

Bezeichnung der Tone Description of day		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Konzentration Concentration Gew.-% % by wt.	c ₁	24,8	37,4	38,6	28,4	31,6	42,7	35,0	20,1	26,0
	c ₂	50,1	42,5	40,0	30,4	36,0	48,7	39,0	21,1	30,5
	c ₃	78,0	51,0	43,7	33,8	39,1	51,5	42,5	26,7	31,5
	c ₄	—	53,9	51,0	38,0	43,5	52,5	45,0	36,9	35,6
Fließgrenze, τ_f Yield limit (dyn/cm ²)	f ₁	31	32	21	80	49	210	41	80	58
	f ₂	100	48	27	87	93	368	84	100	77
	f ₃	220	122	34	146	216	720	145	233	112
	f ₄	—	348	75	289	335	963	314	1500	335

— die Methode schließt auch solche Eigenschaften aus, wie z. B. bei dem Ton von Solymár, welche mit anderen Methoden (Bestimmung der Plastizität, des Kornspektrums, der spezifischen Oberfläche) nicht zu beobachten waren.

Im Zusammenhang mit den praktischen Erfahrungen zeigte sich jedoch, daß der Ton von Solymár (das plastische blaue Vorkommen) eine schwer aufschließbare Tonsorte mit dichtem Gefüge ist. Dies wurde auch z. B. durch das Versuchsergebnis bestätigt, daß die Bildsamkeit nach 21tägigem Mauken der feuchten Tonmasse im Verhältnis zu der nach 24 Stunden gemessenen Plastizitätszahl deutlich anstieg.

Diese Erscheinung kann jedoch noch nicht vollständig geklärt werden, dazu sind noch weitere Versuche nötig.

Aufgrund positiver Erfahrungen ist die Methode mit Hilfe von Viskositätsmessungen zur Charakterisierung der Bildsamkeit von ziegeleitechnischen Tonen geeignet. Die Arbeit ist aber noch nicht beendet. Um die Fragen, die während der bisherigen Arbeit auftauchten — z. B. bei dem Blähton von Mezötúr und bei dem Ton von Solymár — zu klären, wurde die Ausführung einer verzweigten Versuchsreihe geplant.

Analyse der Pfefferkorn-Prüfung*

J. H. VAN DER VELDEN, APELDOORN / HOLLAND**

Analyse der Pfefferkorn-Prüfung

Untersucht wurde, inwieweit sich Stoßprüfungen — und im besonderen Fall die Pfefferkorn-Prüfung — zur Feststellung des Schubwiderstandes von Tonmassen eignen. An Stoßprüfungen mit drei verschiedenen niederländischen Tonen wird gezeigt, daß der Schubwiderstand einer Tonmasse hauptsächlich bestimmt wird durch die spezifische Oberfläche des Tons, durch die Differenz des Wassergehaltes der untersuchten Masse und des Wassergehaltes dieser Masse an ihrer Ausrollgrenze sowie schließlich durch die Stoßenergie pro Volumeneinheit gegen die dem Stoß ausgesetzte Probe.

Analysis of the Pfefferkorn Test

A study was made of the suitability of impact tests — in particular the Pfefferkorn test with falling disk — as a means of establishing the shear resistance of clay bodies. Impact tests were performed on three different Dutch clays demonstrating that the shear resistance of a clay body is mainly determined by the specific surface of the clay, by the difference between the water content of the clay tested and the water content of this clay at its rolling out limit and, finally, by the impact energy exerted per unit volume on the specimens subjected to impact.

Tabelle 2. Einzelne Daten / rheologische Untersuchung von Tonen
Table 2. Individual data / rheological testing of clays
Tableau 2. Données particulières / l'examen rhéologique d'argiles
Tabella 2. Dati ricavati / designazione delle argille

- measurement can be carried out quickly
- subjective sources of error can be eliminated
- there is a corresponding difference between the rheological measured data for the different types of clay
- the method also excludes properties which could not be observed by other methods e.g. in the case of clay from Solymár (determination of plasticity, of the grain size spectrum, of the specific surface).

It was apparent however in the context of practical experience that the clay from Solymár — the plastic blue clay deposit — is a very difficult clay to work, with a dense macro-structure. This was also confirmed for example in the test results showing that plasticity increased appreciably after 21 days' conditioning of the moist clay body in relation to the plasticity index measured after 24 hours.

A full explanation of this phenomenon however has not yet been given and further tests are necessary.

The positive empirical data obtained confirm that the use of viscosity measurements is a suitable method for denoting the formability (i.e. plasticity) of brickmaking clays. The work has not been finalized however and an associated test series is planned to clarify problems which have arisen in the work to date, e.g. in the case of expanded clay from Mezötúr and clay from Solymár.

Analysis of the Pfefferkorn Test*

J. H. VAN DER VELDEN, APELDOORN/NETHERLANDS**

Analyse de l'essai de Pfefferkorn

Les études effectuées ont porté sur le fait de savoir dans quelle mesure des essais au choc — et dans ce cas particulier l'essai de Pfefferkorn — s'adaptent à la détermination de la résistance au cisaillement de pâtes d'argile. L'auteur montre, à l'aide d'essais ou choc avec trois argiles néerlandaises différentes, que la résistance au cisaillement d'une pâte d'argile est déterminée principalement par la surface spécifique de l'argile, par la différence de la teneur en eau de la pâte étudiée et la teneur en eau de cette même pâte à sa limite d'allongement, ainsi qu'enfin par l'énergie du choc par unité de volume contre l'éprouvette soumise au choc.

Analisi dei risultati della prova di Pfefferkorn

Risulta dalle indagini effettuate su tre tipi di argilla di provenienza olandese con lo scopo di definire un'eventuale correlazione tra i risultati delle prove di resistenza all'urto, e nel caso particolare tra i risultati della prova di Pfefferkorn, e la resistenza al taglio degli impasti argillosi, che la resistenza al taglio dipende essenzialmente dalla superficie specifica dell'argilla, dalla differenza tra il tenore d'acqua dell'impasto studiato e il tenore d'acqua corrispondente al limite inferiore di plasticità secondo Atterberg, nonché dall'energia d'impatto sviluppata per ogni unità di volume.

* Nachdruck aus KLEI EN KERAMIEK 3/79
** TNO Arbeitsgruppe „Baukeramik“ Apeldoorn / Holland

* Reprint from KLEI EN KERAMIEK 3/79
** TNO Working Party "Structural Clay Products" Apeldoorn/Netherlands

1. Einleitung

Pfefferkorn [1] führte 1924 eine Methode zur Messung und Bestimmung der Konsistenz einer Tonmasse ein. Da sie einfach war und schnell zum Ergebnis führte, wird diese Bestimmungsmethode vor allem in der europäischen keramischen Industrie noch immer angewandt. Mit der Apparatur nach Bild 1 wird dabei eine zylindrische Tonprobe (33 mm ϕ , 40 mm hoch) einer Stoßprüfung unterzogen. Der Stoß wird durch eine flache Stahlscheibe mit einem Gewicht von 11,69 N bewirkt, die aus einer Höhe von 186 mm auf die Probe fällt. Der Quotient aus ursprünglicher Höhe der Tonprobe und aus deren Höhe nach dem Stoß ist das Maß für die Konsistenz.

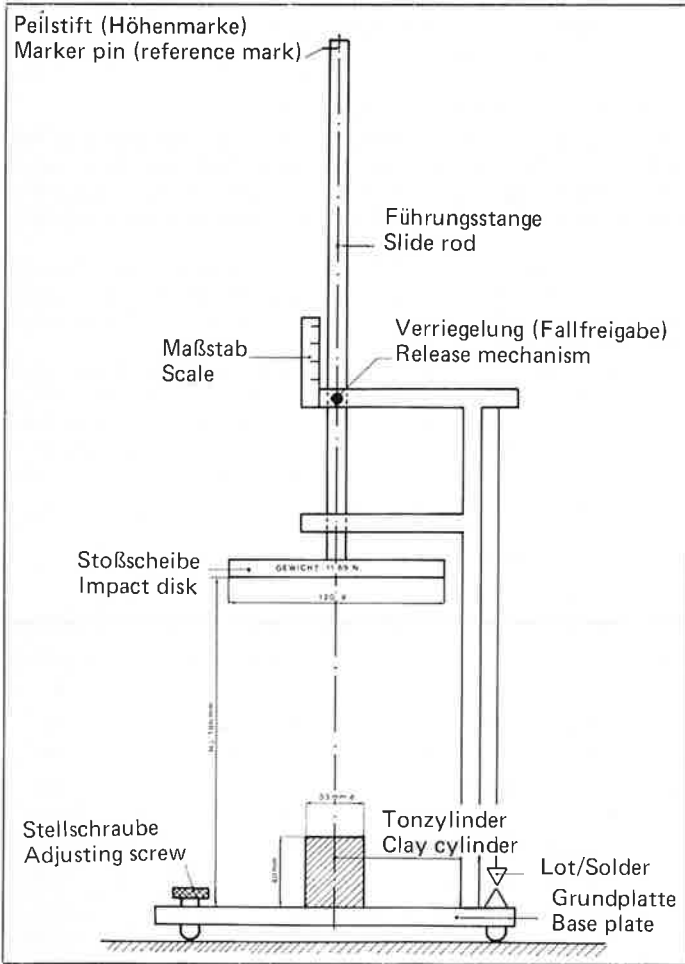


Bild 1. Pfefferkorn-Prüfgerät
 Fig. 1. Pfefferkorn test equipment
 Fig. 1. Appareil d'essai de Pfefferkorn
 Fig. 1. Apparecchio per prove Pfefferkorn

In der industriellen Praxis wird die Konsistenz einer aufbereiteten plastischen Masse stark auf die vorgesehene Art der Formgebung abgestellt. Bild 2 zeigt dafür einige Beispiele. Der angestrebte Quotient liegt für von Hand gut formbare Tonmassen zwischen 2,5 und 4. Den Wassergehalt von Massen mit einem Quotienten 3,3 benutzte Pfefferkorn zur Charakterisierung der Tonmassen. Daraus ergibt sich Pfefferkorns Plastizitätszahl, die in Prozenten der Trockenmasse angegeben wird.

Besonders in den Niederlanden wird die Konsistenz vereinfachend nur mit der verbliebenen Höhe des Probezylinders in mm nach dem Stoß (Resthöhe) angegeben. Die Abhängigkeit dieser „Pfefferkorn-Resthöhe“ vom Wassergehalt einer Tonmasse scheint in einem weiten Konsistenzbereich fast linear zu sein. Die Menge Wasser — ausgedrückt in Prozenten des Trockenzustandes —, die eine Veränderung der Resthöhe um 1 mm verursacht, wird in den Niederlanden „Konsistenzstabilität“ genannt. Ihr Zahlenwert liegt für die meisten Tone zwischen 0,25 und 0,75 und ist, z. B. für die Feststellung der zulässigen Streuung des Formgebungs-Wassergehaltes von Interesse.

