

VOORDRACHT

EVALUATIE VAN KLEI-AFZETTINGEN

VOOR DE GROFKERAMIEK

door

J.H. van der Velden

nijverheidsorganisatie



postbus 342  
7300 AH apeldoorn

bezoekadres  
laan van westenenk 501

telex 49095 tnoap  
telefoon 055 - 77 33 44

Ref. nr. : 80-01878

Dossier nr.: 8711-4023

Bestemd voor:

- Katholieke Universiteit Leuven, België
- Belgische Grofkeramische Industrie
- Nederlandse Grofkeramische Industrie

„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.

EVALUATIE VAN KLEI-AFZETTINGEN  
VOOR DE GROFKERAMIEK  
door J.H. van der Velden

SEMINARIE GEGEVEN AAN DE  
KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN  
op 6 maart 1980  
op verzoek van Prof.Dr. W. Viaene

De grote maatschappelijke betekenis van  
bouwkeramiek rechtvaardigt ten volle de  
reservering van de nationale delfstof  
klei voor dit bouw materiaal

(auteur)

<u>INHOUD</u>	pag.
1. INLEIDING	4
2. KENNISMAKING MET DE GROFKERAMIEK	5
2.1 Het begrip grofkeramiek	5
2.2 Het eisenpakket van grofkeramiek	6
2.3 De produktiecapaciteit van de grofkeramische industrie	7
2.4 Het fabricageproces	7
3. DE GRONDSTOF	10
3.1 Kleimineralen	10
3.2 Vulstoffen	11
3.3 Vloeimiddelen	12
3.4 Verontreinigingen in de klei	13
4. EVALUATIE VAN KLEI-AFZETTINGEN	15
4.1 Inleiding	15
4.2 Geologische en petrografische karakteristiek	16
4.3 Technologische karakteristiek	17
5. BESLUIT	23
6. LITERATUUR	25

BIJLAGEN: 11 figuren

## 1. INLEIDING

De vererende opdracht, die ik op verzoek van professor Viaene heb aanvaard, luidt, in dit seminarie met U in te gaan op de waardebeoordeling van kleiafzettingen voor de grofkeramiek.

Ofschoon voor een aantal Uwer zeker overbodig, lijkt het mij, voor een evenwichtige opbouw van de te behandelen stof, nuttig, U eerst wat algemene informatie te verschaffen over de grofkeramiek.

Punten die daarbij aan de orde zullen komen zijn:

wat is grofkeramiek?; van welke aard zijn de eisen, die aan grofkeramische produkten worden gesteld?; wat is de omvang van de landelijke grofkeramische industrie?; welke hoofdbewerkingen ondergaat de grondstof klei?

Hierna zal Uw aandacht worden gevraagd voor de essentiële bestanddelen in de grondstof en voor de kleibestanddelen die als hinderlijke verontreinigingen bekend staan.

Op de grondslag van het voorgaande, zal vervolgens uitgebreid worden ingegaan op de voor de evaluatie van een klei-afzetting gewenste informatie van geologische, petrografische en technologische aard.

Ik zal besluiten met enige opmerkingen over de betekenis, die een landelijke inventarisatie en evaluatie van klei-afzettingen naar mijn mening zou kunnen hebben.

## 2. KENNISMAKING MET DE GROFKERAMIEK

### 2.1 Het begrip grofkeramiek

Onder keramische materialen verstaat men vaste anorganische voortbrengselen van nijverheid, uitgezonderd metalen en legeringen, voor zover een warmtebehandeling essentieel is met betrekking tot het gebruiksdoel.

Figuur 1 toont een gebruikelijke klasse-indeling. Keramiek is hierin een keramisch materiaal met een bepaalde vorm, verkregen door het sinteren van een voorgevormde grondstofmassa.

Het sinteren is een verdichtingsverschijnsel; het produkt krimpt. De drijvende kracht is de vermindering van de oppervlakte-energie van het poeder-agglomeraat. De belangrijkste transportmechanismen zijn: verdamping en condensatie, alsmede iogene volumediffusie. Het proces is temperatuur- en tijdafhankelijk; ook de samenstelling van de atmosfeer, waarin de sintering plaats vindt, is van invloed op het resultaat.

De sintering fixeert de vorm en geeft het produkt de voor het gebruiksdoel gewenste eigenschappen.

De keramiek kan men op de grondslag van allerlei criteria nader indelen.

Hier is gekozen voor een indeling volgens figuur 2, waarin de klassieke keramiek, die uit klei is vervaardigd, wordt onderscheiden van de later ontwikkelde speciale keramiek, die uit klei, dan wel uit geheel andere natuurlijke of synthetische grondstoffen is gefabriceerd.

Grofkeramiek behoort tot de klassieke keramiek. Men rekent er toe: de grove bouwkeramiek, zoals bakstenen voor muren of bestratingen, holle bakstenen voor vrijdragende vloeren, kleidakpannen, rioolbuizen en plavuizen, alsmede de agrarische keramiek, zoals draineer- en bevoeiingsbuizen, voederbakken en tuinbouwbloempotten.

De fijne bouwkeramiek rekent men tot de fijnkeramiek.

Bedoeld worden bijvoorbeeld produkten als wandtegels en sanitaire artikelen. Grofkeramiek onderscheidt zich van fijnkeramiek door een grovere structuur van de gebakken scherf, door wat minder scherpe kwaliteitseisen, door toepassing van eenvoudiger fabricagetechnieken en mede als gevolg hiervan, door een lagere prijs per massa-eenheid produkt.

De tabel in figuur 3 geeft hiervan een globale indruk.

## 2.2 Het eisenpakket van grofkeramiek

De eisen die aan een grofkeramisch produkt gesteld worden, zijn sterk afhankelijk van het gebruiksdoel. Zij kunnen betrekking hebben op de navolgende eigenschappen:

a: afmetingen,

bijvoorbeeld: - maattoleranties

b: visuele kenmerken

bijvoorbeeld: - kleurigheid  
- vormafwijkingen  
- beschadigingen

c: bestendigheid van kleur

bijvoorbeeld: - concentratie van uitslagvormende zouten (sulfaten, carbonaten) in de scherf

d: duurzaamheid en structurele stabiliteit

bijvoorbeeld: - concentratie van verwerende zouten (natrium-, kalium- en magnesiumsulfaat) in de scherf  
- vorstbestandheid  
- bestandheid tegen chemische aantasting  
- vochtadsorptiedilatatie  
- slijtvastheid

e: mechanische eigenschappen

bijvoorbeeld: - mechanische sterkte bij rustende of stotende belasting

f: hygrisch gedrag

bijvoorbeeld: - wateropslagcapaciteit  
- waterdoorlating  
- wateraanzuignelheid

f: thermisch gedrag

bijvoorbeeld: - warmtegeleiding  
- temperatuurwisselbestandheid  
- uitzetting en krimp

h: acoustisch gedrag in  
constructie

bijvoorbeeld: - geluidsisolatie en absorptie

i: verwerkingseigenschappen

bijvoorbeeld: - mechanische bewerkbaarheid  
mortelhechting

De bedoelde eigenschappen worden in hoofdzaak bepaald door de mineralogische en granulometrische samenstelling van de grondstof, waaruit het produkt is vervaardigd, alsmede door de toestandsveranderingen die men de grondstof tijdens het fabricageproces doet ondergaan. Constantheid van de kwaliteit wordt bereikt door beheersing van massasamenstelling en fabricageproces.

### 2.3 De produktiecapaciteit van de grofkeramische industrie

In de tabel van figuur 4 zijn enkele globale gegevens opgenomen over de produktiecapaciteit van de grofkeramische industrie in België en Nederland aan het einde van de zeventiger jaren. De totale capaciteit per land bedroeg ongeveer  $4 \cdot 10^6$  respectievelijk  $4,5 \cdot 10^6$  ton gebakken produkt per jaar. België is een echt baksteenland. Een jaarproduktie van  $280 \text{ m}^3$  baksteen per 1000 inwoners behoort tot de hoogste produkties van West-Europa. Ongeveer de helft van de Belgische produktie is baksteen voor binnenmuren. De andere helft is gevelbaksteen. In Nederland worden overwegend gevelbakstenen vervaardigd.

### 2.4 Het fabricageproces

Voor de keramicus is klei een zacht verweringsgesteente dat, wanneer het in fijn verdeelde toestand met water wordt gemengd, een plastisch vervormbare massa kan opleveren, die bij droging verhardt en vervolgens door sintering kan worden verduurzaamd.

Met een plastisch vervormbare massa wordt een massa bedoeld, die zich onder mechanische belasting boven een bepaalde spanningsgrens, zonder scheurvorming laat vervormen en bij het wegnemen van die belasting de aangenomen vorm behoudt.

Men vindt in de gegeven traditionele omschrijving van klei, de hoofdbewerkingen terug, die deze stof doorgaans bij de fabricage van grofkeramiek ondergaat, namelijk een massabereiding, een vormgeving in plastische toestand, het drogen en het bakken.

Bij de massabereiding wordt de stukgrootte van de ruwe grondstof verkleind, wordt eventueel aanwezig doch ongewenst grof en hard materiaal verwijderd en ontstaat zonodig onder toevoeging van water en toeslagstoffen door mengen en kneden een plastische massa. De gewenste constante samenstelling en stijfheid van de vormmassa verkrijgt men door een effectieve controle op samenstelling en dosering van de componenten van de massa.

De belangrijkste vormgevingstechnieken zijn in figuur 5 schematisch weergegeven. Vooral met de strengpers kan door het wisselen van mondstuk een zeer groot assortiment vollegeperforeerde en holle grofkeramische produkten worden vervaardigd. De vormbakpers is in dit opzicht niet zo flexibel.

De stijfheid, die een vormmassa moet bezitten wordt bepaald door de vormgevings-techniek. Figuur 6 licht dit toe. Ter linkerzijde is de stijfheid of consistentie van een kleimassa aangegeven in mm resthoogte van een met het zogenaamde Pfefferkornapparaat gestuikt proefstuk klei, dat een oorspronkelijke hoogte van 40 mm bezat.

