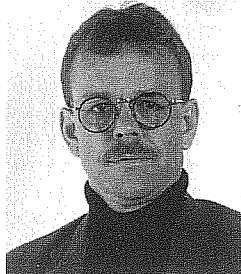


# Opbouw van grondstofdepots in de Grofkeramische Industrie



J.H. van Wijck



E.J. Walda

Stichting Technisch Centrum voor de Keramische Industrie  
Postbus 40  
6994 ZG De Steeg  
Telefoon: 026-4959108  
Fax: 026-4953320

## Auteurs

Hans van Wijck (37) is in 1985 afgestudeerd aan de Landbouw-universiteit Wageningen in de studierichting Regionale Bodemkunde. Sinds 1986 is hij werkzaam bij het Technisch Centrum voor de Keramische Industrie in De Steeg waar hij een functie bekleedt als hoofd van de afdeling Technologie. Als adviseur is hij werkzaam op het gebied van grondstoffen en de processen die een rol spelen bij vormgeving, drogen en bakken van keramische producten.

Edo Walda (44) is sinds 1975 werkzaam op de afdeling Technologie van het Technisch Centrum voor de Keramische Industrie. In zijn huidige functie als adviseur is hij voornamelijk actief op de werkgebieden: ontgroningen, grond- en reststoffen, (milieuhygiënische) bodem-onderzoeken en milieuzorg.

## Samenvatting

In de Nederlandse grofkeramische industrie wordt bij de meeste bedrijven, uitgaande van uiteenlopende grondstofcomponenten, een grondstofdepot (grondstof-bult) laagsgewijs opgebouwd. De berekening van de gemiddelde samenstelling van een dergelijk depot is gebaseerd op representatieve analyseresultaten en de aangenomen massaverhouding tussen de verschillende componenten die verwerkt worden. Aangezien bij de gehanteerde opbouwmethodiek niet in alle gevallen de berekende samenstelling wordt teruggevonden naar de productie, heeft nader onderzoek plaatsgevonden naar de aspecten die een invloed hebben op deze uiteindelijke samenstelling.

In dit artikel worden de belangrijkste resultaten gepresenteerd alsmede een aantal concrete aanbevelingen gedaan voor verbetering, zodanig dat het risico op afwijking verder wordt beperkt.

## Summary

In many plants of the Dutch heavy clay industries, raw materials are stored in multi-layer clay-stockpiles, using a wide range of components. In the calculations considered, the overall composition is based on representative analysis and assumed mass ratios between the different components.

Not in all cases the final mixed composition in e.g. the green products reflects this calculated composition. A study was carried out to get more feeling with the different aspects that influence the final results. This article shows the main results and the recommendations for further improvements in order to minimize the risk of deviations.

## 1. Inleiding

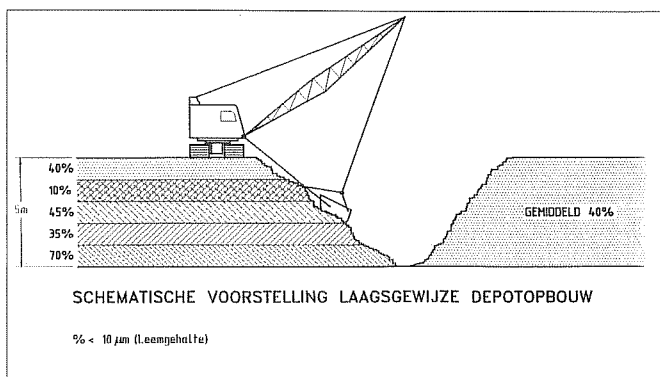
In de Nederlandse grofkeramische industrie wordt een groot scala aan kleisoorten als grondstof gebruikt. Bij de rivierkleien betreft het voornamelijk sedimenten van de Rijn en de Maas die gedurende de laatste 10.000 jaar (Holoceen-tijdperk) zijn afgezet met frekwent voorkomende overstromingen. Vanaf de middeleeuwen hebben de afzettingen van de grote rivieren zich voornamelijk beperkt tot de buitendijkse gebieden (uiterwaarden).

