

TNO-rapport  
HAM-RPT-00079

## Onderzoek naar mogelijke toepassingen van suikerbietentarra

TNO Technisch Physische  
Dienst TU Delft

Contactpersoon  
Ing. J. van der Zwan

De Wielen 6  
Postbus 595  
5600 AN EINDHOVEN

Telefoon 040 265 0100  
Fax 040 244 9350  
E-mail jvdzwan@tpd.tno.nl

Datum  
28 juni 2000

Auteur(s)  
Ing. J. van der Zwan

Gecontroleerd door  
A.H. de Vries

Goedgekeurd door  
Dr. ir. R.A. Terpstra

Projectnummer  
008.01741/01.01

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

Aan  
Suiker Unie, Centrale Organisatie  
secr. Agro Industrieel Complex Dinteloord  
Postbus 100  
4750 AC Oud Gastel

Terca Baksteen B.V.  
Postbus 144  
5300 AC Zaltbommel

©2000



## Inhoud

1	Samenvatting en conclusies .....	3
2	Inleiding .....	6
3	Evaluatie van de toepassingsmogelijkheden van de suikerbiettarra.....	9
3.1	Beschrijving suikerbiettarra.....	9
3.1.1	Algemeen.....	9
3.1.2	Keramisch technologische beschrijving op basis van diverse analyses .....	12
3.2	Evaluatie van de toepassingsmogelijkheden van de suikerbiettarra. ....	15
3.2.1	Een beknopt overzicht van knelpunten.....	15
3.2.1	De opzet van de evaluatie.....	17
3.3	Beslissingsmatrix toepassing.....	18
3.4	Toelichting op de beslissingsmatrix toepassingen .....	19
3.4.1	Toepassing in de bouwkeramiek .....	19
3.4.2	Toepassing voor de dijkbouw.....	23
3.4.3	Toepassing in de wegebouw.....	24
3.4.4	Toepassing in overige industrietakken .....	25
3.4.5	Toepassing van kleien na een bewerking .....	25
4	De knelpunten rond het gebruik en toepassing van de suikerbiettarra, en de mogelijke oplossingen. ....	27
4.1	Algemeen.....	27
4.2	Het verbeteren van de heterogeniteit van de tarra op depot, (‘optimalisering 0-situatie) .....	28
4.3	De ontwatering van het slib en de suikerbiettarra.....	28
4.4	Verlaging van het gehalte aan organische stoffen .....	29
4.5	Slotevaluatie, conclusies en aanbevelingen.....	30
5	Literatuur.....	34
6	Ondertekening.....	36
7	BIJLAGE.....	37

## 1 Samenvatting en conclusies

Dit rapport beschrijft de mogelijke toepassingen van de klei die na het was- en zuiveringsproces bij de suikerfabriek van de Suiker Unie resteert en wordt opgeslagen. De in het kader van dit TNO-project uitgevoerde analyses bij het T.C.K.I. worden vergeleken met eerdere analyses die aan dezelfde kleimassa zijn uitgevoerd door een mogelijke afnemer van de klei, Terca B.V., en door SGS EcoCare BV en HAS Kennistransfer.

De rapportage geeft na een evaluatie aan waar potentiële toepassingsmogelijkheden liggen. Er worden geen uitvoerige bedrijfseconomische analyses gepresenteerd en ook geen schattingen van potentiële afzetmarkten.

Conform de bij de opdrachtverlening vermelde aanvulling gaat deze rapportage in op:

- de voorgestelde toepassingsmogelijkheden en hun kansrijkheid
- de benodigde toevoegingen om tot een betere geschiktheid voor een keramisch technologische en eventueel andere toepassing te komen
- mogelijk procesgerelateerde problemen bij de Suiker Unie met het oog op verbetering van de kleikwaliteit
- oorzaken en oplossingen voor al eerder gesignaleerde problemen rond de plasticiteit van de klei.

In deze bureaustudie wordt geen aandacht besteed aan milieuaspecten rond de suikerbietentarra. De betreffende kleimassa staat reeds jaarlijks onder controle bij SGS EcoCare BV, en er wordt voor deze aspecten dan ook naar de conclusies en aanbevelingen van dit bureau gewezen.

In het in dit rapport gepresenteerde overzicht wordt onderscheid gemaakt tussen:

- het gebruik c.q. toepassing van de delfstof klei in haar 'pure' ongezuiverde vorm
- het gebruik van kleien na een keramisch technologische bewerking tot een veelal bouwkeramische grondstof, of (eind-)product
- het gebruik van gezuiverde kleimineralen vanwege enkele specifieke eigenschappen van deze mineralen

Uit de vele analyses die aan de jaarlijks groeiende hoeveelheid bietentarra op het depot zijn uitgevoerd komen telkenmale dezelfde knelpunten naar voren:

- De klei (tarra) is in zijn algemeenheid te nat bij 'aflevering'
- De tarra bevat te veel humus, waardoor de plasticiteit, het vormgevingswatergehalte en het drooggedrag nadelig beïnvloed wordt.
- De massa is te heterogeen, te weinig constant in eigenschappen over het gehele kleidepot.
- Er is geen helderheid omtrent de *precieze* samenstelling van de suikerbietentarra (mineralogisch, chemisch, granulometrisch)
- Een te hoog waterbindend vermogen van de klei.

Keramisch technologisch is de bietentarra in zijn huidige vorm nagenoeg ongeschikt, en alleen in zeer geringe hoeveelheden in mengsels te gebruiken. Qua korrelgrootteverdeling en enige andere aspecten is de bietentarra vergelijkbaar met een normale klei. De grondstofeigenschappen, en zijn technologische eigenschappen bij verwerking, vormgeving, drogen en bakken worden evenwel in extremo beïnvloed door het (te) hoge organische gehalte in de klei.

Voor wat betreft de mogelijke afzet in dijkbouw kunnen wij aansluiten bij de conclusies van SGS EcoCare BV en HAS Kennis Transfer van juni 1997.

De vroegere en ook de recente analyses aan de suikerbietentarra tonen aan, dat de kleimassa in principe geschikt is voor dijkbouw. De vraag naar kleien voor dijkbouw is echter in de tijd zeer sterk wisselend, en na de recente grote vraag afnemend.

De experimenten die zijn gedaan aan de bietenklei om door middel van een toevoeging van flocculanten de klei te ontwateren hebben onvoldoende resultaat. Het water waarin de bietenklei zich bevindt tijdens de verwerking en de zuivering is tamelijk zuur. Dit zure karakter heeft een sterk bufferende werking op de massa, en toevoeging van kalk en of andere basische componenten zal alleen bij sterke overses effect ressorteren. Een goede ontwatering en spoelen van de klei bij het omwerken en 'op dijk zetten' kan ook hier een verbetering betekenen van de verwerkingsmogelijkheden van de kleimassa.

In de wegebouw wordt klei toegepast als ophoog- en afdek materiaal. In de ons ter beschikking staande literatuur worden aan deze kleien geen expliciete eisen gesteld. Een nadere oriëntatie op dit gebied is noodzakelijk.

Grote hoeveelheden zullen echter niet kunnen worden afgezet.

De opbrengst zal laag zijn. Transportkosten zullen bepalend zijn voor de afzet en omzet.

Andere industriële toepassingen zijn er vrijwel niet. Hoewel wij niet beschikken over een complete analyse op alle belangrijke aspecten die voor andere bedrijfstakken noodzakelijk kunnen zijn, lijkt de klei gezien de veelal gewenste dan wel vereiste hoge zuiverheid ongeschikt voor welke andere toepassing dan ook.

Toepassing na een bewerking in een oven lijkt wel mogelijk te zijn. Echter de investering die hiervoor noodzakelijk is zal hoog zijn en zal door de aanbieder moeten worden opgebracht. De afzet van bewerkte materialen / grondstoffen zal nooit het totale aan te bieden volume kunnen omvatten. De techniek is voldoende bekend. Echter, een marktstudie is vereist.

In een uitvoerige bijlage wordt achtergrondinformatie gepresenteerd over kleien en hun industriële toepassingen in de breedste zin van het woord.

## Conclusies

De bulktoepassing van de suikerbietentarra zal in de bouwkeramische industrie moeten liggen.

Daarvoor zullen echter de klei moeten worden gezuiverd van het in de massa aanwezige organische materiaal. Gezien de vele analyses en de praktijkervaringen is het duidelijk, dat de huidige bietentarra ongeschikt is voor direct gebruik in bulktoepassingen.

De geschikte technologie om op grote schaal het organische materiaal uit de kleimassa te verwijderen is echter nog niet gevonden. De door HAS Kennis Transfer reeds uitgevoerde experimenten op laboratoriumschaal en pilotschaal laten zien, dat het verwijderen van ongewenste verontreinigingen op micro-schaal uiterst gecompliceerd is.

Het meest voor de hand liggend is verdere grootschalige experimenten met omwerken en 'op dijkzetten' van de bietentarra op het grote depot, waarbij in de tijd twee knelpunten kunnen worden verholpen: de massa wordt langzaam ontwaterd, en wellicht ook minder 'zuur' en het is mogelijk de organische stof in de bietentarra langzaam aan te mineraliseren.

Toepassing in de dijkbouw is onder voorwaarden mogelijk.

Gezien de huidige ontwikkelingen in de dijkbouw lijkt een redelijke afzet op het moment dat de klei ter beschikking komt twijfelachtig.

Voor een aantal specifieke toepassingsmogelijkheden zal nader onderzoek moeten worden verricht.

Wellicht is het zinvol om te onderzoeken of de kleimassa bacteriologisch te enten om zodoende de klei versneld te laten 'rijpen', en beter geschikt te maken voor een latere toepassing.

## 2 Inleiding

Eind november 1999 heeft Terca BV contact gezocht met TNO TPD Eindhoven met betrekking tot de mogelijke verwerking van de afvalklei van de Suikerfabriek te Dinteloord, de Suiker Unie, tot bouwkeramische producten. Deze afvalklei ontstaat bij de eerste verwerkingsstap van de aangevoerde suikerbieten op het fabriekscomplex te Dinteloord. Hierbij worden de suikerbieten schoongemaakt waarbij de meegevoerde klei en zand wordt verwijderd via een aantal processtappen.

Daar de meegevoerde grond niet kan worden teruggevoerd naar de landerijen waarvan zij afkomstig is, wordt de klei o.a. via een bezinkingsfase opgeslagen.

Na het eerste contact heeft een bespreking plaatsgevonden op 16 december 1999 bij TNO TPD Eindhoven, gevolgd door een tweede overleg op 17 januari 2000 te Dinteloord waar de afdeling Keramische Technologie van TNO TPD een eerste concept onderzoeksvoorstel presenteerde.

Op basis hiervan is, met verwerking van het commentaar van Terca en de Suiker Unie op 18 januari 2000 een offerte uitgebracht aan de Suiker Unie waarin TNO TPD een onderzoek aanbood onder de titel "Evaluatie van een bietenklei op mogelijke toepassingen" conform het bij de offerte bijgevoegde projectplan.

De voorgestelde werkzaamheden zijn verdeeld over een aantal werkpakketten:

- een deskstudie (analyse) van de huidige kleiproductie

Onder het begrip analyse (van de huidige kleiproductie) verstaan wij hier niet de daadwerkelijke laboratoriumbepalingen, maar wel het bestuderen van de aangeleverde data met betrekking tot de aangevoerde bietenklei, de verwerking en zuivering bij de suiker Unie, de geleverde massa's aan Terca en de data die in Boom (B) zijn genoteerd bij de praktijkproeven aldaar. De bestudering geschiedt o.a. op basis van de op 17 januari jl. verstrekte gegevens en rapportages van de Suiker Unie en Terca.

- de evaluatie van de gegevens op mogelijke toepassingsmogelijkheden van de klei. Bij deze evaluatie zullen niet alleen naar de zuiver keramisch-technologische toepassingen worden gekeken. Indien nodig zal tijdens de werkzaamheden contact worden opgenomen met de suiker Unie en Terca voor eventueel noodzakelijke aanvullende informatie ten aanzien van de gebruikte technologieën en de aangeleverde data.

Per brief en fax verleende de Suiker Unie Centrale Organisatie per 8 februari de opdracht aan TNO TPD. De Suiker Unie handelde in deze ook namens Terca Baksteen BV die als mede belanghebbende als tweede opdrachtgever optreedt.

Bij de opdrachtverlening werden nog de volgende opmerkingen geplaatst:

De Suiker Unie verwacht op basis van vroegere ervaringen en inzichten van TNO uitspraken op het gebied van:

1. de voorgestelde toepassingsmogelijkheden en hun kansrijkheid
2. de eventueel benodigde toevoegingen om tot een betere geschiktheid voor die en andere toepassingen te komen
3. procesgerelateerde problemen bij de Suiker Unie rond de scheiding van biet en klei, met de mogelijke oplossingen
4. oorzaken en oplossingen voor al eerder gesignaleerde problemen rond de plastic-

teit van de klei.

Deze laatste kanttekening van de Suiker Unie verwijst naar reeds eerder en recentelijk uitgevoerd onderzoek van de Suiker Unie in samenwerking met Terca BV naar de mogelijke toepassingen van de bietentarra.

Na de opdrachtverlening heeft TNO TPD een bezoek gebracht aan de Suiker Unie op 14 februari 2000 waarbij de gehele gang van zaken rond de aanvoer van biet + klei is doorgenomen, en de installaties zijn bezichtigd.

Op 14 februari heeft TNO een emmer klei en een emmer zand meegenomen voor enkele aanvullende analyses. Deze analyses naar o.a. de korrelgrootteverdeling, het specifiek oppervlak en de plasticiteit van de klei zijn op 15 februari 2000 ondergebracht bij het Technisch Centrum voor de Keramische Industrie (TCKI) in De Steeg. Daar het TCKI dit soort analyses dagelijks routinematig doet voor de gehele bouwkeramische industrie, en het zeer goed mogelijk is dat een toekomstige steenfabriek op basis van de suikerbietentarra dit soort analyses ook bij het TCKI zal uitbesteden, is vanwege de onderlinge vergelijkbaarheid van de resultaten nu en in de toekomst voor dit laboratorium gekozen.

Op 16 maart 2000 heeft TNO TPD de (voorlopige) onderzoekresultaten van het TCKI ontvangen.

Op basis hiervan is begonnen met de analyse van deze resultaten en de evaluatie van de data door deze te vergelijken met eigen (TNO-)gegevens van vroegere evaluaties, literatuurwaarden en andere gegevens.

Hierbij is niet alleen gekeken naar mogelijke bouwkeramische toepassingen van de onderzochte suikerbietentarra; ook de mogelijkheden voor dijkbouw, en tal van industriële toepassingen zijn onderzocht.

Bij deze evaluatie zijn ook de door Suiker Unie en Terca ter beschikking gestelde eigen rapportages meegenomen.

Deze rapportages van o.a. HAS Kennis Transfer, SGS Ecocare BV, Terca BV en Wienerberger worden in Hoofdstuk 5 nader aangeduid.

Er zijn gedurende de laatste jaren al enkele onderzoeken naar de aard en 'zuiverheid' van de ter beschikking staande kleien cq. suikerbietentarra uitgevoerd.

SGS EcoCare BV en de HAS Kennis Transfer te 's Hertogenbosch heeft uitvoerig onderzoek verricht naar de kwaliteit van de bietengrond in de bergingen, met het oog op het provinciaal beleid voor het werken met secundaire grondstoffen. Hierbij zijn ook de grondbergingen van de suikerfabrieken te Puttershoek en Roosendaal in het onderzoek betrokken.

Mede op grond van de jaarlijkse resultaten van de analyses van de zand- en slibmengmonsters aan de streef- en interventiewaarden heeft HAS Kennis Transfer in juni 1997 een milieutechnologisch onderzoek naar de hergebruiksmogelijkheden van de kleifractie van Suiker Unie Dinteloord uitgevoerd.

Dit onderzoek is qua opzet ongeveer gelijk als het hier beschreven onderzoek van TNO TPD.

HAS heeft echter zeer veel eigen analyses uitgevoerd of laten uitvoeren, en gaat diep in op de milieutechnologische eisen die aan her te gebruiken gronden worden gesteld. Op basis hiervan worden een aantal knelpunten aangegeven. Verder worden een aantal technologieën beschreven om de kleikwaliteit te verbeteren.

TNO TPD gaat op grond van specifieke kennis dieper in op de mogelijkheden en knelpunten die optreden bij een keramisch technologisch hergebruik van de suikerbietentarra, waarbij wordt voortgebouwd op de basis van voornoemde rapporten. De conclusies en aanbevelingen van HAS Kennistransfer en SGS Ecocare worden door ons grotendeels onderschreven.

Na de evaluatie van de suikerbietentarra op grond van haar keramische technologische karakterisering (de gegevens van eerdere onderzoeken, ook die naar de milieutechnologische eigenschappen worden hierbij meegenomen) in hoofdstuk 3, wordt in het daarop volgende hoofdstuk 4 de knelpunten van de massa nog eens kort besproken, en worden mogelijke ingrepen in de massa's of de scheidingstechnologie bij de Suiker Unie kort belicht.



### 3 Evaluatie van de toepassingsmogelijkheden van de suikerbietentarra

#### 3.1 Beschrijving suikerbietentarra

##### 3.1.1 Algemeen

De te beoordelen kleivoorraad bestaat uit een in de loop der jaren opgebouwde kleibult op een terrein van enkele hectaren groot, en met een hoogte van enkele meters. De voorraad op de zogenaamde grondbergingen wordt geschat op 1,25 mln m<sup>3</sup> of ca 2 mln ton klei.

Daar de technologie rond het scheiden van de klei en de bieten gedurende de afgelopen enkel malen is gewijzigd (de klei is steeds 'schoner' geworden, met het oog op een mogelijk toekomstig hergebruik), is de kleivoorraad niet constant in samenstelling.

Feitelijk gaat de beoordeling alleen over die kleimassa's die na de laatste wijziging in scheidingstechnologie, sinds 1995, beschikbaar komt.

