

TNO-rapport

Milieucertificering Bouwkeramiek

Fase 1: Voorstudie

Referentienummer 93-331
Dossiernummer 112322-23557
Datum september 1993
NP

Auteur
E. Mulder

Trefwoorden
– milieucertificering
– bouwkeramiek
– bakstenen
– samenstelling
– uitlooggedrag

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, 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 onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Bestemd voor
Koninklijk Verbond van Nederlandse
Baksteenfabrikanten

Vereniging van Dakpannenfabrikanten Nedaco

Algemene Vereniging voor de Nederlandse
Aardewerkindustrie

Samenvatting

Gezien de uitgangspunten van het toekomstige Bouwstoffenbesluit, lijkt het wenselijk in de komende jaren een systeem op te zetten voor de milieucertificering van onder andere bouwkeramische materialen. Ter voorbereiding hiervan heeft het Instituut voor Milieu- en Energietechnologie van TNO een voorstudie uitgevoerd, in opdracht van KNB, Nedaco en AVA. In deze voorstudie is de in Nederland beschikbare kennis en informatie verzameld, op grond waarvan een begin gemaakt kan worden met het opzetten van het systeem van milieucertificering. Onder andere de volgende zaken worden belicht:

- de verschillende stappen in het productieproces van bouwkeramiek (de kleivoorbereiding, de vormgeving, het drogen en het bakken);
- de productiecapaciteit in Nederland, gedifferentieerd naar produktsoort, vormgevingsmethode en winregio van de klei (met name langs de grote rivieren);
- de chemische samenstelling van de klei, evenals de korrelopbouw ervan (de eigenlijke kleideeltjes bevinden zich in de zogenaamde leemfractie: $< 10 \mu\text{m}$);
- de eigenschappen van de klei, in relatie tot het productieproces, inclusief het gebruik van nevengrondstoffen ter verbetering van de eigenschappen;
- de samenstelling en het uitlooggedrag van bouwkeramische produkten (in feite is alleen iets bekend over metsel- en straatstenen en niet over dakpannen en keramische tegels);
- de procedure die gevolgd zou moeten worden om te komen tot de milieucertificering van bouwkeramische produkten en wat er zoal in het keuringsplan zou moeten staan;
- aanbevelingen met betrekking tot de invulling van vervolgonderzoek (met name gericht op de karakterisering van grondstoffen en produkten).

Op basis van de beschikbare informatie wordt geconcludeerd dat het uitlooggedrag van metsel- en straatstenen voornamelijk af lijkt te hangen van de baktemperatuur en de samenstelling van de gebruikte persklei. Dit laatste kan weer teruggevoerd worden op de winregio van de klei(en) en eventueel toegevoegde nevengrondstoffen. Ten behoeve van de milieucertificering van bouwkeramische produkten zal nagegaan moeten worden in hoeverre deze relaties te kwantificeren zijn.

Op basis van de bevindingen worden aanbevelingen gedaan met betrekking tot de invulling van fase 2 voor het opzetten van een systeem voor de milieucertificering van bouwkeramiek.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Productieproces van bouwkeramiek	6
2.1	Kleivoorbereiding	6
2.2	Vormgeving	7
2.3	Drogen	8
2.4	Bakken	8
2.5	Productiecapaciteit van bouwkeramiek	10
3	Grondstoffen voor de productie van bouwkeramiek	11
3.1	Winning van klei	11
3.2	Samenstelling van klei	13
3.3	Eigenschappen van klei in relatie tot het productieproces	17
3.4	Samenstelling van nevengrondstoffen	18
4	Bouwkeramische produkten (samenstelling en uitlooggedrag)	20
4.1	Samenstelling bouwkeramische produkten	20
4.2	Uitlooggedrag bouwkeramische produkten	23
5	Milieucertificering van bouwkeramiek	27
5.1	Algemeen kader en procedures met betrekking tot milieucertificering	27
5.2	Inhoud van het keuringsplan	28
6	Aanbevelingen met betrekking tot de invulling van fase 2	29
6.1	Selectie van grondstoffen en produkten ten behoeve van uitloogkarakterisering	29
6.2	Aanbevelingen ten behoeve van milieucertificering	29
7	Referenties	31
8	Verantwoording	32

Bijlagen 1 Schematisch overzicht van het productieproces van bouwkeramiek

1 Inleiding

Op 26 juni 1991 is het Ontwerp Bouwstoffenbesluit (OBsb) gepubliceerd in de Staatscourant. Volgens dit OBsb zouden bouwkeramische produkten (waaronder metselstenen, straatstenen, keramische dakpannen en keramische tegels voor toepassing buitenshuis) vooralsnog zonder meer zijn ingedeeld in de categorie V1 (vormgegeven produkten, 1^e categorie). Inmiddels is, na uitgebreid commentaar vanuit onder andere de industrie, dit OBsb teruggenomen en wordt gewerkt aan een herziening ervan. Uit de standpuntennotitie van de Minister van VROM aan de Tweede Kamer valt af te leiden dat in het toekomstige bouwstoffenbesluit, met betrekking tot anorganische componenten in bouwmaterialen:

- geen eisen meer gesteld zullen worden aan de samenstelling;
- de eisen ten aanzien van het uitlooggedrag versoepeld zullen worden;
- vanaf omstreeks 1997 alle bouwmaterialen (zowel die, vervaardigd uit primaire grondstoffen als die, vervaardigd uit secundaire grondstoffen) aan de in het besluit gestelde eisen zullen moeten voldoen;
- de bouwmaterialenproducent verondersteld wordt door middel van enige vorm van certificering aan te tonen dat het geproduceerde materiaal aan de gestelde eisen voldoet.

Gezien het laatstgenoemde uitgangspunt van het Toekomstige Bouwstoffenbesluit (TBsb), ligt het voor de hand de komende jaren te benutten voor het opzetten van een systeem voor de milieucertificering van onder andere bouwkeramische produkten. Deze milieucertificering zou bij voorkeur moeten aansluiten bij de (in de meeste gevallen reeds aanwezige) technische certificering van deze produkten.

Inspeland op de hierboven geschetste ontwikkelingen, is door de gezamenlijke branche-organisaties van bouwkeramiekproducenten aan het Instituut voor Milieu- en Energietechnologie van TNO (IMET-TNO) opdracht verleend om, in samenwerking met andere instituten, een systeem voor de milieucertificering van bouwkeramische produkten op te zetten. Dit totale project is opgesplitst in twee fasen.

In fase 1 van het onderzoek zal de in Nederland beschikbare kennis en informatie worden verzameld, op grond waarvan fase 2 concreet kan worden ingevuld.

In fase 2 zal in onderdeel 1 een aantal representatieve kleien en bouwkeramische produkten worden gekarakteriseerd, voor wat betreft samenstelling en uitlooggedrag. Hierbij moet voldoende informatie beschikbaar komen om vervolgens in onderdeel 2 het raamschema voor de interne kwaliteitsbewaking (IKB) en in onderdeel 3 de beoordelingsrichtlijn (BRL) en het beoordelingsreglement (BR) te kunnen opstellen.

Fase 2 kan eventueel worden gevolgd door de implementatie van het milieucertificeringssysteem in specifieke bedrijven. Dit valt overigens buiten de scope van het nu in uitvoering zijnde project.

Het voorliggende rapport is het resultaat van het onderzoek dat is uitgevoerd in fase 1. Het betreft in de eerste plaats een inventarisatie en samenvatting van beschikbare kennis en informatie met betrekking tot de grondstoffen voor de productie van bouwkeramiek, het productieproces en de produkten zelf. Deze aspecten komen aan de orde in respectievelijk de hoofdstukken 3, 2 en 4. De hiervoor benodigde informatie is voor het overgrote deel verzameld en gerapporteerd door het Technisch Centrum voor de Keramische Industrie (TCKI) [1]. Verder wordt in het voorliggende rapport in hoofdstuk 5 aangegeven hoe de milieucertificering van bouwkeramiek er uit zou kunnen zien (op basis van door het IKOB aangeleverde informatie). Tenslotte

Milieucertificering Bouwkeramiek
Fase 1: Voorstudie

worden in hoofdstuk 6 aanbevelingen gedaan voor de invulling van fase 2 van het project.

2 Produktieproces van bouwkeramiek

Om een indruk te krijgen van de voorwaarden waaraan de grondstoffen (met name kleien) voor de bouwkeramische industrie moeten voldoen, is het van belang om, ten minste globaal, inzicht te hebben in het proces waarin de produkten tot stand komen. Hierdoor wordt het ook eenvoudiger om een koppeling te maken met de produkteigenschappen.

Het productieproces is voor de verschillende bouwkeramische produkten in grote lijnen hetzelfde, en bestaat uit de volgende processtappen: kleivoorbereiding, vormgeven, drogen en bakken. Deze processtappen komen in de hiernavolgende paragrafen (1 t/m 4) achtereenvolgens aan de orde [2][3]. Eventuele verschillen in het productieproces voor de diverse produkten zullen worden aangegeven. (In bijlage 1 wordt het totale productieproces schematisch weergegeven [2].) Daarna wordt in paragraaf 5 een overzicht gegeven van de productiecapaciteit van de verschillende produkten.

2.1 Kleivoorbereiding

In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de winning en de eigenschappen van de voor de productie van bouwkeramiek gebruikte kleien. Daar zal blijken dat met name het aandeel grove en fijne deeltjes en het gehalte aan ijzer- en calciumoxyde belangrijke klei-eigenschappen zijn. Omdat de kleien binnen tamelijk nauwe grenzen aan bepaalde specificaties moeten voldoen en vrijwel geen enkele klei aan alle eisen voldoet, wordt meestal gebruik gemaakt van een mengsel van kleien.

