



adres Stieltjesweg 1
2628 CK Delft
postadres Postbus 155
2600 AD Delft
telefoon (015) 78 80 20
telex 38091 tpd dt nl

No.: 953.065-a
Afd.: Keramiek
Behandeld: ing. J. van der Zwan

Datum: december 1989

RAPPORT

GRONDSTOFVOORZIENING T.B.V.
DE KERAMISCHE INDUSTRIE
deel 1: inventarisatie kleivoorkomens

AAN

- Delgromij B.V.
De Holle Bilt 22
3732 HM DE BILT

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	4
2.	KLEI EN LEEM	6
3.	KLEI VOOR BAKSTEEN	8
4.	EIGENSCHAPPEN VAN KLEIVOORKOMENS	
	4.1 Kleivoorkomens in Nederland	11
	4.2 De eigenschappen van de verschillende kleisoorten	12
	4.3 Kleimineralen	13
	4.4 Vulstoffen	15
	4.5 Vloeimiddelen	15
5.	EVALUATIE VAN KLEIAFZETTINGEN	
	5.1 Geologische en petrografische karakteristiek	17
	5.2 Technologische karakteristiek	18
	5.2.1 Program van onderzoek	18
	5.2.2 Korrelgrootteverdeling	19
	5.2.3 Totaal specifiek oppervlak	20
	5.2.4 Mineralogische samenstelling	22
	5.2.5 Chemische analyse	23
	5.2.6 Vormgedrag	25
	5.2.7 Drooggedrag	28
	5.2.8 Eigenschappen van de gedroogde massa	29
	5.2.9 Bakgedrag	29
	5.2.10 Eigenschappen van het gebakken produkt	30

6.	INVLOED VAN DE KLEIEIGENSCHAPPEN OP DE TECHNOLOGISCHE BEWERKINGEN	31
7.	OVERZICHT VAN TOESLAGSTOFFEN T.B.V. DE KERAMISCHE TECHNOLOGIE	33
8.	DE OVERZICHTSKAART MET KLEIVOORKOMENS	
	8.1 Grondstofeisen	39
	8.2 Gebiedsindeling	39
	8.3 Legenda	40
	8.4 Nadere vraagpunten	41
9.	BEPALING VAN DE HOEVEELHEDEN	42
	LITERATUUR	43
	BIJLAGE 1: Toelichting bij de klei-inventarisatiekaart 1 : 250.000	45
	TABELLEN, FIGUREN	53

1. INLEIDING

Oppervlakte delfstoffen in Nederland

Grind, zand en klei.

Op de geologische kaarten van Nederland ziet het gebied van de grote rivieren er uit als een lappendeken, ook en vooral als men kijkt naar de kaarten waarop het voorkomen van de oppervlakedelfstoffen van ons land is afgebeeld. Het voorkomen of afwezig zijn van bepaalde sedimenten is een gevolg van een zeer lange en bewogen geologische geschiedenis van dit gebied (1).

Een nauwkeurige omschrijving van alle processen en gecompliceerde gebeurtenissen die onze geologische erfenis bepaalden, zullen we hier niet geven. Wel zullen we ingaan op enkele gevolgen die de bruikbaarheid en toepassingsmogelijkheid van de (ondiepe) oppervlakedelfstoffen bepalen.

De betekenis van het gebruik van oppervlakedelfstoffen voor de Nederlandse economie is in termen van werkgelegenheid en opbrengst aanzienlijk. Grind, zand en klei zijn basisgrondstoffen voor vrijwel alle infrastructurale bouwwerken.

Een blik op de geologische kaart van Nederland leert ons, dat in een land waar de ondiepe ondergrond in hoofdzaak opgebouwd is uit klastische sedimenten, in principe geen schaarste zal zijn aan zand, grind en klei. Toch leert de praktijk anders.

De winning aan oppervlakte delfstoffen krijgt in ons land steeds meer te maken met ruimtelijk conflicterende belangen. De behoefte aan continuïteit van de zand- en kleiwinning voor bijvoorbeeld woning- en utiliteitsbouw botst in toenemende mate met de wens tot handhaving van de plaatselijk aanwezige natuur- en landschapwaarden, veelal gekoppeld aan het bestaande ruimtegebrek. Het is niet uitgesloten dat in de nabije toekomst belangrijke reserves voor lange tijd onder woonwijken of andere bouwwerken verdwijnen. Vooral omdat tot op heden in streekplannen vrijwel geen rekening gehouden wordt met het geologisch voorkomen van hoogwaardige of schaarse oppervlakedelfstoffen (2, 3).

De reserves aan oppervlaktegrondstoffen zijn eindig. In opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat is in 1987 een globale inventarisatie gemaakt van de reserves in ons land. Naar aanleiding daarvan kunnen enkele belangrijke conclusies worden getrokken. Voor industriezand, ophoogzand en ook voor klei doet de relatieve eindigheid van de reserves zich nauwelijks gelden. Toch zal het beleid van de overheid in de toekomst gericht zijn, op een zuinig gebruik van oppervlakedelfstoffen. Een belangrijk instrument is de bevordering van het gebruik van alternatieve materialen.

Onder alternatieve materialen wordt veelal verstaan afvalprodukten of reststoffen die in een andere context vrijwel onbruikbaar zijn. Problemen met betrekking tot de beheersbaarheid van de kwaliteit van 'secundaire grondstoffen' en de voortgaande verscherping van de milieuhygiënische voorschriften belemmeren vooralsnog grootschalige toepassing als alternatief materiaal (4, 5, 6, 7).

Delfstoffen kunnen worden gespaard door er op toe te zien dat geen hoogwaardiger kwaliteit delfstof wordt gebruikt dan noodzakelijk is.

2. KLEI EN LEEM

Terminologie

Het woord klei heeft afhankelijk van de context en het werkgebied waarbinnen het wordt gebezigd verschillende betekenissen. In de eerste plaats wordt er de structuurfractie mee aangeduid van deeltjes met een diameter van 0 - 2 μm . In de aardwetenschappen wordt deze fractie ook wel lutum genoemd (8).

In de tweede plaats wordt er binnen de aardwetenschappen onder het begrip klei verstaan een textuurklasse waarvoor de verhoudingen tussen de klei (lutum), silt- en aardfracties aan bepaalde voorwaarden moeten voldoen. In figuur 2 wordt aan de diverse benamingen van mengsels nog de term "klei" toegevoegd indien slechts 8 % van de massa bestaat uit deeltjes kleiner dan 2 μm . Ook leem wordt in deze figuur gedefinieerd. Faber komt in zijn boek (9) ook tot een omschrijving van klei, echter hier niet gebaseerd op een enkelvoudige definiering van "alles kleiner dan 1, 2, 10, 16 of 20 μm ", maar als een mengsel waarin 40 tot 60 % van de massa kleiner is dan 16 μm .

In de (grof-) keramische industrie wordt veelal het leemgehalte als maatgevend beschouwd voor de klei, haar bruikbaarheid, verwerkbaarheid en toepassingsmogelijkheden. Het leemgehalte wordt hier gedefinieerd als de fractie kleiner dan 10 μm (10, 11, 12, 13, 14).

Op grond van de talloze, routinematige grondstofkeuringen is er een eenvoudig verband vast te leggen tussen het leemgehalte ($< 10 \mu\text{m}$) en het lutumgehalte ($< 2 \mu\text{m}$) ($< 10 \mu\text{m}$) = $1,5 * (< 2 \mu\text{m})$.

Dit verband wordt geschetst in figuur 3 (bron TCKI, De Steeg) (uit 8).

Zo is er ook een verband vast te leggen tussen de fracties $< 10 \mu\text{m}$ en $< 16 \mu\text{m}$, zie figuur 4.

N.B. de fractie $< 16 \mu\text{m}$ werd in het verleden (voor 1975) bepaald als zijnde de fractie afslibbare deeltjes van een massa.

In het vervolg hanteren wij hier de volgende definiëringen, (analoog) aan de Rijks Geologische Dienst en de ontwerpnorm NEN 5104 (zie figuur 2).

2 mm - 63 mm grind

63 μm - 2000 μm (= 2 mm) zand (verder onder te verdelen in uiterst fijn tot uiterst grof zand)

2 μm - 63 μm silt

< 10 μm leem (in keramisch gebruik: klei)

< 2 μm lutum (bodembkundig: klei)

3. KLEI VOOR BAKSTEEN

Kleihoudende afzettingen ontstaan in zeer rustig water waarin de kleideeltjes tot bezinking komen. Dergelijke plaatsen komen voor in een milieu buiten de getijde geulen kwelderklei) en in een fluviatiel milieu op enige afstand van de stroomruggen (komkleien). Ook oude afzettingen uit de ijstijd kunnen kleihoudend zijn (keileem).

Daarnaast beschikt Nederland over kleivoorkomens op het Nederlandse Continentaal plat. Door de hoge zout (NaCl-) concentraties zijn deze kleien echter minder- of onbruikbaar, al worden in Friesland (Makkum, Workum) wel mariene kleien toegepast als component naast magere, geïmporteerde kleien. Naast "natuurlijke" kleien kan uit baggermateriaal in Rijnmond ook de zogeheten Euroklei gewonnen worden. Het hoge gehalte aan zware metalen in deze bodemsedimenten zorgt er evenwel voor dat de produktie van Euroklei ("havenslib") aan strenge normen moet voldoen om toepassing te stimuleren, afgezien van het feit of er voor de produkten waarin deze (alternatieve) grondstof is verwerkt, een markt is.

Klei (en leem) worden in Nederland gebruikt in de fijnkeramische industrie, de grofkeramische industrie en voor aanleg en verzwarening van dijken.

In de fijnkeramische industrie worden naar verhouding kleine hoeveelheden klei gebruikt. In de fijnkeramische industrie worden aan de klei-grondstoffen hoge eisen gesteld aan de zuiverheid en mineralogische samenstelling: de grondstof moet een hoog gehalte aan kaolinite bevatten in mindere mate illiet en bij voorkeur geen montmorilloniet. Klei, die voor deze produktie geschikt is, is in Nederland niet meer winbaar en wordt thans ingevoerd.

De klei die wordt gebruikt voor de fabrikage van grofkeramische produkten, bakstenen en dakpannen, wordt vrijwel geheel in Nederland gewonnen. Het gaat hierbij om sedimenten met een klei- (lutum-) gehalte tussen 17,5 en 35 %.

De klei wordt tegenwoordig in de regel niet meer zelf gewonnen door de steenfabrikanten, maar aangekocht via de kleihandel. Het traditionele beeld van de steenfabriek en bijbehorende kleigroeve zoals dat op veel plaatsen in heel Nederland te vinden was, is verdwenen.

Omdat de grondstof tegenwoordig vaak uit een mengsel van verschillende componenten, d.i. kleien uit verschillende winplaatsen bestaat, behoeven de keramische fabrieken niet elk over een aantal groeven te beschikken om de juiste grondstof te mengen. De kleihandel kan in beginsel hierop in spelen, vooral als het gaat om benutting van alternatieve of secundaire grondstoffen, of bij de verwerking en toepassing van minder bruikbare klei-grondstoffen.

Medio 1988 waren er in Nederland 59 baksteenbedrijven, 9 keramische dakpannen en 4 overige grofkeramische fabrieken met een totale omzet van circa 485 Mfl en met 2400 werknemers in dienst.

Het produkt "baksteen" is uit te splitsen in een produkte van 1360 Miljoen WF gevelsteen, 70 miljoen WF straatsteen en 70 miljoen WF binnenmuursteen, totaal 1500 miljoen stuks baksteen, waarbij 1 WF = 1 waalformaat = 1.73 kg.

De 59 fabrieken hebben een totale produktiecapaciteit van 1580 miljoen waalformaat. Het daarvoor benodigde kleiverbruik komt hierbij op zo'n 3 miljoen ton. Veel steenfabrieken ontstonden aan het einde van de vorige eeuw in de uiterwaarden van de grote rivieren, omdat daar de gebruikte kleivoorkomens aanwezig waren. In zo'n 100 jaar is deze industrietak van arbeidsintensief en ambachtelijk veranderd in een moderne industrie, kapitaalintensief waarin voortdurend moet worden geïnvesteerd. Die voortdurende investeringsbehoefte vereist zekerheid over de grondstoffen voorziening voor een langere periode, bijvoorbeeld circa 10 jaar. Een in 1983/84 door de provincie Gelderland onder de Gelderse Baksteenfabrikanten gehouden enquête leerde, dat 75 % over een vergunde kleivoorraad voor minder dan 12 jaar beschikte, 50 % zelfs voor minder dan 5 jaar.

De hiervoor genoemde schaarste manifesteert zich enerzijds door produktieproblemen omdat het moeilijk is aan de geschikte grondstoffen of mengsels te komen, en anderzijds door een prijsstijging: het grondstofaandeel

van de kostprijs is in de laatste 20 jaar meer dan verdubbeld. Ten aanzien van de grondstofschaarste is nog op te merken, dat deze ook geldt voor de componenten bestaande uit een goede klei die wordt gemengd met de in grotere hoeveelheden voorkomende, maar minder bruikbare grondstoffen.

Grofkeramische producten, zoals baksteen behoren tot de constructieve bouwmaterialen. Zo kent het normblad NEN 2489 "Metselbaksteen" 15 toepassingsgebieden. In de baksteenindustrie zelf spreekt men veelal van sorteringen. Beide begrippen dekken elkaar niet volledig. Er zijn meer baksteensorteringen dan toepassingsgebieden. In het normblad worden eisen gesteld aan elk toepassingsgebied. Deze eisen hebben betrekking op de mechanische eigenschappen, bouwfysische eigenschappen en de chemische eigenschappen.

Het fabricageproces van klei tot baksteen wordt in de bedrijven gecontroleerd door middel van procesbewaking. Daarnaast is er een systeem van externe controle (KOMO-keur).