Strengpersprodukten en dakpannen worden bij een stijfheid van tenminste 20 mm vervaardigd; vormbakstenen bij een stijfheid van gemiddeld 5 mm. Handdraaiwerk in de fijnkeramiek komt bij een stijfheid van gemiddeld 12<sup>5</sup> mm tot stand.

De toepasbaarheid van een bepaalde vormgevingstechniek hangt af van de grondstofsamenstelling.

De verse vormlingen worden steunend op dragers, gedroogd met geconditioneerde lucht van atmosferische druk. Het proces vindt gewoonlijk plaats in kamer- of tunneldrogers. In kamerdrogers verkeren de vormlingen tijdens de droging in rust; in tunneldrogers bewegen de meestal op railgebonden wagens gegroepeerde vormlingen zich tijdens de droging door een geconditioneerde tunnel. Tijdens het drogen krimpen de vormlingen. De lineaire droogkrimp varieert afhankelijk van de massasamenstelling en het vormgevingswatergehalte tussen 2% en 10%.

Ter voorkoming van scheurvorming of kromtrekking van de vormlingen, dient het droogregime aan bepaalde voorwaarden te voldoen [1]. De tijd nodig voor een schadevrije en ook in energetisch opzicht aanvaardbare droging varieert afhankelijk van onder meer het type produkt en de massasamenstelling tussen enkele uren en enkele dagen.



Gedroogde en daardoor verharde grofkeramische vormlingen worden gewoonlijk in naast- en opelkaar gestapelde toestand gebakken. De warmtebehandeling omvat in principe een opwarmproces tot een bepaalde temperatuur, waarbij het half-fabrikaat allerlei chemische en fysische toestandsveranderingen ondergaat, een rijpingsproces bij de bedoelde zogenaamde baktemperatuur, waarbij zich in hoofdzaak de sintering voltrekt en een koelproces waarbij zich nog één of meer met volumeveranderingen gepaard gaande kristalomzettingen voordoen.

Het baktemperatuurniveau ligt afhankelijk van de massasamenstelling, het type produkt en de beoogde kwaliteit gewoonlijk tussen  $900^{\circ}\text{C}$  en  $1250^{\circ}\text{C}$ .

De door de sintering bewerkstelligde lineaire bakrimp is meestal niet groter dan 5%. Voor de meeste produkten is een lineaire bakrimp van 0,5 à 1,5% reeds voldoende voor het verkrijgen van de gewenste duurzaamheid en sterkte.

Het bakproces vindt plaats in periodieke of in continue ovens. Periodieke ovens leveren periodiek een hoeveelheid produkt gelijk aan de totale ovencharge. Het produkt blijft hierin gedurende de gehele warmtebehandeling op een vaste plaats. Continue ovens produceren een continue stroom gebakken produkt, of leveren telkens na gelijke tussenpozen een hoeveelheid produkt af, gelijk aan een deel van de totale ladinginhoud van de oven. Een veel gebruikt type is de tunneloven [2]. Voor de warmtebehandeling in de oven gelden ten aanzien van de keuze van het temperatuurverloop met de tijd en de samenstelling van de ovenatmosfeer strenge eisen. Indien hieraan niet wordt voldaan, wordt afbreuk gedaan aan de kwaliteit van het produkt en wordt bijvoorbeeld ook een mechanische verwerking van het gebakken produkt tot verzendgerede pakketten sterk bemoeilijkt [3]. De tijdsduur van het bakproces is onder meer afhankelijk van het type produkt, van de verlangde kwaliteit, van de zetwijze van het produkt in de oven en van de massasamenstelling. In een tunneloven ligt deze gewoonlijk tussen één en vijf etmalen.

In moderne fabricage-eenheden zijn alle deelbewerkingen in sterke mate gemechaniseerd en geautomatiseerd. Het zal op grond van het voorgaande duidelijk zijn, dat hierdoor onder meer aan de constantheid van de grondstofsamenstelling zeer veel zorg moet worden besteed.

### 3. DE GRONDSTOF

#### 3.1 Kleimineralen

De essentiële bestanddelen van een grofkeramische massa zijn: kleimineralen, vulstoffen en vloeimiddelen. Bepalen wij ons eerst tot de kleimineralen:

De in klei aanwezige gehydrateerde aluminiumsilicaten, kleimineralen genaamd, bewerkstelligen de plastische vervormbaarheid van de toebereide massa en fungeren verder onder meer als bindmiddel.

Sterk vereenvoudigd voorgesteld zijn kleimineralen opgebouwd uit lagen van tot zesringen verbonden tetraëders, elk bestaande uit een siliciumion, omgeven door vier zuurstofionen, afgewisseld door lagen van eveneens tot zesringen verbonden octaëders, elk bestaande uit een aluminiumion, omgeven door zes zuurstofionen of hydroxylgroepen.

Figuur 7 toont deze basisstructuren. De beide zesringen zijn nagenoeg even groot, hetgeen de laagsgewijze onderlinge koppeling bevordert.

Door de gelaagde structuur zijn de kleimineraaldeeltjes gewoonlijk plaatvormig. De in de natuur voorkomende kleimineralen onderscheiden zich van elkaar door verschillen in de rangschikkings- en bindingswijze van tetraëder- en octaëderlagen, alsmede door verschillen in de ionenbezetting van het kristalrooster. Deze verschillen komen tot uiting in een onderling sterk afwijkend technologisch gedrag.

De in keramisch opzicht belangrijkste kleimineralen zijn kaoliniet, illiet en de zwellende kleimineralen, smektieten genaamd, zoals montmorilloniet en mengmineralen van illiet en montmorilloniet. Karakteristiek voor laatstgenoemde mineralen is, dat in een vochtige omgeving water in het kristalrooster wordt opgenomen, waardoor het mineraal zwelt.

In kleiafzettingen voor de grofkeramiek komen de verschillende kleimineralen gewoonlijk in wisselende percentages naast elkaar voor. Illiet is doorgaans het sterkst vertegenwoordigd.

Een hoog gehalte aan kleimineralen bewerkstelligt een goede vervormbaarheid van de massa in een groot watergehaltegebied, maar veroorzaakt onder meer een relatief slecht drooggedrag. Vooral de aanwezigheid van zwellende kleimineralen beïnvloedt dedroogeigenschappen ongunstig.

Kleimassa's met een laag kleimineraalgehalte hebben weliswaar goede droogeigenschappen, doch zijn slechts in een beperkt watergehaltegebied plastisch vervormbaar en bezitten in gedroogde toestand een relatief geringe mechanische sterkte. Soms komt om deze redenen het gebruik van speciale corrigerende toeslagstoffen

in aanmerking.

Verreweg het grootste deel van de kleimineralen (in de Nederlandse kleien gewoonlijk meer dan 90%), bevindt zich in de korrelfractie kleiner dan 20  $\mu\text{m}$ , terwijl vaak meer dan tweederde deel van alle kleimineralen in de fractie kleiner dan 2  $\mu\text{m}$  wordt aangetroffen.

De gehalten aan deeltjes kleiner dan 2  $\mu\text{m}$  en kleiner dan 10  $\mu\text{m}$  worden daarom in de keramiek wel gebruikt voor de beoordeling van de hoeveelheid kleimineralen in de grondstof en daarmee, gezien hun grote reactiviteit, voor een beoordeling van het te verwachten technologisch gedrag.

Een waarschuwing tegen deze praktijk is hier op zijn plaats, indien korrelgrootteverdelingen van kleien van in geologisch opzicht verschillende oorsprong met elkaar worden vergeleken. In zo'n vergelijking dienen meer analyses van de grondstof te worden betrokken.

Voor in mineralogisch opzicht aan elkaar verwante kleien is het gehalte aan deeltjes kleiner dan 10  $\mu\text{m}$  of kleiner dan 2  $\mu\text{m}$  wel een redelijk goed bruikbare maatstaf voor het beoordelen van het technologisch gedrag [4].

### 3.2 Vulstoffen

De in een kleimassa aanwezige niet plastisch vervormbare stoffen, hier gemakshalve vulstoffen genaamd, beperken het watergehalte van de massa en zorgen ervoor dat droog- en bakrimp niet hinderlijk groot worden. In de grofkeramiek gebruikt men bij voorkeur kleien, waarin deze vulstoffen (voornamelijk kwarts), die de massa versralen, al in voldoende mate van nature aanwezig zijn.

De voor een gegeven produkt en een gegeven fabricagetechniek optimale vormmassa tracht men door onderlinge menging van verschillende ter beschikking staande kleien samen te stellen.

In veel gevallen blijft de toediening van een extra verschralingsmiddel echter noodzakelijk. Vaak is men dan aangewezen op het gebruik van zo fijn mogelijk zand. Bij voorkeur gebruikt men echter een natuurlijke of synthetische vulstof met een zo gering mogelijk gehalte aan vrij kwarts. De met volumeverandering gepaard gaande reversibele kristalomzetting van kwarts bij 575°C bemoeilijkt namelijk onder meer de schadevrije koeling van het produkt in de oven.

Het effect van vulstoffen hangt behalve van hun relatieve hoeveelheid uiteraard ook af van hun korrelgrootteverdeling.

### 3.3 Vloeimiddelen

Vloeimiddelen bevorderen het sinteren van de massa op een relatief laag temperatuurniveau.

Kleien voor de grofkeramische industrie bevatten van nature in het algemeen voldoende vloeimiddelen. In het kleimineraal illiet bijvoorbeeld komen kalium- en magnesiumionen voor, die als een uitstekend vloeimiddel dienst doen.

Andere vaak in klei aangetroffen vloeimiddelen zijn onder meer calciëet, dolomiet en hematiet. Dit laatste mineraal is vooral in een reducerende atmosfeer een sterk vloeimiddel. Bij baktemperaturen boven 1100°C wordt veldspaat een vloeimiddel.

Soms is het gewenst, het verloop van de sintering met de temperatuur van een uit natuurlijke kleien samengestelde massa wat af te remmen, teneinde te voorkomen, dat de produkten tijdens het bakproces deformereren of een te sterk verschillende bakrimp ondergaan. Met een toeslag van een kaolinitrijke doch vloeimiddelarme klei is zo'n verbreding van het sintertraject mogelijk. Figuur 8 toont dilatometercurven van onbelaste proefstukken uit een illitische, een montmorillonitische en een kaolinitische massa. De verschillen in gedrag zijn evident.

