

**hoofdafdeling
maatschappelijke technologie**

organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk
onderzoek

PUBLIKATIE

EEN EMPIRISCH MODEL
VAN NEDERLANDSE KLEI
door
J.H. van der Velden

nijverheidsorganisatie

TNO

postbus 342
7300 AH apeldoorn

bezoekadres
laan van westenenk 501

telex 49095 tnoap
telefoon 055 - 77 33 44

Ref.nr.: 77-04830/MF
Dossier: 8711-4005
Datum : 04 april 1977
Bestemd voor: De Nederlandse
Grofkeramische Industrie

TNO
EX.NR. 10
ati
APELDOORN

„Voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever met betrekking tot de inhoud van dit rapport wordt verwezen naar de Algemene Voorwaarden van TNO”.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO. TNO aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid met betrekking tot de inhoud en/of de vorm van deze uitgave.

<u>INHOUD</u>	pag.
SAMENVATTING	3
1. INLEIDING	4
2. UITLEVERING VAN GRONDEN	6
3. GRONDSTOFSAMENSTELLING VAN HET KLEIMODEL	7
3.1 Mineralogische samenstelling	7
3.2 Chemische samenstelling	7
3.3 Granulometrische samenstelling	7
4. AAN DE KORRELGROOTTEVERDELING TE STELLEN EISEN	9
5. DIVERSE EIGENSCHAPPEN VAN HET KLEIMODEL	
5.1 Inleiding	11
5.2 Bespreking van tabel 4	11
5.3 Bespreking van tabel 5	14
6. VORMGEVINGSDIAGRAM	16
7. AANPASSING VAN HET MODEL AAN DE WERKELIJKHEID	17
7.1 Inleiding	17
7.2 Modelaanpassing voor pyriethoudende klei	17
7.3 Betekenis van het humusgehalte van de klei	17
7.4 Invloed van het luchtgehalte van de klei	18
7.5 Invloed van een verwarming van de klei ná de vormgeving	19
7.6 Modelaanpassing bij verwarming van de klei vóór de vormgeving	20
7.7 Invloed van de droogsnelheid op de droogkrimp	20
7.8 Anisotroop krimpgedrag	21

8. GEBRUIKSWAARDE VAN HET KLEIMODEL

9. LITERATUUR

FIGUREN : 1 t/m 4

TABELLEN: 1 t/m 5

BIJLAGEN: 6 stuks

EEN EMPIRISCH MODEL VAN NEDERLANDSE KLEI

J.H. van der Velden

Centraal Technisch Instituut TNO, Apeldoorn

SAMENVATTING

Op de grondslag van de dikwijls duidelijke en soms vage relatie, die er tussen de korrelgrootteverdeling en enige belangrijke eigenschappen van Nederlandse kleien blijkt te bestaan, wordt een empirisch kleimodel ontwikkeld. Het is samengesteld uit rond zestig vuistregels en richtgetallen. Deze hebben betrekking op de mineralogische, chemische en granulometrische samenstelling van de klei, alsmede op de eigenschappen bij een vormgeving in plastische toestand, op het drooggedrag en op enige eigenschappen van de gebakken klei. Het model is voornamelijk representatief voor natuurlijke jonge rivierkleien, jonge zeekleien en magere lösslemen. Het kleimodel kan onder meer worden gebruikt voor de expertise van kleien, voor de kwaliteitszorg in de grofkeramische industrie en voor verschillende technische - economische studies.

AN EMPIRICAL MODEL OF DUTCH CLAY

SUMMARY

On the basis of the relationship between the particle size distribution and some important properties of Dutch clays, which may often be a specific one, but which sometimes is rather vague, an empirical clay model has been developed. This comprises about sixty rules of thumb and standard values. These refer to the mineralogical and chemical composition of the clay, to the particle size distribution, as well as to the characteristics at moulding in plastic condition, to the drying behaviour and to some properties of the fired clay. The model is primarily representative for younger fluvial, younger marine and poor aeolian clay deposits. The clay model can be used for, among other things, clay assessment, quality control in the heavy clay industry and different technical economic studies.

1. INLEIDING

Grondstofanalyses en onderkenningsproeven zijn in de keramische industrie van niet te onderschatten betekenis. Ze dienen voor de beoordeling van de industriële bruikbaarheid van kleien, ze zijn zinvol bij het specificeren van de verschillende bewerkingen en kunnen niet worden gemist bij het opsporen van oorzaken van kwaliteitsdefecten en bij de kwaliteitsbewaking van grondstoffen, halffabrikaten en eindprodukten.

In een concreet geval zijn er meestal verschillende analyses nodig om een verantwoorde conclusie te kunnen trekken. Het is daarbij in het algemeen bijzonder nuttig, wanneer men de verkregen proefresultaten kan vergelijken met uitkomsten die in doorsnee worden gevonden.

Dit artikel biedt een compact overzicht van gegevens die onder meer voor de bedoelde vergelijking kunnen worden gebruikt. Het zijn richtgetallen en vuistregels, die betrekking hebben op de samenstelling en op andere in technologisch opzicht van belang zijnde eigenschappen van in de grofkeramische industrie veel gebruikte Nederlandse kleien. Tezamen vormen zij een empirisch kleimodel.

Het pakket gegevens is vooral van toepassing op natuurlijke jonge rivieren en zeekleien, terwijl er naar gestreefd is ook het gedrag van de magere Limburgse en Brabantse lösslemen in het model op te nemen. De invloed, die bijzondere toeslagstoffen op de eigenschappen van de klei kunnen hebben, blijft buiten beschouwing.

De vuistregels zijn voor een groot deel gebaseerd op de dikwijls duidelijke, soms echter ook vage relatie, die er tussen de korrelgrootteverdeling en enige belangrijke eigenschappen van Nederlandse kleien blijkt te bestaan. De gegevens die aan het modelontwerp ten grondslag liggen zijn ontleend aan de vakliteratuur, alsmede aan onderzoeksresultaten van het voormalig Keramisch Instituut TNO en de huidige werkgroep Grofkeramiek van het Centraal Technisch Instituut TNO.

De eigenschappen van het kleimodel mogen uiteraard niet beschouwd worden als een gedrag dat voor de fabricage van grofkeramische produkten de voorkeur zou genieten. Het gebruik van grondstoffen met gunstiger eigenschappen dan die van de in het model vertegenwoordigde kleien verdient juist sterk aanbeveling.

2. UITLEVERING VAN GRONDEN

Een massaeneheid droge grondstof neemt in de groeve, tijdens het transport, in het depôt en in de opeenvolgende bewerkingsstadia telkens een ander volume in. Ook het vochtgehalte van de grondstoffen is geen constant gegeven. Het is uiteraard van belang, dat elk bedrijf ten aanzien van deze punten over betrouwbare gegevens beschikt. Voor meer globale berekeningen inzake ontgraving, transport en opslag van zand en klei kunnen de in tabel 1 (bijlage 02) gegroepede richtgetallen worden gebruikt. De gegevens voor watergehalten van 20 en 30% zullen in het algemeen van toepassing zijn op respectievelijk magere en vette kleien.

