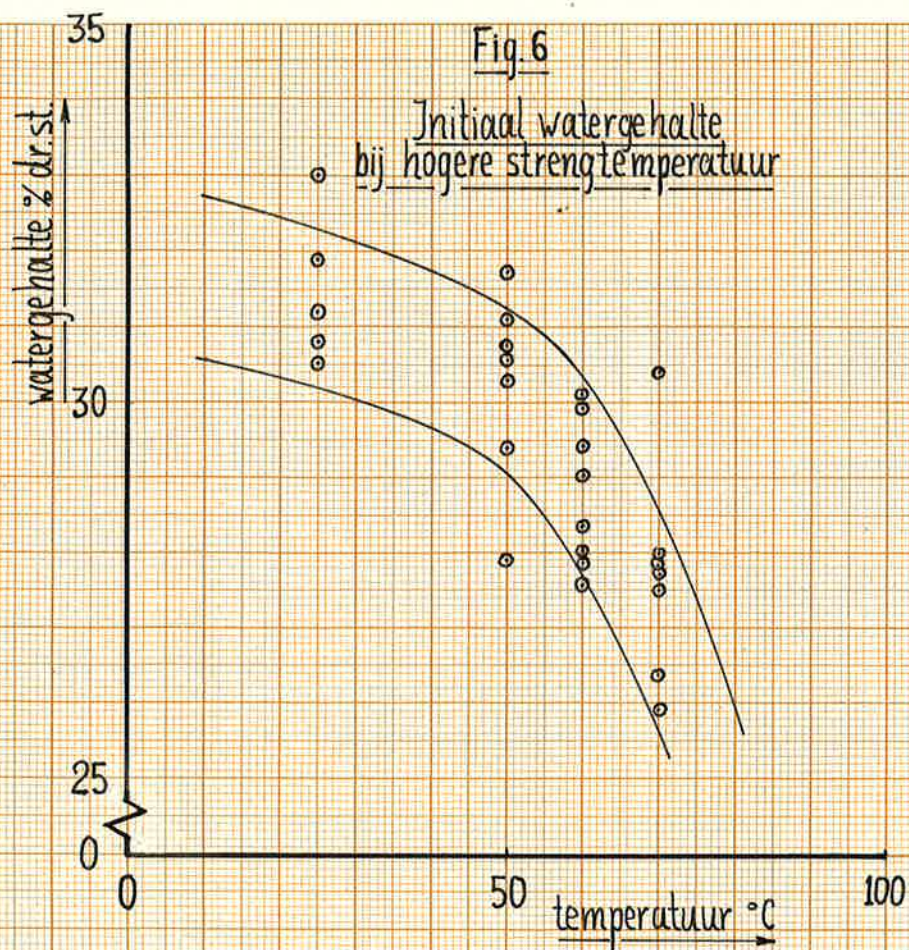


Fig. 8

Kritische droogcurven van dikformaat-vorklingen
gevormd bij temperaturen van 20 en 50°C en
gedroogd bij natte-boltemperaturen van 25 en 45°C.

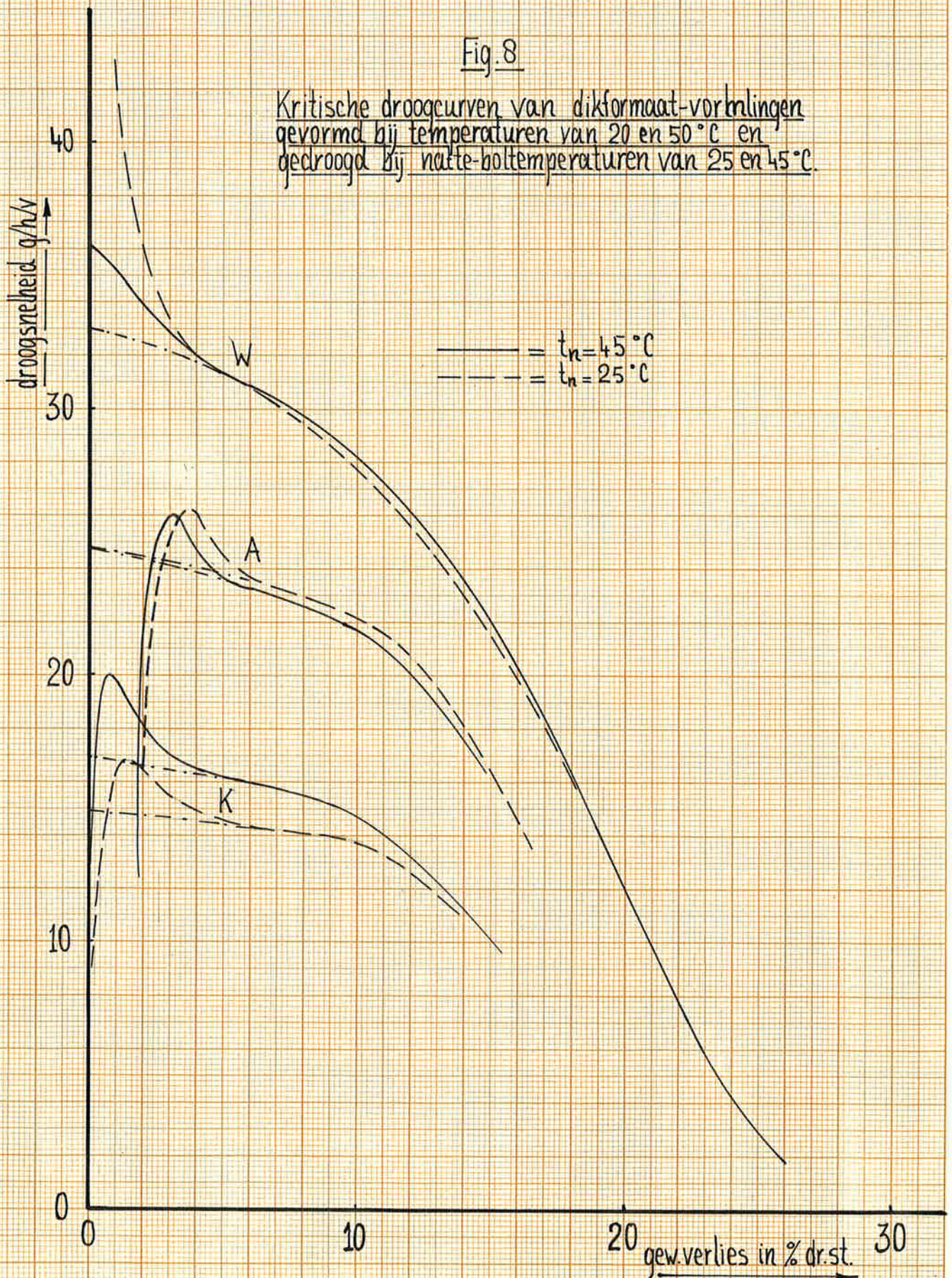


Fig. 9

Luchtgehalte in bij verschillende
temperaturen gekneede vormbaklei

