

01 Vervaardiging en transport

01 Het productieproces van baksteen

Doel

In deze informatie wordt uitgelegd hoe het productieproces van baksteen verloopt. Van de winning van de grondstof, klei, de bewerking tot en met het bakken van de klei tot steen, baksteen. De informatie geeft antwoord op vragen als: Hoe en waar wordt klei gewonnen voor de baksteenindustrie? Welke bewerkingen moet de klei ondergaan alvorens er stenen van gebakken worden? Waar komt de kleur van de steen vandaan? Hoe wordt de klei tot steen gebakken?

Inhoud

- Inleiding
- het afgraven
- de opslag
- het voorbereiden
- het vormen
- het drogen
- het bakken
 - de kleur van de baksteen
 - de oven
- gerelateerde informatie
- literatuur



Figuur 1. Steenreliëf, een leeuwenfries, van verglaasde reliëfsteen uit Mesopotamië, ca. 400 v. Chr.

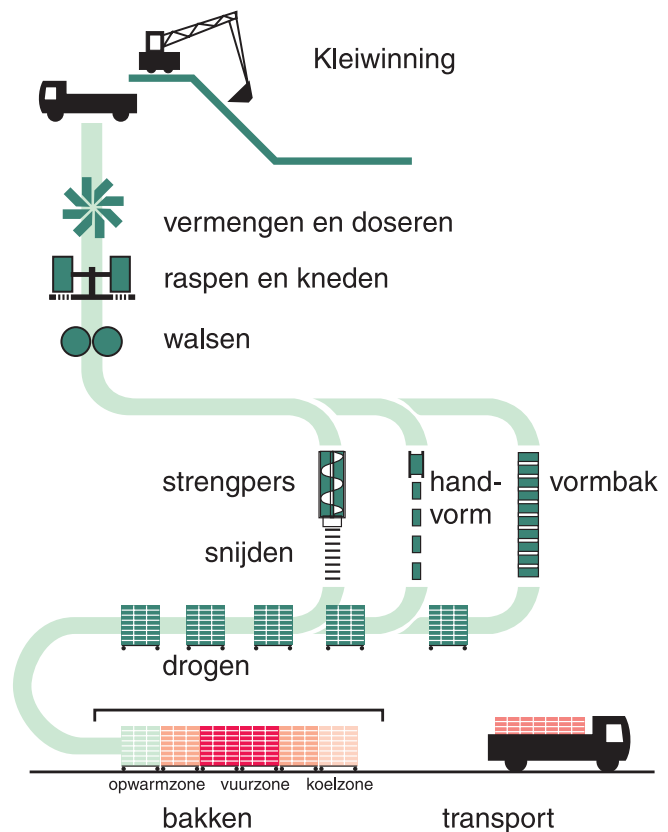
Inleiding

Gebakken kleiprodukten en bakstenen worden al eeuwenlang geproduceerd. De eerste bakstenen dateren van meer dan 10.000 jaar geleden en werden gevonden in Mesopotamië in het Midden-Oosten. De techniek werd later door de Romeinen verfijnd en geïndustrialiseerd. Zij gebruikten ook mortel om de stenen aan elkaar te verbinden. De Romeinen introduceerden het steenbakken in ons land, maar na het vertrek van de Romeinen raakte de techniek in onbruik. Vanaf de twaalfde eeuw wordt de techniek van het steenbakken in ons land echter weer opgepakt en de toepassing krijgt een grote impuls als de bouw van brandgevaarlijke houten huizen in de Middeleeuwse steden wordt verboden.

Het gebruik van baksteen lag in ons land voor de hand vanwege de beschikbaarheid van velerlei kleisoorten en een gebrek aan bouwmaterialen als hout en natuursteen. Naast de kaas, de klompen, molens en tulpen is Nederland in het buitenland bekend om zijn baksteenarchitectuur. De Nederlandse baksteenindustrie heeft zich door de eeuwen ontwikkeld tot een eigentijdse moderne procesindustrie met een efficiënte productie en aandacht voor zaken als het milieu, de arbeidsomstandigheden en marktwerking. Baksteen is een duurzaam product met een natuurlijke uitstraling en voegt zich daardoor gemakkelijk in zijn omgeving. Bakstenen worden vervaardigd in diverse kleuren, vormen, maten en met verschillende (oppervlakte)structuren en fysische eigenschappen. Al deze eigenschappen worden gevormd en gestuurd in het productieproces, te beginnen bij de keuze van de klei.