3. GRONDSTOFSAMENSTELLING VAN HET KLEIMODEL

3.1 Mineralogische samenstelling

Figuur 1 (bijlage 01) geeft een globale indruk van de mineralogische samenstelling van de in Nederland veel gebruikte kleien. In de rivier- en zeekleien blijkt zich in doorsnee meer dan 90% (m/m_d) van het totale gehalte aan kleimineralen in de korrelfractie kleiner dan 20 µm te bevinden. Rond 70% van de kleimineralen wordt in de fractie kleiner dan 2 µm aangetroffen. In lösslemen zijn deze percentages veel lager. Karakteristiek voor veel Nederlandse kleien is de aanwezigheid van kleimineralen, die door wateradsorptie zwellen. Ze bezitten een roosterafstand in de C-richting tussen 1,0 en 1,4 nm en zijn aangeduid met de naam "intermediaten". Hun aanwezigheid verklaart de relatief minder gunstige droog eigenschappen van de kleien.

3.2 Chemische samenstelling

De chemische samenstelling zal vaak veel overeenkomst vertonen met die uit tabel 2 (bijlage 02). De gehalten aan TiO₂ (nr.6), MgO (nr. 10) en Na₂O + K₂O (nr. 11) variëren gewoonlijk tussen 80 en 120% van de aangegeven waarde. Van een aantal componenten (nrs. 8, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23) is met het teken < aangegeven, dat meestal percentages worden aangetroffen, die kleiner zijn dan de vermelde orde van grootte uit de reeks 0,05; 0,1; 0,5; 1; 5.

In lösslemen zal het Al₂O₃- gehalte hoger uitvallen dan de tabel hiervoor aangeeft. Dit is verklaarbaar uit de aanwezigheid van een belangrijk deel van de kleimineralen in de korrelfractie groter dan 20 µm.

3.3 Granulometrische samenstelling

In figuur 2 (bijlage 03) zijn de relaties weergegeven tussen de korrelfracties kleiner dan 2 µm, 10 µm en 20 µm in natuurlijke jonge rivier- en zeekleien en in natuurlijke lösslemen [4]. De relaties hebben betrekking op uitkomsten van sedimentatieanalyses volgens de pipetmethode van Köhn (beweegbare pipet).

Het monster wordt hierbij in vochtige toestand in onderzoek genomen dan wel voorafgaand aan de analyse bij een temperatuur lager dan 40°C gedroogd. Kalk en humus worden niet verwijderd. De inweeg wordt in water gedurende 15 minuten gekookt met natriumoxalaat als peptisator.

Het verband tussen de fractie kleiner dan 2 μm en de fractie kleiner dan 20 μm is in figuur 3 (bijlage 03) nogmaals uitgezet (ononderbroken lijn). De streep- stiplijnen in deze figuur vertegenwoordigen samenstellingen met constante verhoudingen tussen de fracties kleiner dan 2 μm en kleiner dan 20 μm . Bij het mageren van natuurlijke kleien met zand, dat meestal een te verwaarlozen hoeveelheid korrels kleiner dan 20 μm bevat, blijft de bedoelde verhouding constant. Uit de grafiek blijkt, dat men in dergelijke gemagerde grondstoffen een grotere fractie kleiner dan 2 μm kan verwachten, dan de voor natuurlijke kleien gekozen modelwaarde.

4. AAN DE KORRELGROOTTEVERDELING TE STELLEN EISEN

Sinds het begin van de dertiger jaren is de korrelgrootteverdeling en in het bijzonder de fractie kleiner dan 10 μm (het leemgehalte) in Nederland een belangrijk gegeven voor de technologische beoordeling van kleien.

Voor de fabricage van vormbakmetselstenen uit rivierkleien en löss-lemen worden meestal leemgehalten gekozen liggend tussen 17% en 45%. Een karakteristiek leemgehalte voor straatsteen is circa 38% en voor dakpannen circa 57%.

Door H.G.F. Winkler [1] werden tussen 1950 en 1955 eisen geformuleerd, waaraan de korrelgrootteverdeling van een klei voor de vervaardiging van strengpersprodukten zou dienen te voldoen.

In figuur 3 (bijlage 03) zijn met onderbroken lijnen gebieden begrensd van korrelgrootteverdelingen die door Winkler worden aanbevolen voor de fabricage van verschillende strengpersprodukten. De gebieden zijn herkenbaar aan de daarin geplaatste merktekens. De positie van elk van deze merktekens geeft de gemiddelde korrelgrootteverdeling aan van alle kleien die bij het onderzoek waren betrokken en voor de vervaardiging van het betreffende produkttype werden gebruikt. De hier gekozen voorstellingswijze in een rechthoekig coördinatensysteem wijkt af van die van Winkler. Winkler coördineerde de fracties $<2\mu\text{m}$, $2-20\mu\text{m}$ en $>20\mu\text{m}$ in een driehoeksdiagram, dat in brede kring nog steeds als leidraad bij geschiktheidsbeoordelingen van kleien wordt gebruikt.

P.H. Dal [2] trok de universele bruikbaarheid van het diagram in twijfel door onder meer te wijzen op de invloed van de mineralogische samenstelling van de verschillende korrelfracties op het gedrag bij vormgeving en droging. Dal wees tevens op de verschillen tussen de bepalingswijze van de korrelgrootteverdeling in Nederland en de door Winkler toegepaste analysemethodiek.

Sindsdien opgedane ervaringen met betrekking tot de geschiktheid van Nederlandse jonge rivier- en zeekleien voor de vervaardiging van strengpersprodukten hebben geleid tot de in tabel 3 weergegeven voorlopige aanbevelingen voor de korrelgrootteverdeling.

tabel 3: Aanbevelingen met betrekking tot de korrelgrootteverdeling voor strengpersprodukten en dakpannen.

type produkt	fractiegrootte in % (m/m_d)			
	>63 μm	<20 μm	<10 μm	<2 μm
volle stenen, < 15% perf.	<31	>42	>36	>19
geperforeerde stenen, - 15-20% perf.	<25	>48	>40	>22
geperforeerde stenen, 20-40% perf. ned. holle bouwstenen	<20	>56	>47	>28
dakpannen	<16	>63	>53	>34

Opgemerkt wordt, dat de droogeigenschappen van deze uit Nederlandse rivier- en zeekleien vervaardigde produkten in het algemeen minder gunstig zijn dan die van overeenkomstige produkten elders in Europa [5], [10].

5. DIVERSE EIGENSCHAPPEN VAN HET KLEIMODEL

5.1 Inleiding

De tabellen 4 en 5 (bijlagen 04 en 05) bieden een overzicht van in technologisch opzicht belangrijke eigenschappen van het kleimodel. Tabel 4 heeft betrekking op het gedrag bij een vormgeving in plastische toestand en op enkele eigenschappen van het gedroogde half-fabrikaat. Tabel 5 bevat enige vuistregels betreffende het bakproces en de gebakken klei. De complexe werkelijkheid wordt sterk vereenvoudigd weergegeven.

5.2 Bespreking van tabel 4 (bijlage 04)

nr. 24:

De gemiddelde korrel dichtheid van de doorsneeklei wordt ongeacht mogelijke verschillen in mineralogische samenstelling en humusgehalte constant verondersteld.

nrs. 24 en 26:

Voor het gehalte aan vrije lucht in luchthoudende gevormde kleimassa's wordt een constante waarde aangehouden, die onafhankelijk is van de vormgevingstemperatuur [3]. Hetzelfde geldt voor op een vacuumstrengpers ontluchte klei. Verondersteld wordt verder, dat de klei koolzuurvrij is, dat de vrije lucht verzadigd is met waterdamp, dat de druk van de lucht in de klei gelijk is aan de atmosferische druk en dat het water in de klei verzadigd is met lucht.

nrs. 27, 28, 29 en 30:

De empirische relaties tussen de verschillende korrelfracties (figuur 2) zijn hier met vuistregels aangegeven. Kleien met minder dan 30% (m/m_d) van de fractie kleiner dan 20 μm leveren in het algemeen een gedroogd halffabrikaat op dat niet sterk genoeg is, terwijl kleien met meer dan 85% van die korrelfractie zeer moeilijk scheurvrij te drogen zijn.