Het mengen van de verschillende kleien vindt plaats in een depot bij de fabriek. In een dergelijk depot (de zogenaamde kleibult) wordt meestal binnen enkele weken een grondstoffenvoorraad aangelegd die voldoende is voor de productie van meerdere maanden, soms zelfs meer dan een jaar. De diverse componenten worden laagsgewijs aangebracht, waarbij de dikte van de verschillende lagen correspondeert met de mengverhouding van de componenten. Van alle aangebrachte lagen wordt een mengmonster gekarakteriseerd op de meest van belang zijnde eigenschappen. Door na elke laag een gewogen gemiddelde te berekenen van de tot dan toe aangebrachte lagen, kan relatief eenvoudig worden bijgestuurd middels de nog aan te brengen lagen.

Na het gereedkomen van het depot (veelal ± 5 meter hoogte) wordt het depot 'gespit', waardoor verticale menging van de componenten plaatsvindt. Deze verticale menging op macroschaal wordt voortgezet door het verticaal afgraven van het depot.

De menging wordt in de fabriek op microschaal voortgezet in speciale kleivoorbewerkingsmachines. Tijdens de voorbewerking van de klei (een intensieve vorm van mengen en kneden) worden eventuele nevensubstanties toegevoegd (in paragraaf 3.4 wordt nader ingegaan op de functie van deze stoffen). Tevens wordt bij de voorbewerking een bepaalde hoeveelheid water en/of stoom aan de klei toegevoegd die er voor zorgt dat de klei de juiste plasticiteit krijgt. Plastisch wil zeggen dat het materiaal onder invloed van een kracht in een bepaalde, gewenste vorm gebracht kan worden, waarna het na het wegnemen van de kracht zijn vorm behoudt. Door het voorbewerkingsproces ontstaat een tamelijk homogene grondstof voor de eigenlijke productie.

Ten behoeve van de productie van dakpannen wordt de klei na een eerste bewerking opgeslagen in een zogenaamde kleiloods, om te 'mauken'. Het doel van dit mauken is het verkrijgen van een homogeen bevochtigde kleimassa. Na één tot meerdere maanden in de kleiloods te hebben gelegen, wordt de klei opnieuw bewerkt om er een homogene, plastische grondstof van te maken.

2.2 Vormgeving

De gehomogeniseerde klei wordt vervolgens de vorm gegeven van stenen, dakpannen of tegels, die daarna worden gedroogd en gebakken.

Het vormgevingsproces kan op verschillende manieren worden uitgevoerd, afhankelijk van de produktsoort, de produktkwaliteit en het formaat. De volgende vormgevingsmethoden worden onderscheiden: het handvormen, de vormbakmethode en de strengpers. Het belangrijkste verschil tussen deze methodes is de plasticiteit, en daarmee het watergehalte van de klei. In het hiernavolgende wordt aangegeven wat de onderlinge verschillen zijn.

Handvormen

Voor de vormgeving van 'handgevormde' stenen wordt meestal gebruik gemaakt van handvormmachines. Enkele speciale produkten worden nog steeds met de hand gevormd. Voor het handvormen wordt gebruik gemaakt van een houten mal met 6 of 7 vakken voor evenzoveel stenen. Deze bakken worden natgemaakt en bezand (om te voorkomen dat de klei aan de bak blijft kleven). Vervolgens wordt in alle vakken een bal klei geworpen (met de hand of machinaal) en wordt overtollige klei met een draad afgesneden. De klei wordt niet aangedrukt, waardoor de steen een grillige, generfde structuur krijgt. De mal wordt omgekeerd op een drager. De op deze manier 'geloste' vormelingen worden op deze drager verder getransporteerd.

De handvormmethode wordt in Nederland alleen gebruikt voor de vormgeving van een deel van de metselbakstenen.

Vormbakmethode

De vormbakmethode verschilt van de handvormmethode doordat de klei niet in de vormen wordt geworpen, maar geperst. Hierdoor ontstaat een steen met strakke zijvlakken. De vormen worden, evenals de handvormstenen, bezand. In sommige gevallen wordt met losse bakken gewerkt, in andere gevallen met bakken die op een band zijn bevestigd.

Een groot deel van de metselstenen en alle straatstenen krijgen in Nederland hun vorm door middel van de vormbakmethode. Ook voor een klein deel van de geproduceerde vloertegels wordt deze vormgevingsmethode gehanteerd.

Strengpers

Bij de strengpersmethode wordt de klei door middel van een extruder door een vormmond geperst, waarna met snijdraden de streng in plakken wordt gesneden, ter dikte van een steen. De vormelingen worden via een lopende band verder vervoerd. De stenen zijn herkenbaar aan hun scherpe randen en hoeken. Vaak worden de zijkanten bezand, hoewel dit technisch gezien niet noodzakelijk is. Door een aantal doorns in het mondstuk te plaatsen, kan een geperforeerde steen worden verkregen. Voor de strengpersmethode wordt een minder vochtige klei gebruikt.

In Nederland krijgt, in vergelijking met het buitenland, slechts een klein deel van de metselstenen z'n vorm door middel van de strengpersmethode. Wel krijgen alle keramische dakpannen door middel van een strengpers, in combinatie met een stempelpers, hun uiteindelijke vorm. De strengpers wordt gebruikt om de homogene klei voor te vormen tot koeken. Deze koeken worden vervolgens tussen de boven- en onderstempel van de stempelpers in de gewenste dakpanvorm geperst. De lossing vindt plaats

met perslucht, elektrisch of gewoon door de zwaartekracht. Ook een groot deel van de in Nederland geproduceerde keramische tegels krijgt z'n vorm door middel van strengpersen.

Het grootste deel van de in Nederland geproduceerde vloertegels krijgt z'n vorm door middel van de zogenaamde 'droogpersmethode'. Hiervoor wordt een droge klei gebruikt (met een vochtgehalte van ongeveer 6%).

2.3 Drogen

De vormgegeven klei, de vormelingen, worden op dragers geplaatst, en op rekken in de drogerij (kamer of tunnel) gebracht. Hier wordt door middel van warme lucht een groot deel van het vocht uit de vormelingen verdreven waardoor ze vormvast, en al redelijk hard worden. Bij het drogen is zowel de droogtemperatuur als de droogtijd van belang. De droogtemperatuur varieert van ongeveer 35 °C aan het begin tot ongeveer 90 °C in de eindfase. De droogtijden lopen uiteen van minder dan één dag tot meer dan een week, afhankelijk van de kleisoort, de aard van het produkt en de dimensionering van de drogerij. Tijdens het droogproces wordt het vochtgehalte van de vormelingen teruggebracht van 28-33% (in het geval van handvorm- of vormbakstenen) of ongeveer 20% (voor strengpersstenen) tot een restvochtgehalte van 2 tot 6%. Door de verwijdering van een dergelijke hoeveelheid vocht treedt een lineaire droogkrimp op van tussen de 3 en 10%.

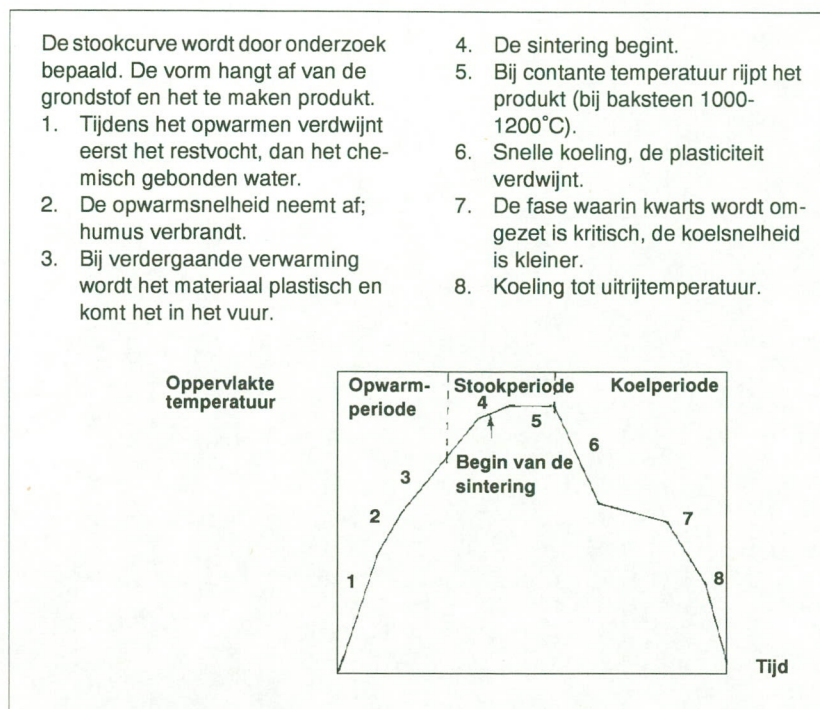
Het droogproces verloopt in principe in twee fasen. In de eerste fase verdampt het water vanaf het oppervlak, waarbij het wordt aangevuld vanuit de poriën. In dit stadium verloopt de verdamping vrij snel. De tweede fase treedt in als de poriën leeg beginnen te raken, en de feitelijke verdamping niet meer aan het oppervlak optreedt, maar in de poriën. In deze tweede fase wordt het vocht in de vorm van waterdamp via de poriën naar buiten getransporteerd. In de tweede fase verloopt de verdamping aanzienlijk langzamer dan in fase één.

Dakpannen en keramische tegels ondergaan na het drogen vaak nog een oppervlaktebehandeling. Dit kan zijn glazuren (waarbij de dakpan of de tegel aan de bovenzijde voorzien wordt van een laagje glazuursuspensie) of engoberen (waarbij opnieuw een dunne kleilaag wordt aangebracht). De in Nederland geproduceerde vloertegels worden ongeveer voor de helft geglazuurd.