Er moeten verschillende stappen in het fabricageproces worden doorlopen voordat men van gebakken kleiprodukten kan spreken, te weten:

- het afgraven;
- de opslag;
- het voorbereiden;
- het vormen;
- het drogen;
- het bakken.



Figuur 3. Productieschema.

Het afgraven

Voordat met het afgraven wordt begonnen, worden er eerst grondmonsters genomen door middel van grondboringen. Deze grondmonsters worden onderworpen aan een laboratoriumonderzoek.

Het afgraven geschiedt in Nederland in de gebieden met rivierklei (b.v. langs Rijn, IJssel, Waal, Maas); zeeklei (o.a. Groningen); Löss of bergklei (Zuid-Limburg).

Ook wordt *witbakkende* klei gehaald uit Westerwald (nabij Koblenz) in Duitsland.

De ontgraving geschiedt met grote draglines, terwijl de ontgraving zelf geregeld is in een ontgrondingsvergunning. Hierin wordt de impact op het landschap door de winning van de klei opgenomen. De baksteenfabrikanten hebben door middel van deze ontgrondingsvergunning de verplichting om te voorzien in een herinrichting van het gebied na het beëindigen van de kleiwinning. Dit geeft in de genoemde gebieden uiteindelijk veel nieuwe natuur. Bovendien zijn de mogelijkheden om te ontgraven in de uiterwaarden toegenomen om meer waterberging te creëren voor de opvang van de pieken in de waterafvoer via de rivieren.

De grondstofwinning en productie zijn door de moderne transportmiddelen niet meer aan elkaar verbonden. De fabrikant is nu meer in de gelegenheid om meer marktgericht grondstoffen te selecteren. De klei wordt na het ontgraven door de draglines meestal met vrachtauto's naar de opslag bij de fabriek vervoerd.



Figuur 2. Steenfabriek langs de rivier.

De opslag

De opslag kan geschieden:

- Buiten: de kleibult;
- Binnen: in een loods.

Voor de grote productiebedrijven is de opslag logistiek noodzakelijk, maar de opslag heeft nog een tweede belangrijke functie, namelijk het bijdragen aan het bereiken van een homogene kwaliteit van de klei. De afgegraven klei vertoont zowel in de minerale samenstelling als in de korrelverdeling veel variaties. Deze variaties moeten worden geëgaliseerd door nauwgezette opbouw van de voorraad klei. Deze opbouw van de voorraad geschiedt in horizontale lagen van verschillende typen klei, die uiteindelijk verticaal van de kleibult worden afgegraven. Door deze manier van verticaal afgraven is het verschil in de samenstelling tussen de lagen van weinig invloed op de samenstelling van de klei, die de fabriek ingaat.

Bij buitenopslag van de klei staat de klei bloot aan de weersinvloeden (o.a. regen, vorst). Bij *strengersproducten* (zie onder het kopje 'vormen') is het vochtgehalte van de klei van groot belang en wordt de klei opgeslagen in kleiloodsen, waardoor het vochtgehalte nauwkeurig in de hand te houden is. In het algemeen is de strengperstechniek gevoeliger voor de consistentie van de kleimassa dan de *vormbaktechniek*.

Tijdens de opslag verrotten de eventuele humusresten. Deze plantaardige resten mogen niet in de klei achterblijven, omdat er anders onvolkomenheden (gaten) in de baksteen ontstaan.

Bij overdekte opslag varieert de opslagperiode van één tot zes maanden, terwijl bij buitenopslag deze periode varieert van drie maanden tot een jaar.

Het voorbereiden

Het voorbereiden heeft als doel de kleimassa, door mengen en kneden, tot een gemakkelijke homogene plastische grondstof geschikt te maken voor het vormen. Homogeen houdt in, dat de klei zo gelijkmatig mogelijke eigenschappen krijgt, zodat er een eindproduct met een constante kwaliteit geleverd kan worden. Plastisch (vervormbaar) betekent, dat de kleimassa goed vervormbaar dient te zijn, zodat er dichte stenen met scherpe kanten gefabriceerd kunnen worden.