De constructieve en de esthetische eigenschappen van bouwkeramische producten worden in de eerste plaats bepaald door de kleieigenschappen, en daarna door de verwerking, het drogen en het bakproces. In het kader van dit onderzoek gaan wij hier niet verder in op deze procesinvloeden.

4. EIGENSCHAPPEN VAN KLEIVOORKOMENS IN NEDERLAND

4.1 Kleivoorkomens in Nederland

De grofkeramische industrie in Nederland verwerkt bijna uitsluitend inheemse grondstoffen, die aangeduid worden als aarde, klei of leem (1, 2).

De geologisch oudste afzettingen (oligoceen), die voor de steenfabricage worden gebruikt, vindt men in de Achterhoek en Twente.

Deze afzettingen zijn ontstaan als mariene afzettingen in de zee die in het genoemde tijdvak een groot gedeelte van Nederland bedekte. De kleur is grijsblauw tot lichtgroenachtig of bruinachtig. Over het algemeen is de klei vet en bevat septoriën (kalkstukjes). Verder vindt men er gipskristallen, markasiet en fosforknollen in.

In Limburg komen jonge Tertiaire rivierkleiafzettingen (plioceen) voor (Reuver, Swalmen, Brunssum). Het zijn vette kleisoorten met een bakkleur variërend van rood tot geel. Deze kleien worden gebruikt voor de fabricage van o.a. metselstenen, dakpannen en gresbuizen. Bij de overgang van Tertiair naar Kwartair (zg. Tiglien periode) is de klei bij Tegelen afgezet. Ook deze klei wordt gebruikt voor de fabricage van metselstenen en dakpannen. Deze klei ligt vrij diep onder het zand van het hoogterras. Lagen van 1,5 tot 4.0 meter zand moeten eerst verwijderd worden om de klei te kunnen winnen. Men vindt in deze klei veel overblijfselen van planten en dieren uit een tropisch klimaat.

In Zuid-Limburg is in het Kwartair (Pleistoceen) materiaal door de wind afgezet (aeolisch sediment) de zogenaamde Löss klei. Deze klei is opgebouwd uit hoekige, fijne korrels, die slechts weinig in grootte variëren. Het is een weinig plastische klei die voor de steenfabrikage wordt gebruikt.

Een andere afzetting uit het Pleistoceen is de Brabantse leem. Dit materiaal is in midden- en oost Brabant door rivieren afgezet. Deze schrale, kwartsrijke klei wordt voor de fabrikage van metselsteen gebruikt.

De jonge rivierklei uit het Holoceen wordt tot op de huidige dag nog door de grote rivieren afgezet op de uiterwaarden. De afzettingen kunnen zeer grillig verlopen. In het algemeen vindt men vette klei boven, die naar onder toe schraler en kalkrijker wordt.

Het is de belangrijkste klei voor de metselsteen- en straatsteenfabrikage langs onze grote rivieren.

De andere rivierklei in de polders (zg. binnendijkse klei), die over het algemeen wet tot zeer vet en kalkarm is, wordt langs de Oude Rijn gebruikt voor de vervaardiging van dakpannen en andere kleiwaren.

De holocene zeeklei in Groningen en Friesland en op enkele plaatsen in west Noord Brabant wordt gebruikt voor de metselsteenfabrikage. Het is een vette, voor het overgrote deel, roodbakkende klei.

Duidelijk blijkt hoe groot de verscheidenheid aan grondstoffen voor de grofkeramische industrie in ons betrekkelijk kleine land is. De grondstoffen komen meestal in dunne lagen voor. Afhankelijk van de vaak sterk uiteenlopende eigenschappen vraagt iedere klei een specifieke behandeling.

4.2 De eigenschappen van de verschillende kleisoorten

Klei bestaat uit anorganische en organische bestanddelen. De anorganische delen kunnen onderverdeeld worden in kristallijne amorfe bestanddelen en zouten. De kristallijne delen kunnen worden verdeeld in primaire mineralen (componenten van verweerde gesteenten zoals kwarts, veldspaten etc.) en secundair gevormde mineralen. Tot deze laatste groep behoren de kleimineralen, de belangrijkste zijn kaolinit, illiet en smectiet, en ijzer- en aluminium oxyden/hydroxyden (voor zover gekristalliseerd). Tot de aanwezige amorfe bestanddelen behoren vooral de hydroxyden van ijzer en aluminium, welke dikwijls in gel-vorm aanwezig zijn, soms in dunne lagen op de mineralen. Wat betreft de aanwezige zouten zou voor de kleitypen in ons klimaat volstaan kunnen worden met het noemen van calciumcarbonaat als kalk of krijt. Voor de keramiek kan het voorkomen van kleine tot zeer kleine hoeveelheden calcium-

sulfaat, natriumsulfaat, magnesiumsulfaat, pyriet, natriumchloride enz. van veel betekenis zijn, in verband met uitslag- en verweringsverschijnselen aan het oppervlak van het produkt.

Verreweg het grootste deel van de de organische bestanddelen van de klei ontstaat door chemische en biologische omzettingen van plantaardig materiaal. Dit omzettingsproces van de plantenresten noemt men humificatie en het min of meer volledig omgezette produkt heet humus. De variabelen die op kunnen treden in kleigronden zijn zeer groot (15).

4.3 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.

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, smektiëten 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 zwellt.

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 de droogeigenschappen gunstig.

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 μm en 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 korrelgrootte verdelingen 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.

4.4 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 verschralen, 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.

4.5 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 kaolinietrijke doch vloeimiddelarme klei is zo'n verbreding van het sintertraject mogelijk.

5. EVALUATIE VAN KLEIAFZETTINGEN

5.1 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 insluitels.

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 insluitels. 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 2,5 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.

5.2 Technologische karakteristiek

5.2.1 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 een 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. Een degelijk, doch beknopt gehouden program van onderzoek omvat in de eerste plaats de vaststelling van de mineralogische samenstelling, de granulometrische samenstelling en het specifiek oppervlak, alsmede de chemische analyse (12, 14).

Voorts zijn in het onderzoekprogramma een aantal aanvullende onderkenningsproeven opgenomen met betrekking tot het vormgedrag, het drooggedrag, de eigenschappen van het gedroogde monster, het bakgedrag en de eigenschappen van het gebakken monster.

In tabel I op blz. 32 zijn de belangrijkste analyseresultaten opgenomen van dertien Nederlandse kleien, die voor de fabricage van grofkeramische produkten worden gebruikt. Aan de hand van deze tabel zullen achtereenvolgens de deeltjesgrootte en -vorm, de mineralogische en chemische samenstelling en de plastische eigenschappen van de verschillende kleisoorten en de invloed op de verwerking besproken worden.

5.2.2 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 $2 \mu\text{m}$. De analyseresultaten worden tabellarisch of in de vorm van een halflogaritmische sommatiecurve weergegeven.

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

De granulometrische samenstelling staat in de tabel vermeld in de kolommen 1-6. In de grofkeramische industrie wordt veel aandacht besteed aan de granulometrische samenstelling van de gebruikte klei. De bepaling geschiedt voornamelijk door sedimentatiemethoden. In de praktijk worden meestal het gehalte aan de deeltjes kleiner dan $10 \mu\text{m}$ bepaald (het leemgehalte) en de deeltjes groter dan $250 \mu\text{m}$ (het grofzandgehalte).

Met de huidige sterk geautomatiseerde analyse technieken is een volledige analyse van 300 tot $0,1 \mu\text{m}$ mogelijk geworden.

Aangezien de kleimineralen voornamelijk kleine deeltjes zijn, is het percentage kleine deeltjes in een klei in het algemeen een grove maatstaf voor het kleimineraalgehalte. Wanneer een klei veel kleine deeltjes bevat, wordt van een vette klei; wanneer weinig kleine deeltjes aanwezig zijn, wordt

van een magere klei gesproken. Zoals uit de tabel blijkt, varieert het gehalte aan deeltjes kleiner dan $10 \mu\text{m}$ sterk (van 17 % tot 78 %). In de grovere fracties (groter dan $60 \mu\text{m}$) komt veel zand voor. Grofkeramisch gezien is zand een inactief materiaal, dat ook gebruikt wordt om te vette klei te vermageren. Uit de cijfers van de kolommen 1 t/m 6 van de tabel kunnen korrelverdelings-curven samengesteld worden. Droge produkten gevormd uit een klei met een "regelmatige" korrelopbouw hebben een lagere porositeit dan die gevormd uit een klei met een "onregelmatige" korrelopbouw. Kleien waarbij een bepaalde fractie ontbreekt, of die voornamelijk uit een bepaalde fractie bestaan, geven produkten met een hogere porositeit.

5.2.3 Totaal specifiek oppervlak

Het totaal specifiek oppervlak geeft in een cijfer een indruk van de reaktiviteit van de klei. Het wordt bepaald volgens de glycolretentiemethode, dan wel afgeleid uit de eenvoudigere bepaling van het evenwichtswatergehalte van de klei.

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 als zodanig meestal ongeschikt voor gebruik in de keramische industrie.

Uit een T.E.M.-opname van een illietdeeltje bleek de lengte te zijn circa $6 \mu\text{m}$, de breedte circa $1 \mu\text{m}$. Dit deeltje wordt waarschijnlijk gerangschikt onder de deeltjes kleiner dan $2 \mu\text{m}$, wanneer de deeltjesgrootte wordt bepaald. Het specifiek oppervlak (S), dit is de totale oppervlakte van alle deeltjes aanwezig in 1 gram gedroogde klei, is echter kleiner (circa $1.7 \text{ m}^2/\text{g}$) in vergelijking met een deeltje van $0,1 \mu\text{m}$ (circa $8 \text{ m}^2/\text{g}$) dat ook valt onder de deeltjes kleiner dan $2 \mu\text{m}$. Dit is de reden dat het specifiek oppervlak in de meeste gevallen een betere indicatie geeft over de technologische eigenschappen van een klei dan de deeltjesgrootte. Het is gebruikelijk het specifiek oppervlak uit te drukken in vierkante meters per gram (m^2/g).

Bij de berekening van het specifiek oppervlak uit de afmetingen van de deeltjes, wordt voor de isodiametrische "korrels" (zand en stoffractie) gemakshalve de korrel als een kubus beschouwd

Men vindt dan voor een diameter d en een dichtheid van circa 2700 kg/m^3 voor

$$S = \frac{6}{2,7 d} \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{g}.$$

S varieert dan voor de zand- en stoffractie tussen $0,15$ en $1,5 \text{ m}^2/\text{g}$. Voor de plaatvormige kleimineralen vindt men op dezelfde wijze bij een dikte d en lengte L (dichtheid circa 2600 kg/m^3):

Oppervlak:	plaatzijde	=	$2 L^2 \text{ m}^2$
	randzijde	=	$4 d.L \text{ m}^2$
Massa:		=	$2,6 d L^2 \cdot 10^{+6} \text{ g}$
dus S :	$\frac{2 L^2}{2,6 d \cdot L^2 \cdot 10^{+6}}$	+	$\frac{4d.L}{2,6 d \cdot L^2 \cdot 10^{+6}}$

Aangezien kleiplaatjes sterk anisodiametrisch zijn ($L = 100 d$) is de tweede term te verwaarlozen, S wordt dan

$$S = \frac{0,8}{d} \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{g}.$$

Voor het volledig gedispergeerde montmorilliet ($d = 10^{-9} \text{ m}$) vindt men een S van $800 \text{ m}^2/\text{g}$.

Bij de aethyleenglycolbepaling vindt men voor kaoliniet een S van $1 - 40 \text{ m}^2/\text{g}$, voor illiet een S van $50 - 200 \text{ m}^2/\text{g}$ en voor montmorilloniet een S van $400 - 800 \text{ m}^2/\text{g}$. De variaties per kleimineraal kunnen o.a. verklaard worden uit de mate van dispersie.

De grootte van het specifiek oppervlak wordt voor een belangrijk deel door de aard en de hoeveelheid van de aanwezige kleimineralen bepaald. Voor de organische bestanddelen kan het specifiek oppervlak niet eenduidig worden opgegeven. In de keramiek wordt met een waarde van $700 \text{ m}^2/\text{g}$ gerekend.

Wanneer het specifiek oppervlak gedeeld wordt door het percentage deeltjes kleiner dan $10 \mu\text{m}$, ontstaat een verhoudingsgetal dat aanwijzingen geeft over de aanwezige kleimineralen. Hoe groter deze verhouding is hoe meer het kleimateriaal op montmorilloniet gaat lijken en hoe kleiner des te meer het de kant van kaoliniet op gaat. Voor Brunssumse klei (kaoliniet) wordt een verhouding van ± 1 ; voor oost-Noord Brabantse leem $\pm 1,5$; voor Waal- en Rijnklei (illiet) $\pm 1,9$; voor Maasklei $\pm 2,2$; voor Groningse klei $\pm 2,4$ en voor west-noord Brabantse klei (montmorilloniet) soms meer dan 3 verkregen. Een ander methode, die goed correleert met de aethyleenglycolbepaling, is de adsorptie van water aan klei bij bijvoorbeeld 75 % relatieve vochtigheid en circa $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Deze methode is ook geschikt om de dilatatie van een proefobject, vermeld in kolommen 10 en 11, te bepalen.

5.2.4 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 $> 25 \mu\text{m}$). Vooral 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 % . Het gemiddelde gehalte bedraagt circa 30 %, opgebouwd uit gemiddeld 6 % kaoliniet, 12 % illiet en 12 % zwellende mengmineralen.