APELDOORN

nrs. 31, 32 en 33: [7], [8], [9]

Het evenwichtswatergehalte, de adsorptiedilatatie en het totaal specifiek oppervlak zijn van belang voor de schatting van de droogtijd van vormlingen en voor de beslissing over een al dan niet geconditioneerd transport en verblijf van gedroogd halffabrikaat buiten de oven. Verschillen tussen proef- en vuistregeluitkomsten zijn meestal toe te schrijven aan een van het model afwijkend gehalte aan zwellende kleimineralen in het onderzochte monster.

De correlatie tussen het totaal-specifiek oppervlak, bepaald door middel van glycoladsorptie en het evenwichtswatergehalte bij adsorptie in lucht van 20°C met een relatieve vochtigheid van 75% is zeer goed. Het totaal-specifiek oppervlak mag dan ook uit de uitkomst van de eenvoudiger uitvoerbare bepaling van het evenwichtswatergehalte worden berekend. Het te onderzoeken monster wordt daarbij tezamen met een standaardmonster, waarvan het totaal-specifiek oppervlak bekend is, aan de adsorptieproef onderworpen.

nrs. 34 en 35:

De uitrolgrens en de vloeigrens bepalen het watergehaltetraject waarbinnen de klei plastisch vervormbaar is. De praktijk leert, dat de kans op het ontstaan van scheuren in een kleimassa die wordt vervormd toeneemt, naarmate het watergehalte van de plastische klei de uitrolgrens dichtert nadert.

nr. 36:

De consistentie van de klei, uitgedrukt als resthoogte van een proefcilinder klei na een stukproef volgens Pfefferkorn, blijkt in de industriële praktijk goed bruikbaar voor het specificeren van de plastische toestand waarin een klei bij toepassing van een bepaalde vormgevingstechniek dient te verkeren.

Normale waarden zijn in dit verband:

- voor het vormbakprocédé, 5 mm
- voor een vormgeving met de Deense draaitafelpers, 10 mm

- voor het handdraaien, 15 mm
- voor het strengersprocédé, 20 - 35 mm

Een vervorming bij resthoogten groter dan 35 mm veroorzaakt een te hoog krachtverbruik en een te grote slijtage van kneedinrichtingen en vormgevingsmachines. De Nederlandse kleien zijn in natuurlijke toestand bovendien meestal reeds minder stijf.

Bij resthoogten kleiner dan 4 mm nadert het watergehalte de vloeigrens. De klei is dan te slap en meestal ook te kleverig om te worden verwerkt.

Opgemerkt wordt, dat men zich in de Nederlandse baksteenindustrie voor de consistentiecontrôle bij het vormbakprocédé wel bedient van een stuikproef, die door een andere keuze van de vervormingsarbeid, hogere resthoogten oplevert dan de stuikproef volgens Pfefferkorn. Men dient dit soort meetwaarden uiteraard duidelijk te onderscheiden van de meetwaarden die met het internationaal bekende Pfefferkornapparaat worden verkregen.

nr. 37:

Onder de consistentiestabiliteit wordt verstaan, de hoeveelheid water uitgedrukt in massaprocenten van de droge klei (m/m_d), die nodig is voor het bewerkstelligen van een consistentieverandering van 1 mm Pfefferkornresthoogte. De consistentiestabiliteit van een klei blijkt in een groot consistentietraject bij benadering constant te zijn. De bepaling ervan is onder meer van belang voor het vaststellen van de toelaatbare spreiding van het vormgevingswatergehalte.

nr. 38:

Het vormgevingswatergehalte van het kleimodel wordt door de korrelfractie kleiner dan 10 μ m en de vormgevingsconsistentie bepaald. De vuistregel is van toepassing op luchthoudende klei van 15°C met een normaal humusgehalte (nr. 17).

nrs. 39, 40 en 41:

De relatie tussen de volumieke massa van de gedroogde scherf en het leemgehalte heeft betrekking op kleien met een normaal humusgehalte (nr. 17), op een vormgeving bij 15°C en op een droging in stilstaande lucht van 15 à 20°C met een relatieve vochtigheid van 75%. Voorts wordt aangenomen, dat de procentuele volumekrimp onafhankelijk is van het luchtgehalte van de klei.

nrs. 42 en 43:

Vuistregel nr. 39 is onder handhaving van de betreffende modelwaarden als uitgangspunt gekozen van het ontwerp van de vuistregel voor de volumekrimp. De vuistregel voor de lineaire droogkrimp is bovendien gebaseerd op de veronderstelling, dat de klei zich voor wat betreft de krimp isotroop gedraagt. De mogelijke invloed van variaties in het humusgehalte, in de vormgevingstemperatuur, in de textuur van de klei en in de wijze van drogen op de eigenschappen van het model komen in deze vuistregels derhalve niet tot uitdrukking. Het zal duidelijk zijn, dat alleen onder laboratoriumomstandigheden, door metingen aan proefplaatjes, getalwaarden verkregen kunnen worden, die met de modelwaarden mogen worden vergeleken. De meetwaarde van de droogkrimp van proefplaatjes is van belang bij de beoordeling van het drooggedrag. Een lineaire droogkrimp groter van 11% is in het algemeen onaanyaardbaar.

nrs. 44, 45 en 46:

De mechanische sterkte van de gedroogde scherf is tot uitdrukking gebracht in de buigsterkte van proefstaven bij een driepuntsbuigproef. De sterkte is van belang bij de groepering en het intern transport van het gedroogde halffabrikaat.

5.3 Bespreking van tabel 5 (bijlage 05)

De eigenschappen van gebakken klei worden in sterke mate beheerst door betrekkelijk kleine variaties in de grondstofsamenstelling, door de aan het bakproces voorafgaande bewerkingen en door de warmtebehandeling in de oven.

Zij lenen zich minder goed voor opneming in dit kleimodel. Er is daarom volstaan met het memoreren van enkele vuistregels betreffende de volumieke massa, de poreusheid, de baktemperatuur en de bakkleur.

nrs. 47 tot en met 55:

De vuistregels hebben betrekking op de volumieke massa van de gebakken scherf en de maximale wateropneming bij een gegeven bakkrimp. Vuistregel 54 wordt vooral gebruikt bij onderzoek inzake de waterhuishouding in en de vorstbestandheid van gebakken keramische materialen.

nr. 56:

De vuistregel geldt voor een opwarmsnelheid van $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$, een oxiderende atmosfeer en een rijpingstijd van 10 uren. Het temperatuurniveau dat onder deze omstandigheden nodig is voor het verkrijgen van een lineaire bakkrimp van 1% kan afhankelijk van de soort en de hoeveelheid smeltstoffen ongeveer 25°C afwijken van de vuistregelwaarde.

nrs. 57 en 58:

Voor wat betreft de bakkleur zijn de bekende vuistregels van H.A. Seger gememoreerd. Alle Nederlandse lösslemen, jonge rivierkleien en jonge zeeleien bezitten een ijzer-aluminium-verhouding groter dan 0,20.