1. Introduction

Pfefferkorn [1] in 1924 introduced a method for the measurement and determination of the consistency of a clay body. As this was simple to apply and produced quick results, this method of determination was increasingly adopted, particularly in the European ceramic industry. The equipment shown in Fig. 1 is used for the impact testing of a cylindrical clay specimen (33 mm in dia., 40 mm deep). The impact is produced by a flat, steel disk weighing 11.69 N, and falling from a height of 186 mm on to the specimen. The consistency is obtained from the quotient of the original depth of the clay specimen and the depth when deformed on impact.

In the brickmaking industry consistency of a plastic clay body during preparation is closely adapted to the shaping method to be applied. Fig. 2 shows some examples (extruded roofing tiles, hand-moulded bricks, press-moulded bricks). The required quotient for plastic hand-moulded clays is between 2.5 and 4. Pfefferkorn uses the moisture content of clays with a quotient of 3.3 as the standard reference value to denote the clay characteristics. From this is obtained Pfefferkorn's plasticity index which is given as a percentage of the dry clay body.

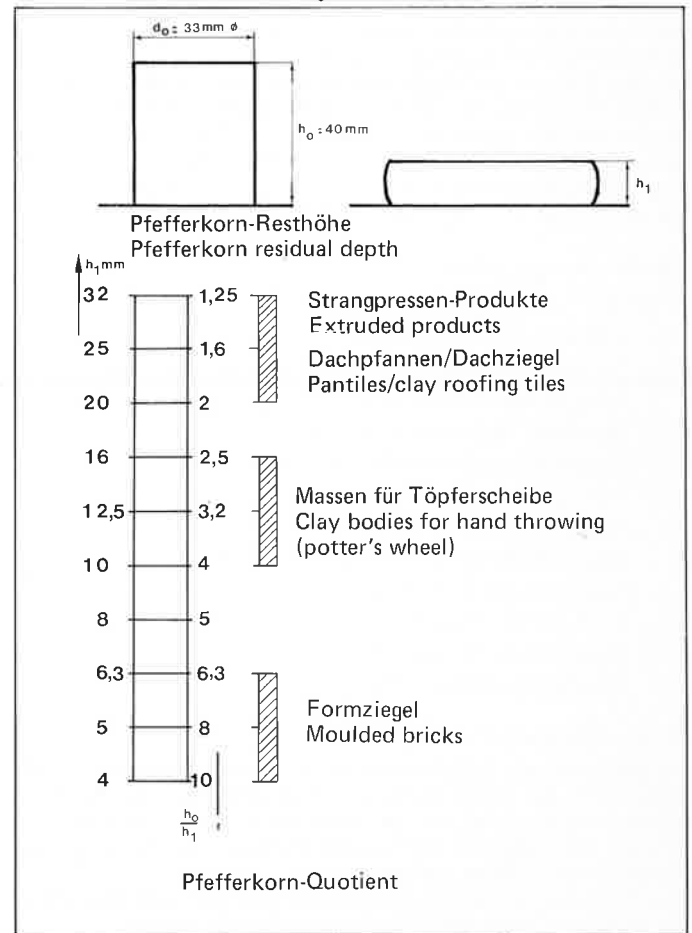


Bild 2. Konsistenz von Tonen für verschiedene Formgebungsverfahren
 Fig. 2. Consistency of clays for various shaping methods
 Fig. 2. Consistance d'argiles pour différents procédés de façonnage
 Fig. 2. Valori di consistenza degli impasti argillosi più adatti ai procedimenti di forgiatura

The consistency is given more simply, particularly in Holland, merely by quoting the residual depth of the test cylinder in mm after impact (residual depth). The relationship of this "Pfefferkorn residual depth" to the water content of a clay body appears to be almost linear over a wide consistency range. The amount of water-expressed as a percentage of the body in the dry state — required to cause a change in the residual depth of 1 mm, is termed the "consistency stability". This numerical value for most

Die Pfefferkorn-Prüfung ergibt Zahlenwerte, die an die Prüfapparatur gebunden sind. Nach Haase [2] eignet sich die Stoßprüfung aber auch für die Ermittlung des Schubwiderstandes einer Tonmasse.

Die Pfefferkorn-Apparatur ist im Laufe der Jahre in den Niederlanden für die Beurteilung des Verformungsverhaltens plastischer Tonmassen und für die Kontrolle der Tonkonsistenz bei der Formgebung wertvoll geworden. Der häufige Gebrauch des Gerätes führte dazu, die Stoßprüfung — aufbauend dabei auf der Studie von Haase — einmal näher zu analysieren.

Für eine allgemeine Übersicht über den Wissensstand hinsichtlich des Verformungsverhaltens von Tonen wird auf einen diesbezüglichen neuen TNO-Bericht von Siskens [3] verwiesen.

2. Gebrauch des Stoß-Prüfgerätes

Das Gerät wird schwingungsfrei aufgestellt. Dabei ist die Führungsstange der Stoßscheibe vertikal auszurichten. Diese Führungsstange wird mit dünnem Öl geschmiert. Die Unterseite der Stoßscheibe und die Grundplatte werden mit einer Mischung aus 9 RT Kerosin und 1 RT Olein eingerieben.

Vorab wird die zu untersuchende Tonmasse durchgeknetet. Die zylindrischen Probekörper werden unter Vermeidung von Feuchtigkeitsverlust mit Hilfe einer kleinen Messingform, einem Stempel und einem Kratzmesser hergestellt. Auch diese Geräte werden mit dem Kerosin-Olein-Gemisch eingerieben.

Der auf Stoß zu prüfende Probekörper wird mittig unter der Stoßscheibe auf die Grundplatte gesetzt. Nach dem Fall der Stoßscheibe aus der gewählten Höhe wird die Resthöhe der Probe auf einem an der Stangenführung befestigten Maßstab mit Millimeterteilung abgelesen. Die Anzeige erfolgt durch einen auf der Führungsstange angebrachten Peilstift oder Nonius.

3. Stoßformel von Haase

3.1 Zeichen und Einheiten

A_v	Stoßenergie pro Volumen-Einheit Ton	kJ/m^3
E_v	Formveränderungsenergie pro Volumen-Einheit Ton	kJ/m^3
G	Gewicht der Stoßscheibe mit Führungsstange	N
m	Masse der Stoßscheibe mit Führungsstange	kg
g	Beschleunigung durch die Schwerkraft	m/s^2
H	Nominale Fallhöhe (Abb. 1)	mm
V	Volumen des zylindrischen Probekörpers	mm^3
d_o	Ursprüngl. Durchmesser des Probekörpers	mm
h_o	Ursprüngl. Höhe des Probekörpers	mm
h_i	Resthöhe des Probekörpers	mm
σ_n	Stoßdruck auf der Stoßscheibe	N/mm^2
τ	Schubwiderstand des Tons	N/mm^2

3.2 Schubwiderstand

Zur Ableitung des Schubwiderstandes einer Tonmasse aus den Ergebnissen der Stoßprüfung geht Haase [2] von der Annahme aus, daß die beim Fall der Stoßscheibe wirksame Arbeit vollkommen zur Überwindung der inneren Reibung des Tons bei der Formänderung aufgebraucht wird.

Die Arbeit, die die Stoßscheibe während des Falls und des Stoßes pro Volumen-Einheit des Probekörpers leistet, beträgt

$$A_v = \frac{G}{V} \cdot (H - h_i) \cdot 10^3 \quad (1)$$

Dabei können eingesetzt werden:

$$G = m \cdot g \quad (1a)$$

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \cdot h_o \quad (1b)$$

Zur Vereinfachung wird angenommen, daß der Ton während des Stoßes einen konstanten Stoßdruck σ_n auf die Stoßscheibe ausübt, der von der Verformungsgeschwindigkeit des Tons unabhängig ist. Außerdem wird angenommen, daß die Probe während des Stoßes nicht reißt, daß sie zylindrisch bleibt und daß sich ihr Volumen nicht ändert. Für die Formänderungsenergie pro Volumen-Einheit leitet Haase dann ab:

$$E_v = \sigma_n \cdot \ln(h_o/h_i) \cdot 10^3 \quad (2)$$

clays is between 0.25 and 0.75 and is of interest for determining the permissible statistical scatter (or "variance") of the water content during shaping.

The Pfefferkorn test give figures which are closely associated with the test apparatus. Haase [2] considers however that the impact test is also suitable for determining the shear resistance of a clay body.

The Pfefferkorn equipment has developed in Holland over the years into a valuable tool for the evaluation of the deformation behaviour of plastic clay bodies and the control of clay consistencies during shaping. Owing to the widespread use of the equipment, it was decided to examine the impact test more closely — proceeding on the basis of the study by Haase.

Reference should be made to a new TNO Report by Siskens [3] for a general survey of the present state of research to date on the deformation behaviour of clays.

2. Use of the impact testing equipment

The equipment should be installed so as to be vibration-free. The guide rod for the impact disk is set at vertical. The guide rod is then lubricated with light oil. The underside of the impact disk and the base plate are rubbed with a mixture of 9 parts kerosene and 1 part olein.

The clay body under test is thoroughly kneaded. The cylindrical test specimens are produced with a small brass mould, a stamp and a scraper knife. These are also rubbed with a mixture of kerosene and olein.

The specimens to be subjected to impact tests are placed centrally on the base plate under the impact disk. After the impact disk has been dropped through the selected height, the residual depth of the specimen is read off on a millimetre measuring scale attached to the guide rod. An indicator pin or nonius attached to the guide rod acts as the indicator.

3. Impact formula by Haase

3.1 Symbols and units

A_v	Impact energy per unit volume clay	kJ/m^3
E_v	Deformation energy per unit volume clay	kJ/m^3
G	Weight of impact disk and guide rod	N
m	Mass of impact disk and guide rod	kg
g	Acceleration due to force of gravity (9.81)	m/s^2
H	Nominal height of drop (Fig. 1)	mm
V	Volume of cylindrical test specimen	mm^3
d_o	Original diameter of test specimen	mm
h_o	Original depth of test specimen	mm
h_i	Residual depth of test specimen	mm
σ_n	Impact pressure on impact disk	N/mm^2
τ	Shear resistance of clay	N/mm^2

3.2 Shear resistance

In order to derive the shear resistance of a clay body from the results of the impact test, Haase [2] proceeds on the assumption that the net energy expended in the fall of the impact disk will be fully utilized in overcoming the internal friction of the clay on deformation.