Al deze afzettingen kenmerken zich door een beperkte dikte van de pakketten (enkele decimeters tot maximaal 4 à 5 meter) en door een grillig verloop van de samenstelling, zowel in het horizontale vlak als het in verticale profiel. Dit is een gevolg van aspecten zoals het steeds verleggen van geul- en oeverwalpatronen, wisseling in stroomsnelheid van het water bij de afzettingsprocessen, klimatologische omstandigheden, begroeiingspatronen en oplossings- en inspoelingsverschijnselen.

De noodzaak tot het produceren van een grondstof met bekende, constante samenstelling heeft er toe geleid, dat bij de meeste bedrijven de grondstoffen op systematische wijze worden aangevoerd uit, vooraf in kaart gebrachte, percelen. Op een gecontroleerde manier wordt op deze wijze, laagsgewijs een depot opgebouwd van een gewenste gemiddelde samenstelling.

In de beschouwde systematiek gaat het in principe om het berekenen van de gemiddelde grondstofsamenstelling van een kleidepot op basis van representatief geachte analyse-resultaten met aangenomen massaverhoudingen. Als massaverhoudingen worden doorgaans de gemeten laaghoogtes van de diverse componenten genomen. Daarnaast worden hierbij in toenemende mate de gemeten veldhoeveelheden gebruikt.

Alhoewel een en ander in principe voor ieder bedrijf en voor alle grondstoffen belangrijk kan zijn, zien we dat de systematiek van laagsgewijze depotopbouw zich toch met name bij die bedrijven heeft ontwikkeld, die gebruik maken van afzettingen van de grote rivieren.



Figuur 1:

■ Schematische voorstelling laagsgewijze depotopbouw.

In 1994 en 1995 is door het Technische Centrum voor de Keramische Industrie een studie uitgevoerd naar de diverse aspecten die van invloed zijn op het resultaat van een dergelijke opbouw.

Participanten in dit onderzoek waren beide branche-verenigingen KNB en Nedaco, de Novem en Grontmij Gelderland. Statistische bewerking van analyseresultaten en specialistische boorwerkzaamheden zijn uitgevoerd door respectievelijk Fugro Nieuwegein en Grondmechanica Delft [lit.1].

Aanleiding voor het onderzoek vormde het feit dat de laatste jaren in voorkomende gevallen is geconstateerd, dat de berekende opbouw (teveel) afweek van de daadwerkelijke samenstelling in de produktie. Dit heeft in wisselende mate geleid tot produktiestoringen en/of -uitval, produktie-afwijkingen (kwaliteit, formaat en kleur) en tot extra inspanning bij corrigerende uitvoeringsmaatregelen. Hierbij speelt ook een belangrijke rol dat ten opzichte van het verleden, aanmerkelijk hogere eisen aan de grondstofsamenstelling worden gesteld, doordat moderne, machine-gecontroleerde produktieprocessen kritischer reageren op een verloop of schommelingen in grondstofsamenstelling. Daarnaast worden in aard en samenstelling steeds verder uiteenlopende grondstofcomponenten in de beschouwde systematiek ingezet. Zo is het gebruik van niet-klei-achtige korrelige toeslagstoffen sterk toegenomen.

Het onderzoek heeft zich met name gericht op het zogenoemde leemgehalte van de beschouwde grondstoffen. Dit is het gehalte deeltjes kleiner dan 10 µm, in dit geval bepaald volgens de op het TCKI gehanteerde analysemethodiek (sedimentatie in water op basis van de *Wet van Stokes*, zonder verwijdering van CaCO<sub>3</sub> en humus). Voor deze korrelfractie is gekozen omdat het een in de Nederlandse grofkeramische industrie "ingeburgerde", relatief snel uitvoerbare standaard-analysemethodiek betreft, die tevens in belangrijke mate informatie geeft over te verwachten vormgevings-, droog- en bakgedrag. Uiteraard spelen ten aanzien hiervan ook procesmatige aspecten en andere parameters een rol. Dit kunnen zowel meetbare (fysische en chemische eigenschappen) als niet kwantificeerbare eigenschappen (klei-samenhang, structuur e.d.) zijn.