6. VORMGEVINGSDIAGRAM

De vuistregels voor een vormgeving van plastische klei in tabel 4 (bijlage 04) en het gestelde in de toelichting daarop zijn verwerkt in een diagram (figuur 4, bijlage 06). Dit diagram geeft voor luchthoudende klei de relaties weer, die in doorsnee aanwezig zijn tussen het leemgehalte, het vormgevingswatergehalte, de consistentie, de normale lineaire droogkrimp en de volumieke massa van de gedroogde scherf. Voor ontluchte klei is de Pfefferkornresthoogte steeds 2 mm hoger dan aangegeven in het diagram. In hoofdstuk 7.4 wordt hierop nader ingegaan. Het van praktisch belang zijnde diagramgebied wordt omsloten door gebiedsdelen waarin de klei te slap of te stijf is, een te grote droogkrimp vertoont, te weinig plastisch is, of in gedroogde toestand een te geringe mechanische sterkte bezit. Het werkgebied is verdeeld in zones, die elk voor een bepaalde vormgevingstechniek in aanmerking komen. In die zones zijn een aantal karakteristieke met cijfers gemerkte posities geprojecteerd van kleien, die geschikt zijn voor de fabricage van vormbakstenen, straatstenen, volle strengpersstenen, holle en geperforeerde stenen, dakpannen, bloempotten, steengaas en handgedraaide produkten. Het diagram geeft verder een inzicht in de mogelijkheden tot een vermindering van het warmteverbruik bij de droging door een vormgeving bij een lager watergehalte en verschaft informatie over de consistentiestabiliteit. Ook is een taxatie mogelijk van de invloed van watergehalte, consistentie en grondstofsamenstelling op de maatvastheid van het produkt.

7. AANPASSING VAN HET MODEL AAN DE WERKELIJKHEID

7.1 Inleiding

Het ontworpen model geeft een geïdealiseerd beeld van de werkelijkheid. De mineralogische, chemische en granulometrische samenstelling van een grondstof zal meestal op verscheidene punten verschillen van die van het model. Ook de in het model veronderstelde verwerkingswijze van de grondstof zal in werkelijkheid vaak anders zijn. De daaruit voortvloeiende afwijkingen in het technologisch gedrag zijn meestal, althans wat hun aard betreft, wel voorspelbaar. Soms kunnen ze ook kwantitatief worden aangegeven. Enkele voorbeelden hiervan worden in het navolgende besproken.

7.2 Modelaanpassing voor pyriethoudende klei

De invloed van pyriet op de uitkomst van de humusbepaling, op het ijzergehalte en op het gloeiverlies blijft in het model buiten beschouwing. Bij aanwezigheid van $[\text{FeS}_2]$ % pyriet zal echter voor het volgens de kaliumbichromaat-methode bepaalde humusgehalte een waarde worden gevonden, die 0,19. $[\text{FeS}_2]$ te hoog is. Bij de interpretatie van ijzeranalyses dient er bij aanwezigheid van $[\text{FeS}_2]$ % pyriet verder aan gedacht te worden, dat het experimenteel gevonden Fe_2O_3 -gehalte circa 0,66. $[\text{FeS}_2]$ hoger uitvalt dan in een overigens gelijk monster zonder pyriet. Het gloeiverlies van een monster met $[\text{FeS}_2]$ % pyriet zal 0,33. $[\text{FeS}_2]$ hoger geraamd moeten worden dan vuistregel nr. 12 aangeeft.

7.3 Betekenis van het humusgehalte van de klei

De vuistregel voor het humusgehalte (nr. 17) heeft betrekking op de klei onder de wortelrijke bovengrond en kan uiteraard slechts een ruwe benadering van de werkelijkheid zijn.

Humus beïnvloedt in sterke mate het vormgevingswatergehalte bij een gegeven consistentie. Het wordt hoger bij toenemend en lager bij afnemend humusgehalte. Voor een humusgehalte dat n% (absoluut) afwijkt van de normale waarde (nr. 17), bedraagt de correctie ΔW_v in % ($\frac{m}{m_d}$) bij iedere consistentie globaal:

$$\Delta W_v = 4.n.$$

Het effect op de volumieke massa van de gedroogde scherf kan worden berekend als men eenvoudigheidshalve aanneemt, dat een van het model afwijkend humusgehalte geen invloed heeft op de modelwaarde van de volumekrimp. Voor de materiedichtheid van de humus kiese men bij die berekening, 1350 kg/m^3 .

7.4 Invloed van het luchtgehalte van de klei

Het gehalte aan vrije lucht in bewerkte luchthoudende klei en het luchtgehalte in klei, die in een vacuumstrengpers naar behoren is ontluucht, blijken elk in de praktijk betrekkelijk weinig te variëren [3]. Luchtgehalteverschillen hebben in het algemeen nauwelijks invloed op de procentuele volumekrimp bij de droging. De invloed op de volumieke massa van de scherf kan door een juiste keuze van de factor f. van formule 39 in rekening worden gebracht.

De relatie tussen de consistentie en het watergehalte (nr. 38) geldt voor luchthoudende klei. Wanneer men de consistentie van een luchthoudende klei bij eenzelfde watergehalte vergelijkt met die van ontluichte klei, blijkt vooral magere ontluichte klei iets stijver te zijn. Een duidelijk inzicht in dit verschijnsel ontbreekt vooralsnog. Ruw geschat kan men bij elke klei en elk watergehalte als gevolg van het ontluichten een opstijving verwachten van 2 mm Pfefferkornresthoogte. Voor de raming van het watergehalte van een op een vacuumstrengpers verwerkte klei dient men op grond van dit gegeven in formule nr. 38 een consistentiewaarde in te vullen, die 2 mm lager is dan de gewenste consistentie van de ontluichte streng.

7.5 Invloed van een verwarming van de klei na de vormgeving

Door een verwarming van de gevormde klei aan het begin van het droogproces tot de natteboltemperatuur van de drooglucht blijkt het kleivolume toe te nemen [6]. Wanneer men aanneemt, dat de expansie bij constante druk van de lucht in de klei plaats vindt, kan de volumevergroting worden berekend uit:

- de uitzetting van tijdens de opwarming met waterdamp verzadigd blijvende lucht
- het vrij komen van aanvankelijk in het water opgeloste lucht
- de uitzetting van klei en water (van relatief geringe invloed)

Bij verwarming van luchthoudende klei met aanvankelijk 4,5% (V/v) vrije lucht van 15° tot 35°C neemt het volume toe met 0,9% (V/v). Voor ontluchte klei met aanvankelijk 0,15% (V/v) vrije lucht bedraagt die volumevergroting 0,3% (V/v). De percentages zijn betrokken op het luchtvrije kleivolume. Experimenteel konden bij weke kleien inderdaad expansies van deze orde van grootte worden aangetoond. De volumevergrotingen gelden voor koolzuurvrije klei. Indien natuurlijke klei zonder luchtige tussenopslag direct wordt verwerkt, kan deze koolzuurhoudend zijn. De expansie is in dat geval groter.

De effecten van een verwarming van verse vormlingen op de afmetingen en de volumieke massa van het gedroogde halffabrikaat kunnen aan de hand van vorenstaande gegevens worden berekend wanneer men aanneemt, dat de procentuele droogkrimp geen wijziging ondergaat. Het drooggedrag van de vormlingen kan door de bedoelde expansie in ongunstige zin worden beïnvloed. Door de klei vóór de vormgeving te verwarmen elimineert men dit effect.