The work performed by the impact disk during the fall and impact per unit volume of the test specimen is

$$A_v = \frac{G}{V} \cdot (H - h_i) \cdot 10^3 \quad (1)$$

here the following can be used:

$$G = m \cdot g \quad (1a)$$

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \cdot h_o \quad (1b)$$

For the sake of simplicity it is assumed that the clay exerts a constant impact pressure σ_n on the impact disk during the impact which is independent of the rate of clay deformation. It is also assumed that the specimen does not split during impact and that it remains cylindrical with the volume unchanged. Haase then derives the deformation energy per unit volume as follows:

$$E_v = \sigma_n \cdot \ln(h_o/h_i) \cdot 10^3 \quad (2)$$

Da $E_v = A_v$ angenommen wird, beträgt der Stoßdruck

$$\sigma_n = \frac{G \cdot (H - h_1)}{V \cdot \ln(h_0/h_1)} \quad (3)$$

Nach Haase gilt dann für den Schubwiderstand des Tons die Stoß-Formel:

$$\tau = \frac{G \cdot (H - h_1)}{2 \cdot V \cdot \ln(h_0/h_1)} \quad (4)$$

4. Stoßgeschwindigkeit und Reibungsverluste

In dem Augenblick, in dem die fallende Stoßscheibe den Ton-Probekörper erreicht, beträgt ihre Geschwindigkeit V_0 (in m/s) theoretisch:

$$V_0 = \sqrt{2g \cdot 10^3(H - h_0)} \quad (5)$$

Für eine Fallhöhe $H = 186$ mm und eine Probekörperhöhe $h_0 = 40$ mm wird die Auftreffgeschwindigkeit $V_0 = 1,69$ m/s. Der übrige Verlauf der Stoßgeschwindigkeit v bei der Höhe h des Probekörpers kann unter Vernachlässigung der äußeren Reibung wie folgt abgeleitet werden:

Während des Stoßes – bei einer Höhe h des Probekörpers – wird auf die Stoßscheibe eine aufwärts gerichtete Kraft K ausgeübt:

$$K = \frac{\sigma_n \cdot V}{h} - m \cdot g.$$

Diese Kraft verzögert die Geschwindigkeit v der Stoßscheibe. Die Verzögerung a beträgt:

$$a = \frac{\sigma_n \cdot V}{m \cdot h} - g$$

Für a gilt:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dh} \cdot \frac{dh}{dt} = \frac{dv}{dh} \cdot v = \frac{d(1/2 v^2)}{dh}$$

Hieraus folgt:

$$d(1/2 v^2) = \left[\frac{\sigma_n \cdot V}{m \cdot h} - g \right] \cdot dh.$$

Integration und weitere Ausarbeitung führen zu Formel (6) für den Verlauf der Stoßgeschwindigkeit V (in m/s) bei Probekörperhöhe h (in mm):

$$v = \sqrt{2g \cdot 10^{-3} \left[(H - h) - \frac{(H - h_1)}{\ln(h_0/h_1)} \cdot \ln(h_0/h) \right]} \quad (6)$$

Zur Kontrolle der Anwendbarkeit der Formeln (5) und (6) wurde der tatsächliche Ablauf des Stoßes bei einer Reihe von Pfefferkorn-Prüfungen mit Hilfe der ultraschnellen Fotografie (0,5 ms/Bild) aufgezeichnet und analysiert. Bild 3 zeigt beispielhaft den gemessenen Verlauf der Zylinderhöhe bei normaler Pfefferkorn-Prüfung einer Masse mit einer Pfefferkorn-Resthöhe $h_1 = 16,9$ mm. Gleichzeitig ist der Verlauf der Stoßgeschwindigkeit mit der Höhe angegeben. Infolge der Reibung der Führungsstange ergab sich die Anfangsgeschwindigkeit mit 1,65 statt 1,69 m/s. Für die ermittelte Auftreffgeschwindigkeit wäre theoretisch nur eine Fallhöhe $H' = 178,8$ mm nötig gewesen. Der aus den Messungen abgeleitete Kurvenverlauf Stoßgeschwindigkeit/Höhe fällt übrigens völlig mit dem Kurvenverlauf nach Formel (6) zusammen, wenn darin nur der Zahlenwert von H' und nicht der von H eingesetzt wird.

Die Kurve der gefilmten Stoßprüfungen bestätigt die Auffassung, daß mangelnde Sorgfalt bei der Schmierung der Führungsstange, bei der vertikalen Ausrichtung bei der Gerätaufstellung oder auch bei der Entriegelung (Fallfreigabe), die Auftreffgeschwindigkeit und damit die wirksame Verformungsenergie stark beeinflussen. Nicht nur vor dem Stoß, sondern auch während des Stoßes beeinflusst die Reibung der Führungsstange das Meßergebnis. Das gilt ganz besonders für Prüfungen an heterogenen Probekörpern oder bei exzentrischer Aufstellung der Ton-Probekörper. Außerdem wird ein geringer Teil der Stoßenergie zur Überwindung der Reibung zwischen dem Ton und der polierten und eingeölte Stoßplatte einerseits und der gleichbehandelten Grundplatte andererseits gebraucht. Die Größenordnung des Reibungskoeffizienten wird bei guter Schmierung mit dem Olein-Kerosin-Gemisch auf 0,05 geschätzt. Diese Schätzung beruht auf einem Orientierungs- und

As it is assumed that $E_v = A_v$, the impact pressure therefore amounts to

$$\sigma_n = \frac{G \cdot (H - h_1)}{V \cdot \ln(h_0/h_1)} \quad (3)$$

According to Haase the impact formula applying to the shear resistance of the clay is then:

$$\tau = \frac{G \cdot (H - h_1)}{2 \cdot V \cdot \ln(h_0/h_1)} \quad (4)$$

4. Impact velocity and friction losses

The velocity of the falling impact disk at the moment it reaches the clay specimen in theory amounts to:

$$V_0 = \sqrt{2g \cdot 10^3(H - h_0)} \quad (5)$$

For a drop of $H = 186$ mm and an original test specimen depth of $h_0 = 40$ mm, the velocity on impact will be $V_0 = 1.69$ m/s. The remaining impact velocity (i.e. after first contact) v for the depth h of the test specimen may then be derived as follows, disregarding external friction:

During impact – for a height h of the test specimen – a centrifugal force K acts on the impact disk:

$$K = \frac{\sigma_n \cdot V}{h} - m \cdot g.$$

This force retards the velocity v of the impact disk. The retardation a amounts to:

$$a = \frac{\sigma_n \cdot V}{m \cdot h} - g$$

The following applies to a :

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dh} \cdot \frac{dh}{dt} = \frac{dv}{dh} \cdot v = \frac{d(1/2 v^2)}{dh}$$

hence:

$$d(1/2 v^2) = \left[\frac{\sigma_n \cdot V}{m \cdot h} - g \right] \cdot dh.$$

By integration and further derivation, Formula (6) is then obtained for the development of the impact velocity v (in m/s) for a test specimen depth h (in mm):

$$v = \sqrt{2g \cdot 10^{-3} \left[(H - h) - \frac{(H - h_1)}{\ln(h_0/h_1)} \cdot \ln(h_0/h) \right]} \quad (6)$$

The applicability of Formulae (5) and (6) was checked by recording and analysing the actual impact made in a series of Pfefferkorn tests, using ultra-high speed photography (0.5 ms/photo). Fig. 3 shows for example the course of deformation of the cylinder depth of the clay during a normal Pfefferkorn test, having a Pfefferkorn residual depth $h_1 = 16.9$ mm. The impact velocity development and the height are also given simultaneously. Owing to friction of the guide rod, the initial velocity was given as 1.65 instead of 1.69 m/s. In theory a drop of $H' = 178.8$ mm only would have been necessary for the initial impact velocity. The impact velocity/height derived from the measurements in fact conform fully with the curves obtained according to Formula (6) when only the numerical value H' and not H is used.

The curve for the impact tests recorded on film confirms the view that lack of care in lubricating the guide rod, in ensuring verticality of the test equipment and in the release of the falling disk have a great influence on the velocity of impact and hence on the net deformation energy. The measured result is affected by friction of the guide rod not only before but also during impact. This particularly applies to tests on heterogeneous specimens or eccentric placing of the clay specimens. A small amount of the impact energy is also required to overcome friction between a) the clay and the polished, oiled impact plate and b) the base plate which has been similarly treated. The magnitude of the coefficients of friction is estimated at 0.05 with good lubrication with the kerosene-olein mixture. This estimate is based on an orientation and sensor test. Häusser [6] also gives a similar value. A rough calculation shows that the effect of friction from this source influences the test results in giving this coefficient of friction, particularly in tests on clay bodies with a Pfefferkorn residual

Tastversuch. Auch Häusser [6] gibt einen Wert dieser Größenordnung an. Eine überschlägige Rechnung zeigt, daß sich der Einfluß dieser Reibung auf das Prüfergebnis bei diesem Reibungskoeffizienten vor allem bei Untersuchungen an Tonmassen mit einer Pfefferkorn-Resthöhe von weniger als 8 mm auswirkt. Die angesprochenen Verluste müssen durch gute Schmierung und durch sorgfältige Versuchsdurchführung minimiert werden. Darüber hinaus empfiehlt sich für Konsistenzprüfungen an sehr weichen Tonen eine Apparatur mit geringerer Stoßenergie.

5. Stoßprüfungen

5.1 Ansatz der Untersuchung

Mit drei niederländischen Tonen wurde unter variierten Bedingungen eine Reihe von Stoßprüfungen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden anhand der Stoßformel von Haase analysiert. Die Untersuchung bezog sich vornehmlich auf lufthaltige Tonmassen bei ca. 20° C mit unterschiedlich gewählten Wassergehalten. Fallhöhe, Gewicht der Stoßscheibe sowie Höhe und Durchmesser der zylindrischen Ton-Probekörper wurden ebenfalls variiert.

5.2 Prüfmassen

Die Untersuchungen wurden durchgeführt mit einem jungen Meereston Z aus Groningen, einem jungen Flußton R aus Gelderland und einem Lößlehm L aus Nord-Brabant. Die Tone sind in den Tabellen 1 und 2 charakterisiert. Die Tonmuster standen als bei 40° C getrocknete, unzusammenhängende, körnige Rohmassen zur Verfügung. Nach 24 Stunden Einweichzeit wurden daraus in einem Planetmischer durch Wasserzugabe Prüfmassen mit unterschiedlichen Wassergehalten gebildet. Unmittelbar darauf wurden die Probekörper einer Reihe von Stoßprüfungen unterworfen. Der Wassergehalt jeder Probe wurde durch Wiegen der Muster vor und nach Trocknung bei 105° C bestimmt und in Prozenten der Trockenmasse ausgedrückt.