Het onderzoek is uitgevoerd bij één specifiek beschouwde opbouw van een depot bij een steenfabriek. De informatie die hieruit is verkregen, kan volgens de huidige inzichten ook worden ingezet bij opbouwactiviteiten bij andere bedrijven, met dien verstande dat altijd rekening dient te worden gehouden met specifieke, locatie- en depotgebonden omstandigheden.

## 2. Uitvoering van het onderzoek

Het onderzoek heeft zich gericht op de diverse stadia die in de uitvoering kunnen worden onderscheiden:

1. Veldinventarisatie.
2. Onderzoek gedurende de laagsgewijze opbouw.
3. Onderzoek na de opbouw.

### 2.1. Veldinventarisatie

Naast de reguliere bemonstering van de winlocaties met behulp van een gutsboor, in een bemonsteringsraster van 16 boringen per ha, is tevens een meer intensieve bemonstering uitgevoerd. Hierbij zijn onder meer profielen gesegmenteerd in delen van 10 centimeter. Verder is een bemonstering verricht met een zogenoemd Begemann-boorsysteem, waarbij over een relatief grote diepte ongeroerde boorprofielen worden verkregen.

Uit de inventarisatiegegevens is inzicht verkregen in de horizontale en verticale variabiliteit in een beschouwd kleivoorkomen, alsmede in het verloop van de droge volumieke massa van de grond in het veld.

### 2.2. Laagsgewijze opbouw

Naast de reguliere opbouwactiviteiten ten aanzien van laagdiktebepalingen, bemonstering en analyse, zijn de volgende extra werkzaamheden verricht:

- aanbrengen van de grond op het depot met behulp van zowel een dragline als een bulldozer (ieder een helft van het depot).
- intensieve laagdiktebepaling en bepaling van het ruwheidsprofiel per aangebrachte laag.
- intensieve bemonstering van grond in de aangebrachte lagen teneinde inzicht te krijgen in de representativiteit van de regulier bemonsterde grond.
- Begemann-boringen teneinde de laagopbouw in het depot achteraf te kunnen verifiëren (laagdiktes, samenstelling, droge volumieke massa's).
- gedurende en na de opbouw van het depot zijn in de veldlocaties zogenoemde segment-ringbemonsteringen uitgevoerd teneinde droge volumieke massa's ten tijde van de afgraving te kunnen vaststellen en is na iedere aangebrachte laag in het veld het volume van de afgevoerde grond gemeten.

### 2.3. Onderzoek na opbouw

Direct na opbouw zijn met behulp van het Begemann-boorsysteem totaalprofielen bemonsterd. Na het spitten (macro-menging) van het depot is dit herhaald. Deze bemonsteringen geven inzicht in laagdiktes, samenstelling en droge volumieke massa's over het gehele profiel.

Gedurende de volledige produktie van het beschouwde depot zijn produktiemonsters geanalyseerd en vergeleken met de opbouwcijfers.

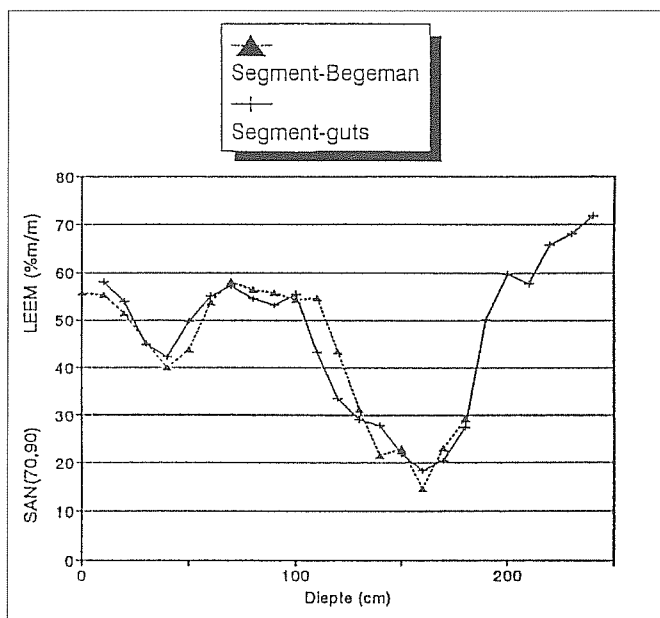
Tijdens het gehele traject van uitvoering en daarna zijn monsters verzameld en analyses verricht en is een statistische studie uitgevoerd met het doel inzicht te krijgen hoe een uitspraak kan worden gedaan inzake de betrouwbaarheid van de gemiddelde samenstelling van een depot.

## 3. Resultaten

Hieronder volgen kort samengevat de belangrijkste resultaten uit het onderzoek.

### Veldinventarisatie

- In principe behoeft de thans toegepaste bemonsteringsfrequentie van 16 boringen/ha (raster van 25 x 25 m, eventueel met "tussen"boringen) geen aanpassing.



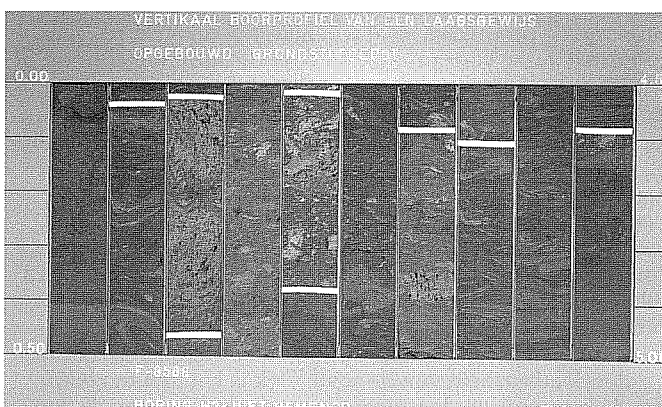
Figuur 2:

Verloop van het leemgehalte over het verticale veldprofiel (per 10 cm gesegmenteerd).

- Het inzicht in samenstelling in het horizontale vlak dient te worden uitgebreid met inzicht in het verloop in samenstelling in verticale richting. Dit geeft een idee van eventueel te verwachten problemen bij het bemonsteren van de grond in het depot. Tevens wordt inzicht verkregen in de afwijkingen die ontstaan in de massasamenstelling, indien bijvoorbeeld minder dan de geïnventariseerde diepte wordt afgegraven. Dit inzicht kan worden vergroot door op een aantal plaatsen het bemonsterde profiel op te delen in segmenten van 10 of 20 centimeter.
- In de veldlocaties worden uiteenlopende droge volumieke massa's gevonden. Er lijkt hierbij weinig relatie te bestaan met de deeltjesgrootteverdeling en/of de chemische samenstelling van de beschouwde componenten. Indien deze locatie-specifieke volumieke massa's bekend zijn, kan een meer nauwkeurige inschatting worden gemaakt van de massaverhoudingen (droge stof) waarin de klei-componenten in een depot worden verwerkt. Deze volumieke massa's kunnen zowel uit (segment)ringbemonstering (voor of tijdens het afgraven) worden verkregen als uit Begemann-profielboringen.

### Opbouwactiviteiten

- Ten aanzien van de laagdiktemeting is gebleken dat de regulier toegepaste methodiek van één hoogtemeting per vak (in de beschouwde situatie, van ca. 225 m<sup>2</sup>) tot aanzienlijke afwijkingen van de daadwerkelijk aangebrachte hoogte kan leiden. Indien op laagdikte wordt opgebouwd, verdient het de aanbeveling meer laagdiktes per vak te bepalen en hieruit een gemiddelde voor dat vak te berekenen.
- Het gebruik van experimenteel andere bemonsteringsgutsen heeft niet geleid tot een systematisch ander beeld dan dat wordt verkregen na bemonstering met een standaardguts van 30 mm diameter.
- De reguliere bemonsteringsfrequentie van drie (samengevoegde) monsters per vak blijkt bij een aantal in het depot toegepaste componenten een onvoldoende representatief beeld van de gemiddelde samenstelling van de grond in een beschouwd vak te geven. De bemonsteringsfrequentie dient te worden opgevoerd, eventueel afhankelijk van de heterogeniteit in met name het verticale profiel in het veld van de beschouwde componenten (zie ook resultaten veldinventarisatie).



Figuur 3:

- Opengelegd profiel van een laagsgewijs opgebouwd profiel.

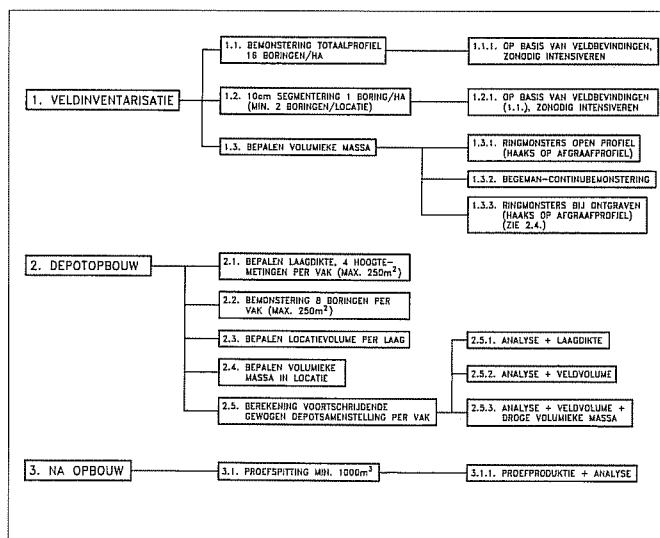
- Individuele totaalboringen na opbouw (eventueel na spitten) blijken géén representatief beeld te geven van de gemiddelde samenstelling van het vak. Dit is mede een gevolg van niet-representatieve laagdiktes en grondstofsamenstellingen op de punten waar bemonstering plaatsvindt. Een andere oorzaak hiervan ligt in een bepaalde oppervlakterutheid van de aangebrachte lagen.

### Algemeen

- Indien het opbouwgedeelte dat is uitgevoerd met een dragline wordt vergeleken met het bulldozer-gedeelte, wordt geconcludeerd dat zowel ten aanzien van ingeschatte laagdiktes als inzake inhomogeniteit in grondstofsamenstelling in de lagen, een bulldozer beter blijkt te "scoren" en derhalve bij een bepaalde opbouw minder risico op afwijkingen van de uiteindelijke samenstelling zal worden gelopen. Indien stortmogelijkheden, grondsoorten en weersomstandigheden dit toelaten, verdient het derhalve de voorkeur voor die methode van aanbrengen te kiezen.
- Aanbevolen wordt om een depot niet (alleen) op te bouwen op basis van gemeten laaghoogtes, maar hierbij uit te gaan van veldvolumina per aangebrachte laag, waarbij eventueel nog wordt gecorrigeerd op droge volumieke massa's in het veld indien deze uiteen blijken te lopen.

### 4. Praktische uitvoeringsrichtlijnen

Als aanvulling op de huidige algemene systematiek van depotopbouw, worden uitvoeringsrichtlijnen voorgesteld, die voortvloeien uit het onderzoeksproject. De veldinventarisatie en de feitelijke laagopbouw zijn hierbij apart beschouwd. Ten aanzien van de inventarisatie en de depotopbouw wordt het schema gehanteerd zoals aangegeven in figuur 4.



Figuur 4:

- Werkschema perceelinventarisatie en laagopbouw.

### Veldinventarisatie

- Bemonster perceelen met een standaardguts ( $\phi$  30 mm) in principe 16 boringen per ha (25 x 25 meter), tenzij de veldsituatie en/of de analyseresultaten duidelijke aanwijzingen geven, dat een meer intensieve bemonstering gewenst is (stroomgeulpatronen, zandopduikingen e.d.).
- Bemonster één boring per ha doch tenminste twee per perceel en segmenteer het profiel in delen van 10 centimeter teneinde inzicht te verkrijgen in de verticale opbouw van het profiel. Indien de veldsituatie daartoe aanleiding geeft, dient de frequentie hiervan te worden opgevoerd.
- Teneinde locatie-specifieke volumieke massa's in de opbouw te kunnen betrekken, dient met eenzelfde frequentie als genoemd onder het vorige punt de volumieke massa te worden bepaald. Dit kan eventueel aan de hand van segment-ringbemonstering in een opengewerkt profiel in het veld tijdens de inventarisatie (eventueel wel problemen met hoge grondwaterstanden!) of tijdens de feitelijke afgraving. Het is aannemelijk dat droge volumieke massa's in het veld niet of nauwelijks aan schommeling in de tijd onderhevig zijn. Dit dient echter in principe wel steeds nader te worden geverifieerd.

## Laagopbouw

- Bepaal de laagdikte op tenminste vier punten per vak, uitgaande van een vakgrootte van maximaal ca. 225 m<sup>2</sup>. Bepaal het gemiddelde en rond af op hele centimeters.
- Stel een mengmonster samen op basis van acht boringen per vak van maximaal ca. 225 m<sup>2</sup>.
- Voer een aselechte monsterneming uit en doe dit met zorg. Voorkom dat materiaal uit de voorgaande laag wordt meebemonsterd door tenminste 10 centimeter minder diep te boren dan de laagdikte aangeeft. Steek met een scherpe en ronde guts maximaal 50 centimeter diep. Indien de te bemonsteren laag kluiten bevat, dient in segmenten van 20 à 30 centimeter te worden bemonsterd.
- Bepaal per depotlaag of -lagen het afgegraven kleivolume in de winlocatie van de afgevoerde grond.
- Bereken de gemiddelde samenstelling van ieder vak op basis van analyseresultaten en uitgevoerde hoogtemetingen.
- Bereken daarnaast ook de gemiddelde samenstelling over alle vakken op basis van de locatievolumina en liefst ook nog gecorrigeerd voor (droge) locatievolumieke massa's.

## Algemeen

- Bouw indien mogelijk op met behulp van een bulldozer.
- Maak voor een zo gelijk matig mogelijke laagdikte eventueel gebruik van lasersturing.
- Verricht na opbouw een proefspitting van minimaal ca. 1.000 m<sup>3</sup> en produceer van het laatst gespitte, representatief geachte gedeelte tenminste enige uren. Verzamel voldoende grote, representatieve produktiemonsters (voorkom bijmenging van eventuele retourklad). Vermijd produktie van de "kop" van het depot.

>> *vervolg van pagina 18.*

## Het gebruik van keramische materialen in een precisiegieterij

Er moet voldoende binder aanwezig zijn om alle keramische korrels aan elkaar te verbinden, maar de lijmlaag tussen de keramische deeltjes mag voor een optimale sterkte niet te dik zijn. Voor de overige lagen geldt, dat de slurry voor een minimale bindkracht moet zorgen om de keramisch vorm tijdens het autoclaven en het gieten voldoende sterkte te geven. Een hogere sterkte is vaak ongewenst omdat dan het verwijderen van de keramiek na het gieten bemoeilijkt wordt. Ook is ter bevordering van de gasdoorlaatbaarheid een zo hoog mogelijke porositeit wenselijk.

### 4.2 Drogen van de keramiek

Temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en windsnelheid beïnvloeden de droogsnelheid van de keramiek. Een nieuwe keramieklaag kan pas worden aangebracht nadat de binder in de vorige keramieklaag gegeleerd is. De organische binder vermindert tijdens het dompelen de opname van vocht in voorgaande lagen. Na het aanbrennen van de laatste keramieklaag moet via een laatste droging nagenoeg al het aanwezige water uit de schillagen verwijderd worden. Wanneer er teveel water in de keramiek aanwezig is, zal deze tijdens het boilerclaven gaan koken. De waterdamp kan de schil hierbij kapot drukken.

### 4.3 Het stoken van de keramiek

Tijdens het stoken van de keramiek worden achtergebleven wasresten verbrand. Ook de organische binder verbrandt, waardoor de porositeit van de keramiek toeneemt. Bij een temperatuur van 900-1000°C wordt de keramische binder omgezet in cristoballiet. Deze omzetting kan als een vaste-fase sinterreactie worden gezien. De sterkte van de keramiek neemt toe doordat er een volledige verketening optreedt. Wanneer de stooktemperatuur verhoogd wordt, kan er ook sintering van de keramische korrels optreden. De sterkte van de keramiek neemt hierdoor af, omdat er smelt-fases kunnen ontstaan. Ook is er kans op vervorming van de

## 5. Tenslotte

Opgemerkt kan worden dat een nauwgezette aanpak van de depotopbouw, zoals in dit artikel wordt beschreven, uiteraard gepaard zal gaan met enige meerkosten voor wat betreft monsterneming en onderzoek. Bij het TCKI is ook dit inzicht aanwezig op basis waarvan in specifieke gevallen een calculatie kan worden opgesteld. De uiteindelijke afweging voor uitvoering van één en ander dient door de producent te worden gemaakt. Men zal zich hierbij met name laten leiden door de problemen of de schade die hij denkt te ondervinden bij een afwijkende samenstelling van de grond in het produktieproces.

Daarnaast worden ook een aantal aspecten genoemd, met name in de uitvoering, die mogelijk wat meerkosten met zich meebrengen, maar waarbij het veranderen van bestaande gewoontes in veel gevallen een nog groter probleem zal zijn. Nog te vaak wordt de klacht gehoord van "we doen het toch al jaren zo" en "we doen toch niet anders dan anders". Alle inspanning moet worden gedaan door alle betrokken partijen om de problemen met afwijkende samenstelling te minimaliseren. Met de aanpak zoals voorgesteld wordt niet gegarandeerd dat een depot niet meer zal afwijken, maar wordt verondersteld dat de kans daarop, aanmerkelijk zal verminderen.

## 6. Literatuur

- [1] Walda, E.J. Onderzoek naar de optimalisatie van de grondstofdepotopbouw in de grofkeramische industrie. TCKI, De Steeg, rap.nr./ 633nb.EW, september 1995.

keramiek tijdens de vormvulling. In de praktijk wordt de stooktemperatuur dan ook tussen 900 en 1200°C gekozen.

## 5. Algemene beschouwing

De keramiek in een verloren wasmodel gieterij wordt slechts gebruikt voor een tussenprodukt: na het gebruik van de keramische schil als gietvorm wordt de keramiek weggegooid. Er wordt dan ook getracht om zo goedkoop mogelijke grondstoffen te gebruiken. De eisen die aan de gegoten produkten worden gesteld, zijn tegenwoordig zeer hoog. De prijs van de produkten staat tegelijkertijd onder druk. Dit geldt met name voor produkten voor de automobiellindustrie. De kwaliteit van een gegoten produkt wordt in grote mate bepaald door de kwaliteit van de keramiek. Ook het aantal produkten dat moet worden bijgewerkt of dat wordt afgekeurd ten gevolge van fouten die in of op het produkt aanwezig zijn, is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de keramiek. Het is dan ook belangrijk de kwaliteit van de keramiek te optimaliseren. Deze kwaliteit is echter altijd een compromis. In eerste instantie vanwege tegenstrijdige eigenschappen die aan de keramiek worden gesteld. Zo is een lage porositeit van de keramiek gunstig voor de oppervlaktekwaliteit van het gegoten produkt, maar ongunstig voor de gasdoorlaatbaarheid van de schil. Ook is het niet mogelijk om de keramiek en de procesomstandigheden voor elk produkt aan te passen. Sterker nog, om het proces zo vloeiend mogelijk te laten verlopen, wordt getracht de procesomstandigheden voor alle produkten gelijk te houden. Toekomstige verbeteringen van de keramische schil houden dan ook in, dat getracht wordt om de samenstelling van de keramiek en de procesomstandigheden dusdanig te veranderen dat er minder gegoten produkten bijgewerkt of afgekeurd hoeven te worden. Dit betekent niet alleen onderzoek naar de invloed van nieuwe keramieksoorten en binders op de kwaliteit van de keramiek, maar ook verbetering van de procesomstandigheden door b.v. nieuwe machines te introduceren.