2.4 Bakken

Van de gedroogde produkten worden daarna ovenpakketten geformeerd. Het bakken van de gedroogde vormelingen gebeurt in ovens; voor een deel in zogenaamde vlam- en ringovens, maar voor een steeds groter deel in de efficiënte tunnelovens. Het bakken gebeurt bij een temperatuur tussen de 900 en de 1200 °C. Zowel het opwarmtraject, de maximum temperatuur als het afkoeltraject zijn afhankelijk van de soort klei en het gewenste produkt. De zogenaamde stookcurve wordt voor iedere produktsoort afzonderlijk door onderzoek bepaald. In figuur 1 (overgenomen uit [2]) wordt een dergelijke stookcurve gegeven en verklaard.

Milieucertificering Bouwkeramiek
Fase 1: Voorstudie



Figuur 1 Voorbeeld van een stookcurve

Tijdens het zogenaamde sinteren smelten sommige kleibestanddelen, die vervolgens in gesmolten toestand tussen de andere bestanddelen vloeien. Hierdoor worden de verschillende deeltjes aan elkaar gekit. Het hele bakproces wordt zo nauwkeurig gestuurd om scheurvorming te voorkomen.

Een ovencyclus varieert van minder dan een dag tot bijna een week in tunnelovens, tot wel twee weken in vlamovens en de traditionele ringovens. In de tunneloven worden de met ovenpakketten beladen wagens door de tunnel geschoven, waarbij in het midden het vuur is geïnstalleerd. In het geval van vlam- en ringovens staat het produkt stil in de oven, en 'loopt' het vuur rond door middel van de reguliere verplaatsing van de branderinstallatie. In alle gevallen worden de te bakken stenen opgewarmd door de hete verbrandingsgassen en worden de gebakken stenen afgekoeld door de voor de verbranding benodigde koude lucht; alle drie eerder genoemde oventypes zijn continue ovens.

Daarnaast bestaan er ook nog periodieke kamerovens, waarbij de hele cyclus van opwarmen, bakken en afkoelen van één partij achtereenvolgens wordt doorlopen in één kamer. Dit type oven wordt met name gebruikt voor het bakken van dakpannen, waarbij de ovenatmosfeer goed beheersbaar moet zijn. Een groot nadeel van dit type oven is het hoge energieverbruik.

Nadat de produkten uit de oven komen, worden ze, voor verzending naar de afnemer, gesorteerd en opgeslagen.

2.5 Productiecapaciteit van bouwkeramiek

In Nederland waren medio 1993 48 baksteenfabrieken in bedrijf, waarvan er 44 metselstenen produceerden en 4 straatstenen. Daarnaast waren er 7 bedrijven die dakpannen maakten en 5 keramische tegels. In tabel 1 is de productiecapaciteit van deze bedrijven (in miljoenen stuks) in kaart gebracht. Tevens is aangegeven volgens welke vormgevingsmethode werd gewerkt.

Tabel 1 Overzicht van de productiecapaciteit in Nederland (medio 1993)

Soort bedrijf	Metselstenen	Straatstenen	Dakpannen-	Keramische tegels
Aantal bedrijven:				
Vormbak	8	4		
Vormbak/handvorm	6			
Handvorm	19			
Handvorm/strengp.	2			
Strengpers	9		7	3
Droogpers				2
Totaal aantal	44	4	7	5
Productie (mln st.)				
Vormbak	343	100		
Vormbak/handvorm	252			
Handvorm	395			
Handvorm/strengp.	55			
Strengpers	158		50	± 15*
Droogpers				± 34*
Totale productie	1.203	100	50	± 49*

* = totale capaciteit, waarvan ± 10% in een buitentoepassing terechtkomt

Uit tabel 1 blijkt dat, wat de metselstenen betreft, de fabrieken die volgens het vormbakprincipe werken een aanzienlijk grotere gemiddelde productie hebben dan de fabrieken die werken volgens het handvorm- of strengpersprincipe. Verder blijkt dat een redelijk aantal bedrijven stenen produceert volgens twee verschillende vormgevingsmethoden.

3 Grondstoffen voor de produktie van bouwkeramiek

De belangrijkste grondstof voor bouwkeramiek is klei. Voor de produktie van bouwkeramiek in Nederland wordt overwegend gebruik gemaakt van in Nederland gewonnen kleien. Daarnaast wordt voor bepaalde, specifieke produkten klei geïmporteerd vanuit Duitsland. Om de eigenschappen van het eindprodukt of de verwerkbaarheid van de klei te verbeteren, worden meestal bepaalde toeslagstoffen (ook wel nevengrondstoffen genoemd) aan de klei toegevoegd tijdens de voorbereiding van de klei.

In dit hoofdstuk (3) wordt in paragraaf 1 eerst ingegaan op het 'waar', 'hoe' en 'hoeveel' van de winning van klei in Nederland. In paragraaf 2 wordt weergegeven hoe de gewonnen klei is samengesteld en wat de onderlinge verschillen zijn tussen de in Nederland gewonnen kleien. Vervolgens wordt in paragraaf 3 de relatie gelegd tussen de eigenschappen van de klei aan de ene kant en de proces- en produktparameters aan de andere kant. Tenslotte wordt in paragraaf 4 een overzicht gegeven van de samenstelling en andere eigenschappen van aan de klei toegevoegde nevengrondstoffen.

3.1 Winning van klei

In Nederland komen verschillende soorten klei voor. Deze zijn in drie hoofdcategorieën onder te verdelen. Op het linker kaartje in figuur 2 is aangegeven waar deze soorten voorkomen.



Figuur 2 Kleivoorkomens en ligging fabrieken in Nederland

De volgende drie categorieën komen voor in Nederland:

- *Zeeklei* is door de zee afgezet voordat Nederland van dijken werd voorzien. Deze kleisoort komt dan ook vooral voor in Zeeland, Friesland en Groningen, maar ook in Holland en de Flevopolders. Zeeklei wordt slechts op bescheiden schaal gewonnen voor de produktie van bouwkeramiek.

Milieucertificering Bouwkeramiek
Fase 1: Voorstudie

De volgende drie categorieën komen voor in Nederland:

- *Zeeklei* is door de zee afgezet voordat Nederland van dijken werd voorzien. Deze kleisoort komt dan ook vooral voor in Zeeland, Friesland en Groningen, maar ook in Holland en de Flevopolders. Zeeklei wordt slechts op bescheiden schaal gewonnen voor de produktie van bouwkeramiek.
- *Rivierklei* komt voor langs de grote rivieren in Nederland (Rijn, IJssel, Waal en Maas). Vóór de aanleg van dijken werden er grofweg twee soorten rivierklei afgezet; de wat grovere, schralere oeverwalafzetting meteen naast de rivier en de fijnere, vettere komklei (bij overstroming van het lager gelegen land achter de oeverwal). Sinds de aanleg van dijken vindt nog slechts klei-afzetting plaats in de uiterwaarden (gemiddeld enkele millimeters per jaar). De Rijn voerde en voert nog steeds afbraakprodukten mee van kalkrijke Alpengesteenten. Hierdoor zijn de kleien langs de Rijn, IJssel en Waal kalkrijk. De Maasafzettingen vinden hun herkomst voornamelijk in de Ardennen. Ondanks het feit dat ook de Ardennen gedeeltelijk uit kalksteen bestaan, zijn de Maaskleiën kalkarm omdat de stroming van de Maas in de Ardennen niet dusdanig is dat grote delen kalksteen vermalen en meegevoerd worden.
- *Löss en leem* worden gevonden in respectievelijk Zuid-limburg en Brabant + de Achterhoek. Löss is een door de wind aangevoerde kleisoort die bestaat uit fijne, hoekige deeltjes en die daarom moeilijker te verwerken is. Leem is een fijne afzetting waarin ook zand aanwezig is. Het is over het algemeen een dicht materiaal, dat weinig water doorlaat.

Van de eerder genoemde drie categorieën kleien is en wordt met name de rivierklei gebruikt voor de produktie van bouwkeramiek. Dit heeft tot gevolg gehad dat de meeste baksteenfabrieken langs de grote rivieren zijn gevestigd. Dit is goed te zien op het rechter kaartje in figuur 2.

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de in Nederland in gewonnen en gebruikte hoeveelheden klei (situatie in 1993; op basis van droog gewicht). Tevens is aangegeven waar de klei wordt gewonnen en waarvoor de klei wordt gebruikt.

Tabel 2 *Winning en gebruik van klei in 1993 (in miljoenen kilogram)*

Winregio	Metselstenen	Straatstenen	Dakpannen	Tegels	Totaal
Grote rivieren	1.728	194	99		2.021
Noord Nederland (zeeklei)	39				39
Achterhoek (klei + keileem)	91				91
Brabant (leem)	86				86
Limburg (löss + 'oude' klei)	252		27		279
Duitsland	134		25	73	232
Totaal	2.330	194	151	73	2.748

Uit tabel 2 blijkt dat het overgrote deel van de in Nederland gewonnen klei uit het rivierengebied afkomstig is. Verder blijkt uit achterliggende informatie dat de uit Duitsland geïmporteerde klei voor het overgrote deel gemengd wordt met Limburgse klei. De Limburgse klei wordt bij de metselsteenproductie voornamelijk gebruikt voor productie volgens de handvormmethode, de Noord-Nederlandse zeeklei voor productie volgens de strengpersmethode.

Alvorens een bepaalde locatie (winplaats) wordt afgegraven, wordt deze eerst in kaart gebracht. Veelal wordt per vak van 25 x 25 meter een boring verricht. De opgeboorde 'kolom' wordt in verschillende segmenten verdeeld, en in het laboratorium worden deze segmenten gekarakteriseerd. De bovenste 30 cm (de teelaarde) wordt niet meegenomen in deze karakterisering. Op basis van het karakteriseringsrapport wordt bepaald hoe wordt afgegraven.