% (m/m _d)	Ton/Clay Z	Ton/Clay R	Ton/Clay L
SiO ₂	68	63	81
Al ₂ O ₃	11,7	10,3	9,7
Fe ₂ O ₃	5,1	3,9	2,6
CaO	1,1	5,6	0,5
MgO	1,2	1,5	0,8
K ₂ O	2,3	2,2	1,3
Na ₂ O	0,6	0,7	1,0
Glühverlust			
Loss-on-ignition (L.O.I.)	6,7	8,9	2,1
Humus	1,6	1,3	0,4
CO ₂	0,3	4,2	0,0

Tabelle 1. Chemische Analyse dreier niederländischer Tone

Table 1. Chemical analysis of 3 Dutch clays

Tableau 1. Analyse chimique de trois argiles néerlandaises

Tabella 1. Analisi chimica di tre argille di provenienza olandese

5.3 Prüfapparatur

Für die Untersuchungen wurden zwei Stoß-Prüfgeräte verwendet. Bei dem ersten handelte es sich um ein originales Pfefferkorn-Gerät mit einem Stoßscheibengewicht von 11,69 N. Das zweite war ein leichter Gerätetyp mit einem Stoßscheibengewicht von 7,65 N. Dieses zweite Gerät wird in den Niederlanden für die werkseigene Prüfung der Konsistenz weicher Tonmassen für die Produktion von Weichsteinen empfohlen.

Grobe Verunreinigungen der Masse haben ebenso wie die Reibung des Tons an Stoßscheibe und Grundplatte bei dem leichteren Gerät geringeren Einfluß auf das Prüfergebnis bei sehr weichen Tonen, zumal in solchen Fällen auch weniger hohe Anforderungen an die Ablesegenauigkeit gestellt werden. Die Fallhöhe H dieses Gerätes beträgt normal 100 mm. Die Proben haben gleiche Form und Abmessungen wie die von Pfefferkorn. Im Zusammenhang damit soll auf die Unterschiede der Spezifikation der Pfefferkorn-Prüfung hingewiesen werden, die sich in der Fachliteratur finden. Tab. 3 gibt davon einen Eindruck.

depth of less than 8 mm. The losses liable to be incurred should be minimized by good lubrication and careful test performance. Testing with a lower impact force is also advisable in consistency tests on very soft clays.

5. Impact tests

5.1 Application of the test

A series of impact tests was performed on three Dutch clays under varying conditions. The results have been analysed with

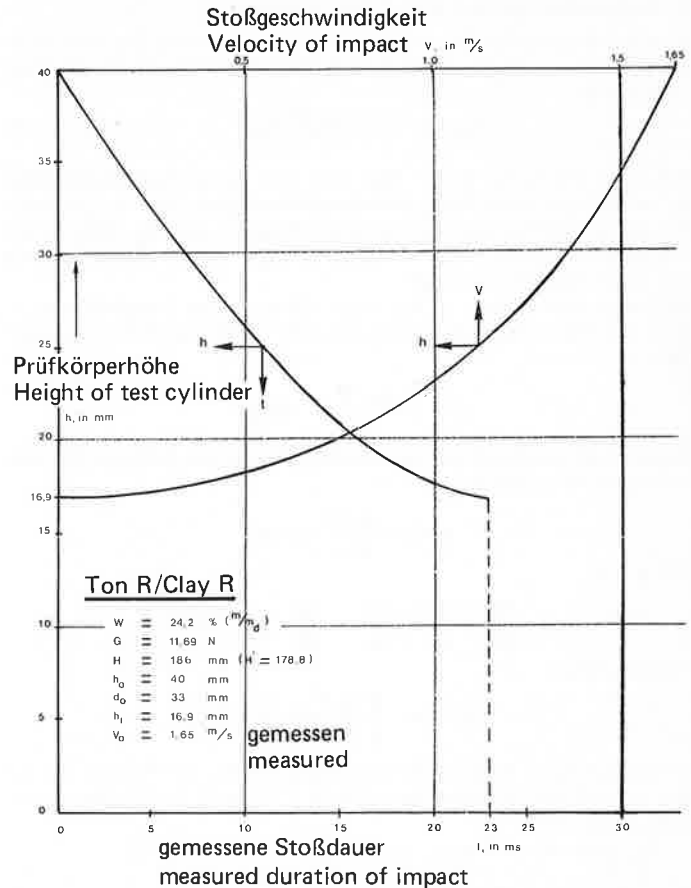


Bild 3. Stoßdauer und Stoßgeschwindigkeit bei einer Pfefferkorn-Prüfung

Fig. 3. Duration and velocity of impact in a Pfefferkorn test

Fig. 3. Durée et vitesse du choc lors d'un essai de Pfefferkorn

Fig. 3. Durata e velocità d'urto nella prova di Pfefferkorn

Eigenschaft/Property	Einheit/Unit	Ton/Clay Z	Ton/Clay R	Ton/Clay L
Kornfraktion < 2µm Grain size fraction < 2µm	% (m/m _d)	41	24	13
Kornfraktion < 10µm Grain size fraction < 10µm	% (m/m _d)	57	40	22
Kornfraktion > 20µm Grain size fraction > 20µm	% (m/m _d)	32	49	65
Spez. Gesamtoberfläche (Glykoladsorption) Specific total surface (glycol adsorption)	m ² /g	132	75	34
Ausrollgrenze (nach Atterberg) Rolling-out limit (acc. to Atterberg)	% (m/m _d)	25	19	16
Plastizitätszahl (Pfefferkorn) Plasticity index (Pfefferkorn)	% (m/m _d)	38	27	20
Konsistenzstabilität Consistency stability	% / mm	0,58	0,41	0,33

Tabelle 2. Verschiedene Analysedaten der drei Tone

Table 2. Various analytical data on the three clays

Tableau 2. Différents résultats d'analyse des trois argiles

Tabella 2. Altri dati analitici relativi alle tre argille

Spezifikation/Specification	Stoßscheibe/Impact disk		Probekörper/Test specimen	
	Gewicht/Weight	Fallhöhe Height of drop mm	Höhe/Height (depth) mm	Durchmesser Diameter mm
Nach/acc. to Pfefferkorn [1]	11,69	186	40	33
Nach/acc. to Haase [2]	11,77	185	40	35
Nach/acc. to Lehnhäuser [4]	11,77	185	40	30

Tabelle 3. Verschiedene Spezifikationen der Pfefferkorn-Prüfung

Table 3. Various specifications for the Pfefferkorn test

Tableau 3. Différentes spécifications de l'essai de Pfefferkorn

Tabella 3. Parametri della prova di Pfefferkorn

Bei der vorliegenden Untersuchung sind Stoßscheibengewicht, Probekörperhöhe und Probekörperdurchmesser natürlich variiert.

6. Stoßprüfungsergebnisse

6.1 Pfefferkornresthöhe

In Bild 4 sind die bei verschiedenen Wassergehalten gefundenen Resthöhen nach Pfefferkorn für die Tonsorten mit Luftgehalt dargestellt. Unter Berücksichtigung der begrenzten Genauigkeit der Bestimmungen, scheint der Verlauf der Kurven für Wassergehalt und Resthöhen für alle drei Proben auf den ersten Blick linear zu sein. Im Abschnitt 1 wurde darauf bereits hingewiesen. In Bild 4 sind auch die in Tabelle 2 aufgeführten Werte der Plastizitätszahl (P) von Pfefferkorn und die der Konsistenzstabilität (Sc) aufgenommen.

6.2 Schubwiderstand

Die Beobachtungen bei den Stoßprüfungen wurden zu Daten über den Schubwiderstand τ und die Stoßenergie pro Volumeneinheit A_v verarbeitet. Die Berechnung von τ und A_v erfolgte nach den Formeln (1) und (4). Reibungseinflüsse auf τ und A_v blieben unberücksichtigt, da zuverlässige Angaben darüber fehlten. In den Bildern 5, 6 und 7 sind die Ergebnisse der Berechnungen in τ - A_v -Diagrammen wiedergegeben. Die Diagramme vermitteln einen Eindruck davon, wie abhängig der berechnete Schubwiderstandswert von den äußeren Prüfbedingungen ist. Die Punktehäufungen beziehen sich auf unterschiedliche Wassergehalte W. Die Ziffern zu den einzelnen Punkten verweisen auf die in der Legende definierten Prüfgegebenheiten. Im übrigen wurde die Fallhöhe variiert. Aus dem geradlinigen Verlauf von τ/A_v ergibt sich, daß der Schubwiderstand wächst, wenn die Stoßenergie je Volumeneinheit Ton größer gewählt wird. Der Schubwiderstand ist sichtlich abhängig von der Charakteristik der Stoß-Prüfung. Dieser Trend verstärkt sich in dem Maß, in dem der Ton geringeren Wassergehalt hat. Für eine gegebene Höhe des Schubwiderstands zeigen magere Tone diesen Effekt am stärksten. Im übrigen läßt die Streuung der Meßpunkte Wünsche offen. In der τ/A_v -Relation kommt der Einfluß der von Probe zu Probe und während jedes Prüfvorganges variierenden Verformungsgeschwindigkeiten des Tons auf den Schubwiderstand wahrscheinlich nur unvollkommen zum Ausdruck. Auch variable Reibungsverluste, die Bildung von feinen Rissen in den Proben oder Abweichungen beim Wassergehalt werden aber zur Streuung beigetragen haben. Die Begriffe „Trend“ und „allgemeiner Verlauf“ wurden absichtlich so gewählt, um Nachdruck auf den allgemeinen Charakter des festgestellten τ/A_v -Verlaufes zu legen. Auf die Unterschiede der in den Bildern 5, 6 und 7 verwendeten zwei Linierungen wird noch einzugehen sein. Vorerst sei angemerkt, daß in Fällen, in denen beide Linierungen sich sichtlich auf die gleiche Punktehäufung beziehen, die unterbrochenen (gestrichelten) Linien den allgemeinen Verlauf der Meßpunkte besser treffen.

7. Einfluß des Wassergehaltes auf den Schubwiderstand

Die Schnittpunkte der Ordinaten $A_v=0$ und $A_v=60 \text{ kJ/m}^3$ (Bild 5, 6 und 7) mit den Linien, die den allgemeinen Verlauf der Meßpunkte am besten wiedergeben, sind in das Wassergehalts-Schubwiderstand-Diagramm der Abb. 8 aufgenommen. Der Verlauf des bis $A_v=0$ extrapolierten Schubwiderstandes bezogen auf den Wassergehalt ist für jede der drei Tontypen Z, R, und L annähernd mit Formel (7) beschreibbar.

$$\tau_0 = \frac{B \cdot O_s}{(W - W_x)} \quad (7)$$

reference to the impact formula of Haase. The tests mainly related to clay bodies with no de-airing at 20° C and with a selection of different water contents. The height of fall, weight of the impact disk and depth and diameter of the cylindrical clay specimens were likewise varied.