De uit de opslag aangevoerde klei wordt met een vrachtauto c.q. shovel naar de toevoerbak, ook wel *Kastenbeschicker* genoemd, gebracht. Deze toevoerbak is ongeveer 1 meter breed en 5 à 10 meter lang. De bodem van deze toevoerbak is een plaattransporteur met aan het eind hiervan een haspel, die de klei van de band schraapt. Deze zogenaamde *Kastenbeschicker* vormt een buffervoorraad en is tevens een doseerinrichting.

Het voorbereiden bestaat o.a. uit:

- het reinigen, d.w.z. het verwijderen van steentjes en metaaldeeltjes tijdens verschillende andere bewerkingen aan het begin van het voorbereidingsproces, omdat de klei door steeds fijner afgestelde machines moet worden bewerkt;
- het verkleinen door middel van de kleirasp, differentieelwals en kollergang (d.w.z. twee zware walsen draaien rond over een zeefplaat);
- het bevochtigen door middel van water en stoom. Door de juiste hoeveelheid water krijgt de klei de gewenste vervormbaarheid, terwijl de stoom een verhoging van de temperatuur aan de klei geeft. Hierdoor verbeteren de plastische eigenschappen en het drooggedrag van de klei;
- het toevoegen van eventuele toeslagstoffen. Hierdoor kan de kleur van het te maken product beïnvloed worden. Zo bevordert zeer fijn gemalen kalksteen (krijt) de geelkleuring. Door toevoeging van bruinsteen (MnO_2), die dus mangaan bevat, worden de stenen zeer donker. Door zand toe te voegen kan te vette klei verschaald worden;

- het mengen. Het mengen vindt plaats in een horizontale trog met kneedmessen en de klei wordt daarna door een zeefplaat gedrukt.

Derhalve moet er voor het verkrijgen van een homogene kleimassa met de gewenste plasticiteit (vervormbaarheid) rekening worden gehouden met de volgende stappen in het productieproces:

- de vervormbaarheid;
- het gedrag tijdens het drogen;
- het gedrag tijdens het bakken;
- de minerale samenstelling;
- de porositeit;
- de mechanische sterkte.

Het vormen

Het vormen van de *vormeling*, ook wel groene steen of *groenling* genoemd, kan op de volgende manieren geschieden:

met de hand: handvormsteen;

met de handvormautomaat: machinale handvormsteen;

met de vormbakmachine: vormbaksteen;

met de strengpersmachine: strengperssteen;

met de stempelpersmachine (komt in Nederland niet meer voor): zeer harde en dichte steen.

Met de hand: handvormsteen

Dit gebeurt door middel van een houten bak of raam met één of meer vakken (6 à 7) ter grootte van de steen als mal. Deze ramen worden schoongespoeld met water en daarna bestrooid met zand. Hierdoor kleeft de klei niet aan de bak en kan de vormeling gemakkelijker worden gelost.

De handvormer rolt vervolgens een bal klei door het zand of zaagsel en werpt deze bal met kracht in één van de vakken. Als alle bakken vol zijn, dan wordt de overtollige klei met een draad afgesneden en verwijderd. Daarna wordt de bak op de kop op een plank gezet. De vormelingen vallen nu uit de bakken op de plank, die als drager dienst doet. Alleen voor restauratieprojecten wordt nog zo gewerkt door een enkel bedrijf.



Figuur 4. Handvormmachine.

Met de handvormautomaat: machinale handvormsteen

Tegenwoordig wordt de handvormsteen ook gemaakt door de vormbakmachine door de valhoogte van de kleimop te verhogen, waardoor er diepere nerven in de stenen ontstaan.

Met de vormbakmachine: vormbaksteen

Bij de vormbakmachine wordt de klei niet meer in de vorm geworpen, maar onder enige druk door een persblok ingeperst in een vooraf bezande vorm. De overtollige klei wordt machinaal verwijderd, waarna een drager op de bak wordt gelegd. Deze met klei gevulde bak wordt met drager gekeerd, zodat de gevormde klei, de vormelingen, op de drager liggen. Deze vormelingen worden afgevoerd naar de drogerij.

Doordat de persen gelijktijdig negentien vormen in een bak met een tempo van 35 slagen per minuut maken, geeft dit een productiecapaciteit van minimaal 600 vormelingen per minuut oftewel 36.000 vormelingen per uur.

De vormbaksteen geeft een steen met een bezanding op vijf van de zes vlakken en een ruw, soms grillig generfd oppervlak. Een vormbaksteen is egalier en vlakker van structuur dan een echte handvormsteen (o.a. minder diepe nerven).

Met strengpersmachine: strengperssteen

De voorbereekte klei wordt door een schroef naar de mond gedrukt. Deze mond heeft een rechthoekige opening ter grootte van het grondvlak van de te maken steen. Deze pers werkt net als een gehaktmolen. Uit deze pers komt een eindeloze streng ("koekreep"), die op een metalen plaat terecht komt. Een snijmachine, afgesteld op de snelheid van de streng, snijdt nu de plakken ter dikte van de steen. Deze vormelingen worden automatisch op de dragers geplaatst.



Figuur 5. Strengpersmachine.

De strengperssteen is duidelijk herkenbaar door zijn scherpkantige vorm en gladde oppervlak, omdat geen vormzand nodig is. Standaard is een strengperssteen niet bezand, doch op verzoek kan een bezanding worden aangebracht (maximaal op drie kanten: 2 koppen en een strek).

Ook kunnen met kleine walsjes allerlei motieven c.q. texturen ingeperst worden (b.v. boomschorsmotief). Deze patronen zijn echter altijd veel regelmatiger dan de patronen bij de echte handvorm.

In de strengperssteen kunnen ook perforaties aangebracht worden door doorns in het mondstuk aan te brengen. Deze doorns worden geplaatst in de strengpers voor het mondstuk (matrijs), zodat de streng van springen wordt voorzien zonder dat de samenhang van de vormeling verloren gaat.

Bij de strengpers kan eenvoudig en gemakkelijk van mondstuk gewisseld worden, terwijl ook de dikte van de steen veranderd kan worden door het snijapparaat anders in te stellen.

In veel landen wordt vaak alleen deze strengpersmethode toegepast, omdat de beschikbare klei niet geschikt is voor de vormbalmethode. Bij een strengpers wordt gebruik gemaakt van vettere klei (vettere klei krimpt veel meer dan schrale klei).

Door de stijvere kleimassa heeft de strengperssteen een dichtere structuur, terwijl op de snijvlakken de typische kenmerken van het snijden van de kleistreng te zien zijn (kleine boogvormige lijntjes).

De geperforeerde stenen drogen door de gaatjes beter en sneller. De steen trekt niet krom tijdens het bakken, waardoor de kans op scheurtjes klein is. Met deze geperforeerde stenen wordt klei en gewicht gespaard.

Ook is het mogelijk om een nog dichtere strengperssteen te maken door de pers te voorzien van een vacuümkamer, waardoor de ingesloten lucht uit de fijnverdeelde klei wordt gehaald.

Kort samengevat heeft de strengperssteen de volgende kenmerken:

- strakke en scherpkantige vorm;
- twee gladde kanten met boogvormige snijstrepen;
- de onbezande steen is glad;
- de bezande steen heeft twee koppen en één strek, die bezand zijn;
- meestal is de steen geperforeerd;
- soms wordt een motief ingeperst (b.v. boomschorsmotief).

Met stempelpersmachine:

Hiermee worden stenen gemaakt voor speciale doeleinden, waarbij de stenen zeer hard en dicht moeten zijn. De vormelingen worden nageperst in een stempelpers. Dit komt o.a. voor bij het maken van vuurvaste steen (voor open-hard achterwanden, voor op de wagens in de tunneloven).