7.6 Modelaanpassing bij verwarming van de klei vóór de vormgeving

Een vormgeving bij een hogere temperatuur dan 15°C levert bij een gegeven vormgevingswatergehalte een lagere Pfefferkornresthoogte op dan die van het kleimodel. De correctie ΔPr in mm bedraagt voor een verwarming van 15°C tot θ °C voor alle consistenties ten naaste bij:

$$\Delta Pr = 0,1.(\theta - 15)$$

Het gehalte aan vrije lucht in de klei blijkt bij die verwarming meestal ongeveer gelijk te blijven. De hoeveelheid in het aanmaakwater opgeloste gassen neemt echter af. Onder handhaving van een gegeven consistentie kan een lager vormgevingswatergehalte worden gekozen. De correctie is gelijk aan het produkt van ΔPr en de consistentiestabiliteit S_c (nr. 37). De invloed van de kleiverwarming op de droogkrimp kan vervolgens met vuistregels 39 en 40 worden getaxeerd.

7.7 Invloed van de droogsnelheid op de droogkrimp

In het kleimodel wordt verondersteld, dat de vormlingen langzaam drogen (hoofdstuk 5, nrs. 39 tot en met 43). Snelle droging leidt tot schaalvorming, waardoor de droogkrimp ten koste van in- of uitwendige scheurtjes en vervormingen kleiner uitvalt dan het model aangeeft. De droogkrimpvermindering, die door snelle droging in de praktijk kan optreden, hangt in sterke mate af van de bedrijfsinterne normen betreffende gaafheid van vorm en structuur, die voor het gedroogde halffabrikaat worden gehanteerd. Die normen bepalen immers mede de droogtijd.

In de praktijk treft men droogkrimpverminderingen aan tot 90-95% van de lineaire droogkrimp als bedoeld in het model. Het effect is vaak niet in de drie hoofdrichtingen van de vormlingen gelijk. Het verschijnsel kan maatverschillen opleveren tussen in de werkweek en in het weekeinde gedroogde vormlingen.

7.8 Anisotroop krimpgedrag

In het kleimodel wordt verondersteld, dat de droogkrimp in de drie hoofdrichtingen gelijk is. Vooral strengpersprodukten en dakpannen gedragen zich echter op dit punt in sterke mate anisotroop. Ook bij langzame droging kunnen zich in de drie hoofdrichtingen van dit soort vormlingen droogkrimpen voordoen, die bijvoorbeeld variëren tussen 80% en 120% van de met formule 43 uit de volumekrimp berekende waarde.

8. GEBRUIKSWAARDE VAN HET KLEIMODEL

Over de gebruikswaarde van het hier ontwikkelde kleimodel kan tot slot het volgende worden opgemerkt:

- a: Het model biedt de mogelijkheid op efficiënte wijze een globale indruk te verkrijgen van een aantal belangrijke eigenschappen van de in de Nederlandse grofkeramische industrie overwegend gebruikte grondstof.
- b: Het model geeft een inzicht in de gebruiksmogelijkheden van de doorsneeklei voor de fabricage van verschillende producten. Het vormgevingsdiagram maakt een snelle oriëntatie mogelijk.
- c: Het model is een nuttige vergelijkingsmaatstaf bij de expertise van kleien. In feite wordt al geruime tijd een deel van de richtgetallen en vuistregels, zij het niet in de hier gepresenteerde vorm, als zodanig gebruikt. Duidelijke verschillen tussen proefuitkomsten en modelwaarden (bijvoorbeeld afwijkingen groter dan acht procent), attenderen de onderzoeker op de mogelijkheid, dat het technologisch gedrag afwijkt van het hem uit ervaring bekende doorsneegedrag.
- d: Het model verschaft een groot aantal basisgegevens ten behoeve van de kwaliteitszorg op grofkeramische bedrijven.
- e: Het model kan als grondslag dienen voor allerlei technisch-economische studies, waarbij de aard van de grondstof een belangrijke rol speelt. Men denke hier bijvoorbeeld aan het ontwikkelen van energiebesparende fabricagetechnieken.
- f: Het model is van belang bij de evaluatie van binnen- of buitenlandse kleisoorten en fabricagesystemen en kan een stimulans zijn voor het opsporen en gebruiken van grondstoffen met gunstiger technologische eigenschappen.

9. LITERATUUR

- [1] Winkler, H;G.F.
Ziegelindustrie (1955), nr. 8, p. 307 - 311

- [2] Dal, P.H.
Klei en Keramiek (1957, nr. 1, p. 3 - 31

- [3] Seters, A.W.; Dal, P.H.
Klei en Keramiek (1954), nr. 9, p. 305 - 322

- [4] Velden, J.H. van der
Ziegelindustrie (1963), nr. 4, p. 109 - 114

- [5] Velden, J.H. van der
Klei en Keramiek (1961), nr. 4, p. 67 - 74

- [6] Klugt, L.J.A.R. van der
Klei en Keramiek (1961), nr. 1, p. 3 - 13

- [7] Amerongen, H. van
Klei en Keramiek (1967), nr. 3, p. 66 - 80

- [8] Douma, G.H.
Klei en Keramiek (1969), nr. 5, p. 114 - 120

- [9] Douma, G.H.
Klei en Keramiek (1969), nr. 9, p. 226 - 233

- [10] Klugt, L.J.A.R. van der
Klei en Keramiek (1964), nr. 1, p. 3 - 13

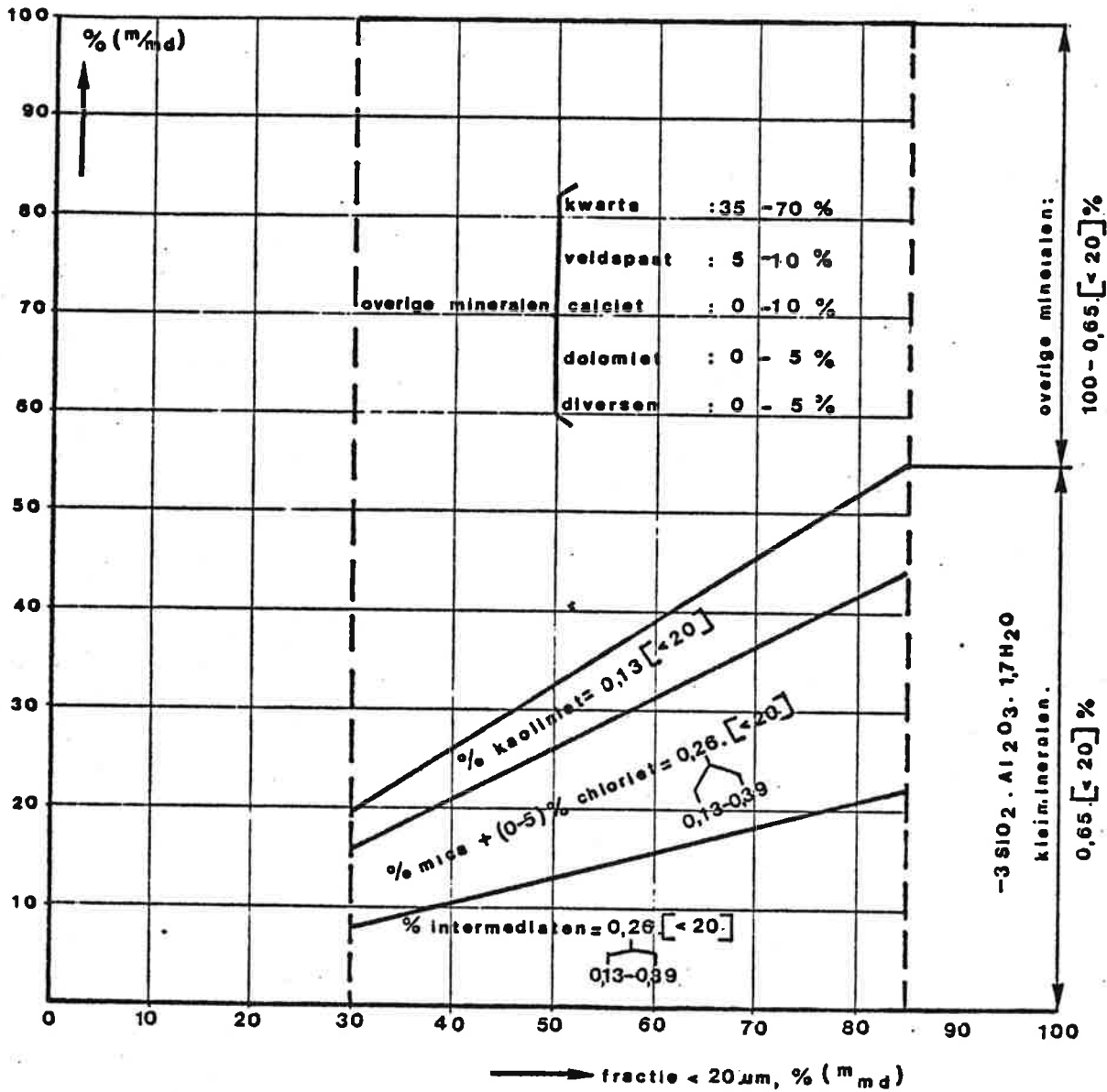


fig.1 mineralogische samenstelling van in de grofkeramische industrie veel gebruikte Nederlandse kleisoorten

tabel 1: UITLEVERING VAN GRONDEN

grondsoort		zand		klei			
watergehalte, % ($\frac{m}{m_d}$)		circa 10		circa 20		circa 30	
nr.	eigenschap	volumieke massa kg/m^3	kg droog zand per m^3	volumieke massa kg/m^3	kg droge klei per m^3	volumieke massa kg/m^3	kg droge klei per m^3
1	ongeroerd op de vindplaats	1600	1455	2000	1665	1900	1460
2	los gestort in vervoermiddel	1250	1135	1200	1000	1150	885
3	ten dele ingeklonken op gronddepôt	1450	1320	1650	1375	1600	1230

tabel 2: GLOBALE CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN NEDERLANDSE KLEIEN

nr.	component	gehalte, % ($\frac{m}{m_d}$)	nr.	component	gehalte, % ($\frac{m}{m_d}$)
4	SiO ₂	98 - [5 t/m 12]	14	CO ₂	< 5.
5	Al ₂ O ₃	0,20. [< 20]	15	CaO (uit carb.)	1,274. [CO ₂]
6	TiO ₂	0,8	16	org.koolst., C	0,58. [humus]
7	Fe ₂ O ₃	0,075. [< 20]	17	humus	0,025. [< 20]
8	MnO ₂	< 0,1	18	P ₂ O ₅	< 0,05
9	CaO	1,274. [CO ₂] + 0,8	19	F ⁻	< 0,05
10	MgO	1,1	20	Cl ⁻	< 0,10
11	Na ₂ O + K ₂ O	2,4	21	S (totaal)	< 0,05
12	gloeiverlies	[CO ₂] + 0,085. [<20]	22	SO ₄ ²⁻ , (opl.)	< 0,10
13	H ₂ O (chem.)	0,06. [<20]	23	F _e S ₂	< 0,10

opmerkingen: ($\frac{m}{m_d}$) = massadelen per massadeel droge klei

[<20] = korrelfractie kleiner dan 20 μm in % ($\frac{m}{m_d}$)

[5 t/m 12] = som van de uitkomsten van de gehalten 5 t/m 12

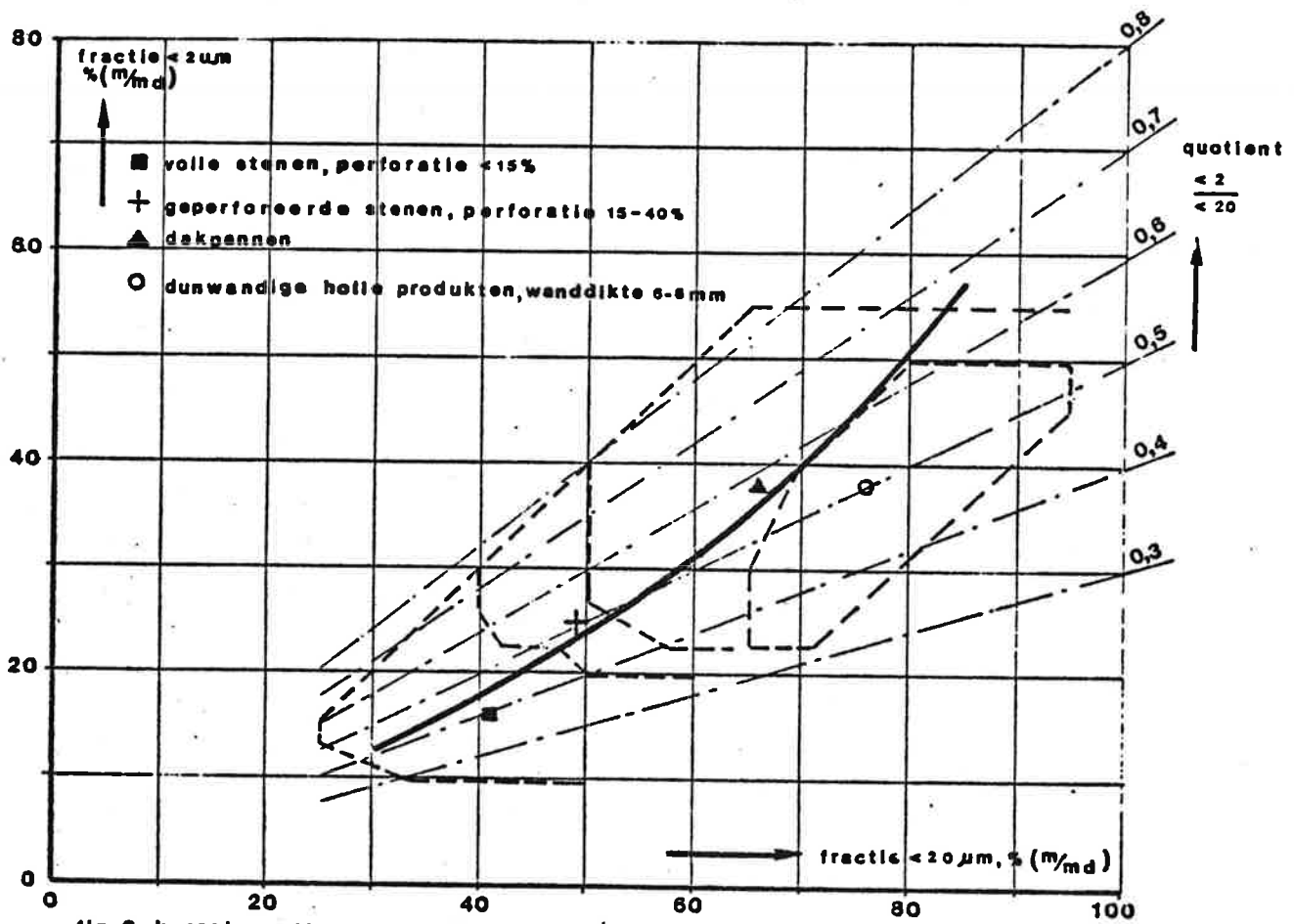


fig.3 korrelgroottegegevens van enkele produkten. (H.G.F. Winkler, 1955).

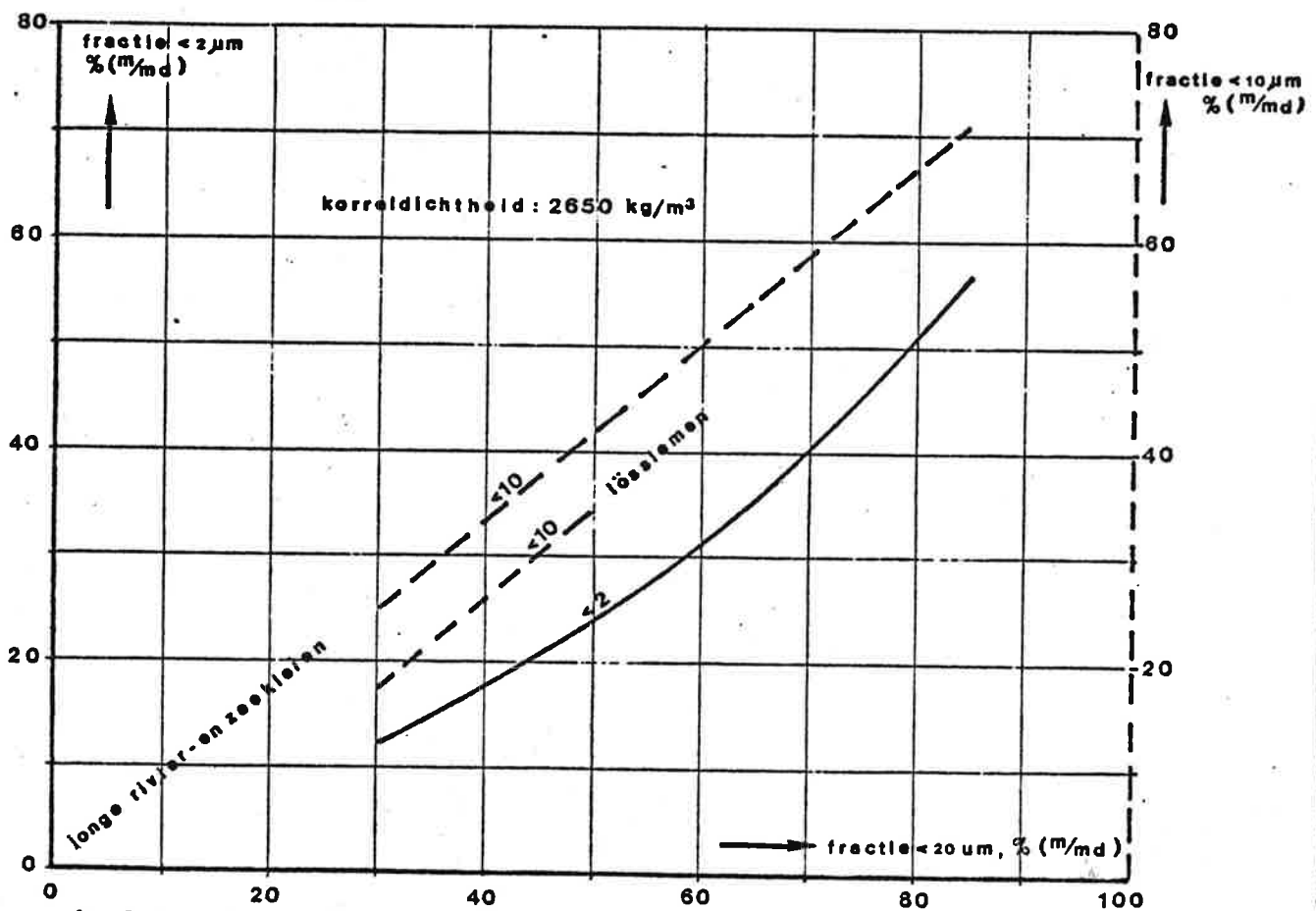


fig.2 korrelgrootteverdeling van enige Nederlandse kleien.

tabel 4: ENKELE EIGENSCHAPPEN VAN JONGE RIVIERKLEIEN, JONGE ZEEKLEIEN EN LÖSSLEMEN

nr.	EIGENSCHAP	EENHEID	SYM- BOOL	GETALWAARDE
24	gemiddelde korreldichtheid van natuurlijke klei:	kg/m ³	d _k	2650 (2620 tot 2680)
25	gehalte aan vrije lucht in luchthoudende klei, betrokken op het luchtvrije volume:	Z (v/v)	-	4,5 (4 tot 5)
26	gehalte aan vrije lucht in ontluchte klei, betrokken op het luchtvrije volume:	Z (v/v)	-	0,15 (0,12 tot 0,18)
27	korrelfractie kleiner dan 20 µm:	Z (m/m _d)	[<20]	(30 tot 85)
28	korrelfractie kleiner dan 2 µm:	Z (m/m _d)	[<2]	0,38.[<20] + 40.10 ⁻⁶ .[<20] ³
29	korrelfractie kleiner dan 10 µm van natuurlijke jonge rivier- en zeekleien:	Z (m/m _d)	[<10]	0,84.[<20]
30	korrelfractie kleiner dan 10 µm van natuurlijke magere lössleem:	Z (m/m _d)	[<10]	0,84.[<20] - 7,5
31	evenwichtswatergehalte van bij maximaal 40°C gedroogde klei, na adsorptie in lucht van 20°C met een relatieve vochtigheid van 75%:	Z (m/m _d)	W _e	0,135.[<2]
32	adsorptie-dilatatie van een bij 100°C gedroogd proefstuk, na adsorptie in lucht van 20°C met een relatieve vochtigheid van 75%:	o/oo (L/L _d)	D _a	0,093.[<2]
33	totaal-specifiek oppervlak, (d.m.v. glycoladsorptie)	m ² /g	O _s	23.W _e
34	uitrolgrens volgens Atterberg:	Z (m/m _d)	W _u	14,5 + 0,12.[<10]
35	vloei-grens volgens Atterberg:	Z (m/m _d)	W _f	14,5 + 0,72.[<10]
36	consistentie volgens Pfefferkorn, uitgedrukt als resthoogte van de proefcilinder:	mm	P _r	(4 tot 35)
37	consistentiestabiliteit, uitgedrukt als verschil in vormgevingswatergehalte per mm Pfefferkorn - resthoogteverandering:	Z/mm	S _c	0,15 + 0,0075.[<10]
38	vormgevingswatergehalte bij een gegeven consistentie:	Z (m/m _d)	W _v	19 + S _c .(15-P _r) + 5,3.10 ⁻³ .[<10] ²
39	normale volumekrimp bij het drogen, betrokken op het oorspronkelijk volume van het proefstuk:	Z (v/v)	V _d	100 - $\frac{(5850-16.[<10])}{(37,7+W_v)}$
40	normale lineaire krimp bij het drogen, betrokken op de oorspronkelijke lengte van het proefstuk:	Z (L/L)	A _d	50 - $\sqrt{2500-33,3.V_d}$
41	volumieke massa van de gedroogde scherf:	kg/m ³	p _d	$\frac{107}{E.(5850-16.[<10])}$
42	factor bij verwerking van luchthoudende klei:	-	f	1,045
43	factor bij verwerking van ontluchte klei:	-	f	1,0015
44	buigsterkte van gedroogde proefstaven van ontluchte klei in geheel droge toestand:	N/mm ²	σ _{b.d.}	3,5.10 ⁻³ .[<10] ²
45	buigsterkte van gedroogde proefstaven van luchthoudende klei in geheel droge toestand:	N/mm ²	σ _{b.d.}	2,6.10 ⁻³ .[<10] ²
46	buigsterkte van gedroogde proefstaven na adsorptie in lucht van 20°C met een relatieve vochtigheid van 75%	N/mm ²	σ	0,4.σ _{b.d.}