Deze hoeveelheden liggen in de orde van grootte van ca 60.000 ton per jaar, welke in een periode van 16 weken gedurende de bietencampagne wordt aangevoerd en na scheiding en zuivering wordt opgeslagen.

Om de gegeven suikerbietentarra te kunnen beoordelen zijn in een aantal tabellen de eigenschappen van deze klei weergegeven in vergelijking met kleien voor bekende toepassingen.

In de gegeven tabellen zijn opgenomen:

- de gewenste, of optimale eigenschappen van diverse bouwkeramische kleimassa's (na menging en homogenisering)
- de bandbreedte van de eigenschappen van de kleiachtige grondstoffen
- de gegevens van de vrijkomende suikerbietentarra die door het TCKI en anderen is onderzocht.

De uit de literatuur afkomstige gegevens worden vermeld voor andere toepassingen dan in de bouwkeramische industrie. Gedacht kan hierbij worden aan dijkbouw, e.d.

De afgelopen jaren zijn in opdracht van de Suiker Unie en Wienerberger / Terca reeds een groot aantal analyses uitgevoerd aan de suikerbietentarra.

De aard van de analyses is soms sterk verschillend: Suiker Unie heeft bij HAS en SGS jaarlijkse onderzoek laten uitvoeren met het oog op mogelijk milieutechnologische consequenties van de klei-opslag. Enkele van deze jaarlijkse analyses kunnen evenwel wel keramisch technologisch geïnterpreteerd worden, hoewel de aard van de analysetechniek (bepaling humus, lutum, calciet en diverse deeltjesfractie) in uitvoer-

ring en resultaten kan verschillen met de gebruikelijke keramisch technologische analyses.

Zo wordt ten behoeve van de keramische technologische analyse de leemfractie (< 10 µm) bepaald zonder voorafgaande verwijdering van het kalk, humus en ijzer, zoals bij ander bodemkundig onderzoek (t.b.v. milieu en dijkverzwaring) wel gebruikelijk is. Bij onderling vergelijk zal met bovenstaande dus in het oog moeten houden, en zal er eventueel gecorrigeerd moeten worden.

Daar het organische materiaal, met name humus zich veelal in de fijnere fracties bevindt leveren de keramisch technologische analyses (TCKI, Terca, Wienerberger) veelal hogere resultaten op bij de leem- en lutumfractie, dan de analyses zoals uitgevoerd door SGS EcoCare BV en HAS.

NB: HAS Kennis Transfer geeft in haar rapportage van juni 1997 (Project 'hergebruik van de kleifraction') ook reeds in vergelijkend onderzoek naar de verschillende stof analyses.

Terca heeft in 1999 een praktijkproef uitgevoerd aan kleimengsels waarin ook de suikerbietentarra is verwerkt.

De noodzakelijke analyses aan de kleien zijn uitgevoerd in het eigen laboratorium van Terca te Tessenderlo (B). Een eerste analyse naar de toepassingsmogelijkheden van de suikerbietentarra is op verzoek van Terca in oktober en november 1998 door het laboratorium van Wienerberger Ziegelindustrie AG.

Daarnaast is er nog in 1997 op verzoek van de suiker Unie door het Technisch Centrum voor de Keramische Industrie in De Steeg een 'Oriënterend onderzoek naar de toepasbaarheid van suikerbietentarra in de grofkeramische industrie uitgevoerd'. Dit laatste onderzoek van het TCKI is recentelijk in het kader van het hier beschreven onderzoek op verzoek van TNO herhaald aan een monster dat in februari 2000 door de Suiker Unie is genomen van de meest recente klei van de campagnes 1995-2000.

De data van HAS, SGS, het Terca laboratorium, het Wienerberger laboratorium en TCKI zijn in principe afkomstig van dezelfde kleivoorraad, maar zijn in tijd over verschillende jaren, 1996 – 2000 bemonsterd. Zoals hiervoor reeds vermeld kunnen de analysemethoden van de verschillende laboratoria enigszins verschillen.

We hebben aldus van doen met een monster en testresultaten welke in tijd, in samenstelling en in analysetechnieken weinig constant zijn.

Zetten wij al deze gegevens tezamen een tabel (voor zover mogelijk gezien de verschillende criteria voor grondstof en bedrijfsmassa) dan krijgen we het volgende beeld (tabel 1, volgende pagina).

TABEL 1

*Eisen van kleigebruikers vergeleken met de eigenschappen van de tarra*

EIGENSCHAP	DIVERSE ANALYSES*					EISEN GEBRUIKERS	
	Terca 1	TCKI '97 2	Wienenb. 3	TCKI '00 4	SGS EcoCare 5	GROFKER. INDUSTRIE	DIJKBOUW
<b>GRANULOMETRIE</b>							
< 2 um (lutum)	34.0		36.3	23.6	10 - 21 - 15 - 28	max 54	min 20
< 10 um (leem)	49.0	47.6	ca 50	40.1		8 tot 70	min 50
< 16 um				47.0	19 - 31 - 27 - 43		
2 - 20 um	27.0		25.2				
> 20 um	39.0		38.2				
< 63 um			82.8	88.0	57 - 69 - 54 - 76		
63 - 250 um	18.0	19.0	16.6	12.0		max 40	
> 250 um		3.0	0.6	< 1		max 20	
<b>ANDERE EISEN</b>							
org. / humus	4.7	9.7		4.2	10 - 11 - 19 - 15	< 3	< 3
kalk			4.7			< 25	
Fe / Ca		2.7 // 1.5					
schelpen						nihil	
specifiek oppervlak		132		100			

\* Analyses uitgevoerd door:

1. Terca Tessenderlo, gerapporteerd aan AICD in 1997
2. TCKI, maart 1997
3. Wienerberger, november 1998, bietentarra van 1997
4. TCKI, maart 2000 (voorlopige gegevens)
5. SGS EcoCare BV, analyses 1995, 1996, 1997, 1998.

Voor wat betreft de dijkbouw mag geconcludeerd worden, dat de klei in principe (gedeeltelijk) bruikbaar is. (zie echter ook par. 3.4.2)

Wij sluiten ons hierbij aan bij de conclusies van SGS EcoCare BV en HAS Kennis Transfer. Zij verwijzen echter ook naar milieuhygiënische beperkingen van deze grondstof.

### 3.1.2 Keramisch technologische beschrijving op basis van diverse analyses

#### *De deeltjesgrootteverdeling*

Op basis van de korrelgrootteverdeling van het onderzochte kleimonster mag men concluderen, dat de suikerbietentarra in hoge mate vergelijkbaar is met een reguliere productiekleimassa zoals toegepast in de metselbaksteenindustrie en vormgegeven met het handvorm/vormbakprocédé.

Er mag gesteld worden, dat er uitgaande van de korrelgrootteverdeling geen duidelijke belemmering voor reguliere toepassing aanwezig lijkt te zijn.

De fractie fijn zand in de klei (63  $\mu\text{m}$  – 250  $\mu\text{m}$ ) vertoont daarbij een licht verhoogde waarde (analyseresultaat: 32 %), terwijl de fractie grof zand in de klei (> 250  $\mu\text{m}$ ) geheel ontbreekt.

Wienerberger geeft in zijn analyse van de suikerbietentarra aan, dat er vermoedelijk 'iets ontbreekt' in de gehele korrelgrootteverdeling, en wel de allerfijnste fracties (deeltjes kleiner dan 1  $\mu\text{m}$ ). Dit vermoeden is gebaseerd op het verschijnsel van sterke droogscheurvorming onder normale droogomstandigheden, waardoor een gebrek aan binding (fijne fracties, of bepaalde mineralen) wordt verondersteld. Toch wordt er voor het gehalte aan < 1  $\mu\text{m}$  een hoeveelheid van ca 32 – 34 % opgegeven.

De analyse van de zandfractie an sich laat een hoeveelheid van 6 % < 63  $\mu\text{m}$  en ca 1 % < 45  $\mu\text{m}$  zien.

Hieruit kunnen we afleiden, dat de beoogde scheiding bij de Suiker Unie van de zandfractie en kleifracie naar behoren en succesvol verloopt.

Voor strengpersproductie ligt het leemgehalte (fractie < 10  $\mu\text{m}$ ) aan de ondergrens van het verwerkingsdiagram.

Afgezien van een mogelijk gewenste toevoeging ten behoeve van de drooigeenschappen (zie hierna), is een verschraling met zand of andere toeslagstoffen, zoals lava, uit vormgevingsoverwegingen niet gewenst.

In samenhang met het hier onderstaande m.b.t. het hoge humusgehalte, moet worden aangetekend, dat de keramische analyses enigszins vertekend worden door het 'meenemen' van de humus tijdens de bepalingen van het leem- en lutumgehalte.

De absolute cijfers kunnen van de fracties < 2  $\mu\text{m}$  en < 10  $\mu\text{m}$  kunnen derhalve wat lager uitkomen indien op een andere wijze bepaald (wanneer het humusgehalte niet zou zijn 'meegenomen'). Wordt het leemgehalte nog gecorrigeerd voor het hoge gehalte aan humus, dan moet het leemgehalte iets naar beneden worden bijgesteld, waardoor de bietentarra nog verder van de optimale strengperssituatie weg ligt.

### *Het specifiek oppervlak*

Het specifiek oppervlak met een getalswaarde van  $100 \text{ m}^2/\text{g}$  evenals de verhouding tot de fractie  $< 10 \mu\text{m}$ , ligt aan de bovengrens van hetgeen in de Nederlandse bouwkeramische industrie wordt toegepast en wijst op de aanwezigheid van zwellende kleimineralen, en daarmee een betrekkelijk moeilijk drooggedrag van deze kleimassa. Echter ook de grote hoeveelheid humus en/of organisch materiaal in de klei leidt tot een groot specifiek oppervlak. Op grond van talrijke analyses en ervaringsgegevens kan men een schatting geven van de invloed van het humusgehalte op het gemeten specifiek oppervlak. Per procent humus neemt het specifiek oppervlak toe met ca  $6 \text{ m}^2/\text{g}$ . Op grond daarvan is het berekende oppervlak van de kleibestanddelen aanzienlijk geringer, en komt men zelfs uit op een aanzienlijk lagere waarde, tot ca  $40 \text{ m}^2/\text{g}$  voor de kleibestanddelen.

Een eerdere analyse en beoordeling van het TCKI (februari-maart 1997) laat een specifiek oppervlak zien van  $132 \text{ m}^2/\text{g}$ , hetgeen met verwerking van de invloed van het humusgehalte kan worden teruggerekend naar een waterbindend mineraaloppervlak van ca  $70 \text{ m}^2/\text{g}$ .

Beide analyses laten dan een kleimassa zien, die gezien het specifiek oppervlak eerder in aanmerking komt voor vormgeving door middel van handvorm / vormbakprocessen, dan voor extrusie.

### *Het humusgehalte*

Voor deze in de keramische wereld belangrijke eigenschap worden analyseresultaten opgegeven van ca 10 % tot bijna 20 %. (gegevens TCKI en SGS, 1995 – 1998). De recente analyse van het TCKI met een nieuwe meetmethodiek (InfraRood, na verhitting bij  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ ) laat een organisch koolstofgehalte zien van ca 2,4 %, waarmee na omrekening een humusgehalte wordt berekend van ca 4 %.

Ongeacht de mogelijke verschillen in meetmethodiek liggen deze data te hoog voor een voorziene directe toepassing in een keramisch bedrijf. Een bulktoepassing van deze klei moet dan ook in eerste instantie worden uitgesloten.

Het grootste 'gevaar' bij een keramische toepassing van een kleimassa met een (te) hoog organische stofgehalte ligt bij de mogelijke 'opblaasverschijnselen' en een ongewenste verkleuring als gevolg van de reducerende werking van humus in productstapelingen.

Keramische massa's vragen een sterk gelimiteerd maximum in organische stof bij verwerking, drogen en bakken. Dit maximum wordt gesteld op ca 1 % voor gereede, vorm te geven massa's. De in deze massa te mengen afzonderlijke grondstoffen mogen individueel wel een (iets) hoger percentage hebben, maar rekening moet gehouden met het uiteindelijke resultaat.

Uitgaande van een gebruikelijk organisch stofgehalte van 0,7 – 0,8 %, kan berekend worden hoeveel suikerbietentarra maximaal kan worden toegevoegd, uitgaande van een massa met ca 10 % organische stof: slechts enkele massaprocenten!

Vooruitlopend op de nadere beschouwing, kan hier reeds vermeld worden, dat de hier genoemde knelpunten bij toepassing als bulkmasa (verkleuring, opblazen) niet of in aanmerkelijk mindere mate spelen, indien de suikerbietentarra kan worden ingezet bij de bereiding van holle, sterk poreuze geextrudeerde binnenmuurstenen.

De analyses van het Wienerberger-laboratorium laten zien, dat de 'groene' sterkte aanzienlijk hoger is, dan de sterkte na het bakken van een monster bij 880 °C of 960 °C. Ook dit kan worden toegeschreven aan de bindende eigenschappen van humus, welke na verhitting zijn verdwenen, en nog niet zijn gecompenseerd door een begin van sintering van de keramische massa.

#### *De plasticiteit*

De consistentiestabiliteit van bijna 0,5 % per mm Pfefferkornhoogte is gunstig. Dit betekent, dat de massa met betrekking tot haar plasticiteit relatief ongevoelig is voor (kleine) variaties in vochtgehalte tijdens de massabereiding en vormgeving. Echter, het vochtgehalte zelf benodigd voor de vormgeving is extreem hoog: ca 46 % bij 15 mm Pfefferkorn-resthoogte.

De praktijkproeven bij Terca (verslaglegging september 1999 aan de Suiker Unie) met gemengde massa's laten zien, dat – afgezien van het hoge initiële vochtgehalte van de suikerbietentarra – er problemen ontstonden bij het mengsel met het hoogste gehalte aan suikerbietentarra. Dit gehalte bedroeg overigens 'maar' 30 %.

De conclusie van Terca is, dat de extrusiemassa op basis van de gebruikelijke kleien na toevoeging van de tarra 'te plastisch' is. Dit uitte zich o.a. door problemen met de extrusie zelf: een onregelmatige uitgang tijdens het persen.

NB: gezien de andere analyses (humusgehalte, specifiek oppervlak, deeltjesgrootteverdeling en de chemische analyse) komen we na correctie t.a.v het humusgehalte tot de conclusie dat de bietentarra (in het bijzonder de mineralen) niet echt geschikt is voor vormgeving door middel van extrusie! De huidige plasticiteit komt vermoedelijk geheel voor rekening van het hoge gehalte aan grof en fijn organisch materiaal.

#### *De droogeigenschappen*

Er zijn zowel op grond van verschillende analyses voorspellingen gedaan ten aanzien van het drooggedrag, als ook praktijkproeven gehouden.

De vormgegeven massa bevat veel water. Dit water, welke gedeeltelijk 'gebonden' is aan het grove en fijne organische materiaal, zal leiden tot een forse krimp van het product bij het drogen.

Op grond van de verhouding tussen specifiek oppervlak en de leemfractie kan men mogelijke problemen ten aanzien van het drooggedrag redelijk voorspellen.

Deze verhouding ligt voor de direct gemeten analyseresultaten (bron: TCKI) op ca 2.5 tot 2.7, hetgeen wijst op een matig tot kritisch drooggedrag.

Indien gecorrigeerd op het zeer hoge humusgehalte, wordt het specifiek oppervlak van de klei aanzienlijk verlaagd, en komt de verhouding tussen specifiek oppervlak en het gehalte aan deeltjes < 10 mm meer in de buurt van 1, hetgeen wijst op een aanmerkelijk gunstiger drooggedrag.

De praktijkervaringen bij Terca en Wienerberger wijzen op droogscheuren, droogbarsten e.d., ook bij de relatief dunwandige extrusieproducten zoals bij Terca te Tessen-derlo gefabriceerd.

De vraag is, waar deze droogscheuren door ontstaan. Wienerberger wijst op de dilatometrie van de klei, en vermoedt een aandeel illitische kleien in de massa.

De kleimassa zelf bevat weinig kleimineralen: het gehalte aan aluminiumoxide is betrekkelijk laag en er is veel silica. De bindende eigenschappen van het 'zandige' product die vanuit de kleien moet komen zijn niet overvloedig aanwezig. Daarnaast vertoont illiet ook enige swelling en krimp bij vochtopname en droging.

De initiële scheuren die reeds in de producten aanwezig zijn na vormgeving kunnen door droogprocessen worden versterkt en zichtbaar worden.

#### *Overige eigenschappen*

Zie de genoemde knelpunten in de volgende paragraaf.

(het gehalte aan chloriden, zwavelverbindingen en/of sulfaten, de mogelijke niet-toepasbaarheid van de suikerbietentarra en/of het afgescheiden zand op grond van enkele te hoge streefwaarden van in de grond aanwezige bestrijdingsmiddelen of olie)

De chemische analyse van de kleien laat een totaal aan  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  zien van ca 10 %. De klei moet op grond hiervan worden gekarakteriseerd als 'vrij mager', en is dan te vergelijken met min of meer een 'zandige leem'.

Dit is geheel iets anders dan de massa die men in de praktijk leert kennen als 'te plastisch' of min of meer onverwerkbaar! (bij percentages van ca 30 % indien gemengd met andere kleien).

Een probleem voor het vormen van een goed oordeel vormt het ontbreken van een volledige mineralogische analyse.

Zoals hiervoor al gesteld, verduistert het hoge organische aandeel in de massa het zicht op de analysegegevens.

Het specifiek oppervlak, zoals normalerwijze gemeten door het TCKI zou feitelijk moeten worden gecorrigeerd voor het hoge aandeel organische componenten, maar na die correctie, en ook na de wat moeilijker te schatten, maar noodzakelijke correctie op het leem- en lutumgehalte, verkrijgt men getalsmatig een wezenlijk andere klei!