Het drogen

Het drogen van de vormeling geschiedt via een gecontroleerd proces in droogkamers of tunnels met gebruikmaking van de verwarmde overtollige lucht van het bakproces. Dit is zowel economisch als milieutechnisch een goede zaak. Er treedt een behoorlijke droogkrimp op tot 10 %. Daarom wordt er in het begin langzaam gedroogd om scheurvorming te voorkomen. De kans op scheuren ontstaat wanneer het buitenste laagje veel sneller droogt dan het inwendige. Het droogregime is afhankelijk van het gewenste product en van de grondstof. In de droogruimte kan automatisch worden gestuurd:

- de benodigde tijd voor het drogen;
- de temperatuur;
- de relatieve vochtigheid.

Meestal is de droogtijd ca. 30 uur. Tijdens het drogen wordt het uiteindelijke vochtgehalte teruggestuurd tot ca. 2 %.



Figuur 6. Droogkamers.

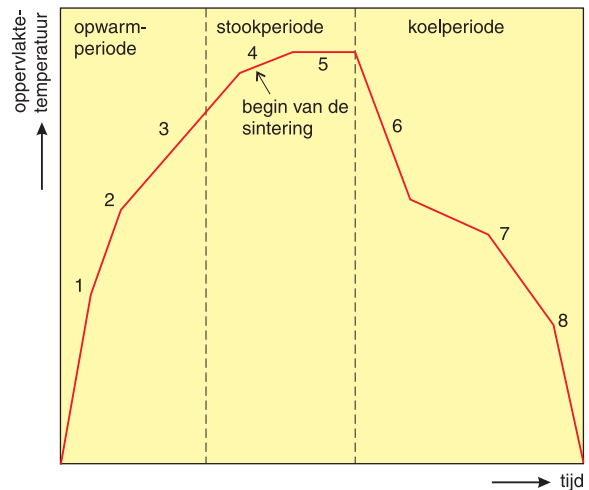
Het bakken

De gedroogde vormelingen worden met een zetmachine volgens een bepaald patroon op de ovenwagens gestapeld. Voor een gelijkmatig temperatuurverloop van het bakproces is goed stapelen van belang. De gedroogde steen is al redelijk stevig, maar hij wordt pas een echte baksteen door het bakken. Alle vormelingen zijn nu nog grauwgrijs of geelachtig.

Het bakken gebeurt in drie fasen volgens een bakcurve, die afhankelijk is van de grondstof en het gewenste product, bij een temperatuur van 900 tot 1200 graden Celsius. Bij deze temperatuur tijdens het sinteren vinden ingewikkelde chemische processen plaats, waarbij nieuwe keramische verbindingen ontstaan die de steen zijn sterkte geven.

De drie fasen zijn:

- de opwarmperiode;
- de stookperiode, waarin de sintering plaatsvindt ;
- de koelperiode.



Figuur 7. De stookcurve.

Het opwarmen en afkoelen mag niet te snel gebeuren, anders treden er onherroepelijk scheuren op. Om te voorkomen dat de aanwezige kwartskristallen barsten, dient de temperatuursverandering nabij 575 graden Celsius (= kwartssprong) zeer langzaam te gebeuren, zowel bij het opwarmen als bij het afkoelen. Iedere steen heeft een ideale bakcurve. Deze geeft dus het ideale temperatuurverloop aan om in de loop van een aantal dagen een gaaf product te maken. Deze bakcurve wordt door onderzoek vastgesteld. Een bakcyclus duurt gemiddeld 2 tot 3 dagen.

De kleur van baksteen

Tijdens het bakken krijgt de baksteen zijn kleur. Er zijn de volgende mogelijkheden om een baksteenkleur te bewerkstelligen:

- door de kleikeuze. IJzerhoudende klei (Fe_2O_3) bakt rood als het ijzergehalte groter is dan het kalkgehalte (CaO). Kalkhoudende klei (meer kalk dan ijzeroxide aanwezig) bakt geel;
- door de baktemperatuur. Hoe grauwer de kleur is hoe hoger de temperatuur is geweest;
- door toevoegen van kalk (mergel) aan ijzerhoudende klei kan gele steen worden verkregen. Bij een hoog Fe_2O_3 gehalte in de klei is de steen moeilijk geel te maken;
- door engoberen. De vormeling wordt bestreken met een dunne kleipap (engobe), waaraan kleurende oxiden zijn toegevoegd. Bij het engoberen ondergaan alleen de in het zicht blijvende oppervlakken de kleurbehandeling. De rest van het product behoudt de oorspronkelijke bakkleur;
- door glazuren van de steen. Er zijn twee mogelijkheden:
 - steen met tinglazuur (glazuurlaag is dekkend, niet doorschijnend);
 - steen met loodglazuur (glazuurlaag is transparant, doorschijnend).De glazuurvormende kleipap wordt na het bakken opgebracht en nogmaals gebakken.