Tijdens de sintering wordt in de meeste gevallen ook de kleur van de scherf gevormd. In kleien voor de grofkeramiek wordt deze voornamelijk bepaald door de gehalten aan ijzeroxide en calciumcarbonaat (beide tevens vloeimiddelen), alsmede door de samenstelling van de ovenatmosfeer

Als vuistregel voor het ontstaan van een witte scherf geldt, dat het quotiënt  $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  van de klei kleiner dient te zijn dan 0,05.

Een crêmekleurige scherf ontstaat wanneer het bedoelde quotiënt tussen 0,063 en 0,10 ligt.

Voor quotiënten tussen 0,125 en 0,20 wordt bij voldoende sintering een gele scherf gevormd.

Bij quotiënten groter dan 0,20 is de bakkleur rood, indien het bakproces in een oxiderende atmosfeer plaats vindt. Bij sintering en/of afkoeling in een reducerende atmosfeer wordt ten gevolge van de reductie van de ijzeroxiden een grijze tot blauwzwarte scherf gevormd.

Indien bij een quotiënt  $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  groter dan 0,20, het gehalte aan calciumcarbonaat zo hoog is, dat de verhouding  $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO}}$  kleiner is dan 0,5 blijkt bij temperaturen boven 1040°C een gele scherf gevormd te worden. Fijn gemalen mergel of fijn krijt worden bij de fabricage van gevelbakstenen dan ook vaak aan van nature roodbakkende kleien toegevoegd ter vergroting van het kleurenassortiment.

Een andere toeslagstof, die bruine tot zwarte bakkleuren oplevert, is gemalen bruinsteen.

Het effect van dergelijke toeslagstoffen hangt behalve van de toegevoegde hoeveelheid sterk af van de korrelfijnheid van de stof.

De tint van een scherf wordt in het algemeen dieper en donkerder naarmate het produkt sterker wordt gesinterd. De relaties tussen bakkrimp, sinterregime en bakkleur kunnen door middel van bakproeven worden vastgesteld.

#### 3.4 Verontreinigingen in de klei

Verontreinigingen van een klei zijn in de grofkeramiek niet plastisch vervormbare bestanddelen, die het fabricageproces kunnen verstoren of bemoeilijken, die de kwaliteit van de mede in esthetisch opzicht gewaardeerde produktsoorten kunnen aantasten, of die het milieu kunnen belasten.

De aanwezigheid van concreties en andere grove harde of taaie bestanddelen is in het algemeen ongewenst. Hun samenstelling is à priori verdacht. Ze zijn vaak moeilijk uit de grondstof af te scheiden en kunnen meestal in onvoldoende mate, of op economisch aanvaardbare wijze in grootte worden verkleind. Mede door de resterende stukgrootte kunnen deze verontreinigingen in het eindprodukt bijvoorbeeld leiden tot het afspringen van scherven, de vorming van ongewenste holten, of tot smeltvlekken en andere oppervlakteverkleuringen.

In dit verband dient bij exploratie van klei-afzettingen bijzonder nauwkeurig gelet te worden op schroot, harde gesteenten, zoals kiezel, hout, wortels, schelpresten, fossielen, grofkorrelige ijzeroxiden, pyrietknollen en in sommige streken ook op grofkristallijne carbonaten en sulfaten.

Soms, zoals bijvoorbeeld bij de aanwezigheid van schroot of wortels in de klei kunnen de kleibereidingsmachines defect of verstopt raken, indien hiertegen geen passende maatregelen zouden worden genomen.

De belangrijkste in fijn verdeelde vorm voorkomende verontreinigingen zijn:

- Sulfaten ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) en sulfides ( $\text{FeS}_2$ ):

Deze kunnen aanleiding geven tot verwerking of tot de vorming van een witte uitslag op het produkt. Ze belasten door partiële ontleding tijdens het bakproces bovendien het milieu.

- Humus:

Humus verslechtert vooral in percentages boven 2% de droogeigenschappen en kan in ijzerrijke kleien tijdens het bakproces ongewenste reductieverschijnselen in de kern van de produkten doen optreden.

- Fluoriden:

Tijdens het bakproces afgevoerde fluoriden betekenen een belasting voor het milieu

- Vanadiumzouten:

Vanadiumzouten kunnen in wit tot geelbakkende kleien een meestal groene uitslag op het gerede produkt doen ontstaan.

Voor het onderkennen van de aanwezigheid van bepaalde verontreinigingen is de kennis van de geologische kenmerken van de klei-afzetting in het algemeen onontbeerlijk.

#### 4. EVALUATIE VAN KLEI-AFZETTINGEN

##### 4.1 Inleiding

Het relatiepatroon in figuur 9 wil, kloksgewijs rondgaande, uitbeelden, dat de van een toegepast grofkeramisch produkt verlangde eigenschappen, via een keten van eisen, die aan halffabrikaten, bewerkingen en vormmassa worden gesteld, ten slotte uitmonden bij de eisen waaraan een natuurlijke grondstof moet voldoen - en teruggaande, dat de eigenschappen van een gegeven natuurlijke grondstof via een keten van mogelijkheden, die activiteiten, bewerkingen toeslagstoffen en halffabrikaten bieden, mogelijk een kwaliteitsprodukt kunnen opleveren, dat in een behoefte voorziet.

Gezien het grote assortiment grofkeramische produkten met onderling verschillende kwaliteitseisen en gezien ook de mogelijkheden tot aanpassing en correctie van bewerkingen en grondstoffen zullen veel kleiafzettingen in technisch opzicht in principe voor exploitatie in aanmerking komen.

Veel moeilijker is een technische en economische evaluatie van een klei-afzetting voor een bepaald soort produkt van een welomschreven kwaliteit, dat gefabriceerd moet worden in een gegeven land of plaats van vestiging, met een beperkte flexibiliteit voor wat betreft aanpassing van bewerkingen en correctie van grondstoffen.

Een klei-afzetting, waarin zwellende kleimineralen voorkomen zou in Nederland voor de fabricage van dakpannen bijvoorbeeld nog uitstekend geschikt bevonden kunnen worden, terwijl diezelfde afzetting in Zuid-Frankrijk, waar voldoende smektietvrije kleien gevonden worden, voor de fabricage van hetzelfde produkt zeker als onbruikbaar zou worden afgewezen.

Voor een op de praktijk gerichte evaluatie van een kleiafzetting is daarom een gedetailleerde karakteristiek van die afzetting onontbeerlijk en dient men voorts over voldoende vergelijkingsmateriaal te beschikken.

Getracht zal worden, de elementen aan te geven, waaruit een dergelijke karakteristiek zou kunnen bestaan. Eerst zal worden ingegaan op de gewenste geologische en petrografische informatie; daarna komt de technologische karakteristiek aan de orde.

#### 4.2 Geologische en petrografische karakteristiek

De geologische en petrografische karakteristiek verschaft informatie over:

- aard en ouderdom van de afzetting, onder vermelding van de omstandigheden waaronder deze werd gevormd. Deze informatie is nuttig bij vergelijkingen met of voorspellingen van het technologisch gedrag van andere klei-afzettingen.
- uitgebreidheid, dikte en verloop van de afzetting, grondwaterpeil en de voor ontgraving in aanmerking komende hoeveelheid.
- absolute en relatieve dikte van dek- en tussenlagen.
- aangetoonde of vermoede aanwezigheid van grove insluitsels.

De inspectie van boormonsters en graaffronten dient voorts gespecificeerd naar positie en diepte gegevens op te leveren over:

- de vetheid, structuur en hardheid of stijfheid van de klei
- het watergehalte en volumieke massa
- de kleur van de klei in vochtige en droge toestand
- de eventuele aanwezigheid van carbonaten in de klei
- de aan te bevelen wijze van ontgraving en de daarbij te verwachten stukgrootteverdeling.

Nauwgezet dient te worden gezocht naar eventuele grove insluitsels. Hun aard, stukgrootte, hardheid en relatieve hoeveelheid dient te worden vastgesteld.

Het aantal boringen wordt onder meer bepaald door de uitgestrektheid en de dikte van de afzetting, door de gelijkmatigheid van het verloop en de samenstelling, alsmede door de doelstellingen van de exploratie.

De onderlinge afstand varieert gewoonlijk tussen 25 m en 500 m. De diepte tussen 2<sup>5</sup> m en 50 m.

Voor een zinvolle interpretatie van de gegevens is een deskundige en ordelijke aanpak van het onderzoek noodzakelijk en dient gezorgd te worden voor een systematische bondige weergave van de resultaten aan de hand van kadastrale kaarten, profielkaarten en een gestandaardiseerde nomenclatuur.

Met de aanduiding van de geografische positie van de afzetting op een topografische kaart kan een indruk worden verschaft over de infrastructuur van de streek.



### 4.3 Technologische karakteristiek

#### 4.3.1 Program van onderzoek

Ter beoordeling van de technologische eigenschappen wordt de aangetroffen klei aan een nader laboratoriumonderzoek onderworpen. Daartoe worden aan de hand van de gegevens van het veldonderzoek uit de verzamelde boormonsters één of meer laboratoriummonsters samengesteld, die representatief geacht kunnen worden voor de afzetting als geheel, dan wel voor duidelijk te onderscheiden delen daarvan. Nu is het aantal analyses dat in meer of mindere mate zou kunnen bijdragen tot een beter inzicht in het te verwachten technologisch gedrag schier eindeloos. Gekozen is hier voor een degelijk, doch beknopt gehouden program van onderzoek. Het omvat per samengesteld monster van minimaal 15 kg in de eerste plaats de vaststelling van de mineralogische samenstelling, de granulometrische samenstelling en het specifiek oppervlak, alsmede de chemische analyse. Voorts zijn in het onderzoekprogramma een aantal aanvullende onderkenningproeven opgenomen met betrekking tot het vormgedrag, het drooggedrag, de eigenschappen van het gedroogde monster, het bakgedrag en de eigenschappen van het gebakken monster.