## **3.2 Evaluatie van de toepassingsmogelijkheden van de suikerbietentarra.**

### **3.2.1 Een beknopt overzicht van knelpunten**

De diverse laboratoria die zich tot nu toe met de karakterisering van de suikerbieten-tarra hebben bezig gehouden, komen voor wat betreft de eigenschappen van de klei-massa tot de volgende uitspraken. cq. knelpunten

#### Wienerberger:

- Veel droogscheuren (mineralogie, ontbreken van fijne fracties ?)
- Grote droogkrimp
- Geringe sterkte, met name na eerste sintering; groene sterkte is hoger.
- Zeer hoog vochtgehalte van de uitgangsmassa
- Te veel vocht nodig bij vormgeving
- Uitbloeiverschijnselen na bakken
- Maximale inzetbaarheid als bijmenging: ca 10 %

#### Terca

- Slechts een beperkte bijmenging bij andere kleien mogelijk (praktijk: max. 30 %)
- Zeer hoog vochtgehalte van de uitgangsmassa
- Menging van de massa met 30 % tarra moeilijk
- De tarra is zeer plastisch, problemen met persen
- Sterke droogscheuren bij de massa met 30 % tarra
- Bakken: geen probleem
- Bij eindcontrole: massa met 30 % tarra veel droogscheuren
- Problemen met uitloging

#### TCKI

- Maximale toevoeging, advies: ca 3 %
- Deeltjesgrootteverdeling op zich geëigend voor keramische verwerking
- Beperkende factor: het hoge humusgehalte
- Door ongunstige verhouding van het specifiek oppervlak en de leemfractie mogelijk een matig tot kritisch drooggedrag
- Mogelijk grote bakrimp
- Hoog specifiek oppervlak
- Hoog zwavel- en chloridegehaltem hetgeen gebruik van de massa beperkt
- Mogelijke uitbloeiingen door bijmengingen van zouten, sulfaten, chloriden e.d.
- Advies: gebruik de tarra niet voor metselbaksteen, maar voor binnenmuursteen
- Milieuhygiënische aspecten ?

#### HAS Kennis Transfer en SGS Ecocare BV

- Hoog organisch stofgehalte
- Laag droge stofgehalte
- Te weinig heterogeniteit van de kleifractie in het depot
- De klei van Dinteloord behoort voor wat betreft 'dijkbouw' tot kleicategorie 3
- Voor de zand- en slibmengsmonsters worden voor sommige verbindingen gehalten aangetroffen boven de streefwaarden, en de tarra en het zand zijn daardoor niet toepasbaar op grond van provinciaal beleid (HAS Kennis Transfer, juni 1997)



### 3.2.1 De opzet van de evaluatie

Door de grote hoeveelheden vrijkomende grondstof zal er in eerste instantie gezocht moeten worden naar een bulkafzet. Dit ligt ook uitdrukkelijk in de bedoeling van het AICD te Dinteloord.

Om tot een beslissing te komen voor een mogelijk afzet kanaal zijn de verwerkingsmogelijkheden samengevat in een beslissingstabel (tabel 2).

Hierbij zijn een aantal mogelijke hoofdopties te onderscheiden:

- 1] levering van de vers gedolven klei direct aan andere keramische fabrieken
- 2] levering van gemengde en gehomogeniseerde kleien die voldoen aan de gemiddelde specificaties van bedrijven en die (daardoor) direct te gebruiken zijn, aan keramische bedrijven (steenfabrieken, dakpanfabrieken). We hebben het hier dus over het opzetten van een 'klei-fabriek'
- 3] het bewerken en verwerken van de kleien ter plaatse in een eigen keramisch bedrijf, waarbij in de tabel een aantal mogelijkheden zijn genoemd.

De mogelijkheden genoemd in de beslissingstabel zullen in de volgende hoofdstukken nader worden uitgewerkt.

In hoofdstuk vier wordt dieper ingegaan op mogelijke oplossingen om de geconstateerde knelpunten te verhelpen.

### 3.3 Beslissingsmatrix toepassing

TABEL 2

*Mogelijke toepassingen van de suikerbietentarra van Dinteloord*

	productietechnische mogelijkheid	noodzaak van extra productietechnologische stappen	marktverwachting	kosten indicatie van producten	opbrengst indicatie van producten	noodzakelijk investeringen	afzet in volume klei
<b>BOUWKERAMIEK</b>							
levering klei aan andere ker. bedrijven	ja	nee	X	X	X	geen	X
levering bewerkte / gemengde kleien	ja	ja	XX	X	X	X	XX
(eigen) productie metselbaksteen	ja	ja	X	XX	X	XX	XX
(eigen) productie straatsteen	ja	ja	X	XX	X	XX	XX
(eigen) productie binnenmuursteen	ja	ja	X	XX	X	XX	XXX?
(eigen) productie kleidakpan	ja	ja	X	XX	X	XX	X
<b>DIJKBOUW</b>							
	ja	ja/nee	X	X	X	XX	X
<b>WEGENBOUW</b>							
ophoogmateriaal	ja	?	XX	X	X	X	XX
asfalt	nee						
<b>OVERIGE INDUSTRIETAKKEN</b>							
papierindustrie	nee						
verf- en lakken, coatings	nee						
rubber, plastic, polymeren	nee						
diversen	nee						
<b>TOEPASSING NA BEWERKING</b>							
na calcineren	ja	ja	X	XXX	XX	XXX	X
in nieuwe materialen	ja	ja	XX	XXX	XX	XXX	X
als geëxpandeerde korrels							
in de bouw	ja	ja	XX	XXX	XXX	XXX	XX
in de 'bio-industrie'	ja	ja	XX	XXX	XX	XXX	X
in diversen	ja	ja	X	XXX	XX	XXX	X

### 3.4 Toelichting op de beslissingmatrix toepassingen

#### 3.4.1 Toepassing in de bouwkeramiek

De eisen die gesteld worden aan klei voor de grofkeramische industrie (GKI) hangen duidelijk samen met de werkwijze binnen deze industriële bedrijfstak. Om te homogeniseren wordt in het algemeen een depot gevormd door meerdere kleilagen horizontaal op elkaar aan te brengen en daarna verticaal af te graven. Na het op elkaar brengen van de lagen wordt het depot vaak nog 'omgewerkt'. Dit betekent, dat de samenstelling per individuele laag mag variëren mits het totale depot voldoet aan redelijk nauwe specificaties. Deze specificaties zijn afhankelijk van het te fabriceren product en kunnen variëren per (steen-)fabriek.

Door de GKI zijn eisen geformuleerd voor klei.

De eisen vallen feitelijk uiteen in:

- eisen gesteld aan de gemengde en gehomogeniseerde klei (gereed voor de vormgeving)
- eisen die de bandbreedte weergeven van kleisoorten die in principe geschikt zijn om te kunnen worden toegepast.

Ter verduidelijking het volgende: een belangrijke eigenschap is het leemgehalte. In onderstaande tabel staat dit weergegeven:

TABEL 3

*Eisen ten aanzien van het leemgehalte bij de vormgeving van gemengde bouwkeramische massa's*

<b>LOCATIE EN BEDRIJFSTAK</b>	<b>leemgehalte als fractie &lt; 10 µm .</b>
baksteenindustrie grote rivierengebied	ca 40 - 42 %
baksteenindustrie in Noord Brabant, leemgebied	ca 22 - 30 %
strengpersproductie	ca 40 - 55 %
kleidakpannenindustrie	ca 50 - 57 %
Suikerbieten tarra	ca 40 - 50 %

Door de GKI is gesteld, dat in principe alle klei met een gehalte < 10 µm tussen ca 8 tot 70 % geschikt is om (gemengd) te worden gebruikt in de grofkeramische industrie. De bovengrens is gegeven omdat bij hogere percentages verwerking (homogenisering) niet goed uitgevoerd kan worden.

Bij een lagere ondergrens is er feitelijk geen sprake meer van leem maar van zand. In bovenstaande tabel zijn dus de eisen geformuleerd waaraan het gemengde product dient te voldoen. Van deze eisen mogen de individuele kleisoorten of oppervlakte-delfstoffen afwijken, mits het gemengde eindproduct hieraan voldoet. Het totale eisenpakket voor de kleiachtige oppervlakte delfstoffen worden hieronder, weergegeven.

TABEL 4

*Eisen ten aanzien van ongemengde keramische grondstoffen en kleisoorten*

EIGENSCHAP	GRENZEN
fractie < 10 µm	8 – 70 % m/m
fractie > 250 µm	max. 20 % m/m
fractie 63 – 250 µm	max. 40 % m/m
organisch stofgehalte in gewichtsprocent	< 3 % m/m
kalkgehalte (CaCO <sub>3</sub> )	< 25 % m/m
aanwezigheid van schelpen	nihil
productie technische eis t.a.v. laagdikte	> 0,5 meter

Hierbij is het volgende op te merken:

- De fractie > 250 µm is begrensd i.v.m. de gewenste kwaliteit van het keramisch product: een hoger percentage zorgt voor te grote brosheid, welke in het bakproces niet door temperatuurverhoging kan worden gecorrigeerd.
- Het organisch stofgehalte hangt samen met het bakgedrag van de compacte ovenstapeling. Overschrijding brengt het risico van smeltvorming na reductie met zich mee.
- Het kalkgehalte is begrensd tot 25 %, al moet deze begrenzing niet al te scherp worden beoordeeld. Het kalkgehalte bepaalt samen met het ijzer gehalte de bakkleur.
- Heel belangrijk is de afwezigheid van schelpen en schelpresten. Schelpkorreltjes kunnen het afspringen van stukjes gebakken steen veroorzaken en daardoor tot aanzienlijke schadegevallen leiden.
- De dikte eis volgt uit overwegingen van praktische aard.
- Het eventueel voorkomen van grove verontreinigingen in de klei (kalkpoppen e.d.) maakt extra zware maalapparatuur, wals of kollergang soms noodzakelijk; vooral bij binnendijkse kleien.

Uit de bovengenoemde voorwaarden voor toepassing in de grofkeramische industrie blijkt dat de suikerbietentarra niet zonder meer te verwerken is in de bouwkeramische industrie. Om de suikerbietentarra te kunnen verwerken zal deze intensief moeten worden voorbereid, gemengd en gehomogeniseerd (zie genoemde knelpunten), maar daarnaast zal het gehalte organisch materiaal flink moeten worden verlaagd.

Een directe levering van de onbewerkte klei aan bouwkeramische bedrijven is alleen aantrekkelijk als mengklei bij eigen massabereiding. Voorwaarde hierbij is dat de klei in verhouding tot andere aan te voeren kleien goedkoop is. Tevens mag de afstand tot het productiebedrijf niet te groot zijn i.v.m. te hoge transportkosten. De aan te leveren grondstof dient van constante kwaliteit te zijn. Een nadeel bij de productie is dat deze tarra meer vormgevingswater bezit en een intensievere voorbereiding vraagt en daardoor meer energie zal verbruiken in het productieproces.

Gezien de nadelen van de toepassing van deze klei in het productieproces en de jaarlijkse geringe afzet lijkt deze toepassing niet haalbaar.

In geval van een mogelijke verkoop van de pure, direct gewonnen klei als grondstof aan andere bedrijven, zullen de fabrikanten veelal niet voor deze klei kiezen.

#### Levering van bewerkte klei aan bouwkeramische bedrijven.

Hiervoor zal bij de winlocatie een eigen massabereidingsfabriek moeten worden gebouwd. Dit bedrijf zal, volgens specificatie van de afnemers gereede massa's moeten leveren tegen een kostprijs die gelijk of lager is dan de huidige gebruikte grondstof. Dit betekent dat voor de verwerking tot een bruikbare massa er:

1. een continue grote aanvoer van mengkleien en zand (indien niet direct uit de zandwinning beschikbaar of bruikbaar) moet plaatsvinden. Voor de verwerking tot een bruikbare massa moet men rekening houden met een mengverhouding van de suikerbietentarra vs. eventuele mengkleien e.a. van 2 : 1 tot mogelijk zelfs 1 : 1. Met andere woorden: een kleifabriek moet in het meest extreme geval tweemaal het volume van de af te graven gronden kunnen verwerken. De aanvoer van de grote hoeveelheden menggrondstoffen moet verzekerd zijn, en zal over niet al te grote afstanden moeten geschieden, gezien de transportkosten.
2. Het alternatief is het opwerken van de bietentarra door een aangepaste technologie bij de 'kleibereiding' in de fabriek van de Suiker Unie, of door een additionele menging, homogenisering, ontwatering en zuivering door het verwijderen van het teveel aan organisch materiaal.

#### Eigen productie van binnenmuursteen, metselbaksteen en/of straatsteen

Uitgaan de van bovengenoemde optie is het ook te overwegen om de productie van binnenmuursteen of metselsteen in een eigen te bouwen fabriek te doen plaatsvinden. Dit bedrijf zou dan bij de winlocatie geplaatst moeten worden.

De Nederlandse baksteenindustrie is in het algemeen nogal conservatief en weinig geneigd tot innovaties van nieuwe producten. Een belangrijk gedeelte van de productie van keramische bouwmaterialen werd vroeger als binnenmuur producten geleverd. Echter, de Nederlandse industrie heeft dit deel van de markt bijna geheel verloren door haar specialisatie op het gebied van de gevelsteen. De markt voor binnenmuur- en scheidingswanden is nu vrijwel geheel in handen van andere niet-keramische leveranciers. De verwerking van suikerbietentarra in "nieuwe" keramische producten op een nieuwe markt heeft mogelijk wel een toekomst. Te denken valt hierbij aan binnenmuurproducten zoals blokken, lichtgewichtstenen, holle stenen, geschuimde producten e.d.

Door deskundigen op het gebied van binnenhuisklimaat wordt aangegeven dat keramisch materiaal een substantieel voordeel ten opzichte van concurrerende materialen op het gebied van een beter binnenmilieu kunnen behalen. Deze verbetering van het binnenmilieu zou een kans kunnen bieden voor keramische materialen. De onderzoeken op dit gebied zijn echter nog niet afgerond. De hier bedoelde binnenmuurproducten vragen veelal een wat vettere massa dan gebruikelijk in de Nederlandse metselbaksteenindustrie.

De gebruikelijke vormgevingstechniek voor binnenmuurproducten is het strengpers-procédé of extrusie. Vormbakpersen voor metselbaksteen zoals die veelal in Nederland gebruikt worden, werken met een in verhouding slappe massa. Strengpersen is een techniek die met name in het buitenland veel wordt toegepast. Hierbij wordt een stijve kleimassa onder een hoge druk uit het mondstuk geperst. Het gevormde product bevat veel minder water en is in de gevormde toestand goed handelbaar. Hierdoor is het soms mogelijk direct te stapelen op de ovenwagen. Vooral bij toepassing van lage snelbakovens is hier met een geringe personeelsbezetting een grote productie te realiseren. Tevens is zo'n proces energievriendelijk omdat er minder water verdampt moet worden. Het direct drogen in droogkamers vervalst. Deze productietechnieken worden in het buitenland veelvuldig toegepast en hoeven dus bij de ontwikkeling van een nieuwe productieunit geen problemen op te leveren. Productietechnisch zijn hier dus goede mogelijkheden aanwezig.

De lopende productiekosten kunnen in verhouding tot de productie van metselbaksteen lager zijn. Dit wordt vooral bereikt door een hoge mate van automatisering en een beperking van de energiekosten.

Suikerbietentarra zou hiervoor dus als een goed uitgangspunt / basisgrondstof kunnen dienen. Bepalend voor de toepassing van andere producten of geheel nieuw ontwikkelde producten is de acceptatie door de bouwmarkt. Bij elke nieuwe toepassing zal een gedegen marktonderzoek nodig zijn.

Milieu is wel een belangrijk marketing-instrument geworden; een product of materiaal dat op grond van milieu-overwegingen beter scoort dan een ander, ligt beter in de markt. Het begrip milieu is hier naast het aspect van het product ook nog te vertalen als een verbeterd binnenmilieu voor de bewoner.

### 3.4.2 Toepassing voor de dijkbouw

Regionale verschillen in de kleihoedanigheden en de belastingen van oevers en dijken hebben geleid tot verschillen in beoordeling en gestelde eisen ten aanzien van de bruikbaarheid van de klei in waterbouwkundige constructies. In elk geval geldt, dat de materiaaleisen slechts indirect verband houden met de relevante gedragseigenschappen van de klei. Klei voor dijkbouw dient gerijpt te zijn en een niet te hoog vochtgehalte te hebben. Dit is vereist om scheurvorming in de aangebrachte klei te beperken. Indien daar niet aan voldaan wordt dient de klei zekere bewerkingen te ondergaan om een voldoende laag vochtgehalte te verkrijgen.

In de reeds eerder genoemde rapportages van HAS wordt uitvoerig ingegaan op de eisen die men aan de kleikwaliteit ten behoeve van de dijkbouw stelt.

Zij geven hier in onderstaande tabel een summier samenvatting op basis van enkele kleikeramische eigenschappen van de suikerbietentarra.

TABEL 5

*Eisen gesteld aan klei te gebruiken in de dijkbouw, en de analyses van de suikerbietentarra (div. analysedata 1995 – 2000, SGS, TCKI, Terca, Wienerberger)*

EIGENSCHAP	Dijkbouw		Suikerbieten tarra
	eenheid	grenzen	div. analyses
zandgehalte, fractie > 63 µm	% m/m	0 - 40	20 - 50
lutumgehalte, fractie < 2 µm	% m/m	20 - 35	10 - 35
fractie < 16 µm	% m/m	40 - 60	20 - 45
org. stofgehalte in gew. %	% m/m	< 5	5 - 20

De geformuleerde eisen zijn ruim, en leiden niet altijd tot een klei die gebruikt kan worden. Gecombineerd echter met kennis betreffende de herkomst is de materiaalkundige in staat om de geschiktheid te beoordelen.

Bedacht dient te worden, dat er ook in de dijkbouw een zekere differentiatie bestaat in eisen ten aanzien van de te gebruiken materialen, cq. gronden.

De eisen ten aanzien de kleien voor de kern van de dijk, het binnentalud en het buitentalud e.d. verschillen.