N.B.: Glazuur is vocht- en dampdicht. De geglazuurde stenen drogen moeilijk, wanneer deze stenen door de een of andere oorzaak inwendig nat geworden zijn (lekkage, onjuiste opslag). Het glazuren en het engoberen hebben altijd betrekking op in het zicht komende oppervlakken;

- door smoren. Smoren is het reducerend stoken. Hierdoor treedt afbraak op van het roodbakkende ijzeroxide (Fe_2O_3), dat veel zuurstof bevat. De rode kleur verandert in een blauwgrijze kleur. Indien in de oven de zuurstoftoevoer wordt verminderd dan haalt de brandstof, die bij hoge temperatuur wil ontbranden, de nodige zuurstof uit de roodkleurende Fe_2O_3 en reduceert de Fe_2O_3 tot het blauwgrijs kleurende FeO . De steen krijgt dus nu door-en-door dezelfde kleur.

De oven

Op het gebied van de ovenbouw en de besturingssystemen van het bakproces zijn grote ontwikkelingen geweest, die geleid hebben tot een continu brandende, volautomatische, computergestuurde tunneloven. Deze tunneloven, ongeveer 120 meter lang, kan de stenen in twee dagen afstoken.

De tunneloven bestaat uit drie delen:

- de opwarmzone;
- de stook- of vuurzone;
- de koelzone.

De vormelingen worden, op wagens voorzien van een dek van vuurvaste stenen, aan de schoorsteen zijde binnengereden in de opwarmzone. Deze wagens vormen een aaneengesloten dek, waardoor de hete gassen niet het stalen onderstel van de wagens te sterk kunnen verhitten. De vormelingen worden in de richting van de vuurzone gereden. De vuurzone is in het midden van de tunneloven en de stenen worden verwarmd door de hete gassen (brandstof is aardgas). Na het passeren van het vuur koelen de stenen af, waarbij de stenen de warmte afgeven aan de ingelaten verse verbrandingslucht. De tunneloven stookt zeer efficiënt, omdat deze oven zelf niet steeds hoeft af te koelen.

Bij een tunneloven is de procesbeheersing eenvoudig, aangezien het vuur zich steeds op dezelfde plaats bevindt, terwijl door de luchtstroom te regelen en de snelheid van de wagens aan te passen, het proces goed in de hand te houden is.

Door deze manier van fabricage is sorteren bij een tunneloven overbodig geworden.

Een voortdurende verbetering van de beschikbare technieken laat enerzijds toe de energie (aardgas) op een meer rationele wijze te gebruiken en anderzijds de uitstoot van verbrandingslucht te verminderen.



Figuur 8. Een tunneloven.



Figuur 9. Het tasveld.

Verpakking en transport

De afgekoelde bakstenen worden na te zijn gepalletiseerd en eventueel ingepakt in krimp- of wikkelfolie op het tasveld geplaatst in afwachting van het transport naar de afnemers. In verband met het Verpakkingsconvenant wordt er gestreefd naar een minimale hoeveelheid verpakkingsmateriaal.

Bakstenen zijn goed te verplaatsen en op te slaan als onverpakte deelbare 12-voets pakketten.



Figuur 10. Mechanisch transport van 12-voets pakketten op de bouwplaats.

Gerelateerde informatie:

01-02 stenen bakken; van veldoven tot tunneloven

01-04 verpakking en transport

Literatuur:

[1] Van klei tot baksteen. Brochure KNB Velp.

[2] Baksteen in Nederland; de taal van het metselwerk. Sdu Den Haag.

[3] Baksteen; James W.P. Campbell, Will Price. 2003 Toth, Bussum. ISBN 90-209-52 803

[4] Bouwproducten; Thieme-Meulenhoff, Utrecht. ISBN 90-212-91 061