#### 4.3.2 Mineralogische samenstelling

Het mineralogisch onderzoek is onontbeerlijk voor het begrijpen van het technologisch gedrag van een klei. Het verschaft, aan de hand van de röntgenanalyse, de differentiaalthermische analyse, de thermografische analyse en andere hier buiten beschouwing blijvende analysetechnieken, redelijk nauwkeurige kwantitatieve gegevens over de in een kleimonster aanwezige minerale bestanddelen. Het onderzoek dient bij voorkeur aan enkele karakteristieke korrelfracties van de klei te worden uitgevoerd (bijvoorbeeld aan de fractie  $< 10 \mu\text{m}$ , de fractie  $10 - 25 \mu\text{m}$  en de fractie  $> 25 \mu\text{m}$ ).

Vooraf de kennis van het gehalte aan de verschillende kleimineralen, verdiept het inzicht in het technologisch gedrag. Ook de detectie van carbonaten, sulfaten en sulfiden (pyriet) is van belang.

In door de Nederlandse grofkeramische industrie geëxploiteerde kleigronden varieert het gehalte aan kleimineralen van 20 tot 55% [4]. Het gemiddelde gehalte bedraagt circa 30%, opgebouwd uit gemiddeld 6% kaolimiet, 12% illiet en 12% zwellende mengmineralen.

#### 4.3.3 Korrelgrootteverdeling

De korrelgrootteverdeling in een klei is van invloed op het rheologisch gedrag, op de waterbeweging in de klei tijdens de droging en bepaalt mede de poriënstructuur en de sterkte van de gedroogde en gebakken massa. De bepaling geschiedt gewoonlijk aan de hand van een zeefanalyse tot  $63 \mu\text{m}$  en een sedimentatie-analyse tot een benedengrens van  $2 \mu\text{m}$  [5]. De analyseresultaten worden tabellarisch of in de vorm van een halflogaritmische sommatiecurve weergegeven.

Voor een globale karakterisering van kleien in granulometrisch opzicht volstaat men in Nederland meestal met de opgave van de korrelfracties  $> 125 \mu\text{m}$ ,  $< 10 \mu\text{m}$  (leemgehalte) [6] en soms mede van  $< 2 \mu\text{m}$  (lutumgehalte).

Het leemgehalte van toebereide kleimassa's varieert in de Nederlandse grofkeramische industrie van 16% tot 70% en bedraagt gemiddeld 35 à 40% (rivierkleien voor vormbakstenen).

#### 4.3.4 Totaal specifiek oppervlak

Het totaal specifiek oppervlak geeft in één cijfer een indruk van de reactiviteit van de klei. Het wordt bepaald volgens de glycolretentiemethode, dan wel afgeleid uit de eenvoudigere bepaling van het evenwichtswatergehalte van de klei [7] , [8].

Het totaal specifiek oppervlak van de in de Nederlandse grofkeramische industrie gebruikte kleimassa's varieert van 35 tot  $150 \text{ m}^2/\text{g}$ . Nederlandse natuurlijke kleien met een hoger specifiek oppervlak bevatten zeer veel zwellende kleimineralen en zijn meestal ongeschikt voor gebruik in de keramische industrie.

#### 4.3.5 Chemische analyse

Een chemische analyse, die beperkt blijft tot de vaststelling van de gehalten aan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , gloeiverlies, humus,  $\text{CO}_2$  uit carbonaat, in water oplosbaar  $\text{SO}_4^{2-}$ , S-totaal en  $\text{F}^-$ , biedt in het algemeen ruim voldoende informatie.

- De gehalten aan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en  $\text{CaO}$  bepalen zoals besproken de bakkleur van de klei
- De gehalten aan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  en  $\text{Na}_2\text{O}$  verschaffen informatie over de hoeveelheid aanwezige vloeimiddelen.

- Door eenvoudigheidshalve te veronderstellen, dat het gloeiverlies (variërend tussen 2 en 14%), de som is van het humusgehalte, het  $\text{CO}_2$  uit carbonaat en een restpost, die in hoofdzaak bestaat uit adsorptief en chemisch gebonden water, kan een globale indruk worden verkregen van de exotherme en eudotherme reacties tijdens het bakproces en van het reactiewarmtesaldo [9].
- Een hoog humusgehalte veroorzaakt een relatief hoog vormgevingswatergehalte. Gewoonlijk is het humusgehalte lager dan 2%; gemiddeld is het in de Nederlandse industrie circa 1%.
- Een hoger gehalte aan in water oplosbaar  $\text{SO}_4^{2-}$  dan 0,1% kan aanleiding geven tot het ontstaan van uitslag op het gebakken produkt.
- Aanzienlijke verschillen tussen het totale zwavelgehalte S en het zwavelgehalte resulterend uit oplosbaar  $\text{SO}_4^{2-}$  wijzen in het algemeen op de besproken hinderlijke aanwezigheid van  $\text{FeS}_2$  (pyriet).
- Het fluorgehalte is van belang voor het schatten van de fluoruitworp van de oven. Het  $\text{F}^{1-}$ -gehalte is in Nederlandse kleien doorgaans kleiner dan 0,05%.
- De gevoeligheid van het ontstaan van zwarte reductiekernen in de scherf tijdens de opwarming in de oven, doet zich vooral voor bij kalkarme kleien met een  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -gehalte groter dan 4,5 à 5%.

#### 4.3.6 Vormgedrag

Naar mijn ervaring kan de vervormbaarheid van een klei, hoe vreemd dit in 1980 misschien moge klinken, nog steeds het snelst en het meest betrouwbaar worden vastgesteld met de het meest voor de hand liggende hulpmiddelen, namelijk de knedende vingers of met simpele mechanische vervangers daarvan. Bedoeld worden de uitrolproef van Atterberg en de stukproef van Pfefferkorn.

Bij de uitrolproef wordt een klompje natte klei zolang op een droge gipsen plaat gekneed en tot strengetjes van 3 mm dik uitgerold, tot het door het gips aan de massa onttrokken water de klei zo brokkelig maakt, dat het niet meer lukt hieruit strengetjes te rollen.

Het bij die toestand behorende watergehalte in procenten van de droge massa noemt men de uitrolgrens van Atterberg. De getalwaarden variëren tussen 15% en 30%.

Het vormgevingswatergehalte in de praktijk kiese men dan veiligheidshalve tenminste 4% hoger.

De andere eenvoudige onderkenningsproef is die met het Pfefferkorn-stuikappaaraat [10].

Door stuikproeven uit te voeren bij verschillende watergehalten van de massa krijgt men inzicht in het verloop van de stijfheid met het watergehalte en constateert men bij het vervaardigen van de proefcilinders en het stuiken daarvan bovendien, in hoeverre een vervorming zonder scheurvorming mogelijk blijft.

De relatie tussen de stijfheid en het watergehalte is in figuur 10 voor een magere Lössleem L, een rivierklei R en een vette zeeklei Z weergegeven.

Aan dergelijke curven kan in de eerste plaats, mede aan de hand van de kennis van de uitrolgrens, worden ontleend, bij welke stijfheid de massa nog juist goed vormbaar geacht mag worden en welke vormgevingsmethoden derhalve in aanmerking komen.

Ook geven de curven informatie over de consistentiestabiliteit, dat wil zeggen over de watergehaltevariatie, die de consistentie 1 mm doet wijzigen. Deze waarde varieert bij Nederlandse kleien, mede afhankelijk van het gekozen werkpunt gewoonlijk tussen 0,25 en 0,75% per mm. Aangezien de consistentie van een massa ter vermijding van moeilijkheden bij de vormgeving binnen nauwe grenzen (bijvoorbeeld + of -1 mm) constant moet blijven, is de consistentiestabiliteit een maat voor de toelaatbare watergehaltespreiding in de massa.

Voorts is het verschil tussen een gegeven vormgevingswatergehalte en de uitrolgrens maatgevend voor de kwaliteit van de vervormbaarheid. Naarmate dit verschil größer is, zal de massa in het algemeen beter vervormbaar zijn.

#### 4.3.7 Drooggedrag

De droogeigenschappen van een klei zijn voornamelijk afhankelijk van het totaal specifiek oppervlak en van het gehalte aan zwellende kleimineralen [11].

Tot een totaal specifiek oppervlak van  $80 \text{ m}^2/\text{g}$  laten vormlingen zich gewoonlijk relatief vlot en scheurvrij drogen.

Een hoger percentage zwellende kleimineralen dan 12% leidt gewoonlijk tot relatief lange droogtijden.

Aan de hand van een gestandaardiseerde meting van de adsorptiedilatatie van een dun droog proefstaafje klei in lucht met een relatieve vochtigheid van 75%, kan een indruk worden verkregen van het zwellend vermogen van de klei. Tot een dilatatie van  $2,5^\circ/\text{oo}$  is het drooggedrag meestal relatief gunstig.

Een determinant, die althans bij Nederlandse kleien ook bruikbare aanwijzingen geeft over het te verwachten drooggedrag is het quotiënt van het totaal specifiek oppervlak en de fractie kleiner dan  $10 \mu\text{m}$ . Bij quotiënten groter dan 2 zijn de droogeigenschappen meestal slecht.

Het drooggedrag hangt voorts nog af van het vormgevingswatergehalte. Tot vormgevingswatergehalten van 25% van de droge massa, zijn de droogeigenschappen meestal goed. Bij watergehalten boven 32% zijn slechte droogeigenschappen te verwachten.

Tenslotte is ook de lineaire droogkrimp van belang. Massa's met een droogkrimp groter dan 10% zijn in het algemeen onaanvaardbaar. Massa's met een droogkrimp lager dan 6% zijn meestal zonder veel moeilijkheden scheurvrij te drogen.

#### 4.3.8 Eigenschappen van de gedroogde massa

Gedroogde vormlingen mogen bij het hergroeperen voor het bakproces niet breken of beschadigen; zij moeten voldoende sterk zijn. Massa's met een lager gehalte aan kleimineralen dan 20% en een lager leemgehalte dan 16% zijn dit in het algemeen niet. De sterkte wordt gewoonlijk aan droge proefstaafjes van 20 x 15 x 100 mm met een driepuntsbuigproef bepaald. Buigsterkten lager dan  $1,5 \text{ N/mm}^2$  zijn onaanvaardbaar. Bij voorkeur dient de buigsterkte hoger te zijn dan  $3 \text{ N/mm}^2$ . Voor correlatiedoeleinden verdient het aanbeveling ook de volumieke massa van de scherf vast te stellen.