In het rivierengebied wordt de één tot enkele meters dikke kleilaag meestal laagsgewijs afgegraven met behulp van een dragline of laadschop. De teelaardelaag wordt vooraf verwijderd en opgeslagen. Nadat de locatie is afgegraven, wordt het ontstane 'gat' al dan niet opgevuld met grond en vervolgens weer afgedekt met de opgeslagen teelaarde.

3.2 Samenstelling van klei

Het is op minstens drie verschillende manieren mogelijk om tegen het begrip 'samenstelling van klei' aan te kijken. Een in de keramische industrie gebruikelijke manier is die van de korrelopbouw. Eveneens gebruikelijk in de keramische industrie is de mineralogische benadering van klei. Veel minder gebruikelijk was tot voor kort de elementaire benadering, de chemische samenstelling, waarbij onderscheid wordt gemaakt in hoofd- en spoorelementen. In het hiernavolgende wordt de samenstelling van klei achtereenvolgens op deze drie manieren besproken.

Korrelopbouw

Bij de bepaling van de kleisamenstelling volgens deze methode wordt de klei opgedeeld in vier korrelgrootteklassen, waarvan er drie worden benoemd:

- grof zand (deeltjes > 250 μm);
- fijn zand (deeltjes tussen 63 en 250 μm);
- leem (deeltjes < 10 μm);
- de (niet benoemde) restfractie (deeltjes tussen 10 en 63 μm).

De eigenlijke kleideeltjes zijn plaatvormig en vallen, wat de korrelgrootte betreft, in de leemfractie. Soms wordt de leemfractie nog verder opgedeeld en wordt de fractie < 2 μm bepaald, het zogenaamde lutumgehalte.

De korrelopbouw van een klei wordt over het algemeen vastgesteld met behulp van een zeefanalyse (voor de deeltjes > 45 μm) en een sedimentatie-analyse (voor de deeltjes tussen 2 en 45 μm). Een andere manier om een indruk te krijgen van de fijnheid van een klei is het bepalen van het specifiek oppervlak. Met name de fijne kleimineralen dragen in sterke mate bij aan het specifiek oppervlak. De in Nederland in de baksteenindustrie gebruikte niet gemengde kleien variëren in specifiek oppervlak van 35 tot 150 m^2/g , die voor de dakpannenindustrie van 100 tot 160 m^2/g . Door de kleien te mengen, ontstaan zogenaamde perskleien die qua specifiek oppervlak dichter bij elkaar liggen.

Naast de eerder genoemde korrelgroottefracties wordt meestal ook het gehalte aan organische bestanddelen, het humusgehalte bepaald. Dit gehalte heeft met name invloed op het bakgedrag omdat de organische bestanddelen tijdens het bakproces zullen verbranden. Het humusgehalte van in Nederland gebruikte kleien varieert van 0,1 tot meer dan 1%.

In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de het gemiddelde en de spreiding in de verschillende korrelgroottefracties, het humusgehalte en het specifiek oppervlak van in Nederland gebruikte kleien. Met betrekking tot de baksteenkleien gaat het om een gemiddelde van 13 rivierkleien, met betrekking tot de dakpankleien betreft het 7 kleien.

Tabel 3 Overzicht van korrelgroottefracties in gebruikte perskleien

Fractie	Kleien baksteenprod.		Kleien dakpanprod.	
	Gemiddeld	Spreiding	Gemiddeld	Spreiding
Grof zand (> 125)	3	1 - 5	3	1 - 6
Fijn zand (63-125)	19	10 - 29	10	3 - 19
Leem (< 10)	43	35 - 45	60	55 - 65
Humus	0,7	0,5 - 1,2	0,9	0,2 - 2,2
Specif. opp. (m ² /g)	75	60 - 90	115	100 - 125

Uit tabel 3 kan worden afgeleid dat voor de produktie van bakstenen een schralere (grovere) klei wordt gebruikt dan voor de dakpanproduktie. Het specifiek oppervlak blijkt positief gecorreleerd te zijn met het leemgehalte (het gehalte aan fijne deeltjes). Tevens blijkt dat de onderlinge spreiding in de voor hetzelfde doel gebruikte kleien gering is. De in tabel 3 genoemde kleien zijn gemengde rivierkleien. Kleien uit Zuid-Limburg of uit Duitsland blijken vooral een veel kleiner aandeel grof zand en een groter aandeel leem te bevatten. Daarom worden ze gemengd (afgeschraald) met zand, waardoor de daaruit ontstane perskleien juist weer een relatief groot aandeel grof zand bevatten.

Met name voor de verwerkbaarheid van de klei is een juiste korrelopbouw (een juist aandeel van de 4 verschillende korrelgrootteklassen) van groot belang. In paragraaf 3.3 wordt hierop nader ingegaan.

Mineralogische samenstelling

In de Nederlandse kleien komen diverse soorten mineralen voor. De meest voorkomende zijn: kwarts (siliciumoxyde), veldspaten (calcium-, kalium-, en/of natrium-aluminium-silicaten), calciëet (calciumcarbonaat), ijzermineralen (ijzeroxyde, hydroxyde of -sulfide) en de eigenlijke kleimineralen; kaoliniet, illiet en montmorilloniet. Uiteraard is voor de produktie van grofkeramiek het aandeel kleimineralen het meest van belang. Echter, voor de kleur van het produkt is ook het gehalte aan ijzer- en mangaanmineralen en calciumverbindingen van belang (zie paragraaf 3.3).

In de in Nederland gewonnen kleien varieert het gehalte aan kleimineralen van 20 tot 55%, met een gemiddelde van ongeveer 30%. Dit totaalgehalte is opgebouwd uit gemiddeld 6% kaoliniet, 12% illiet en 12% montmorilloniet.

Het gehalte aan mineralen (en dan nog alleen maar het kristallijne deel en slechts semi-kwantitatief) is te bepalen met behulp van de techniek van röntgendiffractie. Meestal wordt daarom een elementairanalyse gedaan, waarna het aandeel mineralen globaal wordt uitgerekend aan de hand van de gemeten elementconcentraties, uitgedrukt als gehalten aan metaaloxiden en onder andere het gemeten specifiek oppervlak. (Zie voor de gehalten aan metaaloxiden tabel 4). SiO_2 is voornamelijk afkomstig van kwarts, kleimineralen en eventueel veldspaten. Al_2O_3 komt voor in veldspaten en de eigenlijke kleimineralen. Calcium en magnesium zijn meestal voor het grootste deel aanwezig in de vorm van -carbonaat (CO_3) en voor een kleiner deel in de vorm van -sulfaat (SO_4).

Chemische samenstelling

Zoals hierboven al is aangegeven, wordt voor de karakterisering van de klei met betrekking tot de verwerkbaarheid ervan, het gehalte aan hoofdelementen silicium, aluminium, calcium, ijzer, mangaan, kalium, magnesium en natrium bepaald. Deze gehalten worden omgerekend, en weergegeven als gehalte aan oxiden. Daarnaast wordt ook het gloeiverlies en het gehalte aan sulfaat, totaalzwavel en fluoride bepaald. Vanuit technisch oogpunt is het bovengenoemde voldoende om het gedrag van de klei te kunnen inschatten tijdens de voorbereiding, het drogen en het bakken.

Vanuit milieuhygiënisch oogpunt wordt de laatste jaren meer en meer ook gekeken naar het gehalte aan (zware) metalen, zoals bijvoorbeeld barium, chroom, koper, nikkel en zink. Andere metalen, die over het algemeen in lage concentraties voorkomen maar die in hogere concentraties wel milieubelastend kunnen zijn, werden tot op heden meestal niet gemeten. De belangrijkste reden hiervoor was het feit dat de meeste metingen uitgevoerd werden bij het Technisch Centrum voor de Keramische Industrie. De daar in gebruik zijnde analysemethode (röntgenfluorescentie) was niet in staat de betreffende elementen in dergelijke, lage concentraties te detecteren. Voorbeelden van deze elementen zijn antimoon, arseen, cadmium, molybdeen en seleen. In tabel 4 is een overzicht gegeven van de gemiddelde chemische samenstelling en de onderlinge spreiding van in Nederland gebruikte kleien. Het betreft hier gegevens van 51 kleien, gemeten met behulp van de röntgenfluorescentie techniek [1]. Hieraan zijn toegevoegd gegevens betreffende de gehalten aan arseen, molybdeen en cadmium, gemeten met behulp van instrumentele neutronenactiveringsanalyse op een 16-tal monsters [5].

Milieucertificering Bouwkeramiek
Fase 1: Voorstudie

Tabel 4 Chemische samenstelling van in Nederland gebruikte kleien

Component	Eenheid	Ondergrens	Bovengrens	Gemiddelde
SiO ₂	%	57,1	85,6	69,3
Al ₂ O ₃	%	6,6	20,1	11,9
Fe ₂ O ₃	%	0,3	5,6	4,0
MnO	%	0,01	0,17	0,08
CaO	%	0,1	13,8	3,2
MgO	%	0,2	2,5	1,4
Na ₂ O	%	0,04	0,95	0,47
K ₂ O	%	1,1	2,9	2,1
Gloeiverlies	%	2,4	14,1	6,3
Ba (barium)	mg/kg	148	459	341
Co (cobalt)	mg/kg	< 20	36	< 20
Cr (chroom)	mg/kg	42	112	72
Cu (koper)	mg/kg	7	50	13
Ni (nikkel)	mg/kg	18	92	40
Pb (lood)	mg/kg	22	176	50
V (vanadium)	mg/kg	46	179	93
Zn (zink)	mg/kg	< 10	121	67
As (arseen)	mg/kg	5	19	12
Cd (cadmium)	mg/kg	< 0,2	1,3	0,6
Mo (molybdeen)	mg/kg	< 5	15	7

Uit tabel 4 volgt dat de spreiding voor bepaalde componenten (calciumoxyde, ijzer-oxyde, lood, zink) groter is dan voor andere (siliciumoxyde, kaliumoxyde, chroom, vanadium, arseen). Het gloeiverlies is een sommatie van het humusgehalte, de ontleding van carbonaten in oxyden en kooldioxyde en het uitstoken van geadsorbeerd water. Naast de hier genoemde hoofd- en spoorelementen worden in klei ook chloriden, fluoriden en zwavelverbindingen gevonden. De concentraties daarvan liggen over het algemeen voor chloriden beneden de 200 mg/kg, voor fluoriden beneden de 800 mg/kg en voor zwavel beneden de 1000 mg/kg. Gedurende het stookproces kan een deel van deze verbindingen uit het produkt verdwijnen.