Wij sluiten aan bij de reeds eerder door de SGS vermelde knelpunten ten aanzien van de suikerbietentarra:

- Het organische stofgehalte is te hoog.
- De klei is vanaf depot erg (te) nat ('het droge stofgehalte is te laag')
- Zoals reeds eerder genoemd, de klei op het depot is niet erg homogeen

Gezien de eigenschappen, korrelgrootteverdeling e.d. lijkt een gedeeltelijke afzet van de klei van de locatie Maasbommel voor dijkbouw denkbaar. Niet alle kleien op de locatie zijn echter geschikt. Menging, homogenisering en ontwatering van de bieten-tarra op het kleidepot lijkt noodzakelijk.

De vraag naar kleien voor dijkbouw is echter in de tijd zeer sterk wisselend, en in de nabije toekomst na de huidige grote vraag afnemend.

### 3.4.3 Toepassing in de wegebouw

#### *Toepassing als ophoog materiaal:*

Klei toegepast als ophoog materiaal kan in een aantal gevallen in de wegebouw worden toegepast. Het betreft de toepassing in de aardebaan en toegepast als afdeklaag. In beide gevallen zijn de eisen die gesteld worden aan het materiaal niet hoog

De *aardebaan* is dat gedeelte van het weglichaam dat als functie heeft de verhardingsconstructie (m.i.v. de fundering) zowel verticaal als horizontaal te steunen (draagvermogen).

Daarnaast speelt ook de hoogteligging van een weglichaam een belangrijke rol. Dit houdt in dat het toe te passen materiaal een grote weerstand tegen samendrukking moet hebben. Als afschermdende maatregelen getroffen worden kunnen in principe naast 'schone' ook 'vuile' materialen toegepast worden. Geschikte materialen voor dit constructieonderdeel zijn; zand, (stevige) klei en keramische korrels.

De *afdeklaag* moet er voor zorgen dat het weglichaam beschermd wordt tegen de erosieve krachten van weer en wind. Daarnaast moet de afdeklaag een geschikte voedingsbodem vormen voor het ontwikkelen en instandhouden van vegetatie. In principe zouden naast 'schone' ook 'vuile' materialen toegepast kunnen worden. Dit 'vuile' materiaal moet wel door een ander materiaal, dat aan bovengenoemde eisen voldoet, bedekt worden. Tevens moet met doorworteling rekening worden gehouden. Een geschikt materiaal voor deze toepassing is klei.

Een andere mogelijkheid is de toepassing van vette kleien als *waterafdichtende laag* bij stortplaatsen en industrie terreinen waar het grondwater ernstig vervuild kan raken. Dit wordt veelal gerealiseerd door het toepassen van een ondoorlatende afdeklaag. Vooral moet onderzocht worden of de hier beschouwde materialen voldoende bestand zijn. In dit geval kunnen zij direct als afdeklaag toegepast worden. Gezien het directe contact met de omgeving wordt aangeraden om hier 'schone' materialen toe te passen. Een in aanmerking komend materiaal is klei. In gevallen waarbij sprake is van uiterst agressieve stoffen kan het voorkomen dat de afdeklaag als een dubbele kering wordt aangebracht. De eerste kering bestaat dan uit een bestendig materiaal. De dubbele kering fungeert dan als een vertrager (het duurt een zekere tijd voordat de verontreiniging door deze laag heen is). Of de suikerbietentarra hiervoor geschikt is, vraagt nader onderzoek.



*Toepassing in asfalt.* In asfalt worden een grote verscheidenheid aan vulstoffen toegepast. Voor het samenstellen van de mengsels wordt uitgegaan van minerale grondstoffen (grind / steenslag, zand, fijne kleidelen). O.a. kleien kunnen worden gebruikt als vulstof, en om het vloeigedrag te sturen en te beheersen.

*Inschatting van de potentiële afzetmarkt:*

Als klei van de locatie geschikt is als afdekklei in de verschillende toepassingen, dan is mogelijk een gedeelte van het totale depot te gebruiken.

In de ons ter beschikking staande literatuur worden aan deze kleien geen expliciete eisen gesteld. De vraag naar kleien als afdeklaag voor milieutoepassingen is toegenomen. Een nadere oriëntatie op dit gebied is noodzakelijk. Grote hoeveelheden zullen hier echter niet kunnen worden afgezet.

Onderzoek door een gespecialiseerd bureau is echter gewenst.

NB: SGS EcoCare BV verwijst naar mogelijke milieutechnologische bezwaren ten aanzien van concentraties van oliefracties in de klei. Het gehalte aan PAK's e.a. ligt in enkele gevallen ook boven de streefwaarden

De opbrengst zal laag zijn.

Transportkosten zullen bepalend zijn voor de afzet en omzet

De mogelijkheid voor deze toepassing lijkt redelijk.

Nader onderzoek is echter gewenst.

### **3.4.4 Toepassing in overige industrietakken**

Andere industriële toepassingen zijn er vrijwel niet. Hoewel wij niet beschikken over een complete analyse op alle belangrijke aspecten die voor andere bedrijfstakken noodzakelijk kunnen zijn, lijkt de klei gezien de locatie en de veelal gewenste / vereiste hoge zuiverheid bij industrieelgebruik ongeschikt voor welke andere toepassing dan ook.

Inschatting van de potentiële afzetmarkt: geen

Economische waarde: geen of zeer laag.

Conclusie: de mogelijke toepassing lijkt niet aanwezig

### **3.4.5 Toepassing van kleien na een bewerking**

Toepassing na een bewerking in een oven lijkt wel mogelijk te zijn.

Echter de investering die hiervoor noodzakelijk is zal hoog zijn en zal door de aanbieder moeten worden opgebracht. De techniek is voldoende bekend.

Een marktstudie is vereist.

*Calcineren van kleien*

Uit de onderzoeken is gebleken dat klei in een roterende oven te bakken is. Hierdoor ontstaat z.g. gecalcineerde klei. Een belangrijk aspect van deze voorbehandeling is dat de mogelijkheid ontstaat goedkope en / of afval brandstof toe te passen.

De klei dient op ca. 800 °C te worden gecalcineerd. Na het calcineren wordt het gebakken materiaal fijn gemaakt. Bij vette kleien kon de aldus bewerkte slib goed als magerings-middel worden toegepast. Toevoeging van 10 % tot 25 % gecalcineerde klei aan een vette klei is mogelijk. Door toepassing van gecalcineerde klei daalt het vormgevingswatergehalte tot 85 % respectievelijk 75 % van de waarde bij gebruik van pure klei. Door het toevoegen van gecalcineerde klei lijkt het in een aantal gevallen mogelijk de baktemperatuur enigszins te verlagen. Ook het droogproces van vooral vette kleien verloopt gunstiger.

#### *Nieuwe producten uit gecalcineerde klei*

Recentelijk werd onderzoek verricht naar de toepassing van 'zware' klei in een proces waarbij de materialen na een temperatuurbehandeling verhard worden met behulp van een proces zoals dat bekend is van de kalkzandsteen industrie. Het bleek mogelijk producten te vervaardigen die maatvast waren en een krimp vertoonden gelijk aan baksteen.

#### *Geëxpandeerde korrels uit kleien.*

De vervaardiging van lichtgewicht vulstof voor beton uit klei berust op het zeer snel verhitten van kleibolletjes (pellets) of worstjes waardoor een zeer grote temperatuurgradiënt ontstaat tussen de kern en de buitenzijde van het deeltje.

Geëxpandeerde korrels worden onder andere toegepast in lichtgewicht beton. Andere toepassingen in beton kunnen gevonden worden in betonnen elementen. Voor deze toepassing kunnen zowel zand als keramische korrels toegepast worden. In de droge waterbouw en de utiliteitsbouw kan het juist een pre zijn om met lichtgewicht toelagmateriaal te werken. Als gevolg van het geringere eigengewicht kan de constructiedikte kleiner worden. Andere toepassingen bekend uit de praktijk en een enkele maal beschreven in de literatuur zijn:

- toepassing van geëxpandeerde korrels in de plantenteelt
- toepassing van geëxpandeerde korrels als kattenbakvulling
- toepassing van geëxpandeerde korrels in tuinen
- toepassing van geëxpandeerde korrels als waterfilter.

Kleien met een zeer hoog percentage deeltjes kleiner dan 2 µm zoals bijvoorbeeld enkele binnendijkse, zware komkleien met een hoog organisch stofgehalte kunnen opblazen. De suikerbietentarra is vermoedelijk niet vet ('niet fijn') genoeg voor deze toepassing: het lutumgehalte (fractie < 2 µm) zou hoger dan ca 50 % moeten zijn.

## 4 De knelpunten rond het gebruik en toepassing van de suikerbietentarra, en de mogelijke oplossingen.

### 4.1 Algemeen

De problemen rond een mogelijke toepassing van de suikerbietentarra zijn als volgt samen te vatten:

- Voor een aantal hiervoor genoemde industriële toepassingen is de massa ongeschikt op grond van een algemene, niet te verhelpen 'onzuiverheid' in de breedste zin des woords.
- Voor een aantal toepassingen zijn een of enkele aspecten nadelig, of maken de massa min of meer onbruikbaar, terwijl een mogelijke zuivering het 'gebrek' zou verhelpen
- In het verlengde hiervan: een mogelijke ingreep in de zuiveringstechnologie van de kleiaanbieder zou de massa breder toepasbaar kunnen maken.

Wij kunnen hier niet ingaan op de mogelijke milieuhygiënische aspecten van de suikerbietentarra: de enkele te hoge streefwaarden van bestrijdingsmiddelen en olie in de klei.

Wel zullen wij hieronder de diverse keramisch technologische bezwaren van de klei achtereenvolgens behandelen.

Hierbij moet wel bedacht worden, dat een ingreep op een deelaspect van een kleimassa (bijvoorbeeld het hoge humusgehalte) tal van andere aspecten (specifiek oppervlak, deeltjesgrootteverdeling, leemfractie < 10 µm) beïnvloed, positief dan wel negatief, kunnen worden.

De knelpunten zijn als volgt samen te vatten:

- De klei (tarra) is in zijn algemeenheid te nat bij 'aflevering'
- De tarra bevat te veel humus, waardoor de plasticiteit, het vormgevingswatergehalte en het drooggedrag nadelig beïnvloed wordt.
- De massa is te heterogeen, te weinig constant in eigenschappen over het gehele kleidepot.
- Er is geen helderheid omtrent de *precieze* samenstelling van de suikerbietentarra (mineralogisch, chemisch, granulometrisch)

Wij verwijzen in dit hoofdstuk enkele malen naar de Studie van HAS Kennis Transfer van juni 1997 ( Project 'hergebruik van de kleifractie' door Akkermans en Strik). In dit onderzoek zijn reeds enkele alternatieven op het gebied van ontwatering (een eerste knelpunt van de tarra) en de organische stofafscheiding (een tweede knelpunt) onderzocht op hun haalbaarheid.

## 4.2 Het verbeteren van de heterogeniteit van de tarra op depot, ('optimalisering 0-situatie')

Zowel ten behoeve van de dijkbouw als voor een keramische toepassing van de suikerbietentarra is reeds geconstateerd dat de tarra te nat is.

Akkermans c.s. gaan uitgebreid in op de methode van het 'op dijkzetten' waarbij beoogt wordt de klei versnelt te ontwateren door het omzetten, het laten liggen en verder bewerken met een cultivator van de klei, gedurende een langere periode. Het betrof hier een grootschalige praktijkproef.

Door extra ingrepen (o.a. afdekken met folie) kan tevens een micromilieu geschapen worden in de kleiberg waarbij de organische stof middels microbiologisch activiteiten geheel of gedeeltelijk wordt afgebroken. We hebben hier te maken met een rijpingsproces.

Het 'op dijkzetten' blijkt

- de heterogeniteit van de kleimassa te bevorderen
- het mogelijk te maken de klei binnen enkele weken tot een steekvast product te drogen (60 – 79 % droge stof)
- onder ideale omstandigheden (o.a. door afdekken) het organische stofgehalte bijna te kunnen halveren (verlaging van organische stofgehalte van 8 % tot 5 % in 12 weken in een proefvak)

## 4.3 De ontwatering van het slib en de suikerbietentarra

Akkermans en Strik hebben in hun studie van 1997 helder aangegeven waar de problemen liggen ten aanzien van een grootschalige benutting en verwerking van de tarra. Zij verwijzen op hun beurt weer naar een eerder rapport (Bersselaar e.a.) waarin de methoden van optimalisatie van ontwatering, ontmenging en rijping in depot worden beschreven.

Binnen het onderzoek van Akkermans c.s. is als alternatieve ontwateringsmethode ook onderzoek gedaan naar de technologie met een **zeefbandpers**. Hierbij wordt gewerkt met gevlokte kleien die via een filtratieproces worden afgescheiden van het water waarin zij eens voorkwamen. Deze experimenten zijn uitgevoerd middels een laboratoriumzeefbandpers en ook zijn berekeningen uitgevoerd naar een mogelijke full scale installatie. Op zich is het mogelijk om middels uitvlokken, na toevoeging van geringe hoeveelheden kationogene detergent (3,5 gram per kilo droge stof klei) een steekvaste massa te verkrijgen met ca 58 % droge stof.

Met andere apparatuur lijkt een droge stofgehalte tot 70 % haalbaar.

Nadelen van deze methode zijn:

- de kosten, afhankelijk van type en prijs deflocculant, ca NLG 7 – 35 per ton klei
- de veranderde kleistructuur die later bij keramische verwerking en vormgeving problemen kan opleveren (met name, toch (!) een hoger vochtgehalte)

Een tweede mogelijk alternatief dat door Akkermans c.s. is onderzocht is de technologie met **decanteercentrifuges**. Ook bij deze methoden moet de vaste stof, inclusief humus, worden geflocculeerd met een kationogene detergent.

Akkermans c.s. concluderen, dat decanteren *zonder* flocculantdosering *niet* mogelijk is. Decanteercentrifuges *met* gebruik van een flocculant werkt wel, en levert uiteindelijk een steekvaste massa op met een droge stofgehalte van 43 %, uitgaande van een massa met ca 69 gew.% vaste stof.

De investeringen zullen vermoedelijk erg hoog zijn, en ook de hoeveelheid deflocculant is vermoedelijk groter dan bij het gebruik van de zeeffbandpers.

#### 4.4 Verlaging van het gehalte aan organische stoffen

Akkermans c.s. hebben met het oog op de afscheiding van organisch materiaal uit het kleislib onderzoek gedaan naar enkele typen **hydrocyclonen**. In dit type apparaat welke heden ten dage reeds bij de Suiker Unie in bedrijf is om zand en klei te scheiden, zou ook de organische component in een van de vast stromen kunnen worden verrijkt of juist in concentratie kunnen worden verlaagd.

De directe scheiding in 'grof' en 'fijne' vaste stof rond een bepaalde korrelgrootte (in dit geval 63  $\mu\text{m}$ ) gaat goed. Een gerichte afscheiding van het organische materiaal in een van de twee stromen ('onderloop' en bovenloop') vindt niet plaats.

Onafhankelijk van het gebruikte type hydrocycloon, zijn de volgende voor- en nadelen op te noemen:

- Voordelen:
  - De onderloop ('grove fracties') heeft een laag organisch stofgehalte
  - De onderloop heeft, ten opzichte van de voeding, een hoog droogstofgehalte
  - Verwerking met hydrocyclonen is ten opzichte van andere mechanische scheidingstechnieken goedkoop
- Nadelen:
  - De bovenloop (de fijne fracties) dient aanvullend te worden verwerkt, vanwege het te hoge organische stofgehalte en het te lage droge stofgehalte
  - Met de bovenloop vindt (enig) verlies aan klei-delen plaats

Akkermans c.s. beoogden onder andere een kwaliteitsverbetering in die zin, dat er een scheiding tussen de kleinere vaste stoffracties en het organische stof zou optreden. Dat is met deze techniek niet gelukt.

Dat er enige kleideeltjes met het grof (de onderloop) 'meegaan' is niet echt bezwaarlijk: de grens ligt bij ca 63  $\mu\text{m}$ , en uit recente analyses van het TCKI blijkt, dat slechts 1 % van de zandfractie deeltjes bevat < 45  $\mu\text{m}$ .

In het verlengde van de hier beschreven experimenten zijn proeven gedaan met **zeefftechnieken** om het organische materiaal uit de kleifracties te verwijderen.

Uit analyses waarbij over een groot aantal zeven van  $> 500 \mu\text{m}$  tot  $< 20 \mu\text{m}$  de suikerbietentarra inclusief organische materiaal is afgezeefd, waarna gloeiverlies en gloeirest zijn bepaald op iedere zeef kon het volgende geconcludeerd worden:

De meeste droge stof na gloeien is aanwezig in de fracties  $< 63 \mu\text{m}$ , meer in het bijzonder in de fractie van 20 tot  $40 \mu\text{m}$ .

Het meeste organische materiaal is aanwezig in de fracties van  $100 - 200 \mu\text{m}$ ,  $200 - 500 \mu\text{m}$  en  $> 500 \mu\text{m}$ , respectievelijk (afgerond) 38, 26 en 14 gew,% op basis van de droge stof. Dit is resp. 3, 6 en 10 % van het totale gewicht aan organische stof. Maar ook in de fractie  $< 20 \mu\text{m}$  is nog veel organisch materiaal aanwezig: ca 15 % op basis van droge stof, en ca 30 % van het totale organische stofgehalte..

Door het uitzeven van de gehele massa (suikerbietentarra) over  $100 \mu\text{m}$  is 1,2 gew% van de massa, bestaande uit organische materiaal, is te verwijderen.

Met zeeftechnieken is een gedeelte, en wel de meest grove fracties van de organische stof te verwijderen uit de tarra.

Dit is echter onvoldoende om het organische stofgehalte zodanig te verlagen, tot  $< 1$  of 2 % om de suikerbietentarra geschikt te maken voor keramisch gebruik.

#### 4.5 Slotevaluatie, conclusies en aanbevelingen.

In rapporten van enkele jaren geleden naar de mogelijke toepassingen van bietentarra, o.a. van HAS Kennis Transfer, is reeds gewezen op enkele bottle necks ten aanzien van de eigenschappen van de bietentarra die een grootschalig gebruik in de weg staan.