5.2 Clay bodies of the specimens

The tests were performed with a recent marine clay Z from Groningen, a recent river clay R from the Gelderland and a loess loam L from North Brabant. The characteristics of the clays are given in Tables 1 and 2. The clay specimens were therefore available in the form of non-cohesive, granular raw materials, dried at 40° C. After soaking for 24 hours, the test bodies were formed by addition of moisture with varying moisture contents in a planetary mixer. The specimens were submitted immediately afterwards to a series of impact tests. The moisture content of each specimen was determined by weighing before and after drying at 105° C and expressed as a percentage of the dry mass.

5.3 Test apparatus

Two impact testing appliances were used for the tests. The first was an original Pfefferkorn device with an impact disk weight of 11.69 N. The second was of a lighter type with an impact disk weight of 7.65 N. This second appliance is recommended in Holland for testing the internal consistency of soft clay bodies at works for the production of soft-mud bricks. Major impurities in the clay, as well friction of the clay on the impact disk and base plate, had less influence on the test results for plastic clays with the lighter equipment, particularly as in

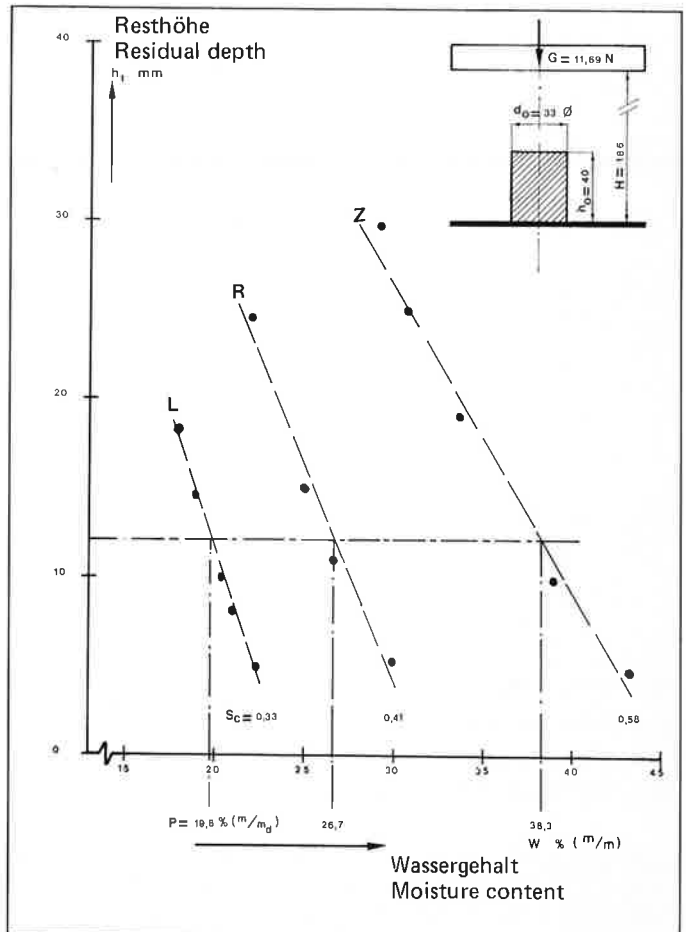


Bild 4. Einfluß des Wassergehaltes auf die Konsistenz dreier niederländischer Tone

Fig. 4. Effect of moisture content on the consistency of three Dutch clays

Fig. 4. Influence de la teneur en eau sur la consistance de trois argiles néerlandaises

Fig. 4. Correlazione tra il tenore d'acqua e la consistenza di tre argille di provenienza olandese

Hierin sind:

- τ_0 Schubwiderstand für $A=0$ in N/mm^2
- O_s Totale spezif. Oberfläche des trockenen Tons in m^2/g
- W Wassergehalt bezogen auf die Masse des trockenen Tons in % (m/m_d)
- W_x Wassergehalt an der Ausrollgrenze nach Atterberg, bezogen auf die Masse trockenen Tons in % (m/m_d)
- B Faktor

B und W_x wurden durch Iteration berechnet.

Für W und O_s sind dabei die experimentell festgestellten Werte angesetzt. Der Zahlenwert für B erwies sich bei den untersuchten Tonen als unabhängig von der Tonsorte. Festgestellt wurde:

$$B = 1,75 \cdot 10^{-3} \quad (7a)$$

Für W_x wurden, wie Tabelle 4 zeigt, Werte errechnet, die nur wenig von den experimentell bestimmten Ausrollgrenzen abweichen.

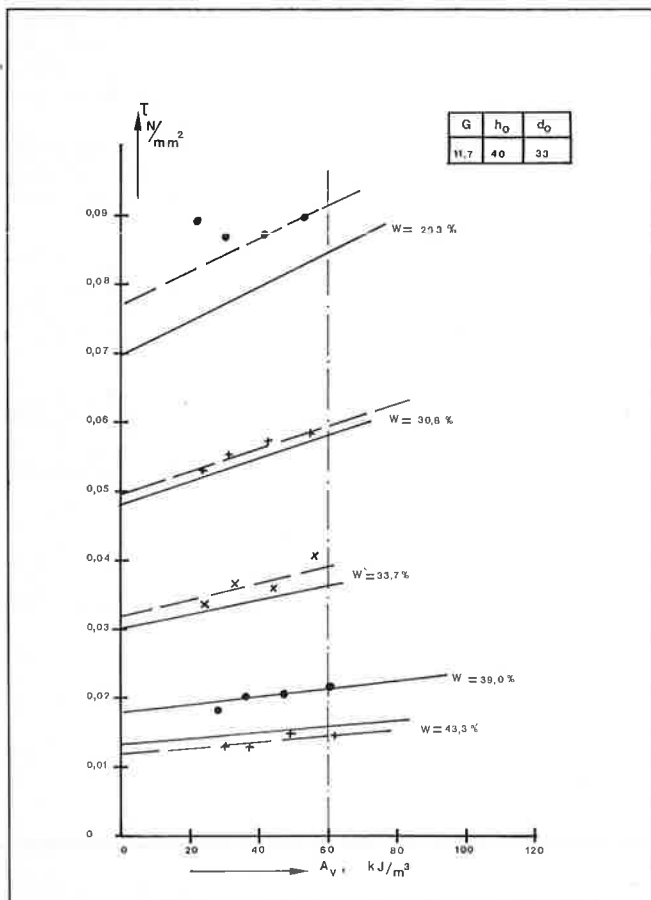


Bild 5. Schubwiderstand des Tones Z
 Fig. 5. Shear resistance of Clay Z
 Fig. 5. Résistance au cisaillement de l'argile Z
 Fig. 5. Resistenza al taglio dell'argilla Z

Die in Bild 8 dargestellten Kurven für $A_v=0$ zeigen die nach Formel (7) berechnete Beziehung zwischen τ_0 und W . τ_0 stimmt möglicherweise mit dem Anlaßwert der Tone überein. Bei Aufstellung der Formel (7) wurde von der Annahme ausgegangen, daß der Schubwiderstand umgekehrt proportional sein könne einer Zunahme der mittleren Dicke der Wasserfilme zwischen den Tonpartikeln – gerechnet vom Feuchtezustand an der Ausrollgrenze an. Zugleich wurde angenommen, daß die gesamte spezif. Oberfläche der Tone für die räumliche Verteilung des Wassers oberhalb der Ausrollgrenze maßgebend sei. Wichtigster Grund für die Wahl der totalen spezif. Oberfläche O_s anstelle der möglicherweise eher in Betracht kommenden äußeren spezif. Oberfläche A_s war, daß für O_s eigene Meßergebnisse verfügbar

such cases less accuracy is required in the results read off. The height of fall H for this equipment is normally 100 mm. The specimens have the same shape and dimensions as with Pfefferkorn. Reference should be made in this context to variations in the specifications for the Pfefferkorn test, which are to be found in the technical literature. Table 3 gives an impression of these. In the present test the impact disk weight, test specimen depth and test specimen diameter naturally vary.

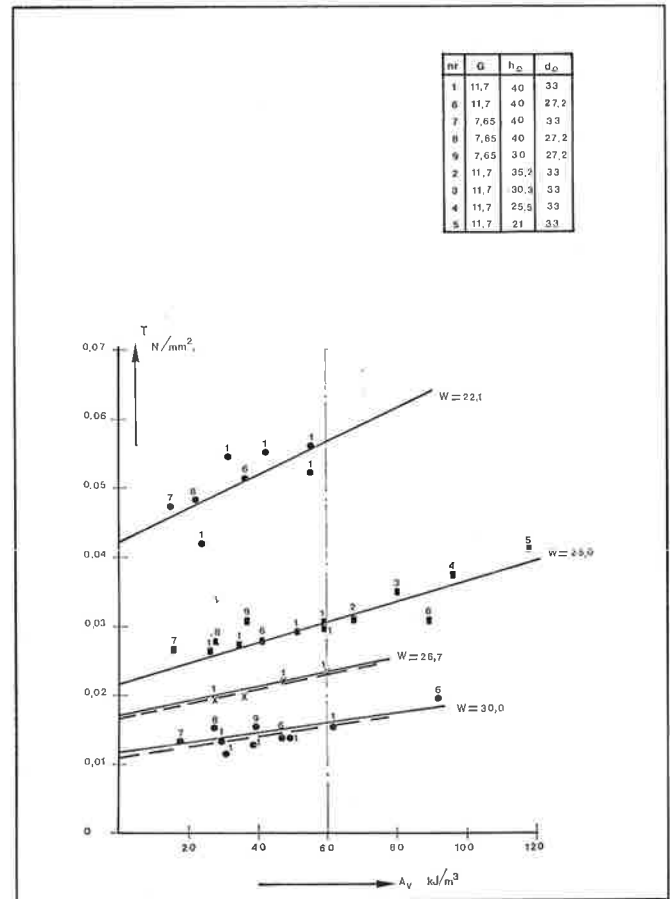


Bild 6. Schubwiderstand des Tones R
 Fig. 6. Shear resistance of Clay R
 Fig. 6. Résistance au cisaillement de l'argile R
 Fig. 6. Resistenza al taglio dell'argilla R

6. Impact test results

6.1 Pfefferkorn residual depth

Fig. 4 shows the residual depth according to Pfefferkorn with different moisture contents for non-deaired types of clay. Making allowance for the limited accuracy of the values determined, the path taken by the curves for water content and residual depth for all three specimens at first sight appeared to be linear. Reference has already been made to this in Para. 1. Fig. 4 also includes the values for the plasticity index (P) of Pfefferkorn as given in Table 2 and the consistency stability (Sc).