In een recentelijk uitgevoerd onderzoek is een vijftal rivierkleilocaties bemonsterd en in detail onderzocht [4]. Uit dit onderzoek wordt het volgende geconcludeerd:

- Het specifiek oppervlak is gerelateerd aan het leemgehalte en aan het humusgehalte.
- In de uiterwaardafzettingen zijn meer naar het oppervlak toe hogere concentraties aan zware metalen aangetroffen dan in de binnendijkse wingebieden. Dit wijst op een verontreiniging van de recent afgezette sedimenten als gevolg van industriële activiteiten stroomopwaarts. Overigens wordt bij de winning van klei normaal gesproken de bovenste halve meter weggeschoven en na de winning weer teruggestort.
- Er bestaat een positieve correlatie tussen het leemgehalte van de klei en het gehalte aan onder andere de metalen barium, chroom en vanadium. Deze elementen zijn waarschijnlijk ingebouwd in of geadsorbeerd aan de kleimineralen.
- Lood vertoont een positieve correlatie met het humusgehalte.

3.3 Eigenschappen van klei in relatie tot het productieproces

Voor een goede verwerking van de klei mag deze niet te slap, maar ook weer niet te stijf zijn. Bij een te slappe klei zullen de vormelingen gaan doorzakken tijdens het vervoer naar de drogerij. Een te stijve klei is moeilijk te persen, waardoor de steen ongewenste nerven zal krijgen. Om een stijve klei slapper te maken, wordt tijdens de kleivoorbereiding extra stoom toegevoegd.

Voor de vormgeving is het van belang dat de klei gemakkelijk vervormbaar, plastisch is. Het plastisch gedrag wordt met name bepaald door de plaatvormige kleideeltjes. De klei moet dus voldoende fijne (klei)deeltjes bevatten. Indien dit niet het geval is, wordt een vette klei bijgemengd; indien de klei van zichzelf te vet is (te veel kleideeltjes bevat), wordt de klei afgeschraald met zand.

Met name de vormgeving door middel van extrusie vraagt om een hoge plasticiteit. In het bovenstaande is al duidelijk geworden dat vooral het aandeel kleimineralen de klei plastisch maakt. Binnen de groep van kleimineralen draagt met name het mineraal montmorilloniet bij aan het plastisch gedrag van de klei (meer dan illiet en kaoliniet). Het ligt dan ook voor de hand om voor de productie van strengpersstenen en/of dakpannen gebruik te maken van kleien met een hoog gehalte aan montmorilloniet.

Vanuit een andere gezichtshoek is dit overigens weer aan een maximum gebonden. Montmorilloniet en andere zogenaamde zwellende kleimineralen nemen veel vocht op, wat leidt tot relatief lange droogtijden. Gewoonlijk wordt voor de productie van stenen een maximum aan zwellende kleimineralen van 12% aangehouden. Dit komt overeen met een specifiek oppervlak van ongeveer 80 m²/g.

Met betrekking tot het bakproces is het van belang vooraf te weten bij welke temperatuur de sintering begint. Dit is met name afhankelijk van het aandeel zogenaamde vloeimiddelen, zoals calcium-, natrium- en kaliumverbindingen. Kalkrijke kleien zullen dus bij een niet al te hoge temperatuur gebakken moeten worden. Geelbakkende kleien kunnen echter ook weer niet te laag gestookt worden omdat dan het geelkleuringsproces niet voldoende verloopt.

Om te kunnen inschatten wat de fluoremissie naar de lucht (via de rookgassen) zal zijn, is het onder andere van belang vooraf te weten hoe hoog het gehalte aan fluorverbindingen in de klei is. (Daarnaast is de fluoremissie ook van de baktemperatuur en van andere factoren afhankelijk.)

De kleur van het eindprodukt wordt bepaald door het aandeel en de onderlinge verhouding tussen het gehalte aan ijzer-, mangaan- en calciumverbindingen. Voor rivierkleien geldt dat als het ijzer overheerst, er met oplopende baktemperatuur oranje-rode-rood/paarse stenen ontstaan; overheersen de calciumverbindingen, dan wordt het produkt geel, terwijl mangaan een wat bruiner produkt tot gevolg heeft. Door dit soort verbindingen toe te voegen aan de klei, kan de kleur van het produkt worden beïnvloed (zie paragraaf 3.4).

Een relatief hoog gehalte aan in water oplosbaar sulfaat kan aanleiding geven tot het ontstaan van een witte uitslag op het gebakken produkt.

3.4 Samenstelling van nevangrondstoffen

Er is een groot aantal stoffen dat wordt ingezet als nevangrondstof bij de produktie van bouwkeramiek. Hieronder volgt een (zeker niet uitputtende) lijst van nevangrondstoffen, met daarbij vermeld hun invloed op de eigenschappen van de klei of het produkt. Tevens wordt van die nevangrondstoffen waarvan dit bekend is, de chemische samenstelling op hoofdcomponenten gegeven.

Verschralingsmiddelen

Om vette kleien te verschralen, werd en wordt nog steeds veel gebruik gemaakt van zand (bestaat overwegend uit silikaat) of lava (een gemalen lavagesteente, voornamelijk bestaande uit aluminiumsilikaten). De laatste jaren wordt in toenemende mate ook gebruik gemaakt van aluminiumsilikaatrijke reststoffen als verschralingsmiddel, zowel op experimentele als op commerciële schaal. Voorbeelden hiervan zijn kolen-vlieg-as, vasilith en in de substraatteelt gebruikte steenwol. Het toeslagpercentage van verschralingsmiddelen ligt meestal tussen de 0 en 20%.

Pigmentstoffen

In de vorige paragraaf is al aangegeven dat de uiteindelijke kleur van het bouwkeramische produkt met name afhangt van de verhouding tussen het gehalte aan ijzeroxyde en calciumverbindingen. De bakkleur gaat geleidelijk over van rood via brons naar geel als de genoemde verhouding (als $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$) verlaagd wordt van 1,0 naar 0,3. Om de verhouding van 1,0 te bereiken, wordt in de baksteenindustrie meestal een ijzerrijke klei toegevoegd. Voor de produktie van dakpannen wordt ook wel een ijzerrijke pigmentstof toegevoegd, bijvoorbeeld het zogenaamde rotschlamm (een ijzerrijke reststof van de aluminiumfabricage). Om de verhouding van 0,3 te bereiken wordt veelal fijngemalen kalksteen (met een calciumcarbonaatgehalte van tenminste 95%) toegevoegd of mergel (met een lager gehalte aan calciumcarbonaat). De dosering van bovengenoemde pigmentstoffen kan variëren van enkele tot 25 à 30%. Overige pigmentstoffen zijn bruinsteen (bevat tenminste 80% mangaandioxyde, MnO_2) en chromiet (bevat tenminste 90% $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$). Deze laatstgenoemde twee pigmentstoffen worden tot maximaal 10% aan de klei toegevoegd.

Sulfaatbinder

Om het in de klei aanwezige sulfaat te binden, en daarmee sulfaatuitslag te voorkomen, wordt soms bariumcarbonaat aan de klei toegevoegd (tot maximaal 0,5%). De toegevoegde barium reageert met het aanwezige sulfaat tot het vrijwel onoplosbare

bariumsulfaat (bariet). Met name in de dakpannenindustrie wordt deze hulpstof gebruikt.

Opstijfmiddelen

Om de klei te laten opstijven, wordt soms een kleine hoeveelheid (0-2%) kalk (calciumhydroxyde) of een organisch opstijfmiddel (tot maximaal 0,5%) toegevoegd.

Glazuren

Om bouwkeramische produkten een gladde afwerklaag te geven en/of te kleuren, wordt een deel van de produkten geglaazuurd. Dit geldt met name voor de vloertegels (meer dan de helft van de produktie) en voor dakpannen, maar ook voor een klein deel van de metselbakstenen. In glazuren zijn met name lood- en zinkbevattende stoffen verwerkt.

Van de meeste nevengrondstoffen is, wat de chemische samenstelling betreft, alleen wat bekend over de hoofdelementen maar weinig of niets over de spoorelementen. Vooral nu niet alleen de samenstelling, maar ook de uitloging steeds meer een criterium wordt waarop produkten beoordeeld gaan worden, verdient het aanbeveling om meer aandacht te schenken aan de samenstelling ten aanzien van spoorelementen van de nevengrondstoffen. Tevens zou nagegaan moeten worden wat het effect van de nevengrondstoffen is op het uitlooggedrag van de bouwkeramische produkten.

4 Bouwkeramische produkten (samenstelling en uitlooggedrag)

In het vorige hoofdstuk zijn de grondstoffen voor de produktie van bouwkeramische produkten onder de loep genomen. In dit hoofdstuk (4) zullen de daaruit vervaardigde produkten centraal staan. In de eerste paragraaf zal iets gezegd worden over de chemische samenstelling van de produkten. In paragraaf 2 zal worden geïnventariseerd wat er bekend is over het uitlooggedrag van bouwkeramische produkten. De fysisch-technische eigenschappen komen niet rechtstreeks aan bod, omdat ze minder van belang zijn bij de milieucertificering van de produkten.