Enkele onderzoeken, zowel op laboratoriumschaal als grootschalig naar een mogelijke technologische oplossing om de enorme kleivoorraad die beschikbaar is beter toepasbaar te maken door middel van zuivering, het afscheiden van bepaalde ongewenste fracties of verontreinigingen, hebben ten dele tot resultaten geleid. Wij kunnen hier voor een groot gedeelte aansluiten bij de conclusies van HAS Kennis Transfer van juni 1997.

Onzes inziens worden de meeste problemen die de bietentarra kenmerken veroorzaakt door het zeer hoge gehalte aan organisch materiaal in de massa.

Hierbij is sprake van zowel een flinke hoeveelheid relatief grof materiaal (zeefresten  $> 200 \mu\text{m}$ ) en een groot aandeel in de kleinste korrelfracties.

Het zeer hoge gehalte aan organische materiaal heeft een grote invloed op de specifieke keramisch technologische analyseresultaten zoals specifiek oppervlak en de deeltjesgrootteverdeling.

Los daarvan bepaalt het organische materiaal in zeer ongunstige zin het verwerkings- en vormgevingsgedrag, en levert het tal van problemen op bij het drogen en bakken.

De suikerbietentarra zonder (of met een tot aanvaardbaar niveau terug gebracht gehalte aan) humus of organische materiaal zal zich hoogst waarschijnlijk als een normale klei gedragen, die zonder aanpassingen of bijmengingen verwerkbaar, te vormen, te drogen en te bakken is.

De vraag is nu

1. hoe de bietentarra 'eenvoudig en goedkoop' op een zodanige wijze kan worden bewerkt, dat hij daarna zonder problemen voor grootschalige bulktoepassingen kan worden gebruikt.
2. Hoe het proces bij de Suiker Unie op een zodanige wijze kan worden aangepast, dat direct na een extra scheidings- of zuiveringsstap een bruikbare klei wordt verkregen.

HAS heeft hier reeds een aantal onderzoeken naar uitgevoerd, tezamen met enkele apparatuurleveranciers.

De algemene conclusie is voor wat betreft de genoemde onderzoeken, dat geen van de onderzochte methoden of technologieën echt datgene doet wat wordt verlangd: de scheiding van grof, fijn en humus in drie afzonderlijke fracties.

Hydrocyclonen zijn wel succesvol in de scheiding van de vaste stof in fracties groter en kleiner dan 63 µm, maar de humus gaat grotendeels mee met de fijnste fracties hetgeen zeer ongewenst is.

Zeebandpersen en decanteercentrifuges kunnen wel ontwateren, maar hebben flocculeermiddelen nodig. Dit kost geld, en flocculeermiddelen in de vorm van kationogene detergenten e.d. zijn keramisch technologisch ongewenst.

Uitzeven van organisch materiaal is een mogelijkheid, maar werkt alleen voor de grofste organische fractie, en verlaagt uiteindelijk het organische stofgehalte onvoldoende. De massa blijft te veel organische stof bevatten in de kleinste fracties.

De meest succesvolle aanpak ten aanzien van homogenisering en ontwatering van de bietentarra ligt in de volledige omzettingen omwerking van het depot, het 'op dijk-zetten', het laten rotten of mauken van de klei waarbij ook de humus en de grovere resten organisch materiaal (langzaam) worden omgezet en gemineraliseerd.

Het regelmatig omwerken, en het bijeenbrengen van gronden uit diversen delen van het depot met een vaste systematiek leidt ook de noodzakelijke menging en homogenisering van het geheel die essentieel is voor latere grootschalige (bulk)toepassingen.

### **De vraagstelling van de Suiker Unie en Terca Baksteen BV**

In de opdrachtverlening van de Suiker Unie en Terca zijn een aantal extra vragen geformuleerd die antwoord behoeven in het kader van het aan TNO TPD opgedragen onderzoek.

Wij zullen deze vragen hier vermelden, en het antwoord geven op basis van bovenstaande bevindingen en evaluatie.

#### 1. De voorgestelde toepassingsmogelijkheden en hun kansrijkheid

Zie hoofdstuk 3.3 en 3.4

#### 2. De benodigde toevoegingen om tot een betere geschiktheid voor voornoemde toepassingen, en mogelijk andere te komen

De voornaamste bottle neck van de bietentarra is gelegen in het te hoge gehalte aan organische stoffen in de kleimassa. Voor iedere hiervoor vermelde toepassing blijkt het gehalte aan humus e.d. te hoog. Er zal een technologie of zuiveringsmethode gevonden moeten worden om de humus uit de massa te verwijderen. Extra toevoegingen om de humus (de negatieve invloed e.d. van de humus) te compenseren zijn er niet, tenzij men met andere, humusarme grondstoffen de bietentarra gaat mengen. Berekeningen laten echter zien, dat dan van een bulktoepassing van de bietentarra geen sprake meer kan zijn.

### 3. Procesgerelateerde problemen bij de Suiker Unie met mogelijke oplossingen.

Het probleem ligt in de onvoldoende afscheiding van het organische materiaal uit de fijnste kleifracties. De bestaande technologie met hydrocyclonen lost een gedeelte van het probleem op: de fijne en grove fracties worden relatief netjes en voldoende gescheiden. Het organische materiaal gaat echter mee in de fijnste fracties, en levert grote problemen op bij toekomstige bulktoepassingen. Een mogelijke oplossing ligt in het continu en grootschalig omwerken van het depot, waarbij ontwatering en rijping van de klei tezamen gaan.

### 4. Oorzaken en oplossingen voor het al eerder gesignaleerde probleem van de plasticiteit van de klei

De praktijkproeven bij Terca, en de laboratoriumexperimenten het jaar daarvoor bij Wienerberger werden gekenmerkt door o.a. problemen ten aanzien van de plasticiteit, dan wel het gebrek aan verwerkbaarheid.

De massa had te veel vocht nodig, en bleek moeilijk te extruderen, zelfs met relatief geringe massapercentages in het eindgemeng. Dit was des te wonderlijker gezien de 'normale' korrelgrootteverdeling van de bietentarra. De vraag is nu of de massa te plastisch of juist te weinig plastisch is. Terca geeft in haar rapportage duidelijk aan: de massa met 30 % bietentarra is te plastisch.

Problemen ontstonden ook bij het drogen: droogscheuren.

Uiteindelijk bleek de gebakken sterkte zelfs hoger te zijn, dan de groene sterkte. Onzes inziens moeten de problemen met de bietentarra geheel en al worden toegeschreven aan het te hoge gehalte aan organisch materiaal.

## **Aanbevelingen**

1. Aanbevolen wordt de bietentarra na zuivering van de organische stof volledig mineralogisch te karakteriseren.  
Het is niet ondenkbaar (gezien de chemische analyse), dat men uiteindelijk uitkomt op een vrij zandige massa die door een geringe hoeveelheid kleien, vermoedelijk met een bestanddeel illitiesche kleien, bijeen gehouden wordt. (Wienerberger komt ook op deze samenstelling uit op grond van de dilatometercurven).  
Deze samenstelling zou ook de geringe sterkte na het uitbranden van de organische stof kunnen verklaren.



Indien het mogelijk zou zijn de bietentarra grondig te zuiveren van organisch materiaal, dan verkrijgt men uiteindelijk een moeilijk of niet extrudeerbare klei. Een gedeeltelijk menging met het basismateriaal is dan noodzakelijk om alsnog een extrudeerbare kleimassa samen te stellen om binnenmuurproducten te kunnen vervaardigen.

2. Ten aanzien van het toekomstig gebruik is het absoluut noodzakelijk het gehalte aan organische stof de bietentarra aanzienlijk te verlagen. Een van de mogelijkheden is het op grote schaal omzetten, omwerken van het kleidepot, waardoor de bietentarra wordt ontwaterd, en waarbij – zoals uit een praktijk experiment is gebleken – ook het humusgehalte aanzienlijk kan worden verlaagd. Andere mogelijke technologieën om het gehalte aan organische stof te verlagen zijn nog in studie. Een van de mogelijke opties in dit kader is het bacteriologisch enten van de bietentarra, waarmee de bacteriologische afbraak van de organische stof in de massa versneld kan worden.

## 5 Literatuur

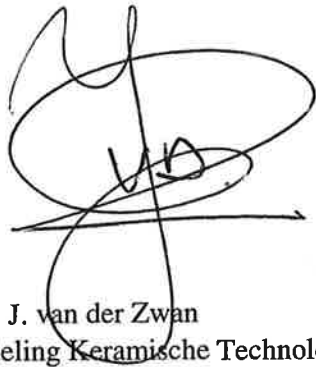
- 1] H. Schmidt, Z.I. International 31 (1978), pas. 500, Sprechsaal 110 (1977), pag. 536
- 2] S. Stefanov, Z.I. International 39 (1986), pagina 137
- 3] H.M. van Montfrans, e.a., Geologie van Nederland, deel 2, Rijks Geologische Dienst, Haarlem, SDU Uitgeverij, 's Gravenhage, 1985
- 4] L.S. de Jonge, Knelpunten bij de voorziening met traditionele, en problemen met alternatieve grondstoffen. Klei/Glas/Keramik 3 (1982), pagina 138
- 5] L.S. de Jonge, Klei voor baksteen, Klei/Glas/Keramik 7 (1986), pagina 140
- 6] L. van der Plas, Economisch interessante voorkomens van klei in de Bondsrepubliek, Klei/Glas/Keramik 2 (1981), pagina 118.
- 7] J.H. van Wijck, P.J.C. Bloem, Metselbakstenen uit klei en vliegas. Klei/Glas/Keramik 10 (1989) 5, pagina 97
- 8] J.Th. van der Zwan, Eindrapport Werkgroep Klei-inventarisatie Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, februari 1990
- 9] F.J. Faber, Ned. landschappen. Uitg.: J. Noorduijn en Zoon N.V., Gorinchem, 1942
- 10] J.H. van der Velden, Een empirisch model van Nederlandse klei, Klei en Keramik 17 (1977), 11/12 pagina 190
- 11] J.H. van der Velden. Uitvoeringsvoorschrift van een eenvoudige leembepaling in kleien, Klei en Keramik 29 (1979) 11/12, pagina 237
- 12] J.H. van der Velden, Evaluatie van kleiafzettingen voor de grofkeramik, Klei/Glas/Keramik 1(1980) 3, pagina 10
- 13] J.H. van der Velden, Vormbakstenen uit vette klei en zand, Klei/Glas/Keramik 1 (1980) 7, pagina 10
- 14] H.J. Timmers, Eigenschappen van kleivoorkomens in Nederland, Klei/Glas/Keramik 1 (1980), december, pagina 18

- 15] H. van Amerongen en J.H. van der Velden, Samenstelling van 3 I kleisoorten. delen I en II, MT-TNO rapport 1970. no. 70-04032
- 16] Encyclopedia of Glass, Ceramics, and Cement  
Ed: Martin Grayson John Wiley & Sons, New York 1985
- 17] Review on raw materials, Ceramic Bullitin 71 ( 1992) 5, pagina 802
- 18] G.J. Laan, Interne notitie 'Klei voor dijkbouw, eisen en beproevingsmethoden Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, September 1988.

## 6 Ondertekening

Delft, 28 juni 2000

TNO TPD

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a horizontal line at the bottom.

Ing. J. van der Zwan  
Afdeling Keramische Technologie

autorisatie

A handwritten signature in black ink, featuring a large loop at the top and a long horizontal stroke extending to the right.

Dr. ir. R.A. Terpstra  
Afdelingshoofd

## 7 BIJLAGE

### ACHTERGROND INFORMATIE OVER KLEIEN EN HUN INDUSTRIELE TOEPASSINGEN

- 1 Oppervlakte delfstoffen in Nederland
- 2 De oppervlakte delfstof klei
- 3 Karakteristiek van kleivoorkomens in Nederland
  - 3.1 Geologische en petrografische karakteristiek
  - 3.2 Technologische karakteristiek
  - 3.3 Korrelgrootteverdeling
  - 3.4 Totaal specifiek oppervlak
  - 3.5 Mineralogische samenstelling
  - 3.6 Chemische analyse
- 4 Eigenschappen van kleivoorkomens in Nederland
  - 4.1 De eigenschappen van de verschillende kleisoorten
  - 4.2 Kleimineralen
  - 4.3 Vulstoffen
  - 4.4 Vloeimiddelen
- 5 Toepassing van Nederlandse kleien in de bouw
  - 5.1 Toepassing in de bouwkeramische industrie
  - 5.2 Toepassing van kleien voor de dijkbouw
  - 5.3 Toepassing in de wegenbouw
  - 5.4 Andere toepassing van kleien in de bouw
- 6 Toepassing van kleien in andere industrietakken
  - 6.1 Algemeen
  - 6.2 De papierindustrie
  - 6.3 De verf- en lakkenindustrie
  - 6.4 De rubber- en polymeerindustrie
- 7 Toepassingen van kleien op basis van speciale eigenschappen
  - 7.1 Toepassing in vormzand
  - 7.2 Toepassing in boorvloeistoffen
  - 7.3 Toepassing in katalysesystemen
  - 7.4 Toepassing in zuiveringsinstallaties, absorbents
  - 7.5 Toepassing in lijmen
  - 7.6 Toepassing als grondstof voor aluminium
  - 7.7 Toepassing als medicinale kleien. en in cosmetica
  - 7.8 Toepassing als dragermateriaal voor bestrijdingsmiddelen
- 8 Bewerkingen van klei
  - 8.1 Het mengen van klei
  - 8.2 Calcineren van kleien
  - 8.3 Geëxpandeerde korrels uit kleien.

## 1 Oppervlakte delfstoffen in Nederland

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. Een nauwkeurige omschrijving van alle processen en gecompliceerde gebeurtenissen die onze geologische erfenis bepalen, zullen we hier niet geven. Wel zullen we ingaan op enkele gevolgen die de bruikbaarheid en toepassingsmogelijkheid van de 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 infrastructurele 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. De laatste jaren is er een geheel nieuwe ontwikkeling op gang gekomen met de introductie van het plan "Levende Rivieren" waarbij in nauw overleg tussen industrie, provincie en natuurbeschermings-organisaties een begin kan worden gemaakt met de ontgravingen in uiterwaarden. Er komt aldus een zeer grote hoeveelheid voor de keramische industrie bruikbare kleien beschikbaar. Verder kunnen bij grote afgravingen van binnendijkse gebieden (veelal landbouwgronden) bijvoorbeeld met het doel recreatieterreinen (waterplassen e.d.) te ontwikkelen grote hoeveelheden klei beschikbaar komen. Binnendijkse kleien zijn echter veelal van een zodanige kwaliteit (te 'vet'), dat zij alleen na een intensieve menging en homogenisering met vermageringsmiddelen tot een bruikbare massa zijn om te werken. In 1987, dus nog voor de bekendmaking van het plan "Levende Rivieren", is in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een globale inventarisatie gemaakt van de reserves in ons land. Naar aanleiding daarvan konden enkele belangrijke conclusies worden getrokken. Voor industriezand, ophoogzand en ook voor klei doet de relatie-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 afvalproducten 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 voor-  
alsnog grootschalige toepassing als alternatief materiaal.  
Delfstoffen kunnen worden gespaard door er op toe te zien dat geen hoogwaardiger  
kwaliteit delfstof wordt gebruikt dan noodzakelijk is.

## 2 De oppervlakedelfstof klei

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  $\mu\text{m}$ . In de aardwetenschappen wordt deze fractie ook wel lutum genoemd. 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  $\mu\text{m}$ . Ook leem wordt in deze figuur gedefinieerd. Faber komt in zijn boek ook tot een omschrijving van klei, echter hier niet gebaseerd op een enkelvoudige definiëring van "alles kleiner dan 1, 2, 10, 16 of 20  $\mu\text{m}$ ", maar als een mengsel waarin 40 tot 60 % van de massa kleiner is dan 16  $\mu\text{m}$ . 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  $\mu\text{m}$ . 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 x (< 2  $\mu\text{m}$ ).

Dit verband wordt geschetst in *figuur 3* (bron TCKI, De Steeg). Zo is er ook een verband vast te leggen tussen de fracties < 10  $\mu\text{m}$  en < 16  $\mu\text{m}$ .

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 van dit rapport hanteren wij hier de volgende definiëringen (analoog) aan de Rijks Geologische Dienst en de norm NEN 5104 .

2 $\mu\text{m}$ - 63 $\mu\text{m}$	grind
63 $\mu\text{m}$ - 2000 $\mu\text{m}$ (= 2 mm):	zand, verder onder te verdelen in:
63 $\mu\text{m}$ - 250 $\mu\text{m}$	fijn zand
> 250 $\mu\text{m}$	grof zand
10 $\mu\text{m}$ - 63 $\mu\text{m}$	sloef of stof
2 $\mu\text{m}$ - 63 $\mu\text{m}$	silt
< 10 $\mu\text{m}$ :	leem (in keramisch gebruik: klei)
< 2 $\mu\text{m}$ :	lutum (bodemkundig: klei)

Verder worden in diverse aanverwante disciplines nog de volgende termen gehanteerd:

< 16 $\mu\text{m}$ :	slib
----------------------	------



### 3 Karakteristiek van kleivoorkomens in Nederland

#### 3.1 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 kleiafzettingen.
- uitgebreidheid, dikte en verloop van de afzetting, grondwaterpeil en de voor ontgraving in aanmerking komende hoeveelheid
- absolute en relatieve dikte van dek- en tussenlagen
- aangetoonde of vermoede aanwezigheid van grove insluitsels.

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

- de vetheid, structuur en hardheid of stijfheid van de klei s
- 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 stukgrootte-verdeling.

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

#### 3.2 Technologische karakteristiek

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

Wij verwijzen voor een uitvoerige behandeling van de technologische karakteristiek naar de publicatie van Van der Velden uit 1980. Wij geven hier een sterk verkorte samenvatting van diens verhandeling. Een totaal onderzoek houdt in:

- de korrelgrootteverdeling
- het specifiek oppervlak
- de mineralogische samenstelling
- de chemische analyse
- het vormgevingsgedrag (plasticiteit, verwerkbaarheid) .
- het drooggedrag
- de eigenschappen van het halfproduct, na drogen
- het bakgedrag
- de eigenschappen van het gebakken product.

Op enkele aspecten zullen wij hierna wat uitgebreider behandelen.

### 3.3 Korrelgrootteverdeling

De korrelgrootteverdeling in een klei is van invloed op het reologisch 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).

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, continue analyse van 300 tot 0,1  $\mu\text{m}$  mogelijk geworden. Wanneer een klei veel kleine deeltjes bevat, wordt van een vette klei, wanneer weinig kleine deeltjes aanwezig zijn, wordt van een magere klei gesproken.

### 3.4 Totaal specifiek oppervlak

Het totaal specifiek oppervlak geeft in een cijfer een indruk van de reactiviteit van de klei. Het wordt bepaald volgens de glycolretentiemethode, dan wel afgeleid uit de eenvoudigere bepaling van het evenwichtswatergehalte van de klei. Het totaal specifiek oppervlak van de in de Nederlandse grofkeramische industrie gebruikte kleimassa's varieert van 35 tot 150 m<sup>2</sup>/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 µm, de breedte circa 1 µm. Dit deeltje wordt waarschijnlijk gerangschikt onder de deeltjes kleiner dan 2 µm, 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 m<sup>2</sup>/g) in vergelijking met een deeltje van 0,1 µm (circa 8 m<sup>2</sup>/g) dat ook valt onder de deeltjes kleiner dan 2 µm. 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<sup>2</sup>/g). 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 m<sup>2</sup>/g gerekend.

### 3.5 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 µm, de fractie 10 - 25 µm en de fractie > 25 µm. 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 65 % kaolinit, 12 % illiet en 12 % zwellende mengmineralen.

### 3.6 Chemische analyse

Een chemische analyse, die beperkt blijft tot de vaststelling van de gehalten aan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, gloeiverlies, humus, CO<sub>2</sub> uit carbonaat, in water oplosbaar SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, S-totaal en F biedt in het algemeen ruim voldoende informatie.

## 4 Eigenschappen van kleivoorkomens in Nederland

### 4.1 De eigenschappen van de verschillende kleisoorten

Klei bestaat uit anorganische en organische bestanddelen. De anorganische delen kunnen onderverdeeld worden in kristallijnen amorfe bestanddelen en zouten. De kristallijnen delen kunnen worden verdeeld in primaire mineralen (componenten van verwerde 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 oxiden/hydroxiden (voor zover gekristalliseerd). Tot de aanwezige amorfe bestanddelen behoren vooral de hydroxiden van ijzer en aluminium, welke dikwijls in gelvorm 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 calciumsulfaat, natriumsulfaat, magnesiumsulfaat, pyriet, natriumchloride enz. van veel betekenis zijn, in verband met uitslag- en verweringsverschijnselen aan het oppervlak van het product. Verreweg het grootste deel van 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 product heet humus. De variabelen die op kunnen treden in kleigronden zijn zeer groot.

### 4.2 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 silicium-ion, omgeven door vier zuurstofionen, afgewisseld door lagen van eveneens tot zesringen verbonden octaëders, elk bestaande uit een aluminium-ion, 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 kaolinit, illiet en de zwellende kleimineralen, smectieten genaamd, zoals montmorilloniet en mengmineralen van illiet en montmorilloniet. Karakteristiek voor laatstgenoemde mineralen is, dat in een vochtige omgeving water in het kristalrooster wordt opgenomen, waardoor het mineraal zwelt. In kleiafzettingen voor de grofkeramiek komen de verschillende

kleimineralen gewoonlijk in wisselende percentages naast elkaar voor. Illiet is doorgaans het sterkst vertegenwoordigd. Een hoog gehalte aan kleimineralen bewerkstelligt een goede vervormbaarheid van de massa in een groot watergehaltegebied, maar veroorzaakt onder meer een relatief slecht drooggedrag.

Voor de aanwezigheid van zwellende kleimineralen beïnvloedt de droogeigenschappen ongunstig. Kleimassa's met een laag kleimineraalgehalte hebben weliswaar goede droogeigenschappen, doch zijn slechts in een beperkt watergehaltegebied plastisch vervormbaar en bezitten in gedroogde toestand een relatief geringe mechanische sterkte. Soms komt om deze redenen het gebruik van speciale corrigerende toeslagstoffen in aanmerking. Verreweg het grootste deel van de kleimineralen (in de Nederlandse kleien gewoonlijk meer dan 90%), bevindt zich in de korrelfractie kleiner dan 20  $\mu\text{m}$  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.

#### 4.3 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 verschrallen, al in voldoende mate van nature aanwezig zijn. De voor een gegeven product 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 verschrallingsmiddel 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 product in de oven. Het effect van vulstoffen hangt behalve van hun relatieve hoeveelheid uiteraard ook af van hun korrelgrootteverdeling.

#### 4.4 Vloeimiddelen

Vloeimiddelen bevorderen het sinteren van de massa op een relatief laag temperatuur- niveau. 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 calciet, 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 producten tijdens het bakproces deformereren of een te sterk verschillende bakrimp ondergaan. Met een toeslag van een kaolinitrijke doch vloeimiddelarme klei is zo'n verbreding van het sintertraject mogelijk.

## 5 Toepassing van Nederlandse kleien in de bouw

Door de enorme groei van de bouwproductie wordt een grote aanslag gepleegd op de voorraad grondstoffen die in het milieu van nature aanwezig zijn. Die voorraad is echter beperkt. Er zal dus anders met primaire grondstoffen moeten worden omgegaan. Een belangrijk deel van deze primaire grondstoffen zijn gebaseerd op de delfstof klei. Verspilling zal moeten worden tegengegaan, zowel bij de productie als bij de toepassing van het bouw materiaal. In onderstaande grafiek wordt globaal de verdeling over de verschillende verbruikers aangegeven.

Momenteel wordt er in de Nederlandse bouw wereld op jaarbasis ongeveer 100 miljoen ton primaire bouwstoffen verwerkt. Hiervan wordt ongeveer 25% geïmporteerd. De keramische industrie verbruikt hiervan ongeveer 5%.

### 5.1 Toepassing in de bouwkeramische industrie

Bouwkeramische materialen zijn kunstmatig, door de mens vervaardigde materialen, verkregen uit een in hoofdzaak anorganische, niet metallische bestanddelen samengestelde grondstofmassa, die in voorgedroogde toestand een warmtebehandeling tot een temperatuur boven 800 °C heeft ondergaan. Het hoofdbestanddeel van de grondstofmassa is doorgaans klei.

De bouwkeramische industrie in Nederland verwerkt bijna uitsluitend inheemse grondstoffen, die aangeduid worden als aarde, klei of leem. 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 septorien (kalkstukjes). Verder vindt men er gipskristallen, marcasiet en fosforknollen in. In Limburg komen jonge Tertiaire rivierklei-afzettingen (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 (eolisch 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 steenfabricage 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 fabricage 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 straatsteenfabricage langs onze grote rivieren. De andere rivierklei in de polders (zg. binnendijkse klei), die over het algemeen vet 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 metselsteenfabricage. 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.

#### *Klei voor de dakpannen- en baksteenindustrie*

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 goed bruikbaar of zelfs geheel 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 zo geheten Euroklei gewonnen worden. Het hoge gehalte aan zware metalen in deze bodemsedimenten zorgt er evenwel voor dat de productie van Euroklei ("havenslib") aan strenge normen moet voldoen om toepassing te stimuleren, afgezien van het feit of er voor de producten waarin deze (alternatieve) grondstof is verwerkt, een markt is. Klei (en leem) worden in Nederland gebruikt in de fijnkeramische industrie, de bouwkeramische industrie en voor aanleg en verzwarening van dijken. In de fijnkeramische industrie worden naar verhouding kleine hoeveelheden inheemse klei gebruikt. In deze bedrijfstak worden aan de kleigrondstoffen hoge eisen gesteld aan de zuiverheid en mineralogische samenstelling: de grondstof moet een hoog gehalte aan kaoliniet bevatten, in mindere mate illiet en bij voorkeur geen montmorilloniet. Klei, die voor deze productie geschikt is, is in Nederland niet meer winbaar en wordt thans ingevoerd. De klei die wordt gebruikt voor de fabricage van grofkeramische producten, 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. 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 be-



nutting van alternatieve of secundaire grondstoffen, of bij de verwerking en toepassing van minder bruikbare kleigrondstoffen. 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 de jaren '80 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 productieproblemen 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 (toen!) is nog op te merken, dat deze ook gold voor de componenten bestaande uit een goede klei die wordt gemengd met de in grotere hoeveelheden voorkomende, maar minder bruikbare grondstoffen.

Zoals reeds in de inleiding is opgemerkt, is aan de schaarste aan grondstoffen door de intensieve samenwerking en afspraken tussen industrie, natuur- en milieuorganisaties en overheid een einde gekomen.

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 (KO-MO-keur). De constructieve en de esthetische eigenschappen van bouwkeramische producten worden in de eerste plaats bepaald door de klei-eigenschappen, 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.

#### *Het leemgehalte*

Afhankelijk van her te maken eindproduct, zal de fabrikant eisen stellen aan de klei. Naast het humus- en het grofzand- en fijnzandgehalte, welke slechts in beperkte mate mogen voorkomen, is het leemgehalte van groot belang. Hieronder verstaat men het gehalte aan deeltjes < 10 µm. Indien het leemgehalte van de aangevoerde klei afwijkt van het optimale leemgehalte, is aanpassing mogelijk door de klei met zandige grond of met een 'zwaardere' klei te vermengen.

Bij de fabricage van bakstenen wordt als norm voor de toelaatbare afwijking in leemgehalte wel een afwijking van 2 % tot 3 % ten opzichte van het gewenste gemiddelde leemgehalte gehanteerd.

Bij de dakpannenfabricage worden slechts afwijkingen tot 1,5 % getolereerd.

#### *Korrelopbouw, deeltjesgrootteverdeling van de klei*

Sinds de dertiger jaren is de korrelgrootteverdeling, naast het hiervoor genoemde leemgehalte, een belangrijk gegeven voor de technologische beoordeling van kleien. In dit kader zijn door H. Winkler in de vijftiger jaren eisen geformuleerd waaraan de korrelgrootteverdeling van een klei voor de vervaardiging van strengpersproducten zou moeten voldoen.

Winkler gebruikte als maatstaf de fracties  $< 2 \mu\text{m}$ ,  $2 - 20 \mu\text{m}$  en  $> 20 \mu\text{m}$  die hij coördineerde in een driehoeksdiagram. Deze methode wordt nog steeds gebruikt bij geschiktheidsbeoordelingen van kleien. Van Nederlandse zijde is echter de universele bruikbaarheid van dit 'Winkler-diagram' herhaaldelijk in twijfel getrokken. Gewezen werd daarbij onder meer op de invloed van verschillende korrelfracties (kaoliniet, montmorilloniet of illiet) op het gedrag bij vormgeving en het drogen.

De droogeigenschappen van uit Nederlandse klei vervaardigde producten zijn in het algemeen ongunstiger dan die van overeenkomstige producten elders uit Europa. Sindsdien opgedane ervaringen met betrekking tot de geschiktheid van Nederlandse rivier- en zeekleien voor de vervaardiging van strengpersproducten hebben geleid tot de hierna volgende aanbeveling voor de korrelgrootteverdeling.

TABEL 6

*Aanbevelingen met betrekking tot de korrelgrootteverdeling voor strengpersproducten en dakpannen*

type product	fractiegrootte in % m/md			
	$> 62 \mu\text{m}$	$< 20 \mu\text{m}$	$< 10 \mu\text{m}$	$< 2 \mu\text{m}$
volle stenen, $< 15 \%$ perforatie	$< 31$	$> 42$	$> 36$	$> 19$
geperf. stenen, $15 - 20 \%$ perf.	$< 25$	$> 48$	$> 40$	$> 22$
geperf. stenen, $20 - 40 \%$ perf.	$< 20$	$> 56$	$> 47$	$> 28$
kleidakpannen	$< 16$	$> 63$	$> 53$	$> 34$

#### *Plasticiteit, verwerkbaarheid en leemgehalte*

In de grofkeramische industrie is de wijze van vormgeving van het product bepalend voor de mate waarin klei vervormbaar dient te zijn. Deze mate van vervormbaarheid (plasticiteit) noemt men ook wel de consistentie van de klei en deze wordt uitgedrukt als resthoogte van een proefcilinder klei na een stuikproef volgens Pfefferkorn.

Normale waarden in dit verband zijn:

TABEL 7

*Plasticiteitsgegevens van verschillende kleimassa's gemeten volgens de Pfefferkorn-methode*

eigenschap	mechanische handvorm	vormbak	strengpers
plasticiteit klei cf. (groot, origineel)			
Pfefferkorn – apparaat, in mm resthoogte	5 - 7	7 - 10	25 - 30
plasticiteit klei cf. (klein)			
Pfefferkorn – apparaat, in mm resthoogte	10 - 15	15 - 20	
Vormgevings watergehalte in % op droog	28 - 35	28 - 32	20 - 25

Een vormgeving bij een resthoogte van meer dan 35 mm veroorzaakt een te hoog krachtverbruik en een te grote slijtage van kneedinrichtingen en vormgevingsmachines. DC Nederlandse kleien zijn in natuurlijke toestand echter meestal reeds minder stijf. Bij een resthoogte kleiner dan 4 mm nadert het watergehalte de vloeigrens. De klei is dan te slap en meestal ook te kleverig om te worden verwerkt.

## 5.2 Toepassing van kleien voor de dijkbouw

De toepassing van klei voor dijkbouw kent een lange traditie, waarin de bruikbaarheid van de lokaal aanwezige klei vooral op ervaring werd beoordeeld. Deze benadering betrof vooral visuele beoordeling van het materiaal enerzijds en het constructieve gedrag anderzijds.

Begrenzing van het *maximale zandgehalte* is van belang in verband met her erosiegedrag.

Begrenzing van het *minimale zandgehalte* komt voort uit de relatie met het krimp-zwelgedrag.

Hetgeen voor het zand gezegd is, geldt ook voor de begrenzing van het lutumgehalte voor wat respectievelijk het minimale en maximale gehalte betreft. Uit onderzoek is gebleken, dat de erosiegevoeligheid van klei het best beoordeeld kan worden op grond van de plasticiteitsgrenzen en het zandgehalte.

Het zandgehalte mag niet groter zijn dan 40 % (m/m). Mengen van gronden kan leiden tot discontinuïteiten in de korrelverdeling en kan daardoor een inhomogeen mengsel opleveren.

Beide verschijnselen kunnen een beperking in de geschiktheid opleveren.

In verband met het krimpedrag wordt voor het gehalte aan organische stof een maximum aangehouden van 3 % (m/m).

Zeer hoge *kalk*gehalten beïnvloeden het erosiegedrag ongunstig. Nader onderzoek is nodig bij kalkgehalten > 25 %.

Bij toenemend *zout*gehalte nemen de plasticiteitindex en het vochtgehalte bij een zekere zuigspanning toe. In verband met begroeibaarheid voor gras wordt als grenswaarde voor het zoutgehalte 4 g per liter bodemvocht aangehouden. Beoordeling van de geschiktheid van sterk sulfidehoudende grond is pas mogelijk na oxideren (beluchting).

Functionele eisen voor klei voor dijkbouw hebben betrekking op de *toplaag*.

De kern van de dijk bestaat bij nieuwbouw gewoonlijk uit zand of eventueel een licht ophoogmateriaal. Functionele eisen zijn:

- bescherming tegen erosie
- beperken van de doorlatendheid
- substraat voor vegetatie of een andere afdekking
- vormvastheid.

Additionele eisen zijn:

- duurzaamheid
- verwerkbaarheid

Bescherming tegen erosie wordt door de volle laagdikte gegeven. Naarmate de laag dikker is, wordt een grotere 'buffer' gecreëerd tegen de werking van stroming en golven. Primair is de top laag van belang. De erosieweerstand wordt sterk bevorderd door een goede grasdoorworteling.

De doorlatendheid van klei wordt sterk bepaald door het voorkomen van spleten en gangen in de klei, ontstaan door structuurvorming en biologische activiteiten. De waterdoorlatendheid ligt gewoonlijk tussen  $1 \times 10^{-6}$  en  $1 \times 10^{-4}$  m/s.

De vormvastheid is het geringst van 'geroerde' ongestructureerde klei. De aanbrengfase is daarmee bepalend.

Voorwaarden met betrekking tot verwerkbaarheid verzekeren daarmee tevens de vormvastheid.

Vormbedreiging door betreding stelt eisen aan beheer afhankelijk van de seizoenen. De verwerkbaarheid is afhankelijk van de toegepaste werkwijze, het materiaal en de aard van de klei.

Omdat krimp in verband met ongewenste scheurvorming beperkt dient te worden, wordt het vochtgehalte zodanig begrensd dat het berijden met wielvoertuigen in principe mogelijk is.

### 5.3 Toepassing in de wegenbouw

In deze paragraaf worden de verschillende onderdelen van een wegconstructie beschreven.

De hier verder uit te werken onderdelen zijn: cunet - hulpkade - aardebaan - zandbed - fundering - afdeklaag.

*Cunet* De functie van dit constructie-onderdeel is om een goede, draagkrachtige basis voor de bovengelegen constructie te vormen. In vele gevallen wordt dit gerealiseerd door de bestaande, weinig draagkrachtige grond door een geschikt materiaal te vervangen. Dit constructieonderdeel kan zo wel boven als beneden de grondwaterstand liggen. Door zijn functie en ligging komen slechts die materialen in aanmerking die als 'schoon' bestempeld kunnen worden. Geschikte materialen in deze zijn zand, klei en ingeval van minder draagkrachtige diepe lagen ook keramische korrels met een geringe dichtheid.

Voor alle materialen geldt dat zij 'schoon' moeten zijn.