6.2 Shear resistance

The observations made during the impact tests were used to compile data on the shear resistance τ and the impact energy per unit volume A_v . The calculation of τ and A_v was performed according to Formulae (1) and (4). Friction effects on τ and A_v were disregarded as no reliable data are available on these. Figs. 5, 6 and 7 reproduce the results of the calculations in the form of $\tau-A_v$ diagrams. These diagrams give an impression of the extent to which the calculated shear resistance depends on the external test conditions. The clustering of values is associated with the variable water content W . The figures at the individual points refer to given test conditions as defined in the captions. The height of drop was also varied. It was found from the

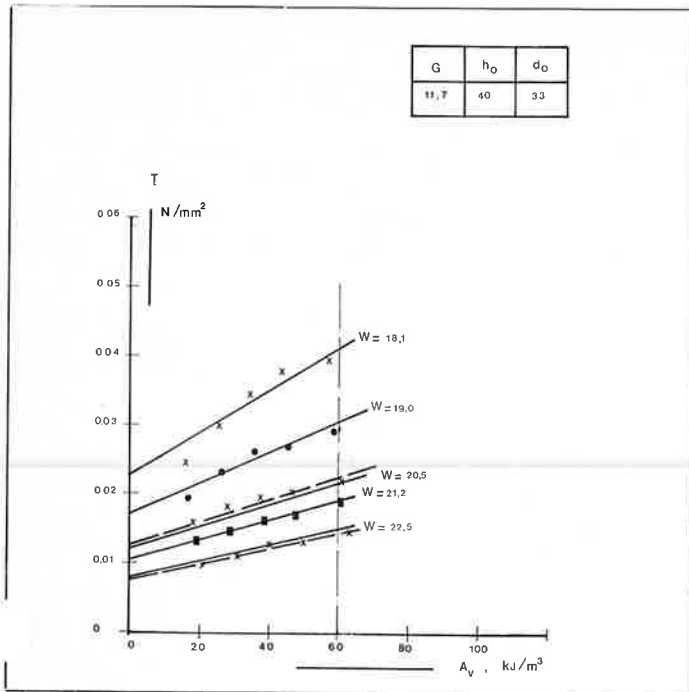


Bild 7. Schubwiderstand des Tones L
 Fig. 7. Shear resistance of Clay L
 Fig. 7. Résistance au cisaillement de l'argile L
 Fig. 7. Resistenza al taglio dell'argilla L

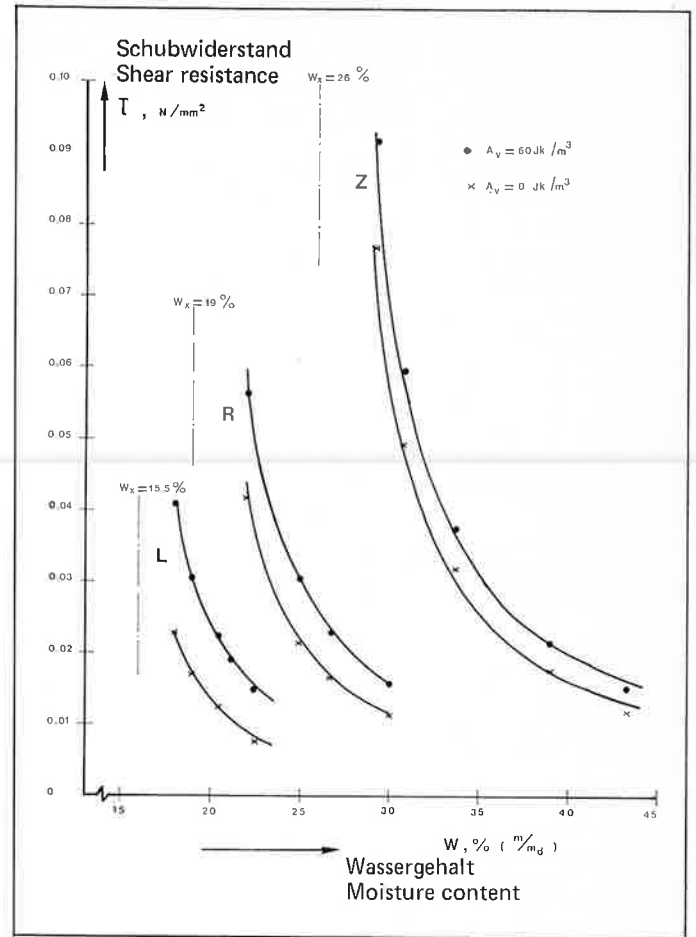


Bild 8. Schubwiderstand dreier niederländischer Tone in Abhängigkeit vom Wassergehalt
 Fig. 8. Shear resistance of three Dutch clays in relation to moisture content
 Fig. 8. Résistance au cisaillement de trois argiles néerlandaises en fonction de la teneur en eau
 Fig. 8. Resistenza al taglio di tre argille olandesi in funzione del tenore d'acqua

Tontyp/Clay type	Ausrollgrenze/Rolling-out limit in ‰ (m/md)	
	berechnet/calculated	experimentell ermittelt determined experimentally
Z	26	25
R	19	19
L	15,5	16

Tabelle 4. Berechnete und experimentell festgestellte Ausrollgrenzen

Table 4. Rolling-out limits as determined by calculation and by experiment

Tableau 4. Limites d'allongement d'après les calculs et les expériences

Tabella 4. Limite di roulage determinato sperimentalmente e per via di calcolo

waren. Aus einer früheren Untersuchung [7] ist übrigens abzuleiten, daß der Zahlenwert des Quotienten O_s/A_s für jede der betr. Tonarten ungefähr 5 ist. Ersetzt man O_s in Formel (7) durch A_s , dann ergäbe sich ein Proportionalfaktor B' der Größenordnung von $8,8 \cdot 10^{-3}$. Die wissenschaftliche Bedeutung weiterer Untersuchungen an mineralogisch sehr unterschiedlichen Tonen, bei denen sowohl O_s als auch A_s sicher bekannt sind, ist aufgrund der bisherigen Ausführungen evident. Einen besonderen Hinweis auf die Allgemeingültigkeit der Formel (7) gibt die von van Amerongen [5] aufgezeigte lineare Beziehung zwischen der spezif. Gesamtoberfläche niederländischer Tone und dem Plastizitätsindex nach Atterberg. Dem Bild 6 des betreffenden Artikels kann die Faustregel entnommen werden:

$$P_a = (W_v - W_x) = 0,342 \cdot O_s \quad (8)$$

Hierin sind:

- P_a Plastizitätsindex nach Atterberg in ‰ (m/md)
- W_v Fließgrenze in ‰ (m/md)
- W_x Ausrollgrenze in ‰ (m/md)
- O_v spezif. Gesamtoberfläche in m^2/g

straight line pattern generally taken by τ/A_v that the shear resistance increases with greater impact energy per unit volume clay. The shear resistance is clearly dependent on the special characteristics of the impact test. This trend becomes even more evident when the moisture content of the clay is proportionately lower. For a given height, this effect is shown to be most pronounced with the lean clays. The statistical scatter of the measured points also leaves something to be desired.

The effect on shear resistance of the different rates of deformation affecting the clay – varying from specimen to specimen and during the course of each test operation – is probably not completely expressed in the τ/A_v relationship. Variable friction losses, the formation of fine cracks in the specimens or variations in the water content are also contributory factors to the scatter obtained in the results. The terms "trend" and "general pattern" are intentionally chosen to emphasize the generalized nature of the τ/A_v curve established.

A detailed consideration still has to be made of differences in the path taken by the lines appearing in Figs. 5, 6 and 7. It should first of all be noted that in cases in which both sets of lines are visibly related to the same point clustering, the broken lines best reflect the general pattern of the measured points.

7. Effect of water content on shear resistance

The intersections of the ordinates $A_v = 0$ and $A_v = 60 \text{ kJ/m}^3$ (Figs. 5, 6 and 7) together with the lines which best reproduce the general pattern of the measured points are entered in the water content-shear resistance diagram in Fig. 8. The $A_v = 0$ extrapolated shear resistance curve as a function of the moisture

An der Fließgrenze hat jede Masse einen festen niedrigen Wert für den Schubwiderstand. Er hängt nur von der vorgeschriebenen Methode der Prüfung ab. Das wird in Formel (7) berücksichtigt. Für den Schubwiderstand τ_v an der Fließgrenze ergibt sich bei Substitution von $(W-W_x)$ durch die Beziehung aus Formel (8):

$$\tau_v = \frac{1,75 \cdot 10^{-3}}{0,342} = 0,005 \text{ N/m}^2$$

Die unter 6.2 erwähnte Abhängigkeit des Schubwiderstandes von den Prüfbedingungen kann jedenfalls vorläufig und annäherungsweise am einfachsten mit der Formel (9) zum Ausdruck gebracht werden:

$$\tau = \frac{B \cdot O_s + C \cdot A_v}{(W - W_x)} \quad (9)$$

Darin sind:

τ Schubwiderstand (N/mm^2) bei Ausübung einer Stoßarbeit A_v je Volumen-Einheit (kJ/m^3)

C Faktor

Auch für C war annähernd allgemein ein von der Tonart unabhängiger Zahlenwert einsetzbar.

$$C = 0,8 \cdot 10^{-3}$$

In Bild 8 ist auch die nach Formel (9) errechnete Kurve der Relation zwischen τ und W für $A_v = 60 \text{ kJ/m}^3$ dargestellt.

In den Bildern 5, 6 und 7 ist der errechnete Trend für τ mit durchgezogenen Linien angegeben. Damit ist der Gebrauch zweier Linierungen in diesen Grafiken erklärt. Beim Ton Z (Bild 5) ist die Differenz zwischen dem berechneten und dem aus Messungen resultierenden Kurvenverlauf ziemlich groß. Das ändert aber nichts daran, daß die skizzierte Analyse der Ergebnisse der Stoßprüfungen zu bedeutend besserem Einblick in die Verformungseigenschaften von Tonmassen verhelfen kann.