tabel 5: ENKELE EIGENSCHAPPEN VAN GEBAKKEN KLEI

nr.	EIGENSCHAP	EENHEID	SYM- BOOL	GETALWAARDE
47	volumieke massa van de gedroogde scherf	kg/m ³	ρ_d	(zie nr. 41)
48	gloeiverlies	Z (^m /m _d)	G	(zie nr. 12)
49	volumieke massa van de gebakken scherf bij een lineaire bakkrimp van 0Z	kg/m ³	$\rho_{g.o}$	$\rho_d \cdot (1 - 0,01 \cdot G)$
50	volumieke massa van de gebakken scherf bij een lineaire bakkrimp van A _g Z (^L /L):	kg/m ³	ρ_g	$\frac{\rho_{g.o}}{(1 - 0,03 \cdot A_g + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot A_g^2)}$
51	volume-bakkrimp:	Z (^v /v)	V _g	$100 - \left\{ 1 - \frac{\rho_{g.o}}{\rho_g} \right\}$
52	lineaire bakkrimp:	Z (^L /L)	A _g	$50 - \sqrt{(2500 - 33,3V_g)}$
53	gemiddelde dichtheid van de gebakken vaste stof met de ingesloten, niet voor water toegankelijke poriën:	kg/m ³	d _g	2680 - 20 · A _g
54	maximale wateropneming van de gebakken scherf, berekend uit ρ_g en A _g :	m ³ /m ³	v _o	$1 - \frac{\rho_g}{(2680 - 20 \cdot A_g)}$
55	maximale wateropneming van de gebakken scherf, berekend uit $\rho_{g.o}$ en A _g :	m ³ /m ³	v _o	$1 - \frac{\rho_{g.o}}{(2680 - 100 \cdot A_g + 1,4 \cdot A_g^2)}$
56	baktemperatuur, (+/- 25°C):	°C	θ	1200 - 3,5 · [<20]
57	ijzer-aluminiumverhouding, vereist voor het ontstaan van:	—	$\frac{Fe_2O_3}{Al_2O_3}$	< 0,05
	een witte scherf:	—	"	0,063 tot 0,10
	een crème scherf:	—	"	0,125 tot 0,20
58	ijzer-kalkverhouding, die bij kleien met een ijzer-aluminiumverhouding groter dan 0,20 vereist is voor het ontstaan van:	—	$\frac{Fe_2O_3}{CaO}$	< 0,5
	een gele scherf:	—	"	> 0,8
	een rode scherf:	—	"	

- 1 metselbakstenen, vol,
- 2 straatstenen,
- 3 metselbakstenen, vol, <15% perforatie,
- 4 metselbakstenen, 15-20% perforatie,
- 5 holle en sterk geperforeerde stenen,
- 6 dakpannen,
- 7 bloempotten,
- 8 steengas,
- 9 handgedraaide produkten,

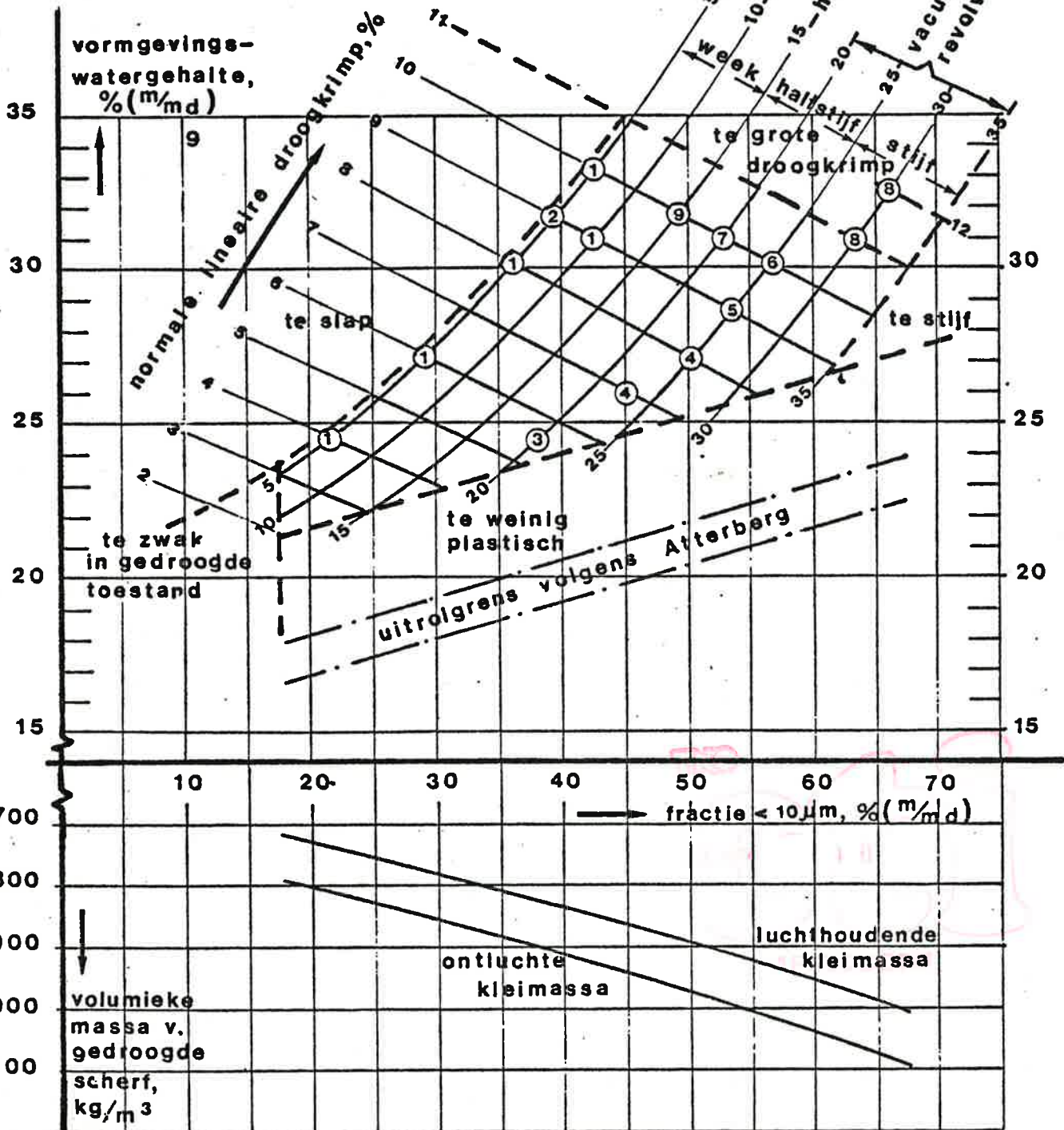


fig.4 vormgevingsdiagram