#### 4.3.9 Bakgedrag

De dilatometer is bij uitstek geschikt voor de beoordeling van het bakgedrag. De dilatometercurve van een gedroogde massa geeft bijvoorbeeld aanwijzingen over de scheurgevoeligheid van de massa bij temperatuurschommelingen in het opwarmtraject tot  $650^\circ\text{C}$  (figuur 11). Bij dilataties groter dan 1% is de massa in dit opzicht gevoelig te noemen.

Verder kan aan de hand van de dilatometercurve de temperatuur worden vastgesteld, waarbij de sintering begint.

Ook het einde van het praktisch bruikbare sintertraject kan worden gemarkeerd. Men kiese daarvoor bijvoorbeeld de temperatuur, waarbij de dilatometercurve een steiler verloop krijgt dan 1% contractie per  $15^\circ\text{C}$ .

Gezien de ruimtelijke temperatuurverschillen in de charges van grofkeramische ovens, de noodzaak tot het vermijden van grote bakkrimptverschillen in de charge en gezien de tijd- en atmosfeerafhankelijkheid van de sintering, dient de baktemperatuur zeker lager gekozen te worden dan de laatstbedoelde temperatuur.

De koelgevoeligheid van de massa kan worden beoordeeld aan de hand van dilatometercurven van gebakken proefobjecten, door vaststelling van de dilatatie tussen 500 en  $650^\circ\text{C}$ .

Dilatometercurven kunnen nog aanzienlijk meer gegevens opleveren voor de

specificatie van het sinterproces in de praktijk. Het zou echter te ver voeren daar hier op in te gaan [12], [13].

#### 4.3.10 Eigenschappen van het gebakken produkt

Voor een beoordeling in eerste aanleg zijn vooral van belang de bakkleur, de volumieke massa en de vrijwillige wateropneming bij onderdompeling in water gedurende een voorgeschreven tijd. Aangezien deze eigenschappen in sterke mate afhankelijk zijn van de mate van sintering die de massa heeft ondergaan, verdient het aanbeveling vorenstaande gegevens aan bijvoorbeeld 6 series bij verschillende temperaturen gebakken proefobjecten in relatie met de lineaire bakrimp vast te stellen.

Nadere aanwijzingen over de uitslaggevoeligheid van de gebakken proefplaatjes verkrijgt men door met water doordrenkte proefobjecten via een relatief klein verdampend oppervlak langzaam te laten uitdrogen. Eventuele uitslag wordt dan duidelijk zichtbaar.

## 5. BESLUIT

Ik heb getracht aan te geven, op welke wijze naar mijn inzicht een waardebe-  
ling van klei-afzettingen voor de grofkeramiek zou kunnen plaatsvinden en daar-  
bij gewezen op het belang van mogelijkheden tot onderlinge vergelijking van  
karakteristieken van verschillende kleien.

In de zestiger jaren werd door TNO in samenwerking met enkele andere onderzoeks-  
instellingen, met steun van de Nederlandse Baksteen- en Kleidakpannenindustrie  
een dergelijk onderzoek uitgevoerd. Er waren een groot aantal al dan niet in  
exploitatie zijnde kleigronden waaronder ook enkele buitenlandse bij betrokken.  
Dit onderzoek had enerzijds ten doel het kennisniveau betreffende samenstelling  
en eigenschappen van de basisgrondstof voor de grofkeramische industrie op te  
voeren en anderzijds de bruikbaarheid van een aantal in Nederlandse onderzoek-  
centra toegepaste analysemethoden te beoordelen.

Het onderzoek heeft ruimschoots aan zijn doelstellingen beantwoord.

Nog steeds vormt het in 1970 [14] uitgebrachte rapport een bron van nuttige in-  
formatie voor de wetenschappelijke werkers en technici, die voor of in de be-  
drijfstak werkzaam zijn, ofschoon een herhaling van het onderzoek, op basis van  
de thans aanwezige kennis, ervaringen en mogelijkheden van onderzoek zeker zin-  
vol is.

De hier door mij besproken evaluatiemethode is onder meer gebaseerd op de er-  
varingen met de resultaten van het bedoelde onderzoek in Nederland. Waardevolle  
elementen eruit zijn behouden; elementen die node werden gemist, zijn ingevoegd.

De betekenis van een landelijke inventarisatie en evaluatie van klei-afzettingen  
meen ik als volgt te mogen samenvatten:

- Het onderzoek geeft een inzicht in de voorraden klei, die op grond van hun  
eigenschappen op lange termijn voor de grofkeramische industrie dienen te wor-  
den gereserveerd. De grote maatschappelijke betekenis van bouwkeramiek recht-  
vaardigt naar mijn mening die reservering ten volle.
- Het onderzoek verhoogt het kennisniveau betreffende de basisgrondstof van de  
grofkeramische industrie en kweekt deskundigheid met betrekking tot de techno-  
logie van bouwkeramiek.

- De resultaten van het onderzoek bieden de industrie de mogelijkheid op verantwoorde wijze beslissingen te nemen over de exploitatie van bepaalde kleigronden.
- De resultaten van het onderzoek bieden een nuttige vergelijkingsmaatstaf bij de beoordeling van kleien.
- De resultaten van het onderzoek zijn tenslotte nog van belang bij de evaluatie van grondstoffen en interessante nieuwe fabricagesystemen in het buitenland en verstrekken nuttige informatie aan toeleveranciers van duurzame produktiemiddelen.

Ik hoop van harte, dat mijn uiteenzetting de belangstelling voor de nationale delfstof klei heeft verlevendigd en dank U allen voor Uw aandacht.



## 6. LITERATUUR

- [1] van der Velden, J.H.,  
"Een experimenteel droogonderzoek aan keramische vormlingen"  
Klei (1961) nr. 11.
- [2] van der Velden, J.H.,  
"Algemene aanwijzingen voor het ontwerpen van een courant type tunnel-  
oven voor grofkeramische produkten"  
Rapport CTI-TNO nr. 74-01761, dd. 25-4-'74.
- [3] van der Velden, J.H.,  
"Specificatie van het bakproces van grofkeramische produkten vanuit kera-  
misch-technisch gezichtspunt".  
Rapport CTI-TNO nr. 73-01276, dd. 1-6-'73.
- [4] van der Velden, J.H.,  
"Een empirisch model van Nederlandse klei",  
Klei en Keramiek, (1977) nr. 11/12.
- [5] van der Velden, J.H.  
"Onderzoeksvoorschrift granulometrische analyse van keramische grondstof-  
fen (pipetmethode volgens Köhn),  
Rapport CTI-TNO nr. 76-07287 dd. 10-7-'76.
- [6] van der Velden, J.H.,  
"Een eenvoudige korrelgrootte-analyse van klei"  
Klei en Keramiek, (1979), nr. 11/12.
- [7] Douma, G.H.,  
"De bepaling en de betekenis van het specifiek oppervlak van klei"  
Klei en Keramiek (1969), nr. 5.
- [8] van der Velden, J.H.,  
"Evenwichtswatergehalte en specifiek oppervlak van kleien,  
Onderzoeksvoorschriften."  
Rapport CTI-TNO nr. 78-01607 dd. 20-2-'78.

- [ 9] van der Velden, J.H.,  
"Rekenwaarden t.b.v. de warmte- en stofbalans van het bakproces van keramische produkten  
Rapport CTI-TNO nr. 72-01662 dd. 20-4-1972.
- [10] van der Velden, J.H.,  
"Analyse van de Pfefferkornproef"  
Klei en Keramiek (1979) nr. 3.
- [11] van der Velden, J.H.,  
"Uitvoering van het droogproces in de keramische industrie"  
Klei en Keramiek (1978) nr. 11/12.
- [12] van der Velden, J.H.,  
"Das Brennverhalten und sein Verhältnis zur Art des Ofenbesatzes und zur Scherbendicke"  
Ziegelindustrie (1977) nr. 1.
- [13] van der Velden, J.H.  
"Some aspects of the specification of the vitrification process of products of the heavy clay industry  
Transactions of the XIIIth International Ceramic Congress.
- [14] Amerongen, H. van, en van der Velden, J.H.  
"Samenstelling en eigenschappen van 31 kleisoorten Deel I en II.  
Rapport CTI-TNO nr. 70-04032 dd. 1-11-'70.

AANBEVOLEN BOEKEN

Grimshaw, R.W. "The chemistry and physics of clay"