*Hulpkade* Hulpkaden zijn noodzakelijk als het zandlichaam wordt opgespoten. Het toe te passen materiaal moet slecht doorlatend en enigszins cohesief zijn. Gezien zijn rol binnen de constructie (in contact met water) en de relatief geringe hoeveelheid in relatie tot het totale volume is het raadzaam om hier slechts 'schone' materialen toe te passen. Een geschikt materiaal voor deze toepassing is alleen klei.

*Aardebaan* De aardebaan is dat gedeelte van het weglichaam dat als functie heeft de verhardingsconstructie (m.i.v. de fundering) zowel verticaal als horizontaal te steunen (draagvermogen). Daarnaast speelt ook de hoogteligging van een weglichaam een belangrijke rol. Dit houdt in dat het toe te passen materiaal een grote weerstand tegen samendrukking moet hebben. Als afscherpende maatregelen getroffen worden kunnen in principe naast 'schone' ook 'vuile' materialen toegepast worden. Geschikte materialen voor dit constructieonderdeel zijn; zand, (stevige) klei en keramische korrels.

*Zandbed* Dit constructieonderdeel dient om de direct uit de verharding (fundering) afkomstige belasting zodanig te spreiden dat zij zonder blijvende deformaties opgenomen kan worden. Dit constructieonderdeel stelt relatief zware eisen aan het materiaal ten aanzien van sterkte en vervormbaarheid. Ook hier geldt, dat bij toepassing van afscherpende voorzieningen naast 'schone' ook 'vuile' materialen toegepast kunnen worden. Geschikte materialen in deze zijn zand en de keramische korrels.

*Fundering* Dit constructieonderdeel dient om het wegdek (verharde lagen) direct te ondersteunen en moet toegepast worden in die gevallen dat aan het draagvermogen van de ondergrond getwijfeld wordt. De materiaaleisen voor dit onderdeel zijn nog strenger dan in het voorgaande geval. Dit houdt in dat de toepassing van zand als zodanig veelal niet mogelijk zal zijn. Als het zand echter met cement wordt gestabiliseerd geeft dit een uitstekende fundering. Keramische korrels zijn eveneens

toepasbaar. Een fundering van keramische korrels kan als ongebonden- of als gebonden fundering (bijv. met cement) uitgevoerd worden.

*Afdeklaag* De afdeklaag moet er voor zorgen dat het weglichaam beschermd wordt tegen de erosieve krachten van weer en wind. Daarnaast moet de afdeklaag een geschikte voedingsbodem vormen voor het ontwikkelen en instandhouden van vegetatie. In principe zouden naast 'schone' ook 'vuile' materialen toegepast kunnen worden. Dit 'vuile' materiaal moet wel door een ander materiaal, dat aan bovengenoemde eisen voldoet, bedekt worden. Tevens moet met doorworteling rekening worden gehouden. Een geschikt materiaal voor deze toepassing is klei.

#### *Toepassing in asfalt*

In asfalt worden een grote verscheidenheid aan vulstoffen toegepast. Voor het samenstellen van de mengsels wordt uitgegaan van minerale grondstoffen (grind/steenslag, zand, fijne kleidelen). O.a. kleien kunnen worden gebruikt als vulstof, en om het vloeiendrag te sturen en te beheersen. Asfalt is een gemengd materiaal dat wordt gebruikt voor de wegenbouw. In de asfaltmenginstallatie worden deze stoffen gedoseerd, verwarmd en met bitumen gemengd tot asfaltmengsels. Aan de mengsels worden strenge eisen gesteld die zijn gebaseerd op "Eisen voor bouwstoffen in de wegenbouw". Belangrijkste toepassing van kleien zal vooral zijn als harde minerale vulstof. Dit betekent dat de kleien vooraf een thermische behandeling zullen moeten ondergaan. Onderstaand wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste toegepaste asfaltmengsels.

*Warmasfalt* Deze mengsels worden in een asfaltmenginstallatie bereid, waarbij bitumen, verhit tot mengviscositeit, aan het gedroogde mineraal aggregaat wordt toegevoegd. Warm asfalt neemt wat toepassing betreft de belangrijkste plaats in. De belangrijkste warme asfaltmengsels zijn:

*Asfaltbeton* Dit is een mengsel van steenslag, zand vulstof en bitumen, dat op nagenoeg gehele of gedeeltelijke poriënvulling is gegrond. In het eerste geval wordt het dicht asfaltbeton en in het tweede geval open asfaltbeton genoemd. Asfaltbeton met een gering percentage steenslag (10 - 35%) wordt topeka genoemd. Dicht asfaltbeton wordt voor deklagen gebruikt. Open asfaltbeton wordt meestal voor de tussenlaag tussen de deklaag en de fundering toegepast. Door de open textuur verankert de deklaag zich in de tussenlaag, zodat schuifkrachten goed kunnen worden overgebracht. Open asfaltbeton wordt met een iets aangepaste samenstelling veelvuldig voor tijdelijke deklagen gebruikt

*Grindzandasfalt* wordt: o.a. gebruikt als benaming voor de onder-, tussen- en deklagen voor quartaire wegen die vrijwel steeds worden voorzien van een oppervlaktebehandeling.

*Zandasfalt* is een mengsel van zand, vulstof en bitumen dat niet op gradering of poriënvulling is gegrond. Het materiaal wordt gebruikt als stabilisatie- of funderingsmateriaal.

*Gietasfalt* is een mengsel van grind of steenslag, zand, vulstof en bitumen, dat op een overvulling van de poriën is gegrond. Het wordt in hete toestand gebruikt als

gietbare voegvulling, tussen stortsteen in de waterbouw en als materiaal voor deklagen, vooral op de Duitse Autobahnen.

Soortgelijk materiaal, met handgereedschap uitgestreken, wordt strijkasfalt genoemd *Koudasfalt*. In koudasfalt wordt het bindmiddel in de vorm van een emulsie of van een vloeibitumen toegevoegd. In het eerste geval wordt de benaming emulsie beton gebruikt, in het tweede geval heet het materiaal koudasfalt. Emulsiebeton wordt uiteraard koud gemengd en ook in koude toestand verwerkt. Emulsiebeton vindt weinig toepassing.

Koudasfalt wordt "halfwarm" gemengd. Het in de droogtrommel van de asfaltmenginstallatie gedroogde en verhitte materiaal wordt in een koeltrommel gekoeld tot de mengtemperatuur van vloeibitumen (80-100 °C). Het kan evenals emulsiebeton geruime tijd na de bereiding worden verwerkt.

Koudasfalt wordt veel gebruikt voor reparatiewerk. Het is ook in de winter goed bruikbaar. Koudasfalt wordt ook toegepast voor verhardingen waar aanzienlijke zettingen zijn te verwachten.

De plasticiteit van koudasfalt is groot direct na aanleg en neemt door de verdamping van de "fluxolie" uit het bindmiddel geleidelijk af.

De vervormingsweerstand neemt daardoor toe. Om de verdamping mogelijk te maken moet koudasfalt voldoende grote holle ruimten bezitten. De vereiste aanvangsweerstand tegen vervorming onder het verkeer moet door het korrelskelet worden geleverd. Daarom wordt uitsluitend gebroken mineraal toegepast.

De diverse soorten koudasfalt worden vaak onder een merknaam in de handel gebracht.

#### 5.4 Andere toepassing van kleien in de bouw

##### *Afdichtende constructies*

Deze constructies worden toegepast om te voorkomen dat verontreinigingen zich kunnen verspreiden. In dit geval wordt het water niet uit de constructie geweerd maar opgevangen en gezuiverd. Dit water kan echter een groot aantal verontreinigingen bevatten en zou het waterafdichtende karakter van het ondergelegen materiaal op termijn aan kunnen tasten. Gezien het voorgaande verdient het aanbeveling om elk toe te passen materiaal vooraf op geschiktheid te onderzoeken. Voorshands wordt alleen de toepassing van klei aanbevolen. In geval het afdichtende materiaal zelf vervuild is, moeten bijkomende voorzieningen in de vorm van bijvoorbeeld een drainlaag en een folie toegepast worden.

##### *Ophoging*

De ophoging van een terrein kan om een aantal redenen nodig zijn. Te denken valt hierbij aan onder andere draagvermogen, lastspreiding, drainage en de berging van allerlei leidingen. Het draagvermogen en de lastspreiding zijn nodig om de uit de constructies voortvloeiende belastingen zonder grote deformaties op te kunnen nemen. De drainage is nodig om bij neerslag geen verdrassing van het terrein te krijgen. Bij deze toepassing kunnen zowel 'schone' als 'vuile' materialen toegepast worden.

Essentieel hierbij is het feit of er al dan niet water toe kan treden tot dit constructie-onderdeel. De volgende materialen komen hiervoor in aanmerking: zand, klei, keramisch korrels.

#### *Afdeklaag*

Bij specifieke industriële inrichtingen moeten voorzieningen aangebracht worden om te voorkomen dat bij calamiteiten het grondwater ernstig vervuild raakt. Dit wordt veelal gerealiseerd door het toepassen van een ondoorlatende afdeklaag. Vooraf moet onderzocht worden of de hier beschouwde materialen voldoende bestand zijn. In dit geval kunnen zij direct als afdeklaag toegepast worden.

Gezien het directe contact met de omgeving wordt aangeraden om hier 'schone' materialen toe te passen. Een in aanmerking komend materiaal is klei. In gevallen waarbij sprake is van uiterst agressieve stoffen kan het voorkomen dat de afdeklaag als een dubbele kering wordt aangebracht. De eerste kering bestaat dan uit een bestendig materiaal. De dubbele kering fungeert dan als een vertrager (het duurt een zekere tijd voordat de verontreiniging door deze laag heen is). In dit geval kunnen naast 'schone' ook 'vuile' materialen verwerkt worden mits ze bestendig zijn. In aanmerking komende materialen zijn klei, kleicement en plastische grond.

#### *Toepassing in Portland cement*

Portland cement bestaat uit een mengsel van calciumsilicaat- en calciumaluminaat-mineralen, en wordt gemaakt door het calcineren van kleihoudende kalkgesteenten of mengsels van kalk en klei. Er worden grenzen gesteld aan de gehalten van magnesium.

IJzer, natrium en kalium mogen in gematigde hoeveelheden voorkomen. Alle kleimineralen kunnen gebruik worden: kaolien heeft de voorkeur, maar attapulgiëet, sepioliet en montmorilloniet heeft men liever niet.



## 6 Toepassing van kleien in andere industrietakken

### 6.1 Algemeen

Kleien en / of kleimineralen hebben talloze toepassingen gevonden, en worden in enorme hoeveelheden overal ter wereld gebruikt vanwege enkele zeer specifieke eigenschappen, zowel van de min of meer zuivere delfstof als zodanig in combinatie met de eigenschappen van de gevormde producten na een of meer warmte behandelingen. Toch worden ook zeer grote hoeveelheden gebruikt in toepassingen waarin de voor kleikeramiek specifieke warmtebehandeling ('bet bakken') niet nodig is, of zelfs ongewenst of onmogelijk is. Deze toepassingen gaan dus uit van een of meer specifieke eigenschappen van de delfstof. Hierbij kunnen zeer uiteenlopende eigenschappen een rol spelen, zoals:

- de kleur, met name de witheid
- het absorberend vermogen, in combinatie met:
- het specifiek oppervlak
- de plasticiteit
- het reologisch gedrag, in samenhang met de deeltjesgrootteverdeling
- het zwellend vermogen
- morfologie van de afzonderlijke deeltjes

Voor de Verenigde Staten, met een eigen grote kleiproduktie van o.a. kaoliënen, kunnen de volgende cijfers gegeven worden voor toepassingen van kleimineralen. (N.B.: deze cijfers zijn exclusief de directe afzet van bouwkeramische kleien en toepassingen in metselbakstenen en kleidakpannen)

MARKT	Verbruik x 1000 ton		percentage
papierindustrie		4200	44.2
keramische industrie		1320	13.9
na calcineren, chamotte	750		
in baksteen	290		
vuurvastindustrie	130		
tegelandustrie	44		
sanitair	41		
aardewerk	28		
serviesgoed	21		
elektroporselein	16		
export		1670	17.5
diversen		800	8.4
glasvezel		450	4.8
vulstof		363	3.8
verf en lakken		260	2.7
constructie keramiek		242	2.5
rubber		208	2.2

## 6.2 De papierindustrie

Papier bestaat uit een dunne uniforme laag van zeer fijn verdeelde en gevouwen cellulose vezels. Afhankelijk van de gewenste kwaliteit wordt het papier uit hout of katoen of linnen vervaardigd. Een dunne laag cellulosepapier voldoet niet bij het vervaardigen van hoge kwaliteit drukwerk vanwege de gedeeltelijke transparantie en de onregelmatigheden in het oppervlak.

Deze onregelmatigheden kunnen worden gecorrigeerd door het toevoegen van binders zoals stijfsel en hars aan de vezels, en door het mengen van minerale vulstoffen zoals kalk en gips, en met name zuivere witte kleien in de papierslurry.

Voor de beste kwaliteit papier wordt ook nog een zeer dunne oppervlaktelaag met extreem fijne witte pigmenten aangebracht in een 'lijmlaag'. De hoeveelheid coating op papier kan oplopen tot 25 gewicht%, de hoeveelheid vulstof kan tot 35 gewicht% bedragen.

>> De papierindustrie gebruikt wereldwijd 75 % van de totale kaolienproductie ! Deze toepassing van klei stelt zeer strenge eisen aan zuiverheid en witheid van de grondstof, en aan het reologisch gedrag.

- De klei moet of van nature al wit zijn, of zij moet gemakkelijk door bleken wit te maken zijn.
- De klei mag na mengen met water niet een te hoge viscositeit krijgen.
- De korrelgrootteverdeling moet van nature vrij breed zijn. opdat een reeks van producten kunnen worden vervaardigd met de slurry. -
- De grondstof mag niet een te hoog gehalte aan grove bestanddelen hebben, of ze moeten door bezinking e.d. gemakkelijk te verwijderen zijn.
- IJzer- en titaan(oxiden) moeten door magnetische scheiding verwijderd kunnen worden.

Naast kaoliniten worden ook hoe langer hoe meer bentonieten en attapulgieten toegepast in de papierindustrie. Tegenwoordig wordt veel onderzoek gedaan naar 'processed' bentonieten, kaoliniten en andere kleimineralen voor kopieerpapiertoepassingen.

## 6.3 De verf- en lakken industrie

Verf is een vloeibaar systeem waarin vaste stof, gewoonlijk een of ander pigment gesuspenseerd is. Verschillende typen kleien zijn reeds lang toegepast als 'verfstof', in de eerste plaats als vulmateriaal. Uit praktijk en uit ervaring is gebleken, dat kleien ook een waardevolle bijdrage leveren aan diverse verfeigenschappen, en daarmee een essentieel onderdeel vormen van de verfreceptuur. Kaolinitische kleien worden algemeen gebruikt in hoeveelheden van 2 - 5 % in sommige lakken tot wel 45 % in sommige binnenmuurverven. Gecalceïerde kaolienen worden gebruikt naast (witte) titaanpigmenten in een veelheid van verven.

Kaolinitische kleien hebben de volgende positieve eigenschappen:

- 1] ze geven verfsystemen de gewenste en beheersbare oppervlakte-eigenschappen,
- 2] ze maken een hoge pigment concentratie mogelijk,
- 3] ze geven een goede dekkingsgraad,

4] ze bevorderen de olie-absorptie en de suspendeerbaarheid.

Bentoniethoudende kleien, met hoofdzakelijk montmorilloniet, worden gebruikt in verven op zowel olie- als waterbasis.

#### 6.4 De rubber- en polymeerindustrie

In de rubber- en plasticindustrie worden kleien aan de polymeren toegevoegd vanwege een aantal specifieke voordelen die de klei aan het gemengde eindproduct geeft. Klei levert een glad oppervlak op, het vermindert de scheurvorming en de krimp na een warmtebehandeling, en het 'verdoezelt' de aanwezigheid (zichtbaarheid) van de soms ook aanwezige glasvezels die als 'versterker' zijn toegevoegd.

Daarnaast verhoogt klei de dielectrische weerstand, verlaagt de wateropneming en verhoogt de sterkte in natte toestand.

In harsen op polyesterbasis, en in polyvinylachtige materialen worden kleien als vulstof toegevoegd tot hoeveelheden van 60 %. Daarnaast worden kleien toegepast in polyurethaanschuimen, zowel harde als elastische schuimen, zowel om de kosten te drukken als om eigenschappen als een constante (porie-) celgrootte te verbeteren. Het zijn voornamelijk de kaolinitische kleien die worden gebruikt. Vooral vanwege hun gemakkelijke dispergeerbaarheid. Een nevenvoordeel is, dat de viscositeit van het polymeer-klei mengsel kan worden gecontroleerd dan wel beheerst door de keuze van de klei, met name vanwege de invloed van de korrelgrootteverdeling van de klei op het vloeigedrag van het mengsel.

Een tweede groot voordeel is de witheid van kaolien.

In rubber verhogen de aanwezige kleien de sterkte en de stijfheid. Ook de weerstand tegen slijtage neemt toe. Kleien worden toegepast in rubber voor schoeisel, in slangen, handschoenen, en velerlei geëxtrudeerde producten. In het algemeen worden extreem fijne kleien gevraagd, waarbij tot 90 % van de deeltjes kleiner moet zijn dan 2 mm. De kleien moeten veelal vrij zijn van welke verontreiniging dan ook. Vooral mangaan (bruinsteen) is zeer ongewenst. Montmorillonieten worden toegepast als 'verdikker' en als stabilisator in latex en als emulsie-stabilisator in op rubber gebaseerde verven.