Der gefundene Verlauf des Schubwiderstandes je nach Wassergehalt bezieht sich auf lufthaltige Tone. Pilot-Stoßprüfungen an den Tönen Z und R in entlüftetem Zustand ergaben, daß der Schubwiderstand eines Tones mit gegebenem Wassergehalt durch Entlüftung der Tonmasse um 25–35 Prozent zunimmt. Zur Entlüftung der Tonmasse wurde eine Vakuum-Strangpresse benutzt. Die Probekörper wurden von einem zylindrischen Strang mit $\varnothing 33 \text{ mm}$ abgeschnitten.

Auffällig war die besondere Form der Probekörper des entlüfteten Tones Z nach der Stoßprüfung. Bei den Prüfungen der lufthaltigen Töne Z, R und L sowie des entlüfteten Tones R waren die gestoßenen Probekörper stets einigermaßen tonnenförmig geblieben, wobei die obere Fläche der unteren ungefähr gleich. Bei dem entlüfteten Ton Z waren diese beiden Flächen ihrer Größe nach unterschiedlich. Ob die Ober- oder die Unterseite sich durch die Stoßbeanspruchung mehr ausbreitete, war von der Extrusionsrichtung abhängig. Die besondere Form der Probekörper muß deshalb der Strangstruktur des fetten Tones zugeschrieben werden. Bild 9 erläutert das näher. Die Höhe der Probekörper nach der Stoßbeanspruchung war übrigens fast unabhängig von der Richtung der Prüfbeanspruchung.

8. Kurvenverlauf Pfefferkorn-Resthöhe: Wassergehalt

Nach den Formeln (1), (4) und (9) läßt sich der Kurvenverlauf der nach Abschnitt 1 definierten Pfefferkorn-Resthöhe P_r beim Wassergehalt W für die Töne Z, R und L berechnen. Die Kurven zeigt Bild 10, in dem auch die Beobachtungsergebnisse der Pfefferkorn-Untersuchungen aufgenommen sind. Beim Vergleich mit der Grafik in Bild 4 wird deutlich, daß die herrschende Auffassung — wie sie in Abschnitt 1 angesprochen ist —, daß nämlich die Beziehung zwischen P_r und W als geradlinig anzunehmen ist, der Korrektur bedarf.

Im übrigen bleibt der Gebrauchswert der Konsistenzstabilität — sei es auch nur für einen begrenzten Konsistenzbereich — unangestastet.

9. Folgerungen und Empfehlungen

a) Bei Stoßprüfungen mit dem Pfefferkorn-Prüfgerät ist die Reibung im Gerätesystem eine beachtliche Fehlerquelle. Sorgfältige Arbeit ist erforderlich.

content is described approximately in Formula 7 for each of the three types of clay Z, R and L:

$$\tau_o = \frac{B \cdot O_s}{(W - W_x)} \quad (7)$$

where:

τ_o = Shear resistance for $A = 0$ in N/mm^2

O_s = total specific surface of the dry clay in m^2/g

W = water content in relation to the dry clay mass in % (m/m_d)

W_x = water content at the rolling-out limit according to Atterberg, in relation to the dry clay mass in % (m/m_d)

B = factor

B and W_x were calculated by iteration, using the values of W and O_s determined experimentally. The numerical value for B among the clays tested was found to be independent of the type of clay. The following was established:

$$B = 1,75 \cdot 10^{-3} \quad (7a)$$

Table 4 shows that the calculated values for W_x differ only slightly from the rolling-out limits determined by experiment.

The curves for $A_v = 0$ presented in Fig. 8 reflect the relationship between τ_o and W as calculated according to Formula (7). This τ_o possibly agrees with the yield value of the clays.

In formulating Formula (7) it was assumed that the shear resistance can be in inverse proportion to an increase in average thickness of the moisture film between the clay partic.

— calculated from the moist condition to the rolling-out limit. At the same time it was assumed that the total specific surface of the clay for the volume distribution of the moisture was significantly above the rolling-out limit. The main reason for the selection of the total specific surface O_s instead of the possibly preferable external specific surface A_s was that the author had his own measured data available. From an earlier investigation [7] it may in fact be inferred that the numerical value of quotient O_s/A_s is approx. 5 for each of the types of clay considered. If A_s is substituted in Formula (7) for O_s , then a proportional factor B' amounting to $8,8 \cdot 10^{-3}$ would be obtained. Clearly it is of scientific importance for additional tests to be carried out on clays of very diverse mineralogical composition, in which both O_s and A_s are known with certainty.

A special indication of the general validity of Formula (7) is furnished by the linear relationship indicated by van Amerongen [5] between the total specific surface of Dutch clays and the plasticity index according to Atterberg. The empirical rule may be taken from Fig. 6 of the article concerned, viz.

$$P_a = (W_v - W_x) = 0,342 \cdot O_s \quad (8)$$

where:

P_a = plasticity index acc. to Atterberg in % (m/m_d)

W_v = yield limit in % (m/m_d)

W_x = rolling-out limit in % (m/m_d)

O_s = total specific surface in m^2/g

Each clay body has a fixed lower limit for shear resistance. It merely depends on the prescribed method of testing. Allowance is made for this in Formula (7). In regard to the shear resistance τ_v at the yield limit, the following relationship is obtained from Formula (8) by substituting $(W - W_x)$:

$$\tau_v = \frac{1,75 \cdot 10^{-3}}{0,342} = 0,005 \text{ N/m}^2$$

The relationship (mentioned in 6.2) between the shear resistance and the test conditions may however be temporary and expressed most simply by approximation in Formula (9):

$$\tau = \frac{B \cdot O_s + C \cdot A_v}{(W - W_x)} \quad (9)$$

where:

τ = shear resistance (N/mm^2) in performing impact work A_v per unit volume (kJ/m^3)

C factor

It was also possible to use an approx. numerical value independently of the type of clay, viz.:

$$C = 0,8 \cdot 10^{-3}$$

Fig. 8 also gives the curve calculated according to Formula (9) for the relationship between τ and W for $A_v = 60 \text{ kJ/m}^3$.

Figs. 5, 6 and 7 give the trend calculated for τ by means of continuous lines. This explains the use of two sets of lines in

b) Der nach der Stoßformel von Haase aus Stoßprüfungen abzuleitende Schubwiderstand einer Tonmasse hängt von der Fallhöhe und dem Gewicht der Stoßscheibe sowie von den Probekörper-Abmessungen ab. Größere Stoßenergie je Volumen-Einheit bringt allgemein für den Schubwiderstand ein höheres Ergebnis.

c) Nach dem zu b) gesagten bleibt eine standardisierte Durchführung von Stoßprüfungen an Tonmassen wünschenswert. Aus Respekt vor Dr. Pfefferkorn verdient dessen ursprüngliche Spezifikation des Prüfverfahrens den Vorzug mit den Daten: Stoßscheibengewicht = 11,69 N, nominale Fallhöhe = 186 mm, freier Fall = 146 mm, zylindrischer Probekörper mit 40 mm Höhe und 33 mm \varnothing .

d) Bei näherer Untersuchung des Einflusses der Stoßgeschwindigkeit auf den Schubwiderstand von Tonmassen empfiehlt es sich angesichts des komplexen Charakters des Stoßverlaufes, ausschließlich die Fallhöhe zu variieren.

e) Für die Prüfung der Konsistenz sehr weicher Tonmassen für Weichsteine unter Werksbedingungen eignet sich die ursprüngliche Ausführung des Pfefferkorn-Prüfgerätes weniger. Für diesen Zweck ist in den Niederlanden seit den Fünfzigerjahren ein Gerät mit einem Stoßscheibengewicht von 7,65 N und einer Fallhöhe von 100 mm (bei 60 mm freiem Fall) in Gebrauch. Die Probekörper zeichnen sich bei diesem Gerät denen Pfefferkorns. Die Nachteile des ursprünglichen Pfefferkorn-Gerätes für diesen besonderen Verwendungszweck könnten auch dadurch kompensiert werden, daß das Originalgerät durch eine Einstellung auf eine Fallhöhe von 100 mm bei 60 mm freiem Fall ergänzt wird. Damit würde der Gebrauchswert des Pfefferkorn-Gerätes verbessert werden.

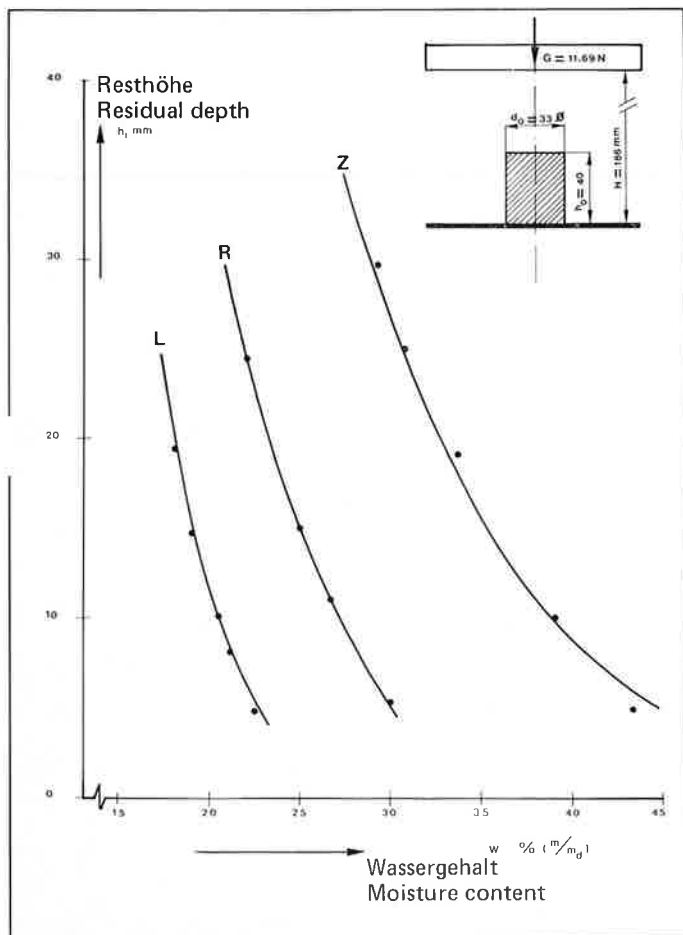


Bild 10. Berechnete Beziehung zwischen Wassergehalt und Resthöhe mit den Meßpunkten

Fig. 10. Calculated relationship between moisture content and residual depth with measured points

Fig. 10. Relation calculée entre la teneur en eau et la hauteur résiduelle avec les points de repère

Fig. 10. Correlazione tra il tenore d'acqua e l'altezza risultante definita per via di calcolo e valori misurati corrispondenti