Ernest Brown Limited

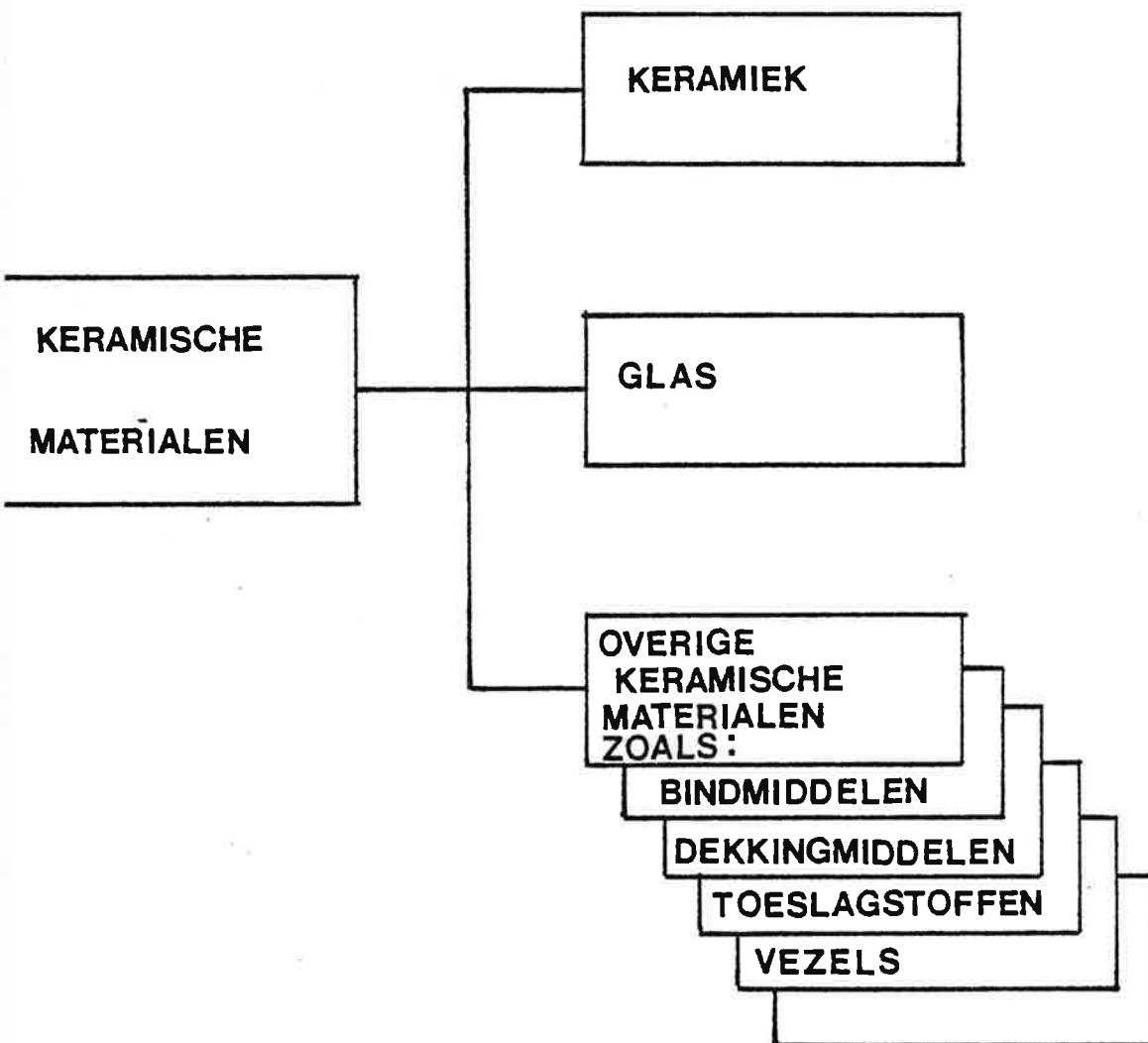
London (1971)

Brownel, W.E. "Structural Clay Products Applied Mineralogy, vol. 9"

Springer Verlag Wien (1976)

Bender, W. "Planung von Ziegelwerken"

Bauverlag GMBH Wiesbaden (1978)



# KERAMIEK

**KLEIKERAMIEK  
(KLASSIEKE KERAMIEK)**

**AL DAN NIET OP  
BASIS VAN KLEI**

**GROFKERAMIEK**

**FIJNKERAMIEK**

**SPECIALE KERAMIEK**

**grove  
bouwkeramiek**

**fijne  
bouwkeramiek**

**agrarische  
keramiek**

**huishoud- en  
sierkeramiek**

**vuurvaste  
keramiek**

**electro  
keramiek**

**nucleaire  
keramiek**

**keramiek voor  
mechanische  
bewerkingen**

**INDELING VAN KERAMIEK**

**MT TNO  
GROFKERAMIEK  
DOSS: 4024  
fig : 2**

SOORT	GLOBALE PRIJS '79 AF FABRIEK FL/t	
HOLLE BAKSTENEN VOOR VRIJDRAGENDE VLOEREN	80 - 100	GROF KERAMIEK
BAKSTENEN VOOR MUREN	160 - 200	
DAKPANNEN / GRESBUIZEN	315 - 400	
VLOERTEGELS (GEËXTRUDEERD)	630 - 800	
VLOER EN WANDTEGELS (DROOGGEPERST)	1250 - 1600	1000  FIJN KERAMIEK
SANITAIRE ARTIKELEN	2500 - 3150	
DIVERSE SOORTEN HUISHOUD EN SIERKERAMIEK	> 5000	

DE PRIJS PER TON ALS  
ONDSCHIEDINGSMIDDEL TUSSEN  
GROF- EN FIJNKERAMIEK

MT TNO  
GROFKERAMIEK  
DOSS : 4024  
fig : 3

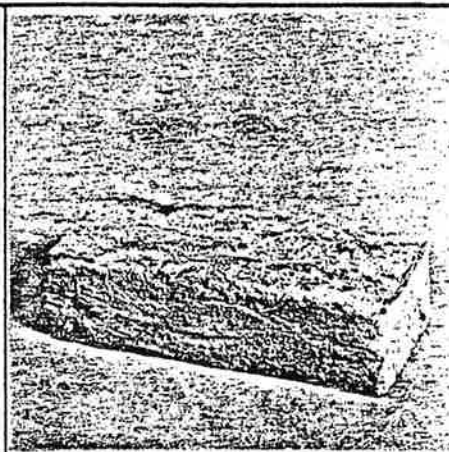
GLOBALE JAARPRODUKTIE PER 1000 INWONERS			
SOORT	een- heid	BELGIË ca.10.10 <sup>6</sup> inw	NEDERLAND ca.14.10 <sup>6</sup> inw
bakstenen voor muren	m <sup>3</sup> /a	280	200
kleipannen voor daken	m <sup>2</sup> /a	160	200
holle bakstenen voor vrijdragende vloeren	m <sup>2</sup> /a	140	90
grove bouwkeramiek, in totaal	t/a	400	320
grove bouwkeramiek, globaal landelijk totaal	t/a	4,0.10 <sup>6</sup>	4,5.10 <sup>6</sup>

**BETEKENIS VAN DE GROFKERAMISCHE INDUSTRIE  
AAN HET EINDE VAN DE ZEVENTIGER JAREN**

**MT TNO**  
grofkeramiek  
doss : 4023  
fig : 4

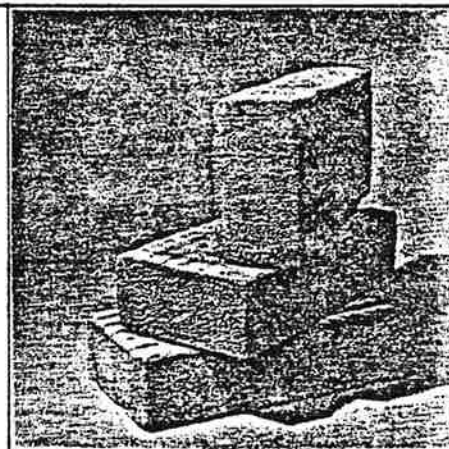
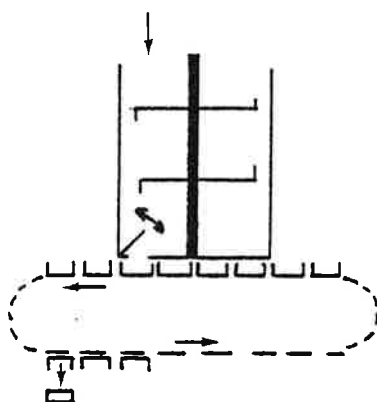
## HANDVORMEN

werpen van bezande  
bal slappe klei in  
een vorm



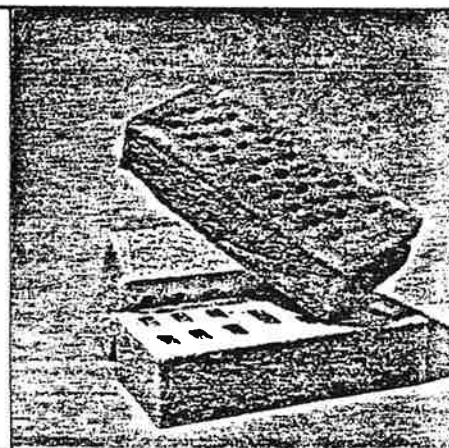
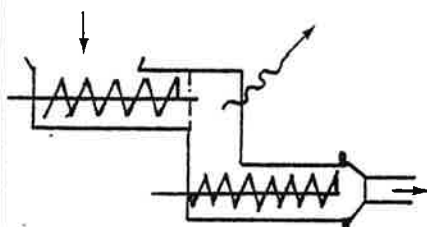
## VORMBAKERS

persen van slappe  
massa in bezande  
vormen



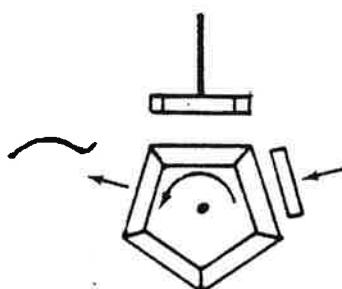
## VACUUMSTRENG- PERS

persen van stijve  
ontluchte massa uit  
mondstuk

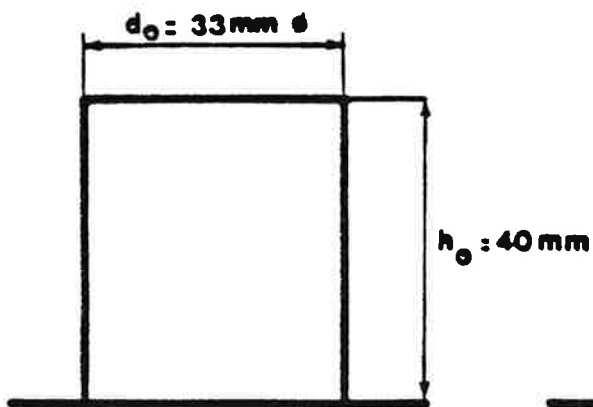


## PANNENPERS

persen van stijve  
ontluchte kleikoek  
in matrijs

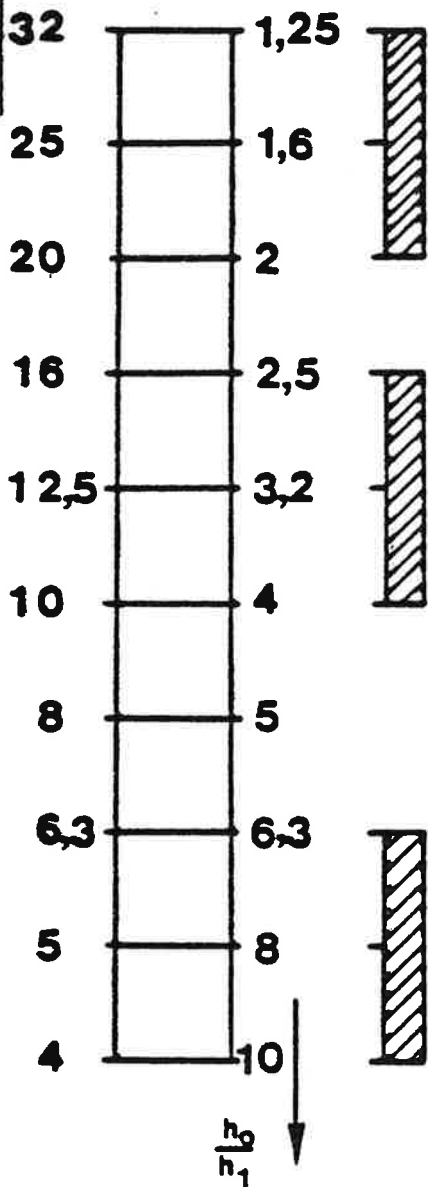






Pfeff.  
resthoogte

$h_1, \text{mm}$

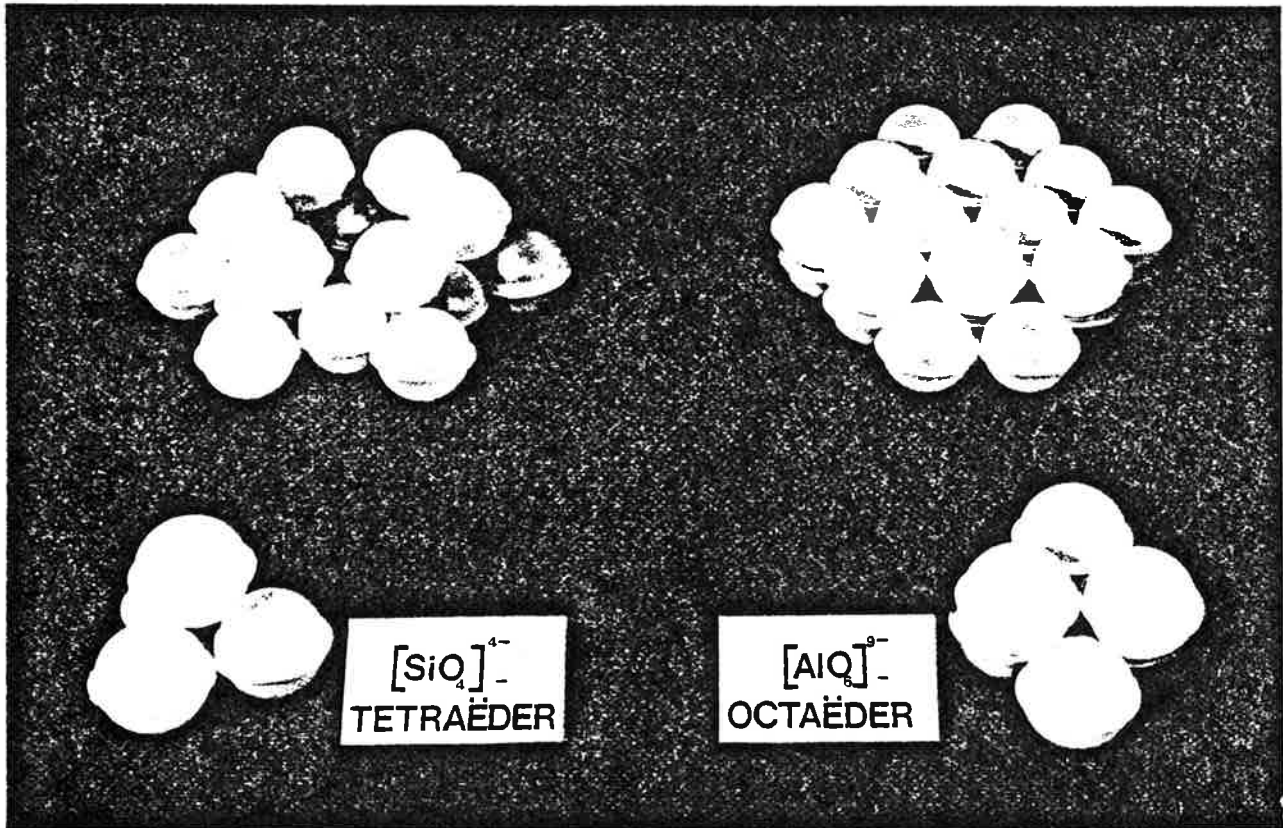


**STRENGPERSPRODUKTEN  
DAKPANNEN**

**HANDDRAAIWERK**

**VORMBAKSTENEN**

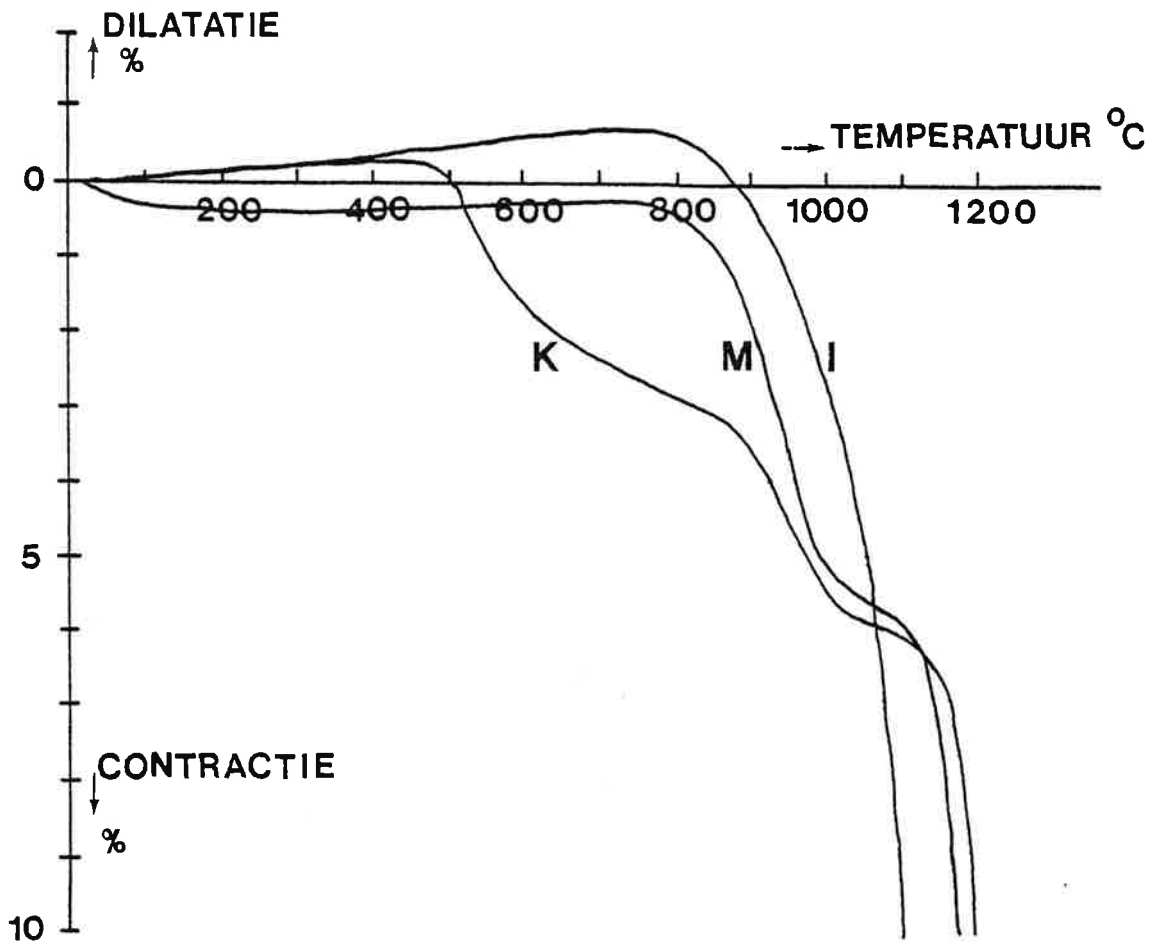
Pfeff.  
quotient

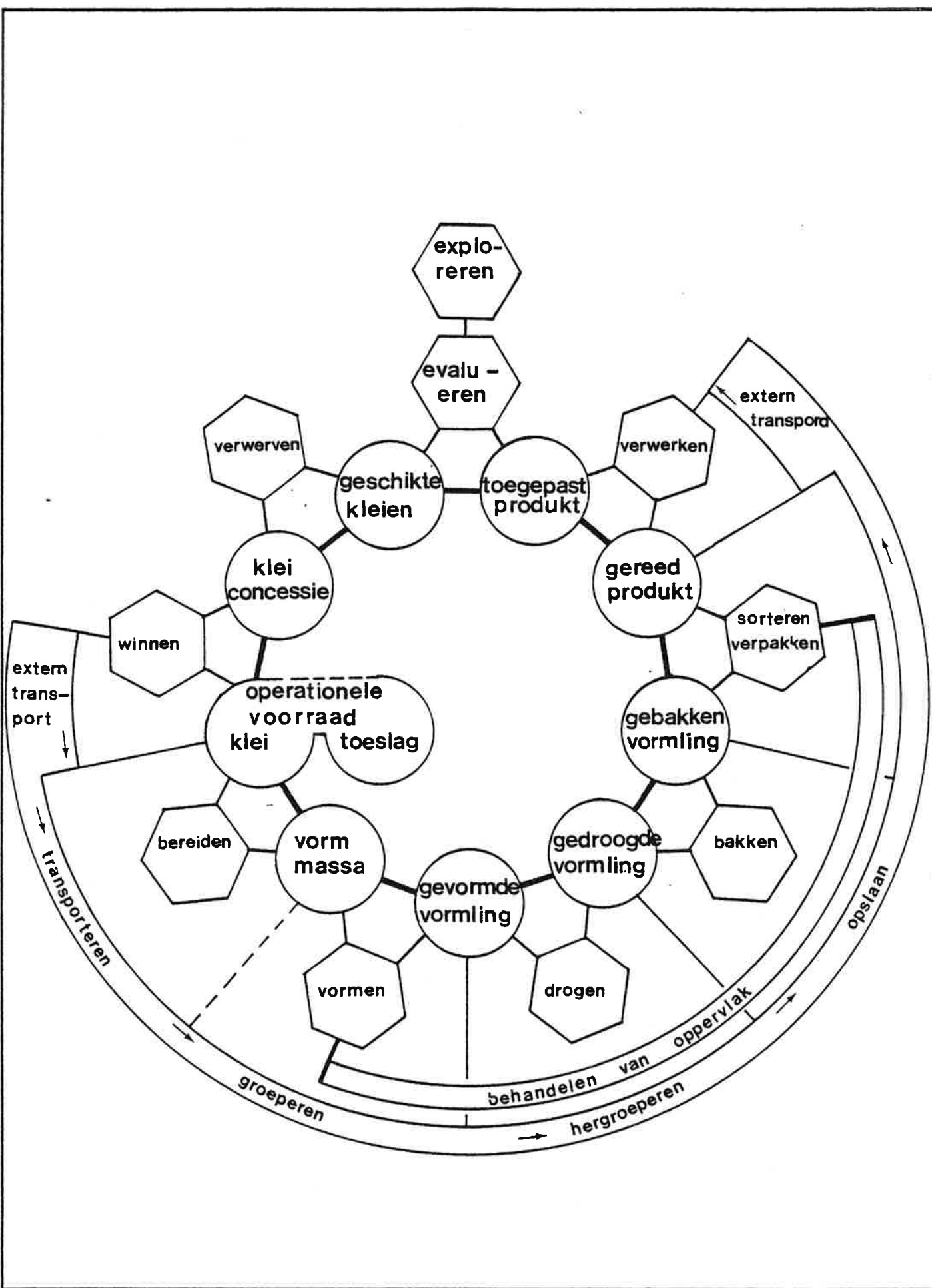


K = KAOLINITISCH

M = MONTMORILLONITISCH

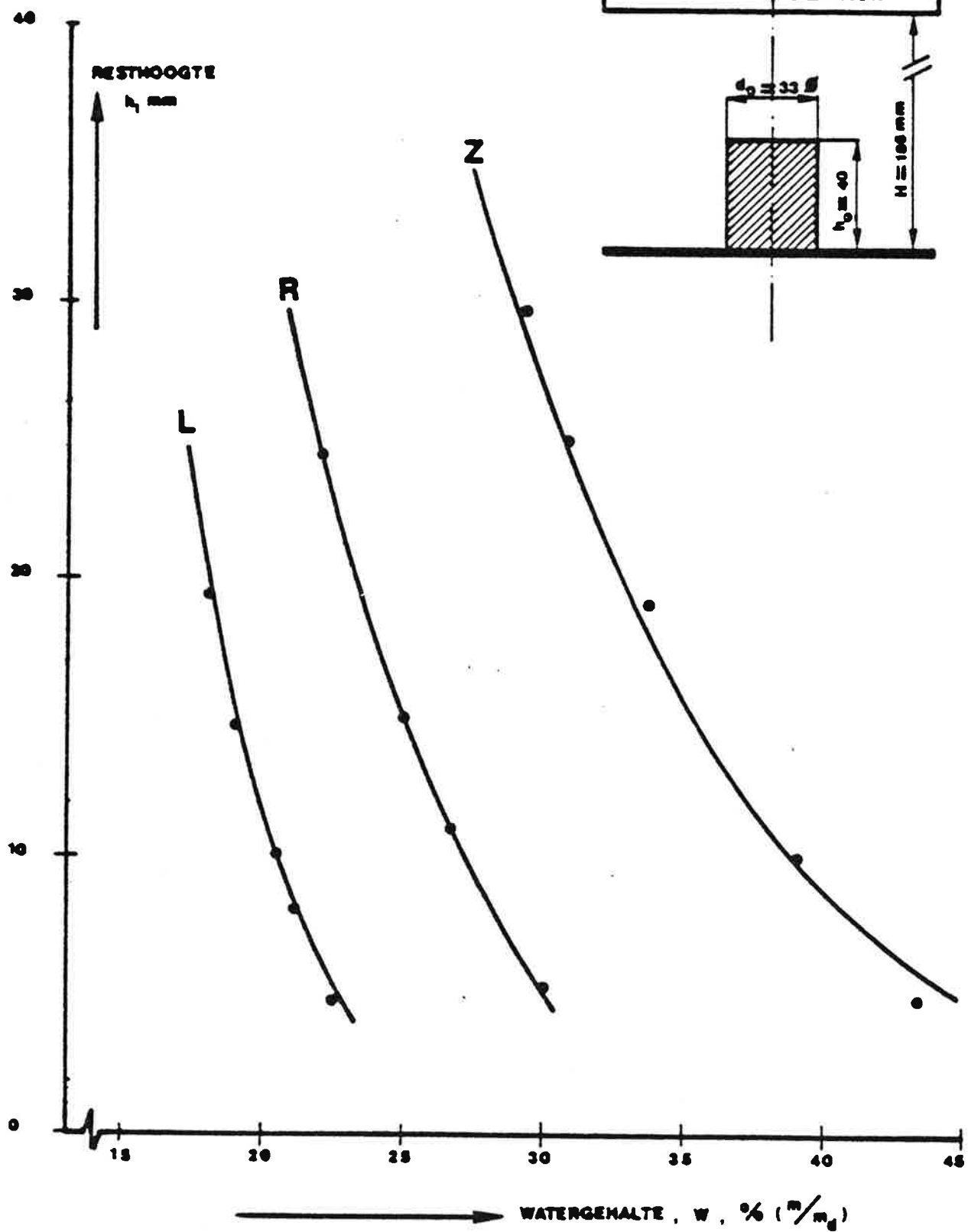
I = ILLITISCH





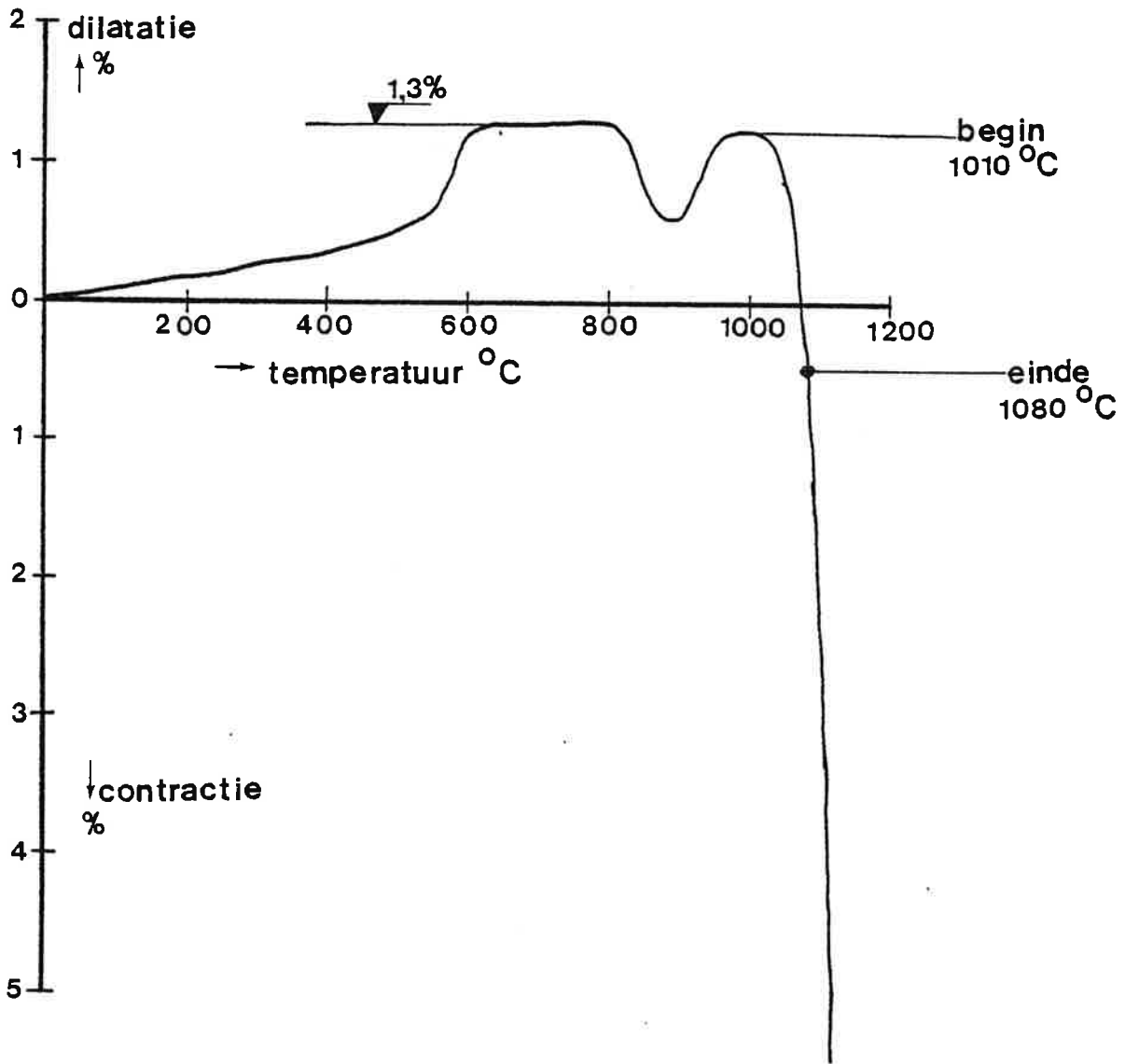
relatiepatroon van produkten, halffabrikaten, grondstoffen, bewerkingen en activiteiten met betrekking tot gestelde eisen en geboden mogelijkheden.

MT TNO  
grofkeramiek  
fig : 9



RELATIE TUSSEN WATERGEHALTE EN  
consistentie

MT TNO  
GROFKERAMIEK  
DOSS: 4018  
fig: 10



dilatometercurve van een kalkhoudende klei