## Hout en houtproducten

2.3 De groei van de boom

**Belangrijk in dit hfdst.**

Schade, eigenschappen, voor- en nadelen, vakjargon herkennen/kennen

2.4 Opbouw en structuur van hout

2.5 Houtkwaliteit

2.6 Houteigenschappen

2.7 Onvolkomenheden

2.8 Duurzaamheid

2.9 Bescherming en verduurzaming

2.10 Houtproducten, plaatmaterialen

### 2.3 De groei van de boom

(De diverse houtsoorten worden geleverd door vele) naald- en loofbomen

Bij een *boom* wordt onderscheiden:

* De stam
* De blader- of naaldenkroon
* Het wortelgestel

Soms is ook het wortelgestel bruikbaar voor een bepaalde toepassing, zoals fineer van de notenboom (wortelnotenfineer).

De bladeren hebben een vochtregulerende taak

(FIG 2.10 p.60)

Bij de doorsnede van de stam of van een dikke tak kunnen we van buiten naar binnen al of niet duidelijk onderkennen:

* **De schors**
  + Beschermfunctie tegen allerlei invloeden van buitenaf (insecten, klimaat)
  + Kurkafzettingen verhogen de weerstand tegen agressieve omstandigheden
* **De bast**
  + De zogenoemde neerwaartse sapstroom (FIG 2.10 p.60)
* **Het cambium** 
  + Direct onder de bast (naar binnen gezien dus) ligt een zeer dunne laag, het cambium. Deze laag wordt ook wel groeilaag genoemd. Hier worden de cellen voor de opbouw van het hout gevormd. In deze laag vindt de eigenlijke vorming van het hout plaats
  + De ontwikkeling van de nieuwe weefsels vindt in het voorjaar (onstuimig) plaats
  + De donkere begrenzing is het zomergedeelte, het lichtere deel wordt gevormd door het voorjaarshout
  + Zijn de groeiringen smal dan duidt dat op een langzame groei (FIG 2.11 p.62)
* **Het spint**
  + Het door het cambium afgezette houtweefsel
  + Functie: het transporteren van water (met opgeloste voedingsstoffen) via de opwaartse sapstroom
  + De kleur is duidelijk lichter
  + Samen met het kernhout verleent spinthout de sterkte aan stam en takken
* **Het kernhout**
  + De donkere kleur van het kernhout in tegenstelling tot die van het spint is het gevolg van de afzetting van bepaalde stoffen die vrijkomen bij het afsterven van het voedselopslagweefsel (stralen) in het spint.
  + Nieuw spint door het cambium gevormd zal tegelijkertijd een vrijwel overeenkomstig deel van het ‘oudere’ spint in kernhout overgaan. De ‘actieve’ rol vh spint houdt daarmee op.
  + Spint bevat een voorraad voedingsstoffen waardoor het voor toepassingen in omstandigheden waarin aantasting door onder andere schimmels is te verwachten, niet mag worden gebruikt. De sterkte van het spinhout is nagenoeg gelijk aan die van het kernhout
  + De permeabiliteit (toegankelijkheid) voor vocht is van spint in het algemeen groter dan van kernhout

### 2.4 Opbouw en structuur van hout

#### 2.4.1 Vlakken en richtingen

We kunnen verschillende vlakken en richtingen door een stam denken (FIG. 2.15 p.65)

Men onderscheidt de volgende *richtingen*:

* De **axiale** richting
* De **radiale** richting
* De **tangentiale** richting

Als *vlakken* onderscheiden we:

* Het **radiale** vlak
* Het **tangentiale** vlak
* Het **kopse** vlak

#### 2.4.3 De houtstructuur

De weefsels kunnen fijn of grof op het langshout tot uiting komen. Aan de hand van deze gegevens is het mogelijk te zeggen of het hout grof of fijn van structuur is.