4.1 Samenstelling bouwkeramische produkten

Met betrekking tot zowel de samenstelling als het uitlooggedrag van bakstenen is onder andere informatie beschikbaar uit het VIGP-project (vliegas in grofkeramische produkten). In één van de deelprojecten zijn van een dertiental fabrieken, representatief voor de Nederlandse situatie, van de daar geproduceerde bakstenen onderzocht op samenstelling [5]. Verder is uit zowel het VIGP-project, als uit een door KEMA en het TCKI uitgevoerd onderzoek informatie beschikbaar over bakstenen waarin vliegas is verwerkt [5] [6] [7]. Tenslotte is van een willekeurige baksteen en een willekeurige dakpan de samenstelling gegeven in [1]. De hierboven genoemde informatie is, voor wat betreft de samenstelling, weergegeven in de tabellen 5 en 6. Tot nog toe is er geen systematisch milieuhygiënisch karakteriseringsonderzoek gedaan aan geëngobeerde en geglazuurde dakpannen en aan keramische tegels. In tabel 5 wordt een vergelijking getrokken tussen klei en daaruit vervaardigde produkten. In de derde kolom is de gemiddelde kleisamenstelling uit tabel 4 opnieuw weergegeven. In de vierde en vijfde kolom zijn de samenstellingscijfers van respectievelijk een willekeurige baksteen en een willekeurige dakpan weergegeven. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van de röntgenfluorescentietechniek.

Tabel 5 Samenstelling van kleien (een gemiddelde), een baksteen en een dakpan

Component	Eenheid	Gemiddelde kleisamenst.	Samenstelling baksteen	Samenstelling dakpan
SiO ₂	%	69,3	76,8	72,4
Al ₂ O ₃	%	11,9	10,3	13,4
Fe ₂ O ₃	%	4,0	3,9	4,7
MnO	%	0,08	0,07	0,10
CaO	%	3,2	3,7	2,2
MgO	%	1,4	1,4	1,4
Na ₂ O	%	0,47	0,72	0,58
K ₂ O	%	2,1	2,0	2,3
Ba (barium)	mg/kg	341	355	2823*
Co (cobalt)	mg/kg	< 20	< 20	< 20
Cr (chromium)	mg/kg	72	114	73
Cu (koper)	mg/kg	13	< 10	27
Ni (nikkel)	mg/kg	40	64	46
Pb (lood)	mg/kg	50	33	500 ⁺
V (vanadium)	mg/kg	93	82	89
Zn (zink)	mg/kg	67	43	71

* = Door toevoeging BaCO₃ aan de klei.

⁺ = Door toevoeging glazuurresten aan de klei.

Zoals verwacht mocht worden, is de samenstelling van het produkten min of meer vergelijkbaar met die van de klei. Hierbij dienen wel de volgende opmerkingen te worden geplaatst:

- Bij bepaling van de samenstelling is het resultaat sterk afhankelijk van de zogenaamde ontsluitingsmethode. Bij een zogenaamde totaalontsluiting zijn de analyseresultaten (van grondstoffen en produkten) over het algemeen goed vergelijkbaar. Bij een partiële ontsluiting (zoals bijvoorbeeld de koningswaterontsluiting) is dit niet zonder meer het geval. Het lijkt aannemelijk dat in dat geval het gebakken produkt minder goed ontsloten zal worden als de oorspronkelijke klei.
- De samenstellingscijfers van de produkten zullen over het algemeen iets hoger liggen dan van de klei. Dit wordt veroorzaakt door het uitstoken van bepaalde, in de klei aanwezige componenten, zoals de aanwezige organische fractie (humus), chemisch gebonden water en bepaalde carbonaten.

Milieucertificering Bouwkeramiek
Fase 1: Voorstudie

- De concentratie aan de meer vluchtige componenten kan in het produkt lager zijn dan in de grondstof(fen) door vervluchtiging tijdens het bakproces. Uit proeven [5] is dit gebleken voor de elementen fluor en zwavel. Voor de vluchtige zware metalen (zoals arseen, cadmium en lood) werden geen aantoonbare emissies gemeten.
- Zoals bij de dakpan te zien is, kan de samenstelling op bepaalde componenten aanzienlijk veranderen door toevoeging van nevengrondstoffen.

In tabel 6 zijn samenstellingscijfers gegeven van uit klei vervaardigde stenen (zowel straat- als metselstenen), zoals deze zijn gemeten in het VIGP-onderzoek [5]. Hierbij is onderscheid gemaakt in winregio van de klei. In het VIGP-onderzoek (waarbij gebruik is gemaakt van een totaalontsluitingstechniek) is slechts een beperkt aantal elementen in het onderzoek betrokken.

Tabel 6 Samenstelling van uit klei vervaardigde bouwkeramische produkten

Winregio	Aantal	Ca g/kg	Na g/kg	K g/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	V mg/kg
Straatstenen							
Rijn/Waal/IJssel	8	40,3	7,4	18,9	13,2	0,5	76
Metselstenen							
Rijn	1	31,2	7,7	18,7	16,6	1,1	75
Maas	1	11,2	7,2	16,5	11,8	0,6	104
Zeeklei (Groningen)	1	15,0	5,6	17,4	20,2	0,4	252
Keileem (Achterh.)	1	4,6	4,8	19,1	6,1	0,7	75
Brabantse klei	2	62,5	6,1	17,2	11,6	0,5	90
Löss-leem (Limburg)	1	5,3	8,0	17,6	9,5	0,2	67

Uit tabel 6 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- het gehalte aan calcium verschilt nogal per winregio van de klei (zie ook paragraaf 3.1);
- het gehalte aan natrium, kalium en cadmium verschilt relatief weinig;
- het gehalte aan arseen is laag in de steen, vervaardigd uit keileem uit de achterhoek;
- het gehalte aan vanadium is relatief hoog in de uit zeeklei vervaardigde metselsteen;
- de onderlinge spreiding tussen de analyseresultaten van de 8 straatstenen uit rivierkleien zijn kleiner dan of gelijk aan ongeveer 20% voor de elementen natrium, kalium, arseen, cadmium en vanadium; voor calcium is de onderlinge spreiding aanzienlijk groter.

4.2 Uitlooggedrag bouwkeramische produkten

Milieuhygiënisch gezien, is het minder relevant welke concentraties aan onder andere zware metalen in de kleien en bouwkeramische produkten **aanwezig** zijn, maar veel meer welke hoeveelheden uitloogbaar zijn, en in welk tempo dit gebeurt. De uitloging kan op verschillende manieren worden gemeten. In Nederland zijn momenteel drie soorten uitloogproeven in gebruik:

- een zogenaamde beschikbaarheidsproef, waarmee de beschikbaarheid van de verschillende elementen voor uitloging bepaald kan worden; het gaat hierbij om een uitloging in een onbepaalde tijd en eventueel onder extreme omstandigheden;
- een combinatie van een kolomproef en een cascadeproef voor de bepaling van de uitloging van elementen uit korrelvormige materialen, als functie van de L/S-verhouding (een relatieve tijdschaal);
- een diffusieproef voor de bepaling van de uitloging (met name middels diffusie) uit vormgegeven produkten (zoals bouwkeramische produkten), als functie van de tijd.

Uit de hierboven gegeven opsomming blijkt dat voor de gebruiksfase van bouwkeramische produkten de beschikbaarheidsproef en de diffusieproef in principe bruikbaar zijn, terwijl de kolom- en/of cascadeproef hooguit iets zeggen over het afvalstadium van bouwkeramische produkten. In het Bouwstoffenbesluit, dat in voorbereiding is voor de milieuhygiënische beoordeling van bouwmaterialen, wordt alleen de diffusieproef voorgeschreven (hoewel voor een juiste interpretatie van de meetgegevens uit deze proef ook de beschikbaarheid voor uitloging bekend dient te zijn).

Tot nog toe is er weinig bekend over de uitloging uit bouwkeramische produkten, behalve uit de eerder genoemde onderzoeken en een recentelijk uitgevoerd onderzoek naar het uitlooggedrag van 5 representatieve steensoorten [9]. Helaas zijn de uitloogproeven aan de uit pure klei vervaardigde stenen in het VIGP-onderzoek niet met behulp van de diffusieproef maar met behulp van de cascadeproef uitgevoerd (omdat ten tijde van de uitvoering van dit onderzoek de diffusieproef nog niet ver genoeg ontwikkeld was). Hierdoor zijn deze gegevens uit het VIGP-project wel bruikbaar voor een onderlinge vergelijking van de bakstenen, naar niet voor vergelijking met normen en dus ook niet voor het certificeringsproces.

Deze resultaten uit het VIGP-onderzoek betreffende de cumulatieve uitloging middels de cascadeproef laten een sterke overeenkomst zien met de beschikbaarheid voor uitloging uit dezelfde bakstenen. In tabel 7 is daarom alleen de beschikbaarheid voor uitloging gegeven, en niet ook de cumulatieve uitloging middels de cascadeproef.