In de kolommen 17 tot en met 23 is de mineralogische samenstelling van de verschillende kleien aangegeven. De mineralen zijn door röntgendiffractie-analyses bepaald. Kwarts blijkt voor te komen in hoeveelheden tussen 40 en 70 %, het bevindt zich hoofdzakelijk in de grovere fracties maar kan zelfs aanwezig zijn in de fractie kleiner dan 2 μm . Veldspaat is verdeeld over alle fracties, maar komt voornamelijk in de grovere voor. Het gehalte is in het algemeen niet hoger dan 10 %. De veldspaten ondergaan nauwelijks veranderingen tijdens het bakproces in de grofkeramische industrie (temperatuur tot ± 1100 °C).

Onder mica vallen alle mineralen die een roostervlakafstand hebben van 10 Å (glimmer, illiet en glauconiet). Mica is verspreid over alle fracties. In de grovere fracties is het over het algemeen glimmer en in de fijnere illiet. Het percentage varieert van 7 tot 20 %. De carbonaten komen in hoeveelheden van 0 tot 20 % voornamelijk in de grovere fracties voor. Kaoliniet is aanwezig in de fijnste fracties. Het gehalte ligt voor het grootste deel tussen 5 en 10 %.

Het chloriet-mineraal komt weinig voor. Intermediaten zijn kleimineralen met een roostervlakafstand tussen 10 en 14 Å. Het zijn overgangsvormen en mengmineralen van illiet en montmorilloniet. De intermediaten komen vrijwel uitsluitend voor in de fijnste fractie, het percentage varieert sterk.

In kolom 23, diversen, zijn onder meer verschillende ijzerverbindingen zoals limoniet en hematiet opgenomen.

5.2.5 Chemische analyse

Een chemische analyse, die beperkt blijft tot de vaststelling van de gehalten aan Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , gloeiverlies, humus, CO_2 uit carbonaat, in water oplosbaar SO_4^{2-} , S-totaal en F^- , biedt in het algemeen ruim voldoende informatie.

- De gehalten aan Al_2O_3 , Fe_2O_3 en CaO bepalen zoals besproken de bakkleur van de klei
- De gehalten aan Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O en Na_2O verschaffen informatie over de hoeveelheid aanwezige vloeimiddelen.
- Door eenvoudigheidshalve te veronderstellen, dat het gloeiverlies (varierend tussen 2 en 14 %), de som is van het humusgehalte, het 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 endotherme reacties tijdens het bakproces en van het reactiewarmtesaldo.
- 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 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 SO_4^{2-} wijzen in het algemeen op de besproken hinderlijke aanwezigheid van FeS_2 (pyriet).
- Het fluorgehalte is van belang voor het schatten van de fluoruitworp van de oven. Het 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 Fe_2O_3 -gehalte groter dan 4,5 a 5 %.

In de kolommen 25 tot en met 34 zijn de in de klei voorkomende elementen opgegeven als oxyden. Daarnaast zijn bepaald het gehalte aan organische stof (humusgehalte) en het gloeiverleid.

Het valt op, dat het K_2O , Na_2O , MgO en TiO_2 -gehalte weinig varieert. SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 en CaO zijn de componenten die het meest voorkomen en het sterkst variëren. Door vergelijking van de chemische analyse met de analyse met de analyse van de bestanddelen die oplosbaar zijn in 25 % HCl , kan geconcludeerd worden welke bestanddelen die niet oplossen, gebonden zijn in de kleimineralen en veldspaten. Zo blijkt dat K en Na vrijwel niet oplossen en dus in de kleimineralen en veldspaten zijn gebonden. Ca lost vrijwel geheel op en is voornamelijk als carbonaat en sulfaat aanwezig. Mg lost slechts op, voor zover het als carbonaat aanwezig is. Fe gaat voor het grootste gedeelte in oplossing.

De totale hoeveelheden amorf Al_2O_3 en SiO_2 zijn niet groot ten opzichte van de totaal aanwezige hoeveelheden. De bepaling van het humusgehalte berust op het feit, dat organische stof kan worden geoxydeerd. Indien andere oxydeerbare bestanddelen, zoals pyriet aanwezig zijn, dan worden deze bij de humusbepaling meegemeten.

Het gloeiverlies (gewichtsverlies van een monster dat tot $1050\text{ }^\circ C$ wordt verhit) wordt veroorzaakt door de verbranding van de organische stof, de ontleding van o.a. carbonaten en het ontwijken van het chemische gebonden water van de kleimineralen.

5.2.6 Vormgedrag

De ervaring heeft geleerd dat de vervormbaarheid van een klei, hoe vreemd dat heden ten dage ook moge klinken, nog steeds het snelst en het meest betrouwbaar worden vastgesteld met de meest voor de hand liggende hulpmiddelen, namelijk de knedende vingers of met simpele mechanische

vervangers daarvan.

Bedoeld worden de uitrolproef van Atterberg en de stuikproef van Pfefferkorn, en de plasticiteitsmeter volgens Persson.

In de kolommen 12, 13 en 14 zijn de Atterberg-constanten, te weten: de vloeigrens, de uitrolgrens en de plasticiteitsindex opgenomen. De grootte van de plasticiteitsindex is een maat voor de plasticiteit. De uitrolgrens wordt bereikt wanneer van de massa draden van ± 3 mm doorsnede gerold kunnen worden, zonder dat ze verbrossen. Wanneer de hoeveelheid water zo groot wordt, dat de massa nog juist plastisch is en dus nog net niet vloeibaar, noemt men dit de vloeigrens.

Het verschil in watergehalte tussen de vloeigrens en uitrolgrens is de plasticiteitsindex.

De andere eenvoudige onderkenningsproef is die met het Pfefferkorn-stuikapparaat.

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. Aan de aldus gemeten reacties 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 vervormbaar geacht mag worden en welke vormgevingsmethoden derhalve in aanmerking komen.

De Pfefferkorn-curven geven 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 vermindering 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 groter is, zal de massa in het algemeen beter vervormbaar zijn.

Voor de (snelle) controle van de "persstijfheid" (strengplasticiteit) direct bij het uittreden van de streng uit de persopening is eigenlijk alleen een penetrometer geschikt. Van de verschillende typen die zijn ontwikkeld en op de markt zijn gebracht, blijkt de "Plastimeter volgens Persson" goed te voldoen. Dit meetapparaat laat een metalen doorn met een kegelvormige punt en een (val-) gewicht van 560 gram van af een hoogte van 50 mm in de kleistreng dringen.

Voor een meting wordt het apparaat loodrecht op de streng gezet, het valgewicht wordt ontgrendeld en de indringdiepte in mm afgelezen. Hoe stijver de massa des te geringer de indringing (en des te geringer de plasticiteit). Men kan zo in enkele seconden de meting verrichten en binnen korte tijd een redelijk gemiddelde met tolerantiegrenzen berekenen (afhankelijk van verdere vormgevingservaringen).

De plasticiteit van een klei is o.a. sterk afhankelijk van de vetheid (veel of weinig deeltjes kleiner dan 2 μm) en de mineralogische samenstelling.

Ook de zuurgraad van de klei kan een rol spelen. In het algemeen wordt in de keramiek niet met "zure" kleien gewerkt.

Zowel de vloeigrens en de uitrolgrens als de Pfefferkornstuikhoogte blijken goed gecorreleerd te zijn met het specifiek oppervlak van de klei (zie figuur 4). Alleen kleien met een relatief hoog glimmer-gehalte in de fractie groter dan 2 μm , hebben een beter plastisch gedrag dan overeenkomt met het specifiek oppervlak. De Pfefferkornstuikhoogte waarbij deze kleien worden verwerkt, is circa 5 mm, dus slap. De kleien voor het strengpersproces (zie II in figuur 5) moeten, voor een voldoende plasticiteit, vetter zijn. Deze kleien worden verwerkt vanaf circa 40 % deeltjes kleiner dan 10 μm en een specifiek oppervlak van circa 80 m^2/g , tot circa 70 % deeltjes kleiner dan 10 μm en een specifiek oppervlak van circa 150 m^2/g . Afhankelijk van het te maken produkt varieert de Pfefferkornstuikhoogte tussen 20 en 35 mm.

5.2.7 Drooggedrag

De droogeigenschappen van een klei zijn voornamelijk afhankelijk van het totaal specifiek oppervlak en van het gehalte aan zwellende kleimineralen. 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 $2,5 \text{ }^\circ/\text{oo}$ 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 $10 \text{ }\mu\text{m}$. 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.

Uit de analysegegevens is niet zonder meer te berekenen wat de droogtijd voor een bepaald produkt moet zijn. Wel verschaffen de granulaire samenstelling, het specifiek oppervlak, enige Pfefferkornwaarden en de mineralogische samenstelling een goede indicatie, speciaal als vergelijkingsmateriaal

aanwezig is. Ook de droogkrimp (kolom 35), die bepaald wordt door het samenspel van bovengenoemde eigenschappen plus het vochtgehalte kan in de praktijk een indicatie zijn voor het drooggedrag. Een voorbeeld van een moeilijk te drogen klei is type G. Het specifiek oppervlak evenals het percentage intermediaten is zeer hoog. Ook de lineaire droogkrimp, bijna 10 %, is een indicatie van het moeilijke drooggedrag. Een voorbeeld van een gemakkelijk te drogen klei is type H. Van deze klei zijn het specifiek oppervlak, het percentage intermediaten en de droogkrimp klein. Kleien met een groot specifiek oppervlak en een hoog percentage intermediaten nemen na het drogen weer gemakkelijk vocht op.

5.2.8 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 N/mm² zijn onaanvaardbaar. Bij voorkeur dient de buigsterkte hoger te zijn dan 3 N/mm².

Voor correlatiedoeleinden verdient het aanbeveling ook de volumieke massa van de scherf vast te stellen.

5.2.9 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°C. 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°C.

Gezien de ruimtelijke temperatuurverschillen in de charges van grofkeramische ovens, de noodzaak tot het vermijden van grote bakkrimpverschillen in de charge en gezien de tijd- en atmosfeerafhankelijkheid van de sintering, dient de baktemperatuur zeker lager gekozen te worden, beoordeeld aan de hand van dilatometercurven van gebakken proefobjecten, door vaststelling van de dilatatie tussen 500 en 650°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.

5.2.10 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 bakkrimp 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.

6. INVLOED VAN DE KLEI-EIGENSCHAPPEN OP DE TECHNOLOGISCHE BEWERKINGEN

In het vorenstaande zijn de fysische en chemische eigenschappen van enige in de grofkeramiek gebruikte kleien behandeld. De invloed van deze eigenschappen op de technologische bewerkingen die noodzakelijk zijn om de ruwe klei tot gebakken eindprodukt te maken, zullen nader besproken worden (14).

De voorgemengde klei ondergaat drie hoofdbewerkingen, te weten het vormen van de klei tot het vereiste produkt, het verwijderen van het water dat nodig is bij de plastische vormgeving (drogen) en het bakken van het gedroogde produkt om de uiteindelijke vorm en sterkte te verkrijgen.

Het vormen van de ruwe klei kan in afhankelijkheid van het gewenste produkt door een vormbak (band)pers, een strengpers of een stempelpers geschieden.

A. De vormbakpers

Dit is een machine die van te voren bezande vormen volperst met klei. Het is een machine die het oude handwerk, waarbij met de hand een bakje met klei werd volgemaakt, heeft vervangen.

De machine wordt gebruikt voor de fabrikage van bezande metselbakstenen en straatstenen. De kleitypen die met deze pers verwerkt worden, zijn te vinden in de tabel onder C, D, F en J. Ook de typen H en N worden met een vormbakpers verwerkt.

Voor deze wijze van vormgeving is geen grote plasticiteit vereist.

Een grote verscheidenheid van kleitypen kan met deze pers verwerkt worden.

Moeilijkheden kunnen ontstaan bij vette plastische kleien o.a. slecht lossen van de steen uit het bakje en moeilijk vol persen van de vorm.

B. De strengpers

Lijkt in principe veel op een gehaktmolen, waarbij het snijrooster is vervangen door een mondstuk. Met de strengpers kan een veelheid van produkten gemaakt worden ,o.a. al of niet geperforeerde metselstenen, holle bakstenen, grote bouwblokken, draineerbuizen, rioolbuizen, splijttegels, plavuizen, dakpannen enz.

Deze pers vereist een wat plastischer klei dan de vormbakpers.

De gevraagde plasticiteit is ook afhankelijk van de te maken produkten. Volle metselstenen, dus zonder gaatjes, kunnen van een minder plastische klei vervaardigd worden dan holle bouwblokken (veel gaten, dunne wanden). Met name in Groningen en Friesland en verder over het gehele land verspreid, vindt men de strengpers.

Voorbeelden van de kleitypen die met deze pers verwerkt kunnen worden, zijn in tabel onder A, B, E, K en M te vinden. Het leemgehalte, de plasticiteit en het specifiek oppervlak zijn van deze kleien meestal groter dan van de genoemde kleitypen voor de vormbakpers.

C. De stempelpers

Is een machine die een voorgevormde plak klei tussen twee matrijzen in de gewenste vorm perst. In de tabel onder G is een zeer vette plastische klei genoemd, die gebruikt wordt als belangrijke component voor de fabricage van dakpannen. In figuur .. zijn de gebieden aangegeven voor de vormgevingsprocessen. Met het vormbakproces (zie I in figuur) worden kleien verwerkt vanaf circa 15 % deeltjes kleiner dan $10 \mu\text{m}$ en een specifiek oppervlak van circa $30 \text{ m}^2/\text{g}$, tot circa 45 % deeltjes kleiner dan $10 \mu\text{m}$ en een specifiek oppervlak van circa $100 \text{ m}^2/\text{g}$.

De gebruikt Nederlandse kleien voor dit proces hebben meestal een verhouding van specifiek oppervlak - deeltjes kleiner dan $10 \mu\text{m}$ van circa 2 (illitisch).

7. OVERZICHT VAN TOESLAGSTOFFEN T.B.V. DE KERAMISCHE TECHNOLOGIE

De vele materialen of hulpstoffen die aan een klei worden toegevoegd, worden veelal onderverdeeld naar:

- a. hun invloed op een technologische eigenschap
 - plasticiteitsverhogend of -verlagend
 - droogkrimperhogend of -verlagend
 - sinterhulpmiddelen, enz.
- b. hun chemische aard
 - verwant aan de keramische grondstoffen/vulstoffen
 - * diverse plastificerende of magerende kleien, kwarts, zand, veldspaten
 - * gecalcineerde kleien, chamotte
 - anorganische, niet kleiverwante toeslagstoffen
 - * lava, e.a. gesteenten
 - * diverse reststoffen
 - zouten (veelal in geringe hoeveelheden)
 - organische stoffen
 - * huminaten, vervloeiingsmiddelen, schutcolloïden
 - * plastificeermiddelen, bindmiddelen (CMC, polymeren)
 - * uitstookbare stoffen, porositeitsverhogend en/of energiekostenverlagend

Singer en Singer onderscheiden in hun handboek Industriële Keramiek uit 1964 drie hoofdgroepen van grondstoffen voor de keramische industrie.

1. plastische (klei-) grondstoffen
2. niet klei-houdende plastische grondstoffen (talk)
3. de onplastische grondstoffen (Van der Velden: "Vulstoffen")
 - kiezelzuur, kwarts
 - veldspaten
 - beendermeel, apatiet (voor de fijnkeramiek)
 - Al_2O_3 en SiO_2 -houdende mineralen

- kalk en magnesiumoxide houdende grondstoffen (dolomiet)
- hulpmiddelen (water!, flocculanten, binders, deflocculanten)
- smeermiddelen, antikleefmiddelen (t.b.v. vormgevingstechnologieën)
- hulpmiddelen voor het drogen (gips)

Zij geven in hun handboek uitgebreide beschrijvingen en lijsten van de diverse stoffen en hun specifieke werking.

Stefanov deelt de 22 door hem onderzochte materialen in drie groepen onder:

- plastificerende stoffen (5 stuks)
- mageringsmiddelen en porositeitsverhogende additieven (12 stuks)
- kleurende toeslagstoffen

Hij gaat niet erg diepgaand op de materie in, en beschrijft meestal slechts één specifiek voordeel van de door hem onderzochte reststoffen, terwijl de nadelen of nevenwerkingen niet of slechts zeer summier worden vermeld.

Wel worden enkele algemene conclusies gegeven

- bij gebruik van toeslagstoffen (reststoffen) is vaak ook een aanpassing nodig van de vormgevingstechnologie
- bij gebruik van reststoffen kunnen milieuproblemen ontstaan (afvalwater bij natte menging, rookgassen, stankhinder, etc.)
- vele toeslagstoffen zijn niet constant in hun samenstelling gedurende langere periodes
- er kunnen (esthetische) problemen ontstaan met betrekking tot het uiterlijk van het produkt, direct na de produktie en/of ook na langere tijd in gebruik als gevolg van uitloging en zoutuitslag.

Hoewel in de literatuur (16, 17) zeer veel stoffen genoemd worden die aan de klei werden en/of kunnen worden toegevoegd, worden er in de praktijk slechts enkele regelmatig van gebruikt. De meeste ter vermijding of vermindering van ongunstige verwerkings- of produkteigenschappen.

Veelal zijn de in de literatuur beschreven resultaten uit laboratoriumexperimenten of praktijkproeven empirisch, en zijn het onderzoek en de conclusies niet door een uitgebreid vergelijkend of diepgaand wetenschappelijk onderzoek gefundeerd.

Men kan uit de beschreven experimenten kwalitatieve gevolgtrekkingen maken. Daar soms een toeslagstof door verschillende onderzoekers aan verschillende massa's via verschillende technologieën is onderzocht resulteren de experimenten in soms tegenstrijdige effecten en (dus) tegenstrijdige conclusies.

Een totaal beeld van vrijwel alle hiervoor genoemde additieven, toeslagstoffen en hun effecten wordt gegeven in onderstaande tabel.

Uit tabel no. 2 blijkt, dat bijna alle mageringsmiddelen eigenschappen als plasticiteit, droogkrimp, droogbreuksterkte en soms de droogscheurvoeligheid, de textuurvoeligheid en de opwarmvoeligheid meer of minder verlagen.

Daarenboven wordt door het toevoegen van zand en chamotte in de meeste gevallen de vormvastheid bij hogere temperaturen verhoogd (de zakvastheid neemt toe), maar zand en zandige leem verlagen weer de koelscheurvoeligheid. Over het geheel verlagen de meeste mageringsmiddelen toch de koelscheurvoeligheid, de sterkte en de vorstbestandheid.

Indien aan de grondstof extra, speciale vette soorten klei worden toegevoegd, resulteert dat meestal in een plasticiteitsverhoging, extra droogkrimp, verhoging van de droogbreuksterkte en een betere vorstbestandheid. Mergelhoudende kleien gedragen zich in het algemeen anders.

Montmorilloniet (bentoniet) springt eruit vanwege de enorme verhoging van de droogscheurvoeligheid.

Uit de tabel blijkt ook, dat verschillende voor de keramische technologie en praktijk belangrijke eigenschappen zoals de textuurvoeligheid, hoge temperatuurvormvastheid (zakvastheid) en uitslaggevoeligheid van het produkt vaak nauwelijks of in het geheel niet worden onderzocht.

Energieaspecten die bij het drogen optreden zijn überhaupt nog geen punt van onderzoek geweest.

In geval van een chemisch werkende toeslagstof kan de invloed op bepaalde technologische eigenschappen zowel positief als negatief zijn. Voor één bepaalde stof, zoals kalk, kan het effect van de toevoeging ook nog afhankelijk zijn van de hoeveelheid.

Uitbrandstoffen zoals gemalen kool, turf, zaagsel, polystyreen korrels werken voornamelijk verlagend op de plasticiteit, de droogbreukstrekke, de droog-scheur gevoeligheid en droogkrimp.

Daarentegen wordt vaak de opwarmgevoeligheid verhoogd. Porositeitsverhogende toeslagstoffen verlagen de warmtegeleiding en ook de drukvastheid. Meer poriën bevordert het warmteisolerende vermogen.

In tabel 2 wordt de materiaaleigenschap 'reductiekernvorming' ondergebracht in de kolom opwarmgevoeligheid, en de invloed van vloeimiddelen, op het bakgedrag, het sinterinterval is samengebracht in een kolom met de zakvastheid ("Feuerstandfestigkeit").

Wellicht moet ook hier nog eens benadrukt worden, dat niet alle optredende ongewenste of minder plezierige eigenschappen van de grondstof bij verwerking of van het produkt simpel door één toeslagstof te niet gedaan kunnen worden. Technologische aanpassingen van het proces resulteren soms sneller en effectiever in het gewenste resultaat.

De werkzaamheid van bepaalde toeslagstoffen is veelvuldig een punt van discussie. Oorzaak hiervan is dat de meeste (gepubliceerde) onderzoeksresultaten niet zijn gebaseerd op een breed, systematisch opgezet en gefundeerd onderzoek. Hierdoor is niet altijd de optimale hoeveelheid toeslagmateriaal onderzocht. Ook kan daardoor de ongevoeligheid van de grondstof voor het onderzochte toeslagmateriaal niet aan het licht zijn gekomen.

Veel van de in de hiervoor behandelde paragrafen vermelde toeslagstoffen zijn vaak op slechts één massa, en één verwerkings- of produkteigenschap onderzocht (of althans daar is over gepubliceerd).

Om algemene conclusies over de werking van een zo'n stof of additief op de (vele) keramische grondstoffen te trekken is daarom riskant.

Vele van deze summier onderzochte additieven zijn derhalve niet in de samenvattende tabel opgenomen.

Voor men met een toeslagstof gaat werken of laat onderzoeken, dient men zicht goed te realiseren wat men met de extra stof wil bewerkstelligen in de massa en in het produkt. Daar veelal het introduceren van een toeslagstof of additief een verandering in de gehele procesvoering met zich mee brengt, moeten ook deze aspecten van te voren goed worden overdacht.

De aard van de kleigrondstof (mineralogie, deeltjesgrootte, chemische samenstelling, etc.) is uiteraard ook van invloed op het effect op de werking van de toeslagstof.

Een hoogplastische klei die als toeslagstof wordt gebruikt heeft een groter (plastificerend) effect op een magere grondstof dan op een van zich zelf al plastische klei. Daarnaast spelen prijs en beschikbaarheid van het toeslagmateriaal een rol, naast de latere kostprijs en afzetmogelijkheden van het (eventueel veranderde of nieuwe) eindprodukt.

Tabel 2 Positieve dan wel negatieve effecten van toeslagstoffen op baksteenmassa's

+ = erhöhend O = neutral - = vermindernd

	Plastizität/ Bindefähigkeit	Trocken- schwindung	Trocken- festigkeit	Trocken- empfindlichkeit	Textur- anfälligkeit	Aufheiz- empfindlichkeit	Feuer- standfestigkeit	Kühl- empfindlichkeit	Frostfestigkeit	Wärme- leitfähigkeit	Druckfestigkeit	Ausblühneigung
Magerungsmittel:												
Sand (Quarz)							+	+				
Feldspatsand							+	+				
Lehm, sandig (Löß)							+	+				
Schamotte							+	+				
Ton, kalziniert							+	+				
Ziegelmehl (-splitt)							+	+				
Steinkohlenflugasche							+	+				
Gestein, quarzarm							+	+				
Tonschiefer							+	+				
Zusatztone:												
Ton, geschlämmt	+	+	+	+	0	+	+	0	+	+	+	+
Schieferton	+	+	+	+	0	+	+	0	+	+	+	+
Kaolin-Ton	+	+	+	+	0	+	+	0	+	+	+	+
Fireclay-Ton	+	+	+	+	0	+	+	0	+	+	+	+
Steinzeugton	+	+	+	+	0	+	+	0	+	+	+	+
Feuerfestton	+	+	+	+	0	+	+	0	+	+	+	+
Illitton	+	+	+	+	0	+	+	0	+	+	+	+
Montmorillonitton	+	+	+	+	0	+	+	0	+	+	+	+
Mergelton	+	+	+	+	0	+	+	0	+	+	+	+
Chemisch wirkende und sonstige Zusätze:												
Soda	+		+	+	0	0		0	+			+
Kalk (CaCO ₃)	0				0	0		0				+
Kalk, gebrannt	0				0	0		0				+
Carnallit	+				0	0	0	0	0		+	+
CMC	+				0	0	0	0	0		+	+
Membranit C					0	0	0	0	0		+	+
Bariumcarbonat					0	0	0	0	0		+	+
Natriumchlorid					0	0	0	0	0		+	+
Calciumchlorid					0	0	0	0	0		+	+
Gips					0	0	0	0	0		+	+
Zement					0	0	0	0	0		+	+
Dampf	+		+	+		+			+	+	+	+
Rotschlamm						+			+	+	+	+
Braunstein						+			+	+	+	+
Pyrophyllit						+			+	+	+	+
Rauchkammerlösche						+			+	+	+	+
Kohlenstaub						+			+	+	+	+
Brikettabrieb						+			+	+	+	+
Chromfalzspäne						+			+	+	+	+
Feintorf						+			+	+	+	+
Sägemehl						+			+	+	+	+
Dekanterstoff						+			+	+	+	+
Zeitungspapier						+			+	+	+	+
Polystyrol, aufgeschäumt						+			+	+	+	+

8. DE OVERZICHTSKAART MET KLEIVOORKOMENS

8.1 Grondstofdiseisen

In hoofdstuk 4 en 5 worden globale cijfers gegeven omtrent de eigenschappen van de in Nederland voorkomende kleien en de daaruit geproduceerde mengsels c.q. keramische grondstoffen.

In deelrapport 2 wordt op de eisen die aan de oppervlakedelfstof klei, en de daaruit gevormde mengsels worden gesteld, dieper ingegaan. De werkgroep Kleiinventarisatie waarin de (grof-) keramische industrie vertegenwoordigd was, tesamen met de andere groot-kleiverbruiker Rijkswaterstaat (i.c. dijkbouw), heeft een lijst met criteria opgesteld waaraan de gevonden kleien als delfstof zouden moeten voldoen willen zij voor winning interessant zijn. De eisen gesteld door 'dijkbouw' verschillen enigzins van die zoals geformuleerd door de GKI. Daarnaast moest aansluiting gevonden worden met de bestandgegevens van de Rijks Geologische Dienst en van de Stichting Bodemkartering te Wageningen.

Als eis te stellen aan de ongemengde keramische grondstoffen en kleisoorten wordt door de GKI geformuleerd (naast enige andere, zie rapport 2):

fractie < 10 μm : 8 tot 70 % m/m.

Dit komt overeen met een berekend lutumgehalte (fractie < 2 μm) van circa 5 tot 50 % (zie hoofdstuk 2).

8.2 Gebiedsindeling

Op basis van de uitgevoerde inventarisatie van bestandgegevens en de geformuleerde eisen van klei-afnemers is door de RGD een kaart uitgebracht waarop de geschikte gebieden zijn aangegeven.

Op deze kaart op schaal 1:250.000 worden uitsluitend gebieden aangegeven die voldoen aan de volgende criteria:

- lutumgehalte > 8 %
- organische stofgehalte < 5 %
- geen noemenswaardige hoeveelheid schelpen

Verder wordt nadere informatie gegeven over:

- nadere detaillering lutum percentage (8 - 17,5 : 17,5 - 35 : > 35 %).
- de laagdikte (in diverse categoriën, met een minimum van 1 meter)
- de herkomst (fluviatiel, glaciaal, lokaal etc.)
- het kalkgehalte (kalkhoudend, kalkloos)
- de rijpingsklasse (gerijpte vs. ongerijpte klei).

De kaart zal worden voorzien van een beknopte toelichting. In deze toelichting zal de wijze waarop de kaart is samengesteld worden toegelicht, en zal per regio een korte karakteristiek van de voorkomende kleisoorten worden gegeven. In de toelichting zullen tevens de relevante hoeveelheden klei worden vermeld.

8.3 Legenda

Als hoofdingang van de legenda van de te vervaardigen kaart wordt gekozen voor klei met de volgende eigenschappen: 17,5 - 35 % lutum zonder schelpen, < 5 % organische stof, > 1 meter dik. Binnen deze categorie worden drie dikteklassen onderscheiden: 1 - 2 m, 2 - 4 m en > 4 m.

Het kalkgehalte wordt niet op de kaart aangegeven. Om het kaartbeeld niet te druk te maken wordt met een beschrijving in de toelichting volstaan. Ten aanzien van de rijping van de klei moet worden volstaan met enkele opmerkingen in de toelichting. De Stiboka beschikt weliswaar over gegevens van de rijping, de RGD echter niet. De kleurbeschrijving die de RGD heeft is weliswaar een indicatie voor oxidatie/reductie, maar een consistente beschrijving van de rijpingsraad ontbreekt.

Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

8.4 Nadere vraagpunten

Zoals uit het hiervoorgaande blijkt is er geen naadloze aansluiting aan zowel de eisen voor de GKI als de dijkbouw, dit geldt met name voor:

- fractie $< 2 \mu\text{m}$.

Dit geldt met name voor de GKI, immers daar is als eis gesteld fractie $< 10 \mu\text{m}$ 8 - 70 %; vertaald naar fractie $< 2 \mu\text{m}$ betekent dit circa 5 - 50 %. Dat wil zeggen dat in de inventarisatie het gebied 5 - 8 % lutum niet wordt meegenomen en dat het gebied met meer dan 50 % lutum niet geschikt is. Voor de fractie 5 - 8 % lutum zijn er in de bestanden geen gegevens voorhanden. Geoordeeld is dat het niet in beschouwing nemen van deze gronden slechts een marginale fout zal opleveren. Voor de kleisoorten met meer dan 50 % lutum zal RGD/Stiboka moeten aangeven welk percentage zal afvallen, dat wil zeggen feitelijk valt alle zeer zware klei af. Hiervoor zijn wel mogelijkheden aanwezig.

Voor de dijkbouw geldt als eis maximaal 40 % lutum. De grens is gekozen bij 35 % lutum. D.w.z. dat ook geschat moet worden welk percentage matig zware klei afvalt (zeer zware klei valt af).

- fouten ten gevolge van afwijkende eis zandfractie.

De ingang tot de kaart is het lutumpercentage. De zandeis is geen ingang. Toch geldt zowel voor de grofkeramische industrie als de dijkbouw dat eisen gesteld zijn.

GKI max. 40 % 63 - 250 en max. 20 % > 250

Dijkbouw 40 % maximaal $> 63 \mu\text{m}$.

Daar voor de GKI dit een eis is die gesteld wordt aan het mengprodukt zal deze eis bij de inventarisatie van de kleivoorkomens buiten beschouwing blijven, voor de dijkbouw waar geen menging plaats vindt zal door RGD/Stiboka moeten worden aangegeven welk percentage van de klei volgens de legenda zal voldoen aan deze eisen.

9. BEPALING VAN DE HOEVEELHEDEN

Bij gebruikmaking van de legenda zoals aangegeven in vorig hoofdstuk, is het mogelijk om bij benadering de hoeveelheid klei te berekenen die in principe geschikt is voor gebruik voor de grofkeramische industrie en de dijkbouw. Een foutenanalyse zal de betrouwbaarheid van de schatting geven. Hiertoe dienen de kaartvlakken, zoals die zijn onderscheiden, te worden gedigitaliseerd. Aan de hand van de onderscheiden dikte-categoriën kan dan de hoeveelheid klei met een lutumpercentage 17,5 tot 35 worden berekend (uitgaande van een gemiddelde dikte voor elke dikte-klasse; bijvoorbeeld dikte-klasse 2 - 4 meter, gem. 3 meter). Ten aanzien van de klei met lutum percentage van 8 tot 17,5 en van meer dan 35, kan een minimaal aanwezige hoeveelheid worden aangegeven (op basis van de dikte eis van minimaal 1 meter).

De betrouwbaarheid van de kaart, de gebruiksmogelijkheden en de volumeberekeningen op grond van de kaartgegevens worden uitgebreid toegelicht in de bijlage.

Deze bijlage is opgesteld door de Werkgroep Klei-inventarisatie (Dienst W.Wb., R.W.W., Delft).

LITERATUUR

1. H.M. van Montfrans, e.a., Geologie van Nederland, deel 2
Rijksgeologische Dienst, Haarlem, SDU Uitgeverij, 's Gravenhage, 1988
2. L.S. de Jonge,
Knelpunten bij de voorziening met traditionele, en problemen met
alternatieve grondstoffen
Klei/Glas/Keramiek 3 (1982), pagina 138
3. G.J. A Sigmond en J. van Dijkhuizen,
tekst van twee voordrachten over de nieuwe Ontgrondingswet
Klei/Glas/Keramiek 9 (1988) pagina's 250 en 253
4. L.S. de Jonge,
Baksteenindustrie en Euroklei,
Klei/Glas/Keramiek 2 (1981), pagina 276
5. L.S. de Jonge,
Klei voor baksteen,
Klei/Glas/Keramiek 7 (1986), pagina 140
6. L. van der Plas,
Economisch interessante voorkomens van klei in de Bondsrepubliek,
Klei/Glas/Keramiek 2 (1981), pagina 118
7. J.H. van Wijck, P.J.C. Bloem,
Metselbakstenen uit klei en vliegas.
Klei/Glas/Keramiek 10 (1989), 5, pagina 97
8. J.Th. van der Zwan, 2e tussenrapport Werkgroep Kleiinventarisatie
Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, 1989

9. F.J. Faber, Nederlandse landschappen,
Uitg.: J. Noorduijn en Zoon N.V., Gorinchem, 1942
10. J.H. van der Velden,
Een empirisch model van Nederlandse klei,
Klei en Keramiek 17 (1977), 11/12, pagina 190
11. J.H. van der Velden,
Uitvoeringsvoorschrift van een eenvoudige leembepaling in kleien,
Klei en Keramiek 29 (1979), 11/12, pagina 237
12. J.H. van der Velden,
Evaluatie van kleiafzettingen voor de grofkeramiek,
Klei/Glas/Keramiek 1 (1980), 3, pagina 10
13. J.H. van der Velden,
Vormbakstenen uit vette klei en zand,
Klei/Glas/Keramiek 1 (1980), 7, pagina 10
14. H.J. Timmers,
Eigenschappen van kleivoorkomens in Nederland,
Klei/Glas/Keramiek 1 (1980), december, pagina 18
15. H. van Amerongen en J.H. van der Velden,
Samenstelling van 31 kleisoorten, delen I en II
MT-TNO rapport 1970, no. 70-04032
16. H. Schmidt
Z.I. International 31 (1978), pagina 500
Spreksaal 110 (1977), pagina 536
17. S. Stefanov,
Z.I. International 39 (1986), pagina 137

TOELICHTING BIJ DE KLEI-INVENTARISATIEKAART 1:250.000

1. Inleiding
2. De legenda
3. Kaartbeschrijving/Karakteristiek van de klei/leemvoorkomens per regio
 - 3.1. Het rivierkleigebied
 - 3.2. Oost-Nederland (Twente en de Achterhoek)
 - 3.3. Zuid-Nederland (Noord-Brabant en Midden-Limburg)
4. Betrouwbaarheid van de kaart en gebruiksmogelijkheden
5. Volumeschattingen/Volumeberekeningen

Referenties

Klei-inventarisatie fase 2 (OP 6331)
file: klei.wmc, 08-11-1989.

- 2 -

1. Inleiding.

De klei-inventarisatiekaart 1:250.000 geeft een overzicht van de klei/leemvoorkomens in het rivierengebied (Rijn, Lek, Waal, Maas, IJssel, Oude IJssel en Kromme Rijn) en Oost- en Zuid-Nederland (Twente en de Achterhoek respectievelijk Noord-Brabant en Midden-Limburg). De kaart is samengesteld ten behoeve van het landelijke ontgrondingenbeleid en dient als bijlage voor het rapport 'Inventarisatie van kleivoorkomens ...' (RWS/DWW, 1989).

Op de overzichtskaart zijn de aan of nabij de oppervlakte voorkomende klei- en leemvoorkomens weergegeven, welke voldoen aan de kwaliteitseisen voor gebruik als (meng)grondstof in de grofkeramische industrie en de dijkbouw. Hiertoe is naar het lutumgehalte een onderverdeling in 3 klassen gemaakt (8-17,5%, 17,5-35% en >35%) van de klei/leemvoorkomens met een dikte ≥ 1 meter, een organische stofgehalte <5% en zonder noemenswaardige hoeveelheden schelpen. Een bespreking van de kaartlegenda volgt in paragraaf 2.

De in het onderzochte gebied voorkomende kleisoorten zijn naar herkomst, samenstelling en fysische eigenschappen in een aantal regio's onderverdeeld, waarvan in paragraaf 3 een karakteristiek wordt gegeven.

De betrouwbaarheid en gebruiksmogelijkheden van de kaart worden in paragraaf 4 beschouwd, mede aan de hand van een detailstudie. Hieruit blijkt dat de kaart uitsluitend geschikt is voor toepassing op landelijke schaal. Bij de samenstelling van de kaart is geen rekening gehouden met de huidige of toekomstige bestemming van het gebied. Ook planologische en economische aspecten zijn buiten beschouwing gelaten.

De overzichtskaart is grotendeels samengesteld op grond van boorgegevens uit de bestanden en rapporten van de Rijks Geologische Dienst en de Stichting voor Bodemkartering. Deze basisgegevens zijn gecompileerd en geïntegreerd tot een landelijke kaart op schaal 1:250.000. Als laatste stap is de overzichtskaart gedigitaliseerd (met behulp van Arc-Info), waardoor deze als basis kon dienen voor volumeschattingen van de bruikbare hoeveelheid klei/leem voor de grofkeramische industrie en de dijkbouw (paragraaf 5).

2. De legenda.

De legenda van de overzichtskaart 1:250.000 (bijlage 1) is samengesteld aan de hand van de door de Werkgroep Klei-inventarisatie in dit rapport opgestelde randvoorwaarden.

Op de kaart zijn de gebieden weergegeven met klei/leemvoorkomens aan of nabij de oppervlakte, d.i. binnen 2 meter onder het maaiveld, die voldoen aan de volgende criteria:

- een lutumgehalte $\geq 8\%$
- een minimale dikte van 1 meter
- een organische stofgehalte < 5%
- geen noemenswaardige hoeveelheden schelpen.

Hoofdingang van de legenda is het lutumgehalte, waarin 3 klassen zijn onderscheiden: 8 - 17,5%, 17,5 - 35% en >35%.

De klei/leemklasse met een lutumpercentage 17,5 - 35% is door de grofkeramische industrie en de dijkbouw direkt als grondstof te verwerken. Binnen deze categorie worden drie dikteklassen onderscheiden: 1-2 m, 2-4 m en >4 m. Op de

- 3 -

overzichtskaart zijn deze aangegeven in groene kleurtinten (met de codenummers 1, 2 en 3).

De overige klei/leemvoorkomens met een lutumpercentage 8 - 17,5% (codennummer 5) en >35% (codennummer 7) zijn door middel van een horizontale respectievelijk verticale, rode arcering aangegeven. Voor deze categorieën ontbreekt een indicatie van de dikte, afgezien van de eis ≥ 1 meter.

Klei/leemvoorkomens van verschillende lutumklassen en dikker dan 1 meter komen in veel gevallen boven elkaar voor, met name in het rivierengebied. In deze situaties zijn binnen de kaarteenheden combinaties van kleur en arceringen gebruikt om de posities van de klei/leem ten opzichte van elkaar aan te geven. Een kleur gecombineerd met een doorlopende rode arcering geeft aan dat klei/leem met een lutumpercentage 17,5 - 35 aanwezig is, waarboven zwaardere of lichtere klei/leem voorkomt van minimaal 1 meter dikte (bijvoorbeeld de codenummers 15 en 17). Een onderbroken rode arcering is gebruikt wanneer zwaardere of lichtere klei/leem onder klei/leem met een lutum% 17,5 - 35 wordt aangetroffen (bijv. codennummer 18).

Voorals buiten het rivierengebied komen aanzienlijke oppervlakken met enkel arceringen voor en ontbreekt klei/leem met een lutumpercentage 17,5 - 35, hoewel deze lokaal wel aanwezig kan zijn. Indien zowel klei/leem met een lutumgehalte 8 - 17,5% als klei met een lutumgehalte >35% voorkomt zijn de twee arceringen gecombineerd tot een kruisraster.

3. Kaartbeschrijving/Karakteristiek van de klei/leemvoorkomens per regio.

De klei/leemvoorkomens die voldoen aan de gestelde criteria zijn naar afzettingswijze en in relatie met hun samenstelling en fysische eigenschappen in de volgende regio's onderverdeeld:

1. fluviaatiele klei in het rivierengebied:
 - a. Rijn, Waal en IJssel
 - b. Maas
2. glaciale en mariene klei in Twente en de Achterhoek
3. a. eolische en aquatische klei/leem in Oost-N.Brabant en Midden-Limburg
b. fluviaatiele klei in West-N.Brabant

Van elk van deze regio's volgt een beknopte beschrijving van de aan of nabij de oppervlakte voorkomende klei/leempakketten. Tabellen met de gemiddelde lutumpercentages van de afzettingen per regio zijn in bijlage 4 vermeld.

De holocene, mariene kleivoorkomens zijn niet bij de inventarisatie betrokken. Ook de beekkleien en dieper liggende klei/leempakketten, zoals bijvoorbeeld in de omgeving van Tegelen, zijn buiten beschouwing gelaten.

3.1. Het rivierkleigebied.

De holocene rivierklei-afzettingen in het stroomgebied van de grote rivieren (Waal, Rijn, Maas, IJssel, Oude IJssel en Kromme Rijn) behoren lithostratigrafisch voornamelijk tot de Betuwe Formatie en voor een klein deel tot de Westland Formatie (Afzettingen van Tiel en Gorkum). Deze afzettingen reiken tot een diepte van 1 tot meer dan 10 meter beneden maaiveld en liggen merendeels op pleistocene zanden (Formatie van Twente, Formatie van Kreftenheije). Voorzover de klei aan het maaiveld voorkomt behoort ze, bodemkundig gezien, tot de Jonge Rivierkleigronden.

- 4 -

Voor wat betreft ontstaanswijze en samenstelling kunnen binnen de rivierafzettingen drie typen worden onderscheiden:

- a. stroomgordelafzettingen, onder te verdelen in geulafzettingen (zand) en geuldek- en restgeulafzettingen (zandige klei tot fijn zand)
- b. oeverafzettingen, bestaande uit kleilig fijn zand tot lichte klei, al dan niet met ingeschakelde zandlagen (doorbraakafzettingen).
- c. komafzettingen, overwegend bestaande uit zware klei met veeninschakelingen.

De verbreiding van deze afzettingstypen varieert op korte afstand zowel in laterale als verticale zin. Het dynamische karakter van de zich steeds verleggende rivierlopen heeft geresulteerd in een zeer complexe laagopbouw (zie bijlage 2). Vanuit het oogpunt van gebruik voor de grofkeramische industrie en de dijkbouw zijn met name de restgeul-, geuldek- en oeverafzettingen van belang, die veel voorkomen in de uiterwaarden van de grote rivieren. De reeds afgekleide terreinen in de uiterwaarden van de grote rivieren zijn buiten beschouwing gelaten.

In het gebied van de Rijn en Waal neemt de dikte van het rivierkleipakket in westelijke richting toe, van 4-5 m ter hoogte van Nijmegen tot ca. 8 m nabij Gorinchem. Grote delen bestaan uit komkleigebieden, waarin ten westen van Tiel in toenemende mate venige lagen voorkomen. In het algemeen is de top van het profiel ontkalkt en in meerdere of mindere mate gerijpt.

De Rijn/Waalkleien verschillen qua mineralogische samenstelling en kalkgehalte van de Maaskleien (Breeuwsma, 1981). De Maasafzettingen zijn in het algemeen geheel kalkloos en grover van samenstelling.

In het relatief jonge IJsseldal bedraagt de dikte van de Betuwe Formatie in het algemeen niet meer dan 2 m, lokaal komen in opgevulde restgeulen kleidikten tot 7 m voor. De afzettingen bestaan voornamelijk uit stroomgordelafzettingen. Op grotere diepte komen in het IJsseldal ook pleistocene glaciale kleien voor.

In het gebied van de Oude IJssel heeft de rivierklei een gemiddelde dikte < 1,5 meter. Hier komen voornamelijk komkleien voor met een lutumgehalte tussen 20 - 40%.

Veel uiterwaarden en stroomruggronden langs de oevers van de Oude- en Kromme Rijn, de Utrechtse Vecht en de Hollandse IJssel bezitten een kalkrijk kleidek. De dikte van dit dek is in de regel kleiner dan 2 m, het lutumgehalte ligt tussen 17,5 en 35%. In het verleden heeft op grote schaal afgraving plaatsgevonden.

3.2. Oost-Nederland (Twente en Achterhoek).

De klei/leemvoorkomens in deze regio betreffen glaciale klei of keileem, behorende tot de Formatie van Drente, en mariene kleien van tertiaire ouderdom. Binnen het gebied zijn alleen de klei/leemvoorkomens aangegeven die binnen 2 m onder het maaiveld voorkomen. De deklaag bestaat in het algemeen uit dekzand.

In Twente komt plaatselijk tot 20 m dikke keileem voor in de stuwwallen van Ootmarsum en Oldenzaal. Het keileemdek in de Achterhoek is relatief dun en zelden dikker dan 2,5 m.

De keileem in Twente en de Achterhoek is niet homogeen van samenstelling. Het materiaal bevat een hoog zandpercentage, terwijl ook grind en stenen voorkomen. Lokaal kunnen grote verschillen in lutumgehalte optreden. Het gemiddelde lutumgehalte voor de gehele regio is in de klasse 8 - 17,5% ingedeeld, hoewel

- 5 -

nabij Oldenzaal bijvoorbeeld keileem voorkomt met gemiddelde lutumpercentages boven 20 (Grondmechanica Delft, zie bijlage 4).

Mariene tertiaire kleien binnen 2 m onder maaiveld komen zowel in Twente als de Achterhoek voor. In Twente betreft het eocene en miocene kleilagen, overwegend met een lutumpercentage 8 - 17,5, die gedurende de voorlaatste ijstijd gestuwd zijn. Een klein deel van het gestuwde materiaal bestaat uit oligocene zware klei. De diktes bedragen gemiddeld 5 - 10 m. In de Achterhoek worden uitsluitend oligocene - en miocene, zware kleien aangetroffen, die meestal meer dan 20 m dik zijn.

3.3. Zuid-Nederland (Noord-Brabant en Midden-Limburg).

In deze regio zijn naar herkomst twee typen klei/leemafzettingen onderscheiden:

- a.) de zg. Brabantse Leem in oostelijk Noord-Brabant en Midden-Limburg. De verbreiding van deze afzettingen ligt globaal binnen de Centrale Slenk, waar de gemiddelde dikte 1-3 meter bedraagt. Deze leem van lokale herkomst bevat als regel tussen 8 - 17,5% lutum. Noordelijk van Eindhoven komt het lutumpercentage lokaal boven de 20 en zijn de leemlagen over grote afstanden te vervolgen. De leem is in belangrijke mate ontkalkt. Op de Brabantse Leem komen dekzanden voor.
- b.) de fluviatiele klei-afzettingen in westelijk Noord-Brabant behoren tot de Formaties van Tegelen en Kedichem en zijn afgezet in het Vroeg- en Midden-Pleistoceen. Op de kleien komt een deklaag van zand en/of veen voor. De begrenzing tussen de twee formaties wordt gevormd door het riviertje de Mark. De westelijk van de Mark voorkomende Formatie van Tegelen bestaat uit een lagenpakket van zanden en kleien. Het bovenste deel bestaat veelal uit een laag zware klei van 1 tot enkele meters dikte. De Formatie van Kedichem, ten oosten hiervan, bestaat overwegend uit fijne zanden en kleipakketten. In vele gevallen is een tenminste enkele meters dikke kleilige laag aan de bovenzijde van de formatie aanwezig met lutumpercentages >17,5. De verbreiding van beide formaties is onvoldoende bekend.

4. Betrouwbaarheid en gebruiksmogelijkheden.

De basisgegevens voor de samenstelling van de kaart zijn, voor wat betreft de bovenste 1,2 meter beneden maaiveld, ontleend aan de landelijke 1:250.000 bodemkaart van Nederland (Stiboka, 1985). Deze is afgeleid van de 1:50.000 bodemkaarten. Voor de diepere ondergrond zijn de gegevens afkomstig van de gepubliceerde en in bewerking zijnde geologische kaarten van Nederland op schaal 1:50.000, en boorbeschrijvingen uit het archief van de Rijks Geologische Dienst. Daarnaast zijn diverse rapporten en publicaties gebruikt.

De dichtheid en spreiding van deze basisgegevens varieert zowel per kaartblad als naar boringsdiepte, mede omdat de systematische kartering slechts ten dele is voltooid. De mate van betrouwbaarheid is daarom niet voor het gehele gebied gelijk. Gebieden waarvan geologische kaartbladen zijn uitgegeven, of waarvan de opname is voltooid, hebben een gemiddelde dichtheid van 6-10 handboringen per km², waarbij de boringen in het algemeen tot in de pleistocene zandondergrond zijn doorgezet. De boordichtheid van de overige kaartbladen is doorgaans geringer. Dit is met name het geval in het IJsseldal ten noorden van Zutphen, het Maasdal in N.Brabant en Limburg, en het land van Heusden en Altena. Ook de informatie over de kleivoorkomens in West-N.Brabant is gering. De ongelijkmatige spreiding van de boorgegevens in deze gebieden laat geen gedetailleerde landelijke inventarisatie toe.

- 6 -

Voor de gepubliceerde bodem- en geologische kaarten 1:50.000 wordt doorgaans een betrouwbaarheid van 70% aangehouden. De afwijkingen of onzuiverheden die binnen een kaartvlak voorkomen worden veroorzaakt door de globale kartering van de werkelijke grenzen, het weglaten van te kleine oppervlakten of het niet opmerken daarvan als gevolg van de geringe boordichtheid en de kaartschaal. Indien de onzuiverheden groter dan 30% zijn worden samengestelde legenda-eenheden gebruikt.

Het verlies van informatie dat optreedt bij de samenstelling van een kaart met een schaal van 1:250.000 wordt geïllustreerd aan de hand van de detailstudie in de omgeving van Dodewaard (bijlage 2). De afgebeelde dwarsdoorsneden (hor. schaal 1:10.000) zijn gebaseerd op 112 boringen en geven een schematisering van de complexe laagopbouw in het rivierengebied. Door vereenvoudiging van de legenda en generalisatie van het kaartbeeld komt vervolgens de weergave van de klei/leemvoorkomens op schaal 1:50.000 en 1:250.000 tot stand, ingedeeld naar lutumklasse en dikte. Het verkleinen van de kaartschaal naar 1:250.000 heeft ondermeer tot gevolg dat lokale kleivoorkomens met een breedte kleiner dan 500 meter (d.i. 2 mm op de kaart) niet meer weergegeven kunnen worden. Dit geldt met name voor relatief smalle eenheden zoals geulopvullingen en oeverafzettingen. De op de overzichtskaart weergegeven patronen zijn, derhalve globaal van karakter en onvoldoende betrouwbaar voor toepassing op provinciale, regionale of lokale schaal. Mogelijke lokaties voor kleiwinning zijn aan de hand van de kaart niet aan te geven.

5. Volumeschattingen/ Volumeberekeningen.

De hoeveelheid klei/leem die in principe bruikbaar is als (meng)grondstof in de grofkeramische industrie en de dijkbouw is bij benadering te berekenen door de oppervlakten van de verschillende legenda-eenheden op de gedigitaliseerde overzichtskaart te vermenigvuldigen met de gemiddelde dikten binnen deze eenheden.

De resultaten van deze volumeberekeningen zijn per lutumklasse en per regio opgesomd in tabel 1, waarbij de hoeveelheden klei/leem in miljoenen m³ zijn gegeven.

In eerste instantie is bij benadering de hoeveelheid klei/leem in de lutumklasse 17,5 - 35% in het rivierengebied berekend. Ten aanzien van de nauwkeurigheid van de berekeningen is niet zonder meer van de (rekenkundige) gemiddelden van de dikteklassen uitgegaan, maar per kaartvlak de gemiddelde dikte uit de beschikbare boorgegevens ingevoerd.

In tweede instantie zijn berekeningen uitgevoerd voor de overige lutumklassen in het rivierengebied. Hiervan kan op basis van de dikte-eis van minimaal 1 meter slechts een minimale hoeveelheid worden aangegeven. Ook hier is waar mogelijk een gemiddelde dikte uit beschikbare boorgegevens opgegeven.

Bij de volumeberekeningen voor de overige twee regio's zijn eveneens minimum gemiddelde dikten aangehouden.

- 7 -

Tabel 1: Hoeveelheden klei/leem (in miljoen m³) per lutumklasse en per regio, zoals berekend uit de beschikbare inventarisatiegegevens. De berekende volumes

	8 - 17,5 %	17,5 - 35 %	> 35 %
1. A. Rijn / Waal / IJssel	103,9	749,1	659,8
B. Maas	76,6	220,2	176,8
subtotaal	180,5	969,3	836,6
2. Twente / Achterhoek	547,7	-	791,5
3. A. West Noord-Brabant	-	63,1	152,3
B. M. & O. Noord-Brabant	641,8	-	-
totaal	1370,0	1032,4	1780,4

Uitgaande van de berekende waarden in tabel 1 zijn een aantal (eind)correcties toegepast, waaruit minimumschattingen t.a.v. de aanwezige klei/leemhoeveelheden kunnen worden herleid. Deze hebben betrekking op:

- a. de betrouwbaarheid van het kaartbeeld (onzuiverheden binnen de kaartvlakken = 30% voor alle regio's)
- b. de eisen van de grofkeramische industrie:
 - 8 - 70 % deeltjes < 10 um (d.i. 5 - 50 % lutum)
 - fractie 5 - 8 % lutum is niet weergegeven
 - fractie > 50 % lutum is onbruikbaar (= 50% van fractie >35%)
- c. de eisen van de dijkbouw:
 - fractie 17,5 - 40 % lutum
 - fractie > 40 % lutum onbruikbaar (= 80% van fractie >35%)
 - zandfractie < 40 %
 - fractie > 40 % zand onbruikbaar (= 5% van fractie 17,5-35%)

Tabel 2. Minimumschattingen hoeveelheden klei/leem (in miljoen m³) per lutumklasse en per regio geschikt als (meng)grondstof voor:

A. Grofkeramische industrie	8 - 17,5 %	17,5 - 35 %	> 35 %
1. A. Rijn / Waal / IJssel	72,7	524,4	231,0
1. B. Maas	53,6	154,1	61,9
subtotaal	126,3	678,5	292,9
2. Twente / Achterhoek	383,4	-	277,0
3. A. West Noord-Brabant	-	44,2	53,3
B. M. & O. Noord-Brabant	449,3	-	-
totaal	959,0	722,7	623,2

- 8 -

B. Dijkbouw	8 - 17,5 %	17,5 - 35 %	> 35 %
1. A. Rijn / Waal / IJssel	-	498,2	92,4
B. Maas	-	146,4	24,8
subtotaal	-	644,6	117,2
2. Twente / Achterhoek	-	-	-
3. A. West Noord-Brabant	-	42,0	21,3
B. M. & O. Noord-Brabant	-	-	-
totaal	-	686,6	138,5

Referenties:

- Breeuwsma, A., (1981). Kleimineralogische- en chemische karakteristieken van kleiklei, rivierklei en "beekklei". Stiboka Wageningen, stencilnr. 6629.
- Berendsen, H.J.A., (red.), (1986). Het landschap van de Bommelerwaard, Nederlandse Geografische Studies 10. Utrecht.
- Berendsen, H.J.A., (1982). De genese van het landschap in het zuiden van de provincie Utrecht. Utrechtse Geografische Studies 25.
- Bosch, van den, (1984). Tertiaire kleien Achterhoek.
- Rijks Geologische Dienst, (1966). Wilp. Rapportnr. 599.
- Rijks Geologische Dienst, (1984). Onderzoek kleivoorkomens in het rivierengebied ten behoeve van de grofkeramische industrie. Rapportnr. OP 5202.
- Rijks Geologische Dienst. Geologische kaarten, 1 : 50.000: 31 O, Utrecht (1989), 38 O Gorinchem (1971), 39 O + W Tiel (1984), 40 O Arnhem (1977) 49 O Bergen op Zoom (in voorbereiding) 51 W Eindhoven (1985), 51 O Eindhoven (1973) 52 W Venlo (1967) 52 O Venlo (in voorbereiding).
- Stiboka, (1985). Bodemkaart van Nederland 1 : 250.000.
- Stiboka, (1977a). Inventarisatie van oppervlakedelfstoffen in Nederland. Deel 1: Verbreiding en geschiktheid van materialen bruikbaar als grondstof voor de grofkeramische industrie. Stiboka rapport 1333 / RGD rapport 10241, Wageningen.
- Stiboka, (1977b). Inventarisatie van oppervlakedelfstoffen in Nederland. Deel 2: Verbreiding en geschiktheid van materialen bruikbaar als grondstof voor de grofkeramische industrie in het rivierkleigebied. Stiboka rapport 1157 / RGD rapport 10241, Wageningen.
- Stiboka, Bodemkaart van Nederland 1: 50.000. Kaartbladen 27, 28 O, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 44, 45+46, 49, 50, 51, 52, 58.
- Stiboka/Rijks Geologische Dienst. Geomorfologische Kaart van Nederland 1: 50.000. Kaartbladen 41, 45.

Tabel 1: Eigenschappen van kleisoorten.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
A Jonge zeekle Dollard (mercaulteem)	48	61	73	92	98	1		146	2,4	6,4	4,1	67	24	43	40,5	40	7	12	0,5	9	5	26	0,5	65,5	13	0,9	6,2	1,3	1,4	1,9	0,7	2,6	4,5	11,2	985	
B Oud-artificiale klei Kroepde maastricht, rood	39	48	54	65	83	8		116	2,4	5,7	2,6	53	15	38	29,1	53	6	9,5	0,5	7	1	20	—	70,4	12,6	0,8	4,8	0,8	1,2	2,5	0,4	1,6	2,8	8,5	1025	
C Rijnklei Boven Waal (mercaulteem)	24	42	54	74	87	3		79	1,9	3,3	2,4	46	19	27	31,3	40	12	15,5	9	8,5	6,5	8,5	—	62,3	11,8	0,8	4,1	3,3	1,7	1,6	0,8	1,9	2,9	7,8	1090	
D Rijnklei Boven Rijn (mercaulteem)	24	41	51	65	74	19		79	1,9	3,5	2,4	40	17	23	26,8	54	9	9	5,5	6	3,5	13	—	69	9,9	0,7	4	3,6	1,5	1,8	0,8	1,3	2,5	7,1	1100	
E Kombi-Veldmet (mercaulteem) klei na versappering	56	78	85	89	91	7		201	2,6	9,5	6,1	88	26	62	49,4	40,5	4,5	9	0,5	10	3	27,5	5	56,3	18	1,1	8,4	1,2	1,8	2,3	0,6	1,7	6,3	10,6	900	
F Rijnklei Beneden Rijn (mercaulteem na versappering)	30	48	60	74	87	5		83	1,7	3,7	2,3	45	18	27	29,9	48,5	9	15,5	10,5	6	2	9,5	1	62,9	11,3	0,7	4,1	3,4	1,8	1,8	0,8	1	2,7	7,5	1100	
G Rijnklei Oude Rijn (de kpanaans)	55	72	78	87	94	1		156	2,2	7,3	5	74	23	31	41,6	39,5	6,5	15,5	—	9	1,5	29,3	1,5	63,5	17,4	0,8	5,1	0,9	1,7	1,9	0,7	1,7	4,9	9,7	990	
H Mergel leem O.N. Amstert (mercaulteem)	15	22	35	63	84	9		34	1,5	1,7	1,1	26	16	10	19,9	64	8,5	11	0,5	5	5	4,5	1,5	80,6	9,7	1	2,7	0,5	0,8	1,3	1	0,4	1,7	2,7	1070	
J Rijnklei Meas (mercaulteem)	18	29	41	63	83	4		65	2,2	3	1,5	33	16	17	24,7	71	4	7	0,5	3,5	0,5	11,5	3	77,6	9,2	0,6	3,9	0,5	0,6	1,5	0,6	0,8	2,7	6,6	1085	
K Dierstale klei Tjopde (Luismeren)	43	65	75	84	92	1		76	1,2	4,1	1,4	59	20	39	37	51	1	20	—	21,5	—	6,5	—	72,3	18,1	0,5	2	0,05	0,5	1,5	0,2	0,3	4,6	8,9	1095	
L Kauborvondende klei M.Limburg (Luismeren)	29	54	70	88	94	2		79	1,4	3,5	1,5	47	18	29	30,7	41	3,5	13	20,5	10,5	2,5	9	—	33,2	11,9	0,7	5,4	8,7	2,7	1,7	0,4	1,6	2,3	7,6	1115	
M Vette leem M.Limburg (hulle bovendeem)	37	53	64	85	94	2		88	1,7	4,2	2,6	44	17	27	30,2	55	5,5	18,5	—	12	2	7	—	71	13,1	1,3	4,1	0,6	0,7	1,7	0,6	1,3	3,9	6,9	1015	
N Löss Z.Limburg (mercaulteem)	12	17	30	82	99	1		38	2,2	1,8	0,6	29	17	12	22,3	59	8	8	16	3,5	3,5	2,5	—	67,5	7,7	0,7	2,5	7,8	1,3	1,4	1	0,2	1,3	2,4	1110	

LEGENDA

- 1. deeltjes kleiner dan 2 µm in procenten*
- 2. deeltjes kleiner dan 10 µm " "
- 3. deeltjes kleiner dan 20 µm " "
- 4. deeltjes kleiner dan 45 µm " "
- 5. deeltjes kleiner dan 100 µm " "
- 6. deeltjes kleiner dan 250 µm " "
- 8. specifiek oppervlak (m²/g)
- 9. verhouding specifiek oppervlak-deeltjes kleiner dan 10 µm
- 10. vochtadsorptie bij 80% relatieve vochtigheid in procent
- 11. lengtediatie bij 75% relatieve vochtigheid uitgaande van een gedroogd product in procenten
- 12. vloeigrens in procenten
- 13. uitroigrens in procenten
- 14. plasticiteitsindex in procenten

GRANULAIRE-ANALYSE

- 15. vochtgehalte bij een Pfefferkornstuike hoogte van 15 mm in procenten
- 16. Kwartisgehalte in procenten
- 17. veldspaatgehalte in procenten
- 18. micagehalte in procenten
- 19. calciet- en Dolomietgehalte in procenten
- 20. kaoliniegehalte in procenten
- 21. chlorietgehalte in procenten
- 22. gehalte aan intermediaat in procenten
- 23. diversen in procenten

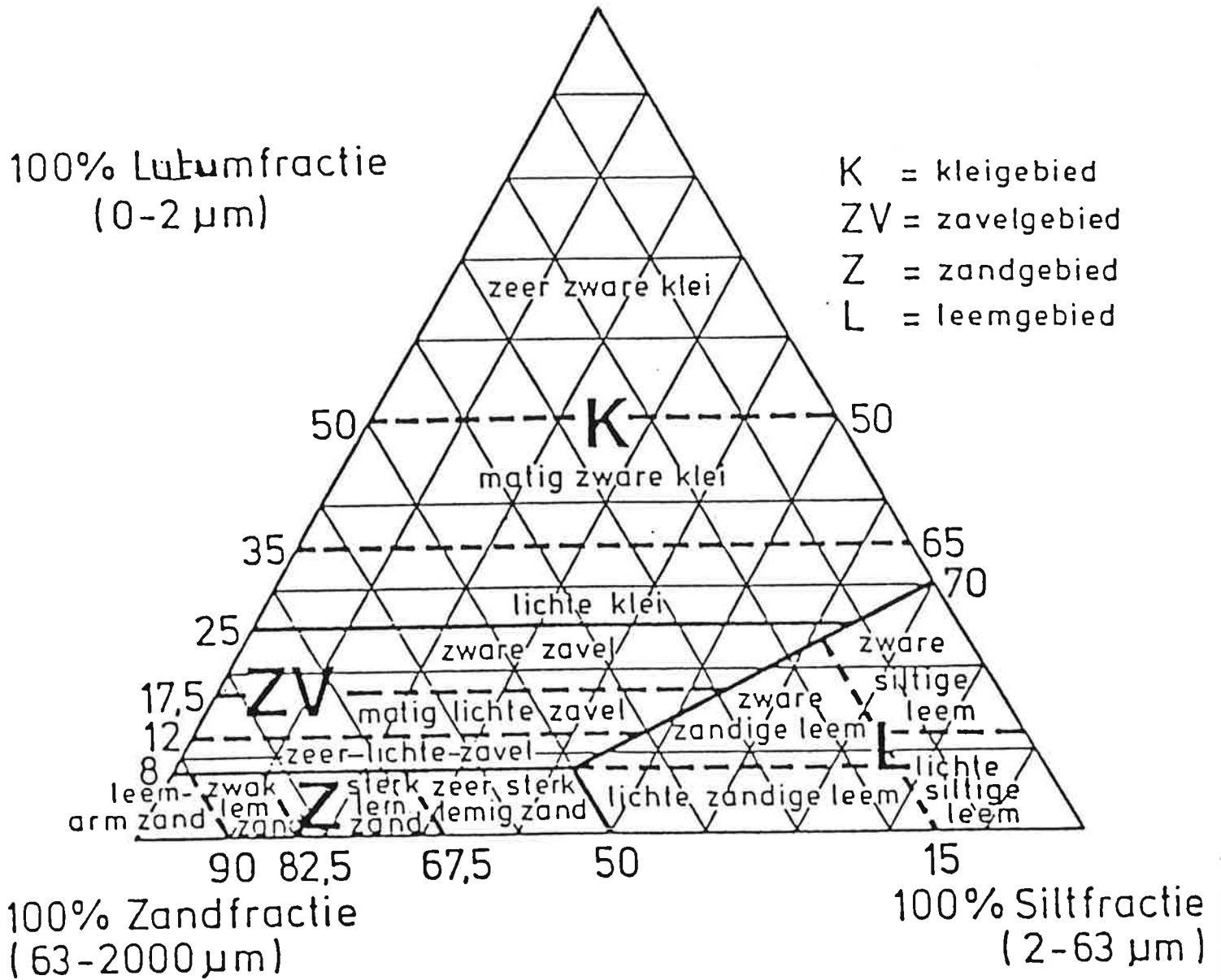
MINERALOGISCHE SAMENSTELLING

- 25. SiO₂ -gehalte in procenten
- 26. Al₂O₃ -gehalte in procenten
- 27. TiO₂ -gehalte in procenten
- 28. Fe₂O₃ -gehalte in procenten
- 29. CaO -gehalte in procenten
- 30. MgO -gehalte in procenten
- 31. K₂O -gehalte in procenten
- 32. Na₂O -gehalte in procenten
- 33. Organische stofgehalte in procenten
- 34. Gloeiverlies in procenten
- 35. Droogkrimp in procenten
- 36. De temperatuur waarbij een bakkrump van 2% optreedt

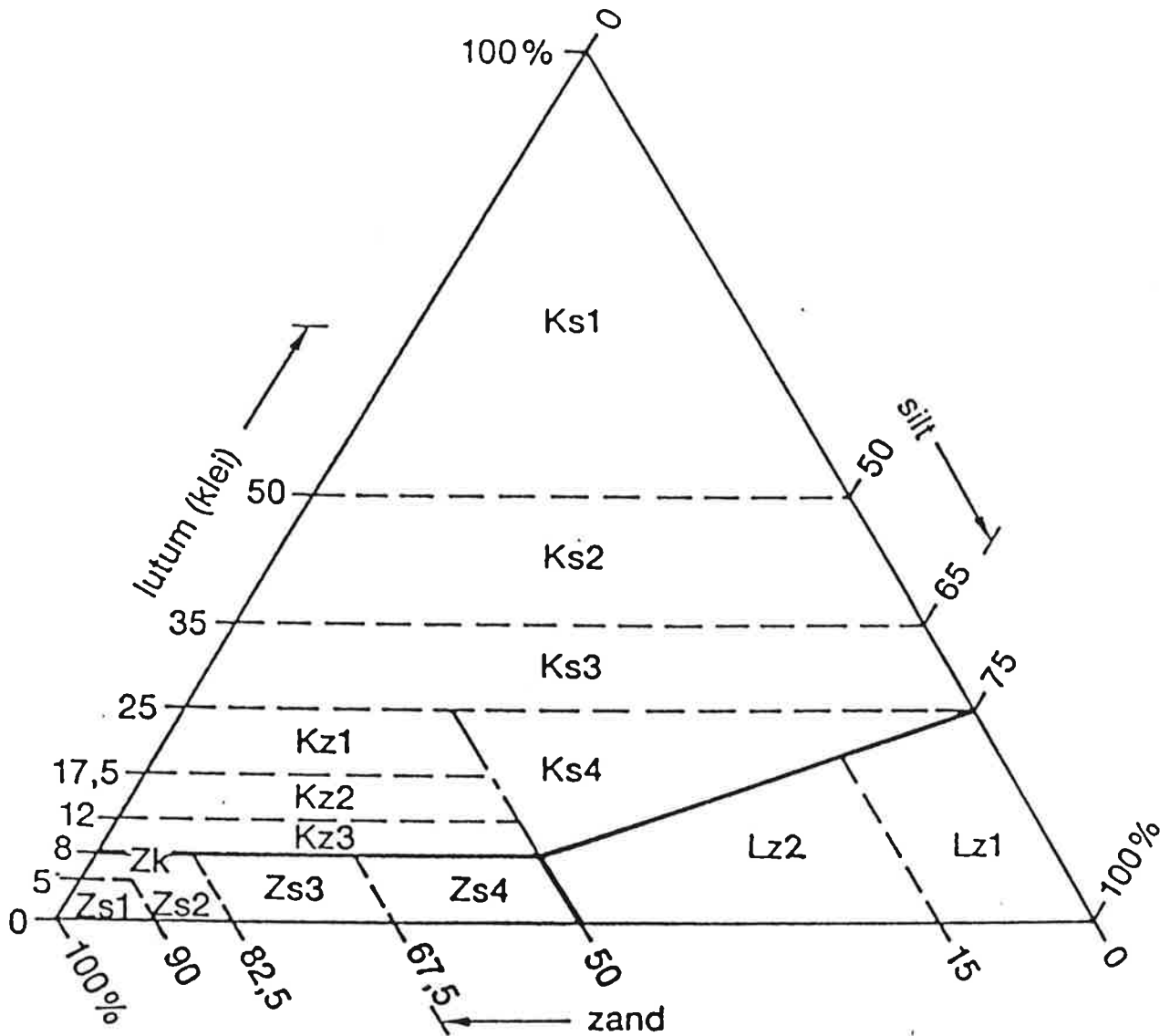
CHEMISCHE SAMENSTELLING

ATTERBERG-WAARDEN

* Alles betrokken op droge stof

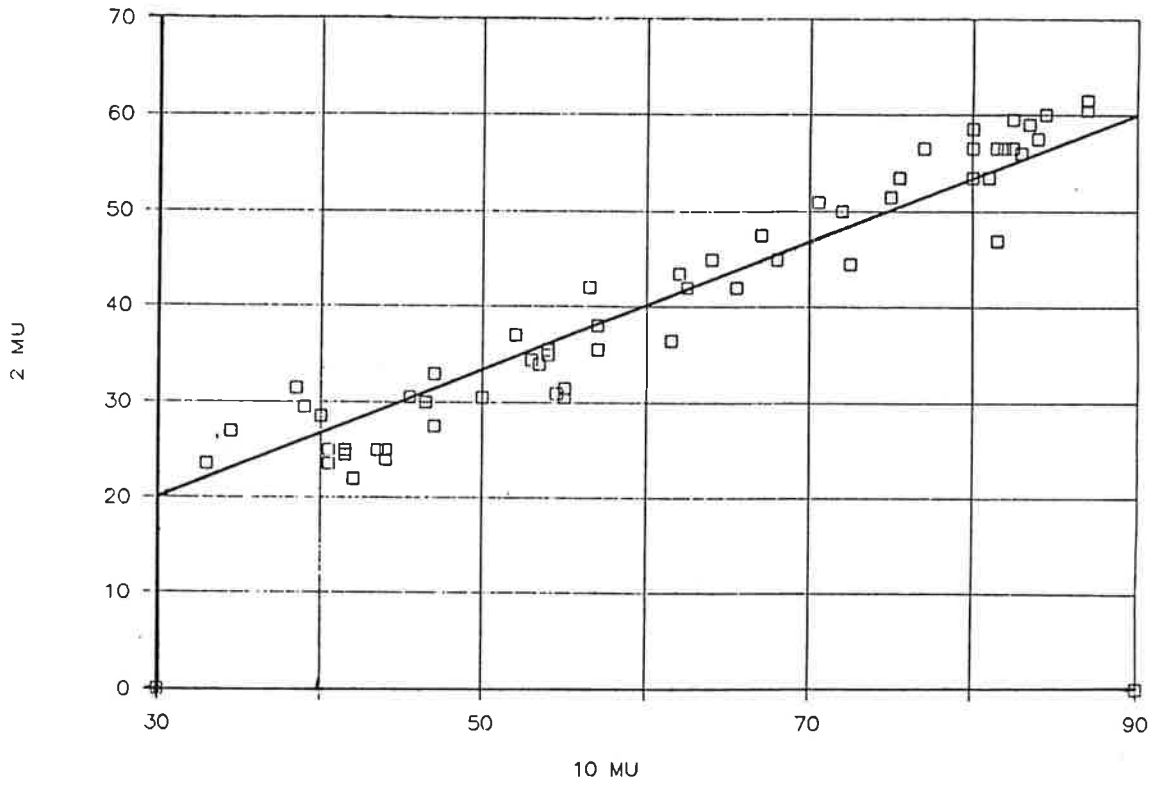


figuur 1 - Klassieke indeling van grondsoorten naar de korrelgroottefracties lutum - silt - zand.

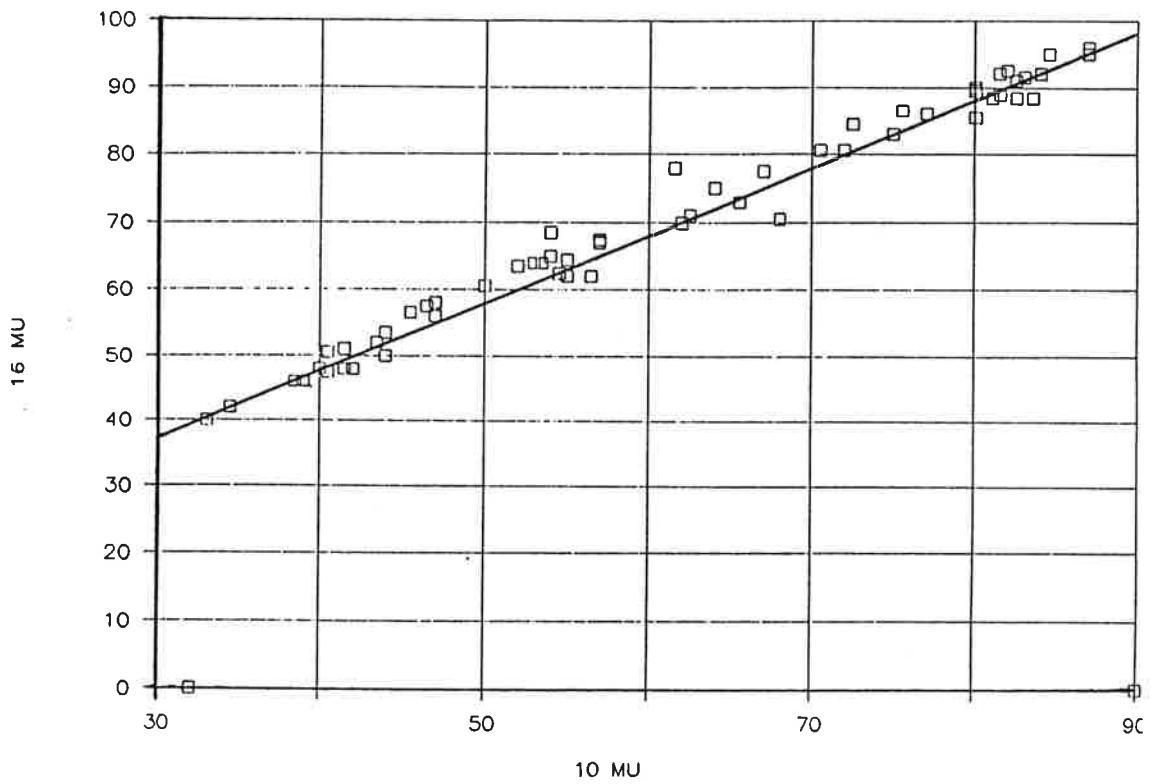


- | | | | |
|-----|----------------------|-----|----------------------|
| Ks1 | klei, zwak siltig | Lz1 | leem, zwak zandig |
| Ks2 | klei, matig siltig | Lz2 | leem, sterk zandig |
| Ks3 | klei, sterk siltig | Zk | zand, kleilig |
| Ks4 | klei, uiterst siltig | Zs1 | zand, zwak siltig |
| Kz1 | klei, zwak zandig | Zs2 | zand, matig siltig |
| Kz2 | klei, matig zandig | Zs3 | zand, sterk siltig |
| Kz3 | klei, sterk zandig | Zs4 | zand, uiterst siltig |

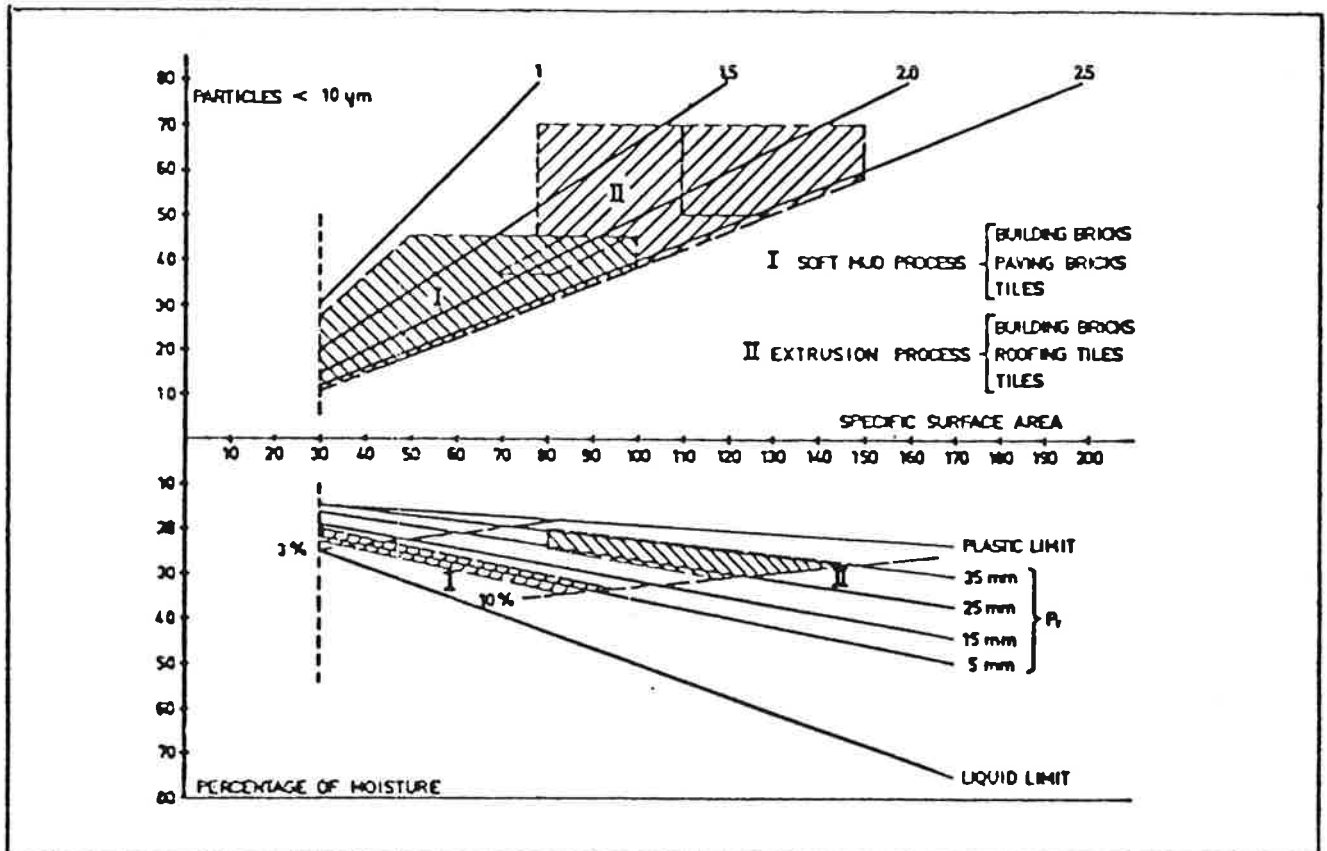
figuur 2 - INDELING VAN DE LUTUM-SILT-ZANDDRIEHOEK
 volgens ontwerp NEN 5104



figuur 3 - verband tussen de deeltjesfracties $< 2 \mu\text{m}$ en $< 10 \mu\text{m}$



figuur 4 - verband tussen de deeltjesfracties $< 10 \mu\text{m}$ en $< 16 \mu\text{m}$



figuur 5 - Relatie tussen klei-eigenschappen enerzijds en vochtgehalte, specifiek oppervlak en deeltjesgrootteverdeling anderzijds.

figuur 6 - Relatie tussen klei-eigenschappen en het specifiek oppervlak
BRON: TCKI