FIG 2.16 laat een rechtdradige houtstructuur zien, zoals die bij redwood voorkomt. Vele houtsoorten zijn zeker niet rechtdradig. De houtstructuur stelt ons heel goed in staat een houtsoort te herkennen.

### 2.5 Houtkwaliteit

#### 2.5.1 Normalisatie

Kwaliteitseisen van hout worden vastgelegd in normen.

Voor de *houtmaten* wordt onderscheid gemaakt in de:

* **Handels**maten
* **Bestek**maten
* **Blijvende** of **schone** maten
* **Nominale** maten
* **Werkelijke** maten

In de houthandel wordt voor de houtmaten het metrieke of decimale stelsel gehanteerd; daarbij worden de dikte-, breedte- en lengtematen aangegeven in mm.

De drie houtsoorten worden in een viertal *kwaliteitsklassen* naar uiterlijk ingedeeld (FIG 2.27):

* **Klasse A**: bv. Meubelen en blank afgewerkte vloeren **(zeer hoge eisen)**
* **Klasse B**: bv. Kozijnen, ramen, deuren, gootdelen, plafonds **(constructiehout)**
* **Klasse C**: bv. Gordingen, spanten, vloerhout, stijl- en regelwerk (dragend) **(standaardbouwhout)**
* **Klasse D**: bv. Eenvoudig timmerwerk (niet dragend werk, hekken, betimmeringen, e.d.) **(lage eisen)**

De verschillende kwaliteitsklassen zijn gerelateerd aan een aantal *onvolkomendheden* die in het hout kunnen voorkomen, zoals groeiringbreedte, scheuren, kwastsoorten, reactiehout, schimmelaantasting en vervormingen.

#### 2.5.2 Rondhout

##### Wateren van hout

Het wateren van hout is een speciale behandeling van de nog ronde stammen.

De stammen worden enige tijd in liefst stromend water gelegd (balkenvers). Met deze werkwijze beoogt men:

* Het **behoud van kwaliteit**; scheuren zullen minder optreden en schimmels en insecten tasten het hout later minder aan
* Het bereiken van een bepaalde **kwaliteitsverbetering**

##### Rondhoutproducten

Onder rondhout wordt verstaan stammen die ontdaan zijn van takken, topeind en worteleind. Het hout wordt geleverd zonder en met schors, loofhout doorgaans zonder en naaldhout met schors.

##### Houten heipalen

De toepassing van houten heipalen heeft voordelen indien de grondslag of de belastende bovenbouw daartoe aanleiding geven.

De grondslag (bodemgesteldheid) kan verschillend zijn: variërend dunne, dikke en slappe lagen en vaste zandlagen. De bovenbouw kan bestaan uit eengezinswoningbouw, lichte utiliteitsbouw, kleine en grote renovatieprojecten, en rioleringsfundering.

#### 2.5.3 Gezaagd hout

De stammen kunnen in plaats van beslagen ook worden bezaagd.

Op de meeste delen vertonen de groeiringen zich als zogenoemde vlammen. We noemen deze zaagmethode *‘en dosse’* zagen. Ook worden de uitdrukkingen *‘dosse’* en *‘op dosse’* gebruikt.

Men maakt nog wel onderscheid in *zuiver kwartiers* (rift gezaagd) en *vals kwartiers* gezaagd hout.

(FIG 2.33 p.83)

#### 2.5.4 Het drogen van gezaagd hout

Het *drogen van hout* kan op twee manieren plaatsvinden:

1. **Natuurlijk**, overdekt in de openlucht
2. **Kunstmatig**, in droog- en klimaatkamers voor productdroging

In de open lucht wordt het gezaagde hout in stapelvorm gedroogd  
(Naaldhout en de zachtere loofhoutsoorten vragen) een droogtijd tussen drie en acht maanden

Indien het vochtgehalte van het hout onder de 18% moet komen, wordt gebruikgemaakt van droog- of klimaatkamers. In droogkamers wordt het lagere vochtgehalte onder controle in korte tijd bereikt. Scheurvorming, verkleuring en aantasting worden tegengegaan. Klimaatkamers werken met een natuurlijke luchtstroming in een beschermde ruimte zodat het hout het vocht langzaam afstaat. Kunstmatig drogen verhoogt de kwaliteit van het eindproduct.