Milieucertificering Bouwkeramiek
Fase 1: Voorstudie

Tabel 7 Beschikbaarheid voor uitloging van uit klei vervaardigde bakstenen

Winregio	Aantal	Ca mg/kg	Na mg/kg	K mg/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Mo mg/kg	V mg/kg
Hardgebakken straatstenen								
Rijn/Waal/ IJssel	5	528	29	98	3,5	0,02	0,5	1,9
Zachtgebakken straatstenen								
Rijn/Waal/ IJssel	3	1375	39	119	5,9	0,01	0,6	6,2
Metselstenen								
Rijn	1	2980	36	113	3,9	0,01	0,3	7,4
Maas	1	160	NA	85	1,6	0,08	0,1	0,9
Zeeklei (Groningen)	1	1160	NA	115	3,4	0,04	0,1	7,5
Keileem (Achterhoek)	1	315	27	NA	0,8	0,01	0,5	1,2
Brabantse klei	2	1290	42	150	2,2	0,02	0,4	3,5
Löss-leem (Limburg)	1	120	37	NA	1,2	0,01	0,5	0,6

Uit tabel 7 (en in relatie met tabel 6) kan een aantal zaken worden afgeleid, namelijk:

- (uitgaande van dezelfde soort klei) is de beschikbaarheid voor uitloging uit de zachtgebakken straatstenen groter dan die uit de hardgebakken straatstenen, maar lager dan de (bij nog lagere temperaturen gebakken) metselstenen; met andere woorden de beschikbaarheid voor uitloging lijkt af te nemen met een hogere baktemperatuur;
- de beschikbaarheid voor uitloging van de verschillende elementen lijkt daarnaast ook afhankelijk te zijn van de in de vaste stof aanwezige concentratie ervan (en daarmee van de herkomst van de klei);
- al met al is de spreiding in beschikbaarheid groter dan de spreiding in chemische samenstelling.

Naast uitloogonderzoek aan referentie-kleistenen is in het VIGP-onderzoek ook uitloogonderzoek uitgevoerd op baksteentjes die op laboratoriumschaal zijn vervaardigd uit een mengsel van klei en vliegashoudend cement. Hierin zijn tevens enkele steentjes uit pure klei meegenomen. De in dit onderzoek betrokken kleien waren allen (4) afkomstig uit het rivierengebied Rijn/Waal/IJssel. In dit onderzoek zijn onderzocht de samenstelling, de beschikbaarheid voor uitloging, de uitloging middels de cascadeproef en (voor een beperkt aantal steentjes) de uitloging middels de diffusieproef.

Het samenstellingsonderzoek laat duidelijke verschillen zien tussen de kleivliegasstenen en de stenen uit pure klei, met name ten aanzien van de spoorelementen arseen, molybdeen en vanadium. De kleivliegasstenen bevatten hogere concentraties.

De resultaten van de beschikbaarheidsproeven laten voor de spoorelementen arseen, molybdeen en vanadium grote verschillen zien bij de kleivliegasstenen onderling, afhankelijk van de bijgemengde soort vliegas en, met name, de baktemperatuur. De beschikbaarheid voor de bij hoge temperatuur (1135 °C) gebakken kleivliegasstenen is beduidend lager dan voor de bij lager temperatuur gebakken kleivliegasstenen en vergelijkbaar met die voor uit pure klei gebakken stenen. Ook voor de andere elementen (calcium, natrium en cadmium) zijn beschikbaarheden voor uitloging voor de kleivliegasstenen en de kleistenen vergelijkbaar.

Ook voor de in dit kader uitgevoerde cascadeproeven geldt dat de resultaten min of meer vergelijkbaar zijn met de resultaten van de beschikbaarheidsproeven. De resultaten van de cascadeproeven leveren dus weinig extra informatie.

Een achttal proefsteentjes uit het VIGP-onderzoek (waarvan 1 kleisteen en 7 kleivliegasstenen) is op uitloging onderzocht middels de diffusieproef. Dit geldt tevens voor een viertal stenen uit het door KEMA en TCKI uitgevoerde onderzoek [7] (waarvan 1 kleisteen en 3 kleivliegasstenen). Tenslotte is ook in het recentelijk door het Technisch Centrum voor de Keramische Industrie uitgevoerde uitloogonderzoek een vijftal steensoorten aan een diffusieproef onderworpen. De resultaten van al deze onderzoeken zijn samengevat in tabel 8. De onderzochte stenen zijn daarin geclusterd in 5 groepen, omdat de uitloogresultaten hiervan relatief dicht bij elkaar in de buurt liggen:

1. 10 stenen uit het door TCKI uitgevoerde onderzoek [9] (van 5 verschillende steensoorten een hardgebakken en een zachtgebakken exemplaar);
2. de 4 stenen uit het door KEMA en TCKI uitgevoerde onderzoek [7] (de resultaten van de kleivliegasstenen en de kleistenen lagen heel dicht bij elkaar in de buurt);
3. een viertal kleivliegasstenen, gebakken bij relatief lage temperatuur [5];
4. drie kleivliegasstenen, gebakken bij een relatief hoge temperatuur [5];
5. een referentiesteen, gebakken uit pure klei [5].

In tabel 8 wordt tevens een relatie gelegd met de normen van het (toekomstige) Bouwstoffenbesluit. In de tabel zijn opgenomen de aangepaste U1-waarden voor vormgegeven produkten [8]. Dit zijn de normen waaraan een produkt zal moeten voldoen om zonder enige restrictie te mogen worden toegepast. Hierbij dient nog te worden opgemerkt dat de in tabel 8 genoemde U1-normwaarden hoogst waarschijnlijk wel voor straatstenen zullen gelden, maar dat die voor metselstenen hoger zullen zijn (in verband met de geringe mate van bevochtiging van verticaal gemetselde stenen muren).

Milieucertificering Bouwkeramiek
Fase 1: Voorstudie

Tabel 8 Cumulatieve uitloging na 64 dagen, in mg/m²

Element	Stenen 1*	Stenen 2*	Stenen 3*	Stenen 4*	Steen 5*	Norm Bsb
Arseen	2 -15	3 - 5	35 - 90	3 - 5	20	40
Molybdeen	< 7	1 - 2	15 - 60	1 - 4	4	15
Vanadium	15 -50	8 -15	15 - 150	6 - 9	50	90/250
Barium	3 -40	7 -20				250/600
Cadmium		0,1- 0,2				1
Chroom	2 -20	< 1				150
Koper	< 7	1 - 2				50
Nikkel	< 5	±1				50
Lood	< 20	5 -10				100
Seleen	< 1	2 - 3				1,5
Zink	< 2	10 -20				200
Fluoride	100- 500					650/1500
Sulfaat	1000-4500	± 2000				25000

* = voor nummering zie tekst boven tabel 8.

De in tabel 8 gepresenteerde resultaten laten onder andere het volgende zien:

- de verschillende categorieën van stenen verschillen onderling nogal, qua uitloging, waarbij met name de baktemperatuur een rol lijkt te spelen;
- ook de vijf representatief geachte stenen (1) uit de gewone produktie verschillen onderling nogal;
- de uitloging van deze 5 steensoorten blijft voor alle gemeten elementen beneden de U1-normwaarde (hoewel voor een aantal elementen de onderste bepalingsgrens van de gebruikte analysetechniek dusdanig hoog is dat een harde uitspraak hierover niet mogelijk is;
- de toevoeging van vliegashoudend materiaal aan de klei lijkt in principe geen negatief effect te hebben op het uitlooggedrag ervan (2,4);
- de uitloging uit de zachter gebakken stenen (3) is hoger dan de aangepaste U1-normwaarde voor de elementen arseen, molybdeen en vanadium (hier staat tegenover dat de zachter gebakken stenen over het algemeen metselstenen zijn, waarvoor hoogst waarschijnlijk een hogere normwaarde zal gelden);
- de uitloging van seleen is hoger dan de U1-norm voor één van de soorten stenen waarvan de uitloging van dit element is onderzocht (2).

5 Milieucertificering van bouwkeramiek

In hoofdstuk 1, 'Inleiding', is al aangegeven dat dit rapport de basis zou moeten vormen voor het opzetten van een systeem voor de milieucertificering van bouwkeramiek. Nadat in de voorgaande hoofdstukken een overzicht is gegeven van beschikbare informatie met betrekking tot het productieproces van bouwkeramiek, de grondstoffen hiervoor en de producten zelf, komt in dit hoofdstuk (5) de milieucertificering aan bod. In paragraaf 1 wordt eerst het algemene kader geschetst en wordt de procedurele kant van de milieucertificering belicht. Daarna wordt, in paragraaf 2, inhoudelijk op de milieucertificering van bouwkeramiek ingegaan en wordt aangegeven wat er zoal in het keuringsplan zou moeten staan.

De inhoud van dit hoofdstuk, maar met name die van paragraaf 2, is gebaseerd op door het IKOB aangeleverde informatie.

5.1 Algemeen kader en procedures met betrekking tot milieucertificering

In de afgelopen jaren is, op initiatief van NOVEM, een systematiek ontwikkeld voor het opstellen en ondersteunen van milieucertificeringsprocedures. Uitgangspunt hierbij is dat er geen aparte certificerende instellingen worden opgericht voor deze activiteit. Een adviserende rol ten opzichte van de certificerende instellingen in de bouw is weggelegd voor de Stichting Materialenbank Nederland (MBN) en de Uitloogdatabank Nederland (UDN). Het milieucertificaat kan op deze wijze verstrekt worden door de certificerende instellingen in de bouw, als 'milieuparagraaf' in het technisch certificaat. Deze aanpak wordt ondersteund door de Stichting Bouwkwiteit (SBK).

Uitgaande van de hierboven genoemde systematiek, zou de beoordelingsrichtlijn voor het verkrijgen van een productcertificaat voor de betreffende bouwkeramische productsoort moeten worden uitgebreid met een aantal extra eisen. Het gaat hierbij om extra productcontroles, op basis waarvan een uitspraak gedaan kan worden of het product al dan niet voldoet aan de in het Bouwstoffenbesluit gestelde eisen.

In het Bouwstoffenbesluit worden eisen gesteld ten aanzien van de samenstelling (op organische componenten) en het uitlooggedrag (op anorganische componenten) van bouwmaterialen. Gezien de relatief hoge baktemperatuur van bouwkeramische producten mag worden verwacht dat een regelmatige controle op samenstelling (wat organische componenten betreft) niet nodig zal zijn. De milieucertificering van bouwkeramiek dient dan ook met name gericht te zijn op (het uitlooggedrag van) anorganische componenten zoals metalen en anionen. Op basis van het uitlooggedrag zullen bouwkeramische producten worden ingedeeld in de in het Bouwstoffenbesluit genoemde categorieën V1 of V2.

In de hierboven genoemde beoordelingsrichtlijn wordt in algemene termen aangegeven waaraan de bouwkeramische producten dienen te voldoen, en hoe (volgens welke al dan niet genormaliseerde meetmethoden) dit dient te worden vastgesteld. Deze beoordelingsrichtlijn heeft dan ook een algemeen karakter, en zal gelden voor de gehele branche (per productsoort). Deze richtlijn komt tot stand via onder andere een openbare kritiekronde langs alle belanghebbenden. Daarnaast dient er, per producent, een keuringsplan te worden opgesteld waarin wordt aangegeven op welke wijze en hoe frequent een bepaalde keuring wordt uitgevoerd. Dit keuringsplan dient

door de certificatie-instelling te worden geautoriseerd. Op dit keuringsplan wordt in de volgende paragraaf nader ingegaan.

5.2 Inhoud van het keuringsplan

In het keuringsplan dienen procedures te zijn opgenomen met betrekking tot het zogenaamde (eenmalige) 'toelatingsonderzoek' en de steeds terugkerende 'doorlopende produktcontrole'.

In het toelatingsonderzoek wordt nagegaan of het produkt qua uitloging voldoet aan de uit het Bouwstoffenbesluit afgeleide eisen voor de betreffende categorie. Tevens dient te worden nagegaan welke spreiding in resultaten verwacht mag worden. Ook wordt aandacht besteed aan de relatie tussen de grondstofsamenstelling, de procescondities en de karakteristieken van het produkt. Daarnaast zullen uit het toelatingsonderzoek de randvoorwaarden moeten volgen voor de uitvoering van de doorlopende produktcontrole. Hiervoor dient een zogenaamde verificatietest te worden ontwikkeld waarmee op relatief eenvoudige wijze voldoende informatie kan worden verkregen over de uitloogeigenschappen van het produkt. De verificatietest kan hoogst waarschijnlijk voor alle bouwkeramische produkten dezelfde test zijn. Per producent dient dan wel te worden vastgesteld wat de relatie is tussen het resultaat van de uitgebreide en van de verkorte test (de verificatietest). Tevens dient (waarschijnlijk per producent) te worden vastgesteld wat de meest kritische elementen zijn, waarop de aandacht in de doorlopende produktcontrole gericht dient te zijn.

Om voor de lopende produktie vast te stellen of de grenswaarden niet worden overschreden, dient op gezette tijden een produktcontrole te worden uitgevoerd. Het gaat hierbij om een controle middels de verificatietest, en analyse op de uit het toelatingsonderzoek naar voren gekomen kritische elementen. De frequentie waarmee de produktcontrole wordt uitgevoerd, hangt af van de (eerder gemeten) niveaus ten opzichte van de vereiste grenswaarden. Naarmate de grenswaarden vaker en/of dichter benaderd worden, zal de testfrequentie worden opgevoerd. Daarnaast zal het periodiek nodig blijven om een volledige uitloogtest uit te voeren, ter bewaking van het controlesysteem door middel van de verificatietest. Ook zal de keuze van kritische elementen af en toe geverifieerd dienen te worden.

6 Aanbevelingen met betrekking tot de invulling van fase 2

6.1 Selectie van grondstoffen en produkten ten behoeve van uitloogkarakterisering

Hieronder volgt een aanzet voor de selectie van grondstoffen en produkten ten behoeve van een inventariserende uitloogkarakterisering. De volgende zaken zouden met elkaar kunnen worden vergeleken (nagegaan dient te worden in hoeverre bepaalde variaties meer of minder relevant zijn en in hoeverre bepaalde zaken gecombineerd kunnen worden):

- de vergelijking van een metselsteen, een straatsteen, een dakpan (en eventueel een tegel), bij voorkeur op één en dezelfde klei, of kleien met min of meer overeenkomstige samenstelling en eigenschappen;
- de vergelijking van dezelfde soort stenen (qua vormgeving en productie) maar verschillend in winregio van de klei (gedacht kan worden aan de volgende regio's: het Rivierengebied (uitgezonderd de Maas), de Maas, Limburg (löss), Brabant (leem), Groningen en Duitsland);
- de vergelijking van de drie vormgevingsmethoden (handvorm, vormbak en strengpers), bij voorkeur op één en dezelfde klei;
- het effect van de baktemperatuur (eventueel gecombineerd met het toevoegen van pigmentstoffen).

Bij de definitieve selectie van grondstoffen en produkten voor fase 2 dient rekening te worden gehouden met:

- de koppeling met het VIGP-project, dat wil zeggen tenminste één kleivliegasteen meenemen;
- het reeds door het TCKI (in opdracht van KNB) uitgevoerde uitloogonderzoek [9] (duplicering moet voorkomen worden);
- het al dan niet reeds hebben van een technisch certificaat;

6.2 Aanbevelingen ten behoeve van milieucertificering

In hoofdstuk 5 is een aantal zaken de revue gepasseerd met betrekking tot de milieucertificering van bouwkeramiek die ineens voor de hele branche geregeld kunnen worden. Daarnaast zijn enkele zaken genoemd die specifiek, per producent geregeld zullen moeten worden. In fase 2 van het momenteel in uitvoering zijnde onderzoek zullen met name die zaken aan de orde komen, die algemeen van karakter zijn, en voor de hele branche gelden. Verfijning en/of verdere uitwerking kan eventueel daarna in een fase 3 per producent plaatsvinden. In het hiernavolgende worden enkele zaken genoemd, die in fase 2 aan de orde zouden kunnen komen:

- Middels een beperkt samenstellingsonderzoek zou moeten worden aangetoond dat organische componenten geen rol spelen in de milieuhygiënische beoordeling van bouwkeramische produkten.
- In het uit te voeren samenstellings- en uitloogonderzoek zal ingezoomd moeten worden van veel elementen (alle in het Bouwstoffenbesluit genoemde anorganische componenten) naar alleen de meer kritische elementen. Uit dit onderzoek dient te volgen welke elementen in het toelatingsonderzoek per producent bekeken zullen moeten worden.

Milieucertificering Bouwkeramiek
Fase 1: Voorstudie

- Verder zou oriënterend gekeken moeten worden naar de eventuele relaties tussen de grondstofsamenstelling, procescondities (met name de baktemperatuur) en de produktsamenstelling en -uitloging.
- Daarnaast zou oriënterend onderzoek gedaan kunnen worden naar mogelijkheden om de (uitgebreide) diffusieproef te bekorten, om zodoende een eerste aanzet te geven tot de verdere ontwikkeling van een verkorte proef (ofwel een verificatietest). Hierbij kan gedacht worden aan de reeds in gebruik zijnde schudproef, zoals omschreven in NEN 2489 of aan de in Europees verband in ontwikkeling zijnde proef, zoals omschreven in de prEN 772.5 en prEN 771.1 (maar dan ook voor spoorelementen).
- Op basis van het in fase 2 uit te voeren praktisch onderzoek kan alvast een inschatting gemaakt worden van de frequentie waarop de doorlopende produktcontroles dienen te worden uitgevoerd, afhankelijk van de spreiding van meetresultaten en het niveau ten opzichte van de gestelde eis.

7 Referenties

- [1] J.H. van Wijck, **Milieucertificering bouwkeramiek, fase 1: voorstudie**, rapport nr 802, Stichting Technisch Centrum voor de Keramische Industrie, De Steeg, oktober 1992 (inclusief aanvullende informatie in augustus 1993).
- [2] **Van klei tot baksteen**, brochure van het Koninklijk Verbond van Nederlandse Baksteenfabrikanten, De Steeg, september 1991.
- [3] K. Huizinga e.a., **Grofkeramische Industrie**, rapport in het kader van Samenwerkingsproject Procesbeschrijvingen Industrie Nederland, januari 1992.
- [4] J.H. van Wijck, E.J. Walda en A.L. Hakstege, **Zware metalen in Nederlandse rivierkleien**, Klei, glas en keramiek, 13e jaargang, nummer 9, blz. 280-287.
- [5] R. Gerritsen en E. Mulder, **Vliegas in grofkeramische produkten, eindrapport**, TNO-rapportnr. 90-014425, Apeldoorn, december 1992.
- [6] J.H. van Wijck en P.J.C. Bloem, **Metselbakstenen uit klei en vliegas (1)**, Klei, glas en keramiek, 1989, nummer 5, blz. 97-100.
- [7] P.J.C. Bloem, C.H. Gast en J.H. van Wijck, **Metselbakstenen uit klei en vliegas (2), Uitloogonderzoek**, Klei, glas en keramiek, mei 1991, blz. 104-107.
- [8] Th. G. Aalbers e.a., **Milieuhygiënische kwaliteit van primaire en secundaire bouwmaterialen in relatie tot hergebruik en bodembescherming**, RIVM-rapport nr. 771402005, Bilthoven, juni 1992.
- [9] J.H. van Wijck, **Uitlooggedrag baksteen** (voorlopig rapport), Stichting Technisch Centrum voor de Keramische Industrie, De Steeg, december 1992.

8 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
Koninklijk Verbond van Nederlandse Baksteenfabrikanten

Vereniging van Dakpannenfabrikanten Nedaco

Algemene Vereniging voor de Nederlandse Aardewerkindustrie

Namen en functies van de medewerkers
E. Mulder – (wetenschappelijk medewerker)

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed
n.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
juni 1992 t/m augustus 1993

Ondertekening



E. Mulder
onderzoekleider

Goedgekeurd door



C.L. van Deelen
werkgroep leider

Bijlage 1 Schematisch overzicht van het productieproces van bouwkeramiek