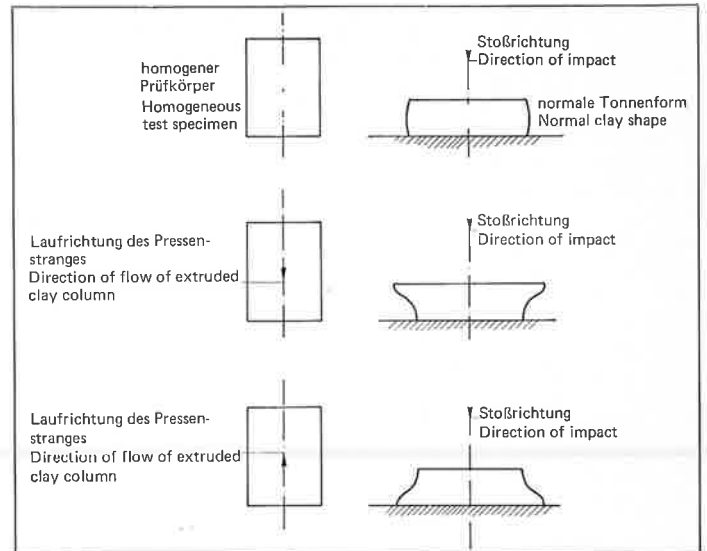


Bild 9. Abweichendes Stoßverhalten extrudierter Probekörper aus dem entlüfteten Ton Z

Fig. 9. Deviant impact behaviour of extruded test specimens from de-aired Clay Z

Fig. 9. Comportement divergent au choc d'éprouvettes étirées à partir de l'argile Z aérée

Fig. 9. Comportamento all'urto dei provini di argilla Z estrusa e degassata

the graphs. In the case of Clay Z (Fig. 5) there is a fairly wide discrepancy between the calculated curve and thus obtained by measurement. This does not alter the fact that the analyses outlined here of the results of impact tests can assist in providing a significantly better insight into the deformation characteristics of clay bodies.

The shear resistance curve found according to the water content is related to clay with no de-airing. Pilot impact tests on Clays Z and R in the de-aired state showed that the shear resistance of a clay with a given moisture content increases as a result of de-airing of the clay body by 25–35%. A combined de-airing extruder was used for the de-airing of the clay body. The test specimens were cut from a cylindrical column 33 mm in diameter. A striking feature was the special shape of the test specimens of de-aired Clay Z after impact testing. In the tests with the non-de-aired Clays Z, R and L and also de-aired Clay R, the test specimens, when subjected to impact, always retained their clay shape to some extent, i.e. in that the top and bottom surfaces remained approximately equal. With the de-aired Clay Z however the dimensions of these two surfaces varied. Whether expansion was relatively greater in the top or bottom surfaces depended on the direction of extrusion. The special shape of a test specimen should therefore be attributed to the column structure of the plastic clay. The depth of the test specimen after impact stressing appeared in fact to be mainly independent of the direction of the test load application.

8. Curve for Pfefferkorn residual depth: water content

The curve of the Pfefferkorn residual depth P_r , as defined in Para. 1, for a water content W may be calculated for Clays Z, R and L according to Formulae (1), (4) and (9). The curves are shown in Fig. 10 which gives the results observed Pfefferkorn tests. It is clearly apparent from a comparison with the graphs in Fig. 4 that the view generally held — as mentioned in Para. 1 — that the relationship between P_r and W is in the form of a straight line — needs revising.

Moreover the service value for the consistency stability — even for a limited consistency range — remains untouched.

9. Conclusions and recommendations

a) In impact tests with the Pfefferkorn equipment, the abrasion arising in the system represents a considerable source of error. Careful operation is required.

f) Aus Stoßprüfungen kann ein Zahlenwert für den Schubwiderstand einer Tonmasse abgeleitet werden. Er ist annähernd proportional der spezifischen Oberfläche des Tones und umgekehrt proportional der Differenz zwischen Wassergehalt der Masse und Wassergehalt an der Ausrollgrenze nach Atterberg anzusetzen. Dieser Wert deckt sich möglicherweise mit dem Anlaßwert der Masse. Der Proportionalitätsfaktor ist wenigstens für drei niederländische Tontypen, d. h. für einen sehr fetten Meereston, einen normalen Flußton und einen mageren Lößlehm, bei globaler Betrachtung konstant. Dieses Untersuchungsergebnis eröffnet dem Pfefferkorn-Gerät bei der technologischen Prüfung von Tonen neue Perspektiven. Fortsetzung und Verfeinerung der Untersuchung auf der Basis bisher gewonnener Erfahrungen könnten die Kenntnis über das plastische Verhalten von Tonmassen vertiefen.

g) Die Untersuchung führte letztlich auch zu dem Schluß, daß das Verhältnis zwischen dem Wassergehalt einer Tonmasse und der Pfefferkorn-Resthöhe nur scheinbar linear ist. Im übrigen bleibt der Gebrauchswert der sog. Konsistenzstabilität eines Tons — wenn auch nur für einen begrenzten Konsistenzbereich — unangetastet.

10. Literatur-Hinweise

- [1] Pfefferkorn, K., SPRECHSAL, 57,297 (1924)
- [2] Haase, Th., BER.DT.KERAM.GES., 43,593 (1966)
- [3] Siskens, C. A. M. TNO-TPD rapport 821.200-a dd. 1978-12-15: Plastizität (gekürzte Fassung)
- [4] Lehnhäuser, W., KERAM.ZEITSCHRIFT, 30,637 (1978)
- [5] Amerongen, H. van, KLEI EN KERAMIEK, 17,66 (1967)
- [6] Häusser, A., ZIEGELINDUSTRIE, 20,26 (1967)
- [7] Amerongen, H. van, u. J. H. van der Velden, TNO-C. T. I.-rapport 70-04032 dd. 1-ii-1970: Samensteiling en eigenschappen van 31 klei soorten, delen I en II (Zusammenstellung und Eigenschaften von 31 Tonsorten, Teile I und II).

residual depth is only apparently linear. The service value of the consistency stability of a clay — even over a limited consistency range — remains untouched.

(Literature references are given at the end of the German text).

Sogar das Klima spielt mit — Was man bei der Verarbeitung von inländischen Tonen im Irak beachten muß

DR. DIPL.-ING. ST. STEFANOV, SOFIA/BAGDAD

Sogar das Klima spielt mit — Was man bei der Verarbeitung von inländischen Tonen im Irak beachten muß

Mit ihren sehr unterschiedlichen Tonqualitäten hat die irakische Ziegelindustrie ein besonderes Problem, denn sie erfordern unterschiedliche Verarbeitungsvorgänge. Bisher jedoch wurden nur sehr wenige Analysen bezüglich der Rohstoffzusammensetzung und der Art des Tonlagers vorgenommen. Beschädigungen von teuren Maschinen, nicht erwartete chemische Reaktionen waren u. a. die Folge. Dr. Dip.-Ing. St. Stefanov hat sich mit diesem Thema befaßt und schildert in dem folgenden Beitrag einige

Even the climate plays a part — Factors to be considered in the use of a clay in Iraq

The Iraqi structural clay industry is confronted with very special problems owing to wide differences in the quality of the clays available and therefore needs correspondingly variable methods of working. Only very few analyses have been made however to date in regard to clay composition and the nature of the deposits. Damage to expensive machinery and unforeseen chemical reactions have sometimes therefore resulted. Dr. Dipl. Engr St. Stefanov deals with this subject and in the following paper describes some

b) The shear resistance of a clay body determined from impact tests according to the Formula of Haase, depends on the height of drop and the weight of the impact disk and also on the dimensions of the test specimen. A higher shear resistance value is generally obtained for higher impact energy per unit volume.

c) According to the statement in b) above, a standard method of conducting impact tests on clay bodies is desirable. With respect to Dr. Pfefferkorn, the original specification of the test method is preferable with the following data: impact disk weight = 11.69 N, nominal height of drop = 186 mm, free fall = 146 mm, cylindrical test specimens 40 mm deep and 33 mm in dia.

d) On closer examination of the velocity of impact on the shear resistance of clay bodies, it is recommended that the height of drop only should be varied, in view of the complex nature of the impact development.

e) The Pfefferkorn equipment in its original form is less suitable for tests on the consistency of very soft clay bodies for working by the soft mud process. Since the 1950's the device with an impact disk rate of 7.65 N and a drop of 100 mm (with 60 mm free fall) has been used in Holland for this purpose. The test specimens with this equipment are similar to those of Pfefferkorn. The disadvantages of the original Pfefferkorn equipment for this specialized purpose could be offset by extending the setting to include a drop of 100 mm with 60 mm free fall. The service value of the Pfefferkorn equipment is thus improved.

f) A numerical value for the shear resistance of a clay body can therefore be derived from the impact tests. This may be regarded as approx. proportional to the specific surface of the clay and in inverse proportion to the difference between the moisture content of the clay and the moisture content at the rolling-out limit according to Atterberg. This value is possibly covered by the yield value of the clay. The proportionality factor is at a minimum for the three Dutch clays, i. e. for a highly plastic marine clay, a normal river clay and a lean loess-loam, and is on the whole constant. This test result opens up new prospects for application of the Pfefferkorn equipment to the industrial testing of clays. Our knowledge of the plastic behaviour of the clay bodies could certainly be extended by continuing this work and improving on it on the basis of existing experience.

g) It is concluded from the tests performed that the relationship between the moisture content of a clay body and the Pfefferkorn

Even the climate plays a part — Factors to be considered in the use of a clay in Iraq

DR. DIPL. ENGR. ST. STEFANOV, SOFIA/BAGHDAD

Les argiles en Iraq

L'industrie des tuiles et briques en Iraq se voit confrontée à un problème particulier, celui de la qualité très diverse de ses argiles, qui exigent des procédés de mise en œuvre variés. Malgré cela un nombre restreint d'analyses relatives à la composition des matières premières et au type de gisement d'argile a uniquement été réalisé jusqu'à présent, ce qui a eu pour conséquence l'endommagement de machines coûteuses, des réactions chimiques inattendues et autres. Le Dr. Dipl.-Ing. St. Stefanov s'est penché sur ce problème. Il illustre dans l'article ci-dessous quelques caractéristiques

Anche il clima ha la sua da dire — Problemi specifici della produzione di laterizi nell'Iraq

Le argille iraquene si distinguono per l'eterogeneità delle loro caratteristiche. Ne nasce un problema particolare per l'industria dei laterizi iraquena, costretta a mettere a punto il procedimento di lavorazione più adatto a ogni tipo di argilla. Finora l'industria dei laterizi iraquena ha fatto ben poco per analizzare a fondo la composizione delle argille e studiare la natura dei giacimenti. Tale manchevolezza è causa di frequenti danneggiamenti del suo parco macchinari, per lo più costoso, e di reazioni chimiche non scontate. Il Dott. Ing. St.