## 7 Toepassingen van kleien op basis van speciale eigenschappen

### 7.1 Toepassing in vormzand

Een in Nederland niet (meer) grote bedrijfstak is die van de aan de staalindustrie verbonden ijzergieterijen. Met name in de gieterijen worden grote hoeveelheden zand verbruikt voor het maken en onderhouden van de gietvormen. In de literatuur worden de volgende gegevens vermeld omtrent enkele specifieke eigenschappen (veelal uitgaande van zeer fijne, zeer plastische kleimassa's):

- een hoog bentoniet- of montmorillonietgehalte, veelal in een met veel Natrium gemodificeerde vorm.
- plastische kleien, weinig kristallijn met kleine hoeveelheden illiet of montmorilloniet, ook wel 'fireclays' genoemd.
- kleien bestaande hoofdzakelijk uit illiet, lager in kwaliteit dan de montmorilloniet

### 7.2 Toepassing in boorvloeistoffen

Bij het maken en onderhouden van boorgaten is een speciale klei nodig, met een bijzonder reologisch gedrag. De gewenste viscositeit en 'gelsterkte' (zwichtwaaarde) van de boorvloeistof worden vooral bepaald door het gehalte aan bentoniet in de klei (zo hoog mogelijk), en de afwezigheid van grove bestanddelen in de massa. Hoewel lokaal bij boorputten wel de plaatselijk aanwezige kleien 'voor de eerste meters' toegepast worden, gaat men zeer snel over op de meest gewenste 'drilling fluid' om het boren bij toenemende diepte optimaal te laten verlopen. Het meest toegepast worden bentoniet (natriummontmorilloniet) oplossingen. Bij grotere diepten worden hoe langer hoe meer oplossingen van attapulgiel en sepioliet-achtige kleien toegepast vanwege hun bestandheid tegen hogere temperaturen (370 °C).

### 7.3 Toepassing in katalysesystemen

Kleimineralen worden veelvuldig toegepast als katalysatordrager in de petrochemische industrie. De katalysatoren worden gemaakt uit halloysieten, kaoliniten en bentonieten. Belangrijkste eis is veelal de zuiverheid: ze moeten vrij zijn van ijzer en absoluut geen zware metalen bevatten die de eigenlijke katalysator kunnen vergiften.

### 7.4 Toepassing in zuiveringsinstallaties, absorbents

Kleien worden wereldwijd toegepast in zuiveringsinstallaties om minerale, plantaardige of dierlijke oliën en vetten te ontkleuren, geuren te absorberen en te ontwateren. Zeer veel kleiachtige materialen worden toegepast, hoewel de voorkeur wordt gegeven aan zeer fijne kleien welke vrijwel geheel uit zuivere kleimineralen bestaan. De naam 'Fuller's earth' wordt in dit verband veelvuldig gebruikt. Deze term heeft een

historische achtergrond en komt uit de textielindustrie (wolbewerking). Kleien bestaande uit attapulgiëet en wat montmorilloniet hebben superieure eigenschappen op het gebied van ontkleuring. De kleimineralen hebben soms een voorbehandeling nodig, zoals aanzuren, het kneden en extruderen om de gewenste eigenschappen te optimaliseren.

#### 7.5 Toepassing in lijmen

Kleien, voornamelijk kaoliniten, worden in een groot aantal lijm- en verbindings-technieken gebruikt, zoals die gebaseerd op lignine, soda, stijfsel, latex en asfalt. Toepassingen zijn o.a. te vinden in de papierindustrie, in lijmen voor vloersystemen zoals voor linoleum en rubber tegels.

De kleien fungeren in deze lijmen niet alleen als inerte vulstof, maar dienen ook ter verbetering van eigenschappen van de lijm. Zij voorkomen, dat er te veel lijm in de te verbinden delen komt, ze zorgen voor een snellere uitharding en een grotere hechtsterkte door o.a. een vergroting van het hechtoppervlak en ze beïnvloeden (sturen) het stromingsgedrag (de viscositeit) van de lijm in gunstige zin.

#### 7.6 Toepassing als grondstof voor aluminium

Veel kleien bevatten tot 30 - 40 % aluminium.

Aluminium is voornamelijk aanwezig in de kleimineralen. In de Verenigde Staten werden in W.O. II vanwege schaarste van het geïmporteerde Al en de voorkomens van rijke Al-houdende kleien in eigen land, deze kleien voor Al-productie in exploitatie genomen.

#### 7.7 Toepassing als medicinale kleien, en in cosmetica

Kleien worden reeds eeuwenlang toegepast als absorbens bij interne (spijsverterings-) stoornissen en vergiftigingen. Het grote interne oppervlak van kleimineralen absorbeert vergiften en bacteriën, en beschermt de (maag-)wand.

Voornamelijk kaolinen worden gebruikt.

Andere kleimineralen, zoals attapulgiëet hebben echter een aanmerkelijk groter specifiek oppervlak en bevorderen de stoelgang. Verschillende kleimineralen, maar voornamelijk die bestaande uit montmorilloniet, kaolinit of attapulgiëet worden toegepast bij de samenstelling van pasta's, zalven en lotions voor uitwendig gebruik.

Kleien worden voornamelijk gebruikt vanwege hun eigenschappen als zachtheid, de dispergerende werking, de gelvorming, de absorberende eigenschappen en de mogelijkheid om met oliën emulsies te vormen.

Geen specifieke eisen worden in de literatuur beschreven, behoudens de (gemakkelijke) dispergeerbaarheid in vloeistoffen.

#### 7.8 Toepassing als dragermateriaal voor bestrijdingsmiddelen

Veel pesticiden worden fabrieksmatig in een zeer geconcentreerde oplossing of als 100 % vaste stof gemaakt. Voor de toepassing zijn deze hoge concentraties meestal ongewenst of zelfs voor mens en omgeving buitengewoon schadelijk. Daarom worden meestal drager-oplossingen gekozen (als water) of een drager in de vorm van vaste stof waarop het bestrijdingsmiddel wordt geabsorbeerd.

De fysische eigenschappen van het dragermateriaal zijn hiertoe van het grootste belang. De drager mag bijvoorbeeld niet werken als een katalysator voor verdere reacties die het bestrijdingsmiddel onwerkzaam zouden kunnen maken.

Kleien bestaande uit attapulgiëet, montmorilloniet en kaoliniet worden voor dit doel veel gebruikt in zeer fijn gemalen vorm.

## 8 Bewerkingen van klei

### 8.1 Het mengen van klei

De diverse bedrijfstakken stellen hoge eisen aan de zuiverheid of samenstelling van klei.

Aangezien de te winnen klei doorgaans niet voldoet aan de eisen, is het vermengen van meerdere kleien een goede mogelijkheid om de kwaliteit te verbeteren.

Essentieel voor mengen is het creëren van voorwaarden die een relatieve beweging van deeltjes ten opzichte van elkaar tot gevolg hebben, bij voorkeur op een schaal die groot is ten opzichte van de nagestreefde verdeling. In het algemeen kan men onderscheid maken tussen geordende en ongeordende mengbewegingen.

De geordende beweging is een direct gevolg van de regelmatige beweging van de mengarmen. Zij is een afschuiving in de snelheidsgradiënten van de daartoe gedwongen beweging en heeft een regelmatig patroon van parallelle lijnen dat bij voortgezette afschuiving steeds fijner wordt. Bij de ongeordende beweging, ook wel omschreven als turbulentie, worden concentratieverschillen verkleind door een instabiel patroon van gedwongen beweging. Dit leidt sneller tot een uniforme menging dan bij afschuiving het geval is. Het instabiele patroon wordt veroorzaakt door niet-uniforme stoffeigenschappen, met als gevolg een versnelling van het mengen.

Wat het mechanisme van mengen betreft, kan men onderscheid maken tussen:

- |   |  |
|---|--|
| 1 convectieve menging                     | verplaatsen van groepen van deeltjes           |
| 2 diffuse menging                         | verdelen van deeltjes over een nieuw oppervlak |
| 3 menging door schuifkrachten in de massa |  |

Van praktische betekenis is een dergelijke indeling echter niet.

Wel is in de praktijk gebleken, dat het zinvol is onderscheid te maken tussen mengen en homogeniseren.

Onder mengen verstaan we dan het mengen op macroschaal, dat wil zeggen: schommelingen in leemgehalte of in andere factoren worden te niet gedaan.

Onder homogeniseren verstaan we het mengen in microbereik.

Hiermee wordt in dit verband bedoeld het gelijkmatig verdelen van kleideeltjes en water in een kleimassa, hetgeen bereikt kan worden door een zeer intensieve menging.

Het proces van het mengen en homogeniseren door het bij elkaar voegen van twee of meer afzonderlijke kleien, en ervan uitgaande dat de daarop volgende intensieve menging tot een homogene massa leidt, kan volledig in het Winkler-diagram worden gevolgd.

In feite is het mogelijk om met het Winkler-diagram een nieuwe massa te 'construeren' (te berekenen) uitgaande van een of meer bekende massa's welke in het Winkler-diagram kunnen worden weergegeven.

Evenzo kan - omgekeerd - een ontbrekende massa worden afgeleid uit een of meer grondstoffen en de samenstelling van de gewenste eindmassa.

Praktijkproeven hebben aangetoond, dat het mogelijk is extreem vette kleien te mengen met een gelijk volume aan vermageringsmiddelen om aldus te komen tot een verwerkbare massa die met de gebruikelijke installaties tot metselbaksteen is te vormen.

## 8.2 Calcineren van kleien

Uit de onderzoeken is gebleken dat klei in een roterende oven te bakken is. Hierdoor ontstaat z.g. gecalcineerde klei. Een belangrijk aspect van deze voorbehandeling is dat de mogelijkheid ontstaat goedkope en / of afvalbrandstof toe te passen. Een van de recentelijk besproken nieuwe mogelijkheden is het gebruik van de warmte die ontstaat bij het verbranden van houtresten uit bouw en slooafval.

De in Nederland gebruikte kleien zijn in het algemeen alluviale kleien met een droogkrimp van 12 %. Door het toevoegen van een vermageringsmiddel kan deze krimp beperkt worden tot 5 a 6 %. Veelal wordt hiervoor zand gebruikt. Het nadeel hiervan is echter de grote hoeveelheid kwarts. Dit veroorzaakt bij het stookproces problemen omdat de kans van het ontstaan van scheuren toeneemt.

Een inert materiaal zoals gecalcineerde klei is stooktechnisch een betere oplossing. Echter de mengverhoudingen zullen per klei en per eindproduct sterk verschillen. De klei dient op ca. 800 °C te worden gecalcineerd. Na het calcineren wordt het gebakken materiaal fijn gemaakt.

Bij vette kleien kon de aldus bewerkte slib goed als magerings-middel worden toegepast.

Toevoeging van 10 tot 25 % gecalcineerde klei aan een vette klei is mogelijk.

Door toepassing van gecalcineerde klei daalt het vormgevingswater-gehalte tot 85 % respectievelijk 75 % van de waarde bij gebruik van pure klei. Door het toevoegen van gecalcineerde klei lijkt het in een aantal gevallen mogelijk de baktemperatuur enigszins te verlagen. Ook het droogproces van vooral vette kleien verloopt gunstiger.

Indien de aangevoerde klei te nat is voor verwerking bleek de toevoeging van gecalcineerde slib een uitstekend middel te zijn om de consistentie van de massa op de gewenste waarde te brengen.

Energetisch heeft het gebruik van gecalcineerde klei niet altijd een positieve uitwerking. De kosten van het calcineren blijken de bepalende factor te zijn.

Indien de gecalcineerde klei wordt betrokken van een continu werkende installatie stijgt het energieverbruik per ton gebakken product voor wat betreft het warmteverbruik van 3600 MJ/ton met 532 MJ/ton tot 4132 MJ/ton, dus met circa 15 % en voor wat betreft het stroomverbruik van 27 kWh/ton met 5 kWh/ton tot 32 kWh/ton, dus met 25 %.

Bij toevoeging van 0,4 ton gecalcineerde klei per ton gebakken product stijgt het warmteverbruik per eenheid van gewicht met 30 % en het stroomverbruik met 37 %.



In begin van de 90-er jaren werd onderzoek verricht naar de toepassing van vette klei in een proces waarbij de materialen na een temperatuurbehandeling verhard worden met behulp van een proces zoals dat bekend is van de kalkzandsteen industrie.

Het bleek mogelijk producten te vervaardigen die maatvast waren en een krimp vertoonden gelijk aan baksteen. In dit onderzoek dat in de eerste plaats oriënterend van aard was, werden de milieu- en marktechnische aspecten niet meegenomen.

Hiervoor is nader onderzoek gewenst.

In een artikel van Haller uit 1969 wordt een proces beschreven waarbij kleien of kleiachtige materialen na een temperatuurbehandeling verhard worden met behulp van een proces zoals dat bekend is van de kalkzandsteen industrie.

In een oriënterend onderzoek is aangetoond dat dit ook opgaat voor Nederlandse kleien. Aanvullend aan dit onderzoek zijn verdere proeven uitgevoerd met door Rijkswaterstaat geleverde havenslib. De resultaten van het onderzoek wijzen uit dat het mogelijk is maatvaste, sterke producten te maken met een uitzettingscoëfficiënt gelijk aan keramische materialen. Dit in tegenstelling met kalkzandsteen dat een sterk afwijkende uitzetting van gebakken keramische materialen. Dit leidt in bouwconstructies vaak tot scheurvorming.

Deze methode lijkt zeer geschikt om een nieuw materiaal voor binnenmuurelementen te ontwikkelen met goede eigenschappen.

Dit proces lijkt niet geschikt voor sterk verontreinigde slib.

### 8.3 Geëxpandeerde korrels uit kleien.

De vervaardiging van lichtgewicht vulstof voor beton uit klei berust op het zeer snel verhitten van kleibolletjes (pellets) of worstjes waardoor een zeer grote temperatuur gradiënt ontstaat tussen de kern en de buitenzijde van het deeltje. Door deze grote temperatuurgradiënt sintert de buitenzijde van het stukje klei dicht, terwijl de kern zijn gasvormige ontledingsproducten nog moet afstaan. De bij het stijgen van de temperatuur uit de kern ontwijkende gassen blijven nu in het product gevangen. Naarmate de temperatuur waarbij het materiaal plastisch wordt verder in het stukje doordringt, zal het opblaaseffect zich meer in de richting van de kern verplaatsen totdat het gehele stukje is opgeblazen.

De mate waarin een klei kan opblazen is sterk afhankelijk van de hoeveelheid gas die geproduceerd wordt.

Het vervaardigen van lichtgewichtvulstof door het opblazen van klei dient uit economische overwegingen te geschieden bij temperaturen beneden 1200 °C.

Om te kunnen opblazen moet de klei twee eigenschappen bezitten:

- ze moet bij temperaturen beneden 1200 °C voldoende plastisch zijn.
- ze moet bij de temperatuur waarop ze voldoende plastisch is, het voor het opblazen benodigde gas ontwikkelen.

Een uitgebreid onderzoek in deze richting werd gedaan door Riley. Uit literatuur en eigen onderzoek stelde hij vast dat pyriet, hematiet en dolomiet bestanddelen zijn die de noodzakelijke gasontwikkeling kunnen veroorzaken bij een temperatuur die vol-

doende hoog is voor het opblazen. Hematiet veroorzaakt gasontwikkeling doordat het dissocieert tot magnetiet waarbij zuurstof vrijkomt.

Pyriet dissocieert eerst tot pyrotiet (FeS), daarna volgt waarschijnlijk de vorming van een ferrosilicaat waarbij  $\text{SO}_2$  bij hoge temperatuur vrijkomt.

Dolomiet ontleedt reeds bij lage temperatuur. Door reacties van dolomiet met andere bestanddelen in de klei moeten verbindingen gevormd worden die  $\text{CO}_2$  bij hoge temperatuur afstaan.

In mindere mate is dit eveneens het geval met calciet ( $\text{CaCO}_3$ ). Gedacht wordt hierbij aan de vorming van  $\text{K}_2\text{CO}_3$  of  $3\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{CaCO}_3$  of Cancriniet.

Een nadeel van  $\text{CaCO}_3$  is dat het een te goed smeltmiddel is.

Een andere bron van gas zouden verschillende kleimineralen kunnen zijn. Indien deze kleimineralen water afsplitsen boven  $800\text{ }^\circ\text{C}$  dan zal eventueel aanwezig FeO worden omgezet in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  waarbij  $\text{H}_2$ -gas ontwijkt.

Een klei zou kunnen opblazen mits voldoende gasproducerende bestanddelen aanwezig zijn. In de meeste gevallen zijn voldoende gasproducerende bestanddelen aanwezig. Bij afwezigheid hiervan schijnen goede resultaten te kunnen worden bereikt door toevoeging van sulfaten en carbonaten van alkali en aardalkalimetalen. Ook toevoeging van bloem en zwavel of rode fosfor zou goede resultaten kunnen opleveren.

Kleien met een zeer hoog percentage deeltjes kleiner dan  $2\text{ }\mu\text{m}$  waarbij het kleimineraal in hoofdzaak bestaat uit illiet of intermediaten kunnen ook opblazen. De juiste opblaastemperatuur is die waarbij de huid van het opgeblazen kleideeltje glad is en geen kraters of scheuren vertoont. Vertoont de huid kraters dan is de temperatuur te hoog geweest. Zijn scheuren aanwezig, dan moet een hogere opblaastemperatuur worden gekozen om de klei voldoende plasticiteit te geven tijdens het opblazen.

Geëxpandeerde korrels worden onder andere toegepast in lichtgewicht beton.

Andere toepassingen in beton kunnen gevonden worden in betonnen elementen.

Voor deze toepassing kunnen zowel zand als keramische korrels toegepast worden.

In de droge waterbouw en de utiliteitsbouw kan het juist een pre zijn om met lichtgewicht toeslagmateriaal te werken. Als gevolg van het geringere eigengewicht kan de constructiedikte kleiner worden.

Andere toepassingen bekend uit de praktijk en een enkele maal beschreven in de literatuur zijn:

- toepassing van geëxpandeerde korrels in de plantenteelt
- toepassing van geëxpandeerde korrels als kattenbakvulling
- toepassing van geëxpandeerde korrels in tuinen
- toepassing van geëxpandeerde korrels als waterfilter

Hoeveelheden, afzet en markten zijn bij de auteurs niet bekend.