Kunstmatig drogen verhoogt de kwaliteit van de houtproducten. Hout voor de grond- weg- en waterbouwsector wordt niet gedroogd.

### 2.6 Houteigenschappen **(!)**

#### 2.6.1 Inleiding (p85-86 lezen + onderstaande)

Materiaalkundig wordt *vocht (water) in hout* onderscheiden in:

* **Vrij vocht** (verdwijnt als eerste, buiten de celwanden in celholten en andere ruimten)
* **Vezelgebonden vocht** (in de celwanden)

De hoeveelheid vezelgebonden vocht zal zich aanpassen aan de **relatieve vochtigheid (RV)** van de omringende lucht.   
(Er ontstaat een vochtgehalte in het hout dat) **evenwichtsvochtgehalte (EV)** (wordt genoemd.)

#### 2.6.2 De hygroscopie van hout

##### Verband RV – EV

Het vochtgehalte (EV) van het hout past zich aan de relatieve vochtigheid (RV) van de lucht aan. Dit wordt veroorzaakt doordat hout gemakkelijk vocht aantrekt (hygroscopisch is).

##### De hygroscopie (interactie met zijn omgeving)

p.88 lezen > weten wat is hygroscopie dus niet de biologische zever

##### Waterstofbinding en kristallisatie

Hout is een hygroscopisch materiaal. Het kan waterdamp uit de omgeving opnemen en een vochtevenwicht onderhouden in relatie tot de RV.

#### 2.6.3 Eigenschappen en vocht

##### Inleiding

Het zal niet verwonderen dat het hygroscopisch gedrag ten grondslag ligt aan het volgende:  
vocht heeft in hout op de eigenschappen een bijzondere invloed, waarbij we het onderscheid maken tussen de invloed boven en onder de imbibitiegrens (het vezelverzadigingspunt).  
De eigenschappen die duidelijk worden beïnvloed door vochtwisselingen van het hout (wijziging van het evenwichtsvochtgehalte) onder de imbibitiegrens zijn:

* Het gedrag ten aanzien van vormveranderingen (het werken van hout)
* De sterkte-eigenschappen
* De duurzaamheid
* De volumieke massa
* De brandbaarheid
* De elektrische en thermische geleidbaarheid

Boven de imbibitiegrens heeft vocht geen invloed (op sterkte-eigenschappen en het zwel/krimpgedrag)  
Boven de grens is er wel invloed op de andere genoemde eigenschappen.

(FIG 2.40 p.93) (hout laten intrageren met de omgeving vooraleer bv parket te leggen)

Uit het voorgaande is duidelijk naar voren gekomen dat hout een anisostroop materiaal is (de fysische en chemische eigenschappen in de diverse richtingen zijn niet gelijk).

Nadeel hout > krimpt  
Hout is anisotropisch (krimp heeft geen vaste richting fig 2.41)

Voorbeelden van de gevolgen van vochtwisselingen:

* Scheuren (windscheuren, hartscheuren, ringscheuren, kop- en vorstscheuren,..)
* Scheluwtrekken (fig 2.43)
* Kromte (fig 2.61)

##### Vochtgehalte en volumieke massa

De volumieke massa van hout is sterk afhankelijk van de toepassing relatie tot de gebruiksomstandigheid (onder water, buiten/binnen). In belastingsberekeningen zal de massa een belangrijke rol spelen.  
De poriënstructuur en de hygroscopie maken dat de volumieke massa bij hout geen materiaalconstante is. Een uiterst belangrijk gegeven!  
Voor de celwandmaterie wordt wel met een constante gewerkt, zij het met een gemiddelde waarde van de chemische samensteling. Gemiddeld wordt voor de houtstof gerekend met een volumieke massa van bla. Celluloserijker hout kan wat hoger liggen, ligninerijker hout wat lager. Ook kan de waarde van het kernhout voor bepaalde houtsoorten hoger liggen in verband met de afzettingen van bepaalde stoffen (kiezelzuur bijvoorbeeld).   
De volumieke massa van het hout wordt in de praktijk aangegeven met inbegrip van alle holle ruimte die in het hout aanwezig is. Dat houdt in dat onafhankelijk van het vochtgehalte al een grote differentiatie kan optreden. Balsa heeft een zeer lage volumieke massa en de dichte soorten azobé en merbau een zeer hoge.  
Sommige houtsoorten kunnen zelfs in de gebruiksomstandigheden een volumieke massa > 1 bezitten. Bij onderzoekingen en vergelijking van houtsoorten gaat men in het algemeen uit van een volumieke massa waarbij een vochtgehalte van 12% hoort. Afhankelijk van de soort en het vochtgehalte kunnen praktische waarden van volumieke waarden liggen tussen 0,3 en > 1. Daarbij geldt dat het vochtgehalte van een houtsoort steeds berekend wordt ten opzichte van het gedroogde hout.

Percentage vocht = massa nat – massa droog X 100%  
 massa droog

Bij een vochtpercentage p is de massa van het hout:  
massa nat µ

De volumieke massa wordt dan gedefinieerd als v.

In tabel 2.45 (nt kennen) zijn enkele waarden gegeven.  
Ook al in verband met het feit dat er een duidelijke relatie bestaat tussen de volumieke massa en de sterkte en stijfhei (E-modulus) wordt erop gewezen dat houtsoorten niet gelijk zijn en er zelfs binnen een houtsoort verschillen zijn. De invloed van voorjaars- en zomerhout, reactiehout, spint- en kernhout doen zich ook gelden.

De praktische volumieke massa van hout varieert, afhankelijk van de houtsoort, het vochtgehalte en het poriëngehalte, tussen 200 kg/m³ (voor lichte soorten) en ruim 1000 kg/m³ (voor de zwaardere soorten).

#### 2.6.5 Thermische eigenschappen (hoe gedraagt hout zich)

##### De uitzettingscoëfficiënt

Evenals de meeste vaste stoffen zal ook het hout bij temperatuurverhoging uitzetten. In alle houtsoorten is de lineaire (warmte)uitzetting anisotroop waarbij het hout loodrecht op de veelrichting 5 à 10 maal meer uitzet dan evenwijdig daaraan. Tevens is er nog een verschil tussen de radiale en tagentiale richting. (verschil niet kennen)

##### De warmtegeleiding

In het algemeen kan hout een goede isolator worden genoemd, als de vochtpercentages niet hoger worden dan 10 à 15%.

#### 2.6.6 Elektrische en akoestische eigenschappen

##### De elektrische geleiding

De elektrische isolatiewaarden bij hout vertonen een breed spreidingsgebied en zijn duidelijk van het vochtgehalte afhankelijk.   
Tot 15% vocht kan hout nog tot de isolatoren gerekend worden.  
Het gebruik van elektrische vochtmeters berust op het meten van de verschillen in vochtgehalte. Beneden de imbibitiegrens heeft dit praktische betekenis.

##### Akoestische eigenschappen

Het zal duidelijk zijn dat zachte poreuze houtsoorten een bruikbare akoestische waarde bezitten, en dat vezelplaten zoals zachtboard en ook houtwolplaten speciaal voor dit doel kunnen worden toegepast.

#### 2.6.7 De brandgevoeligheid

Bij het branden van hout is het niet steeds noodzakelijk dat er vuur van buitenaf wordt toegevoegd. Hout brandt ook indien bij een bepaalde temperatuur zelfontbrandende gassen worden ontwikkeld. Voorwaarde is steeds dat er voldoende zuurstof aanwezig is.

Hout > niet te onderschattend brandweerstand  
 > creëert natuurlijke brandvertragende houtskoollaag (uniek)

Bij grotere houtmaten is voor dit gehele proces tijd nodig. Tevens werkt de gevormde houtskoollaag vertragend.   
In een constructie zullen zware doorsneden vrij lang hun sterkte en stijfheid behouden. Hiermede wordt door de brandweer rekening gehouden.

### 2.7 onvolkomenheden

Adh van foto kunnen zeggen wat het is, maar op het examen krijg je informatie ipv een afbeelding en moet je zeggen wat het is.

##### Onvolkomenheden (in de KVH 2000: NEN 5461) Gezaagd hout en rond hout

* **Draadverloop:** De richting van de houtvezels vormt een bepaalde hoek met de as van de boom (fig. 2.55). De afwijking wordt onder andere veroorzaakt doordat de boom draaigroei vertoont. Draadverloop ook ter plaatse van grote kwasten (fig. 2.56)
* **Scheuren** (fig. 2.42)
* **Besloten hart** (p.83)
* **Kwasten:** Kwasten zijn gedeelten van takken die met de stam vergroeid zijn, of door de stam overgroeid (FIG. 2.59 p.109).  
  Kwasten *beïnvloeden de sterkte van het hout*, omdat zij de normale vezelrichting verstoren.
  + Schietkwasten, pitkwasten (<5mm)(, pijpkwasten) p110
* **Vervormingen** (vier soorten FIG. 2.61 p.110 ten opzichte van de oorspronkelijke zaagvorm)
  + **Kromtrekken:** kan ontstaan bij het droogproces van hout dat gezaagd is uit kromgegroeide bomen. De kromming van het houten deel wordt gedefinieerd als de afwijking van de rechte lijn per strekkende meter in het platte vlak.
  + **Scheluwte:** is een vormverandering die bij drogen kan optreden. Het hout is bijvoorbeeld gezaagd uit een boom die draaigroei vertoonde. Bij de gewrongen toestand waarin het gezaagde hout zich bevindt, liggen de vier hoekpunten van een kopse zijde niet meer in hetzelfde platte vlak van de andere kopse zijde.

### 2.8 Duurzaamheid

#### 2.8.1 Inleiding

De bruikbaarheid van het hout wordt mede bepaald door:

* De fysische en mechanische eigenschappen
* De chemische samenstelling van de houtstof

Deze factoren bepalen op hun beurt in belangrijke mate de levensduur van het materiaal. Vormveranderingen, scheurvormingen, inhoudstoffen enzovoort kunnen van groot belang zijn en bepalen, zeker wat de inhoudstoffen betreft, de gebruikswaarde.

Aangezien *duurzaamheid*, al of niet aan een houtsoort eigen, zowel chemisch als fysisch moet worden gezocht in de microstructuur van het materiaal, is het noodzakelijk de celwandstructuur van het vezelige materiaal daarbij te betrekken. De celwandstructuur (2.4.4) is verantwoordelijk voor het gedrag ten aanzien van de vochtbeweging (diffusie en adsorptiegedrag) in het hout, en daarvoor indirect in verband te brengen met de levensduur van het materiaal.

Van wezenlijk belang zijn:

* **Een beschrijving van de vorming** van het hout en van de functies van het ‘levende’ hout; de macrostructuur inclusief weefselonvolkomenheden. Duidelijk onderscheid in naaldhout (zachthout) en loofhout (hardhout). In loofhout naast de vezelstructuur en vatstructuur, in naaldhout in de vezelwanden de al of niet openstaande hofstippels.
* **De belangrijkste celtypen** tot verschijningsvorm en functie (anatomie)
* **De celwandstructuur** tot de chemische opbouw en de ligging van de samenstellende bestanddelen
* **De relatie tss anatomie, microstructuur en eigenschappen** anatomie, microstructuur en eigenschappen (fysisch, mechanisch, chemisch)
* **De verschillende aantastingsmechanismen** (biologisch, chemisch, en dergelijke)
* **De kennis** ten aanzien van de continuering van de duurzaamheid; verduurzamen of beschermen; de waarde van inhoudstoffen.
* **Mogelijkheid voor impregneren.** Al of niet afhankelijk van de houtsoort binnen de groepen naald- en loofhout en waarbij de opbouw naald- of loofhout een grote rol speelt.

In *normale omstandigheden*, dat wil zeggen in de lucht met aangepaste relatieve luchtvochtigheid of in/onder water en/of beschermd tegen dierlijke en plantaardige aantasters, heeft het natuurproduct hout een vrijwel onbeperkte langeduurgebruikswaarde.  
Bij een *juiste keuze* van de soort is de weerstand tegen vrij sterke chemicaliën hoog. Dat is gebaseerd op de chemische samenstelling (cellulose, lignine enz.) en de compacte lamellaire opbouw van de sterkte en stijfheid verlenende houtvezels (libriform bij loofhout, vezeltracheïden bij naaldhout). Soms ook op de aanwezigheid van bepaalde inhoudstoffen (toxische en silicaatachtige afzettingen).  
*De gebruiksomstandigheden* van hout als bouwmateriaal kenmerken zich in feite door de aanpassing aan vocht- en/of wateromstandigheden:

* Onder water: een vrijwel onbeperkte levensduur, ook van als zogenoemde bedreigd veronderstelde houtsoorten en zelfs soms van spinthout
* Aan de lucht (RV < 100%):
  + ‘buiten’– EV: 13-25%
  + ‘binnen’ – EV: 10-18%

Een duidelijk onderscheid dient te worden gemaakt tussen verduurzamen en beschermen van hout.  
Onder verduurzamen wordt verstaan het impregneren (tot voldoende diepte) met een levensuur verlengend middel (een olie of een zout) in het hout.   
Beschermen is meer een oppervlaktebehandeling, zoals schilderen (aanbrengen van een verfsysteem), beitsen en het opbrengen van een verduurzaamheidsmiddel.

#### 2.8.3 Weersinvloeden

Onder verwering wordt verstaan de chemische en fysische ontleding van het celwandskelet (celluloses) onder atmosferische invloeden zonder gelijktijdige schimmelaantasting.

Houtverwering is een functie van:

* De sterkte en de duur van de belichting; (UV-straling)
* De grootte van de temperatuurswisselingen
* De windsnelheid
* De felheid van regen, hagel, enz.

De gewichtsafname is klein doordat de afbraak slechts ca. 6 mm per 100 jaar naar binnen plaatsvindt.  
Soms kan de invloed van UV van belang zijn. De gevolgen zijn:

* Bij dunne houtlamellen, brosheid, vervormingen
* Het optreden van verkleuringen, bruin of grijs tezamen met micro-organismen, het zogenoemde vergrijzen (FIG. 2.64b en c p116)
* Het optreden van zilverkleur, zonder micro-organismen maar samen met een hogere temperatuur en/of invloed zeeklimaat

#### 2.8.5 Hout en metalen

Corrosieproducten kleuren het hout blauw-zwart, onder andere duidelijk bij de looizuurreactie met staal in eiken.

#### 2.8.6 Biologische aantasting, dierlijk

Bij de biologische aantasting wordt onderscheid gemaakt tussen:

* Dierlijke aantasting
* Plantaardige aantasting
* Bacteriële aantasting

##### Dierlijke aantasting

Men onderscheidt *dierlijke aantasting* door:

* **Nathoutboorders** (insecten)
* **Drooghoutboorders** (insecten)
* **Marineboorders** (kreeftachtige, weekdieren)
* **Termieten**

Bij nat- en drooghoutboorders zijn in het algemeen de larven de houtaantasters.

**Nathoutboorders**  
Voorbeelden van nathoutboorders zijn houtwespen; boktorren en schorskevers. Het zijn de larven van de insecten die de schade aan het hout veroorzaken. Zij leven ‘op stam’ of in het vers gekapte hout, zowel in naald- als loofhout. In het gedroogde hout sterven de larven. De aantasting kan zeer verwoestend zijn.

**Drooghoutboorders**  
Voor de praktijd, in gebouwen en opslagplaatsen, zijn de drooghoutboorders een bijzonder schadelijke groep aantasters. Zij leggen hun eieren in verwerkt droog hout. De uit de eieren komende larven voeden zich met het hout zelf. Bekende drooghoutboorders zijn de larven van de klopkever of meubelkever (houtworm) en van de *huisboktor*.

De larven van de klopkevers zijn de welbekende *houtwormen.*

De aantasting treedt vooral op in hout dat weinig of niet verplaatst wordt of kan worden (meubelen, betimmeringen, lambriseringen, enz.). *Een duidelijk onderscheid met de boktor*: bij houtworm aantoonbare boormeelhoopjes, bij boktor niet!

Onopgemerkt worden soms gehele kappen in gebouwen opgevreten. Aan de buitenzijde van spanten en andere houtconstructies is jaren niets te zien tot het moment van uitvliegen van de kevers. Gedurende 4 tot 11 jaar vindt de aantasting door de larven plaats!

Marineboorders  
Marineboorders zijn weekdieren en kreeftachtigen die in zout en brak water leven en daar hout aantasten

#### 2.8.7 Biologische aantasting, plantaardig

##### Inleiding

Schimmels tasten hout aan, zowel parasitisch (op levend hout) als saprofytisch (op dood hout).   
Sommige schimmels leven van voedsel in celholten, anderen ontleden de celwandsubstantie, respectievelijk:

* Houtverkleurende schimmels (bv. Blauwschimmel)
* Houtrotverwekkende schimmels (bruine, witte en zachte rot)

Voor alle schimmels (fungi) geldt dat er voldoende vocht, lucht, een favoriete temperatuur en een voedingsbodem aanwezig moet zijn.   
Schimmelaantasting komt voor in de boom (geveld of levend) en in gezaagd hout.

Blauwschimmels veroorzaken verkleuring, weinig gewichtsverlies en hebben geen duidelijk effect op sterkte en stijfheid maar veroorzaken wel een kwaliteitsverlaging. (Blauwspint in grenen is een duidelijk vb zie 2.73)

##### Houtrotverwekkende schimmels

* Bruine rot (cellulose-ontledend)
* Witte rot (cellulose- en lignine- ontledend)
* Zachte rot (idem)

Deze aantastingen beïnvloeden de chemische, fysische en mechanische eigenschappen in duidelijk negatieve zin.

Gesloten gebouwen, airconditioning en ver doorgevoerde afkitting (tochtwering) verhogen de RV van het binnenklimaat en kunnen de aantasting bevorderen (verhoging EV-hout)

De effecten van de aantasting door destructieve schimmels zijn zeer duidelijk aanwijsbaar.

De echte huiszwam produceert tijdens de aantasting grote hoeveelheden water. Droog hout wordt hierdoor nat, hetgeen verdere aantasting bevordert. De echte huiszwam tast vooral naaldhout aan, de kelderzwam zowel naald- als loofhout. Witte rot tast voornamelijk loofhout aan.  
Een zeer beruchte bruine rot in de bouwpraktijk is de huiszwam. Het hout toont kubusvormige figuurtjes die gemakkelijk fijn te wrijven zijn (cubicrot). Beganegrondvloeren van dennen, vuren en grenen die aan de onderzijde in de kruipruimte slecht geventileerd worden of waarvan het bouwpeil te laag is aangehouden, zijn voor de huiszwamaantasting uitermate gevoelig. Aantastingen zijn dan onafwendbaar. De huiszwam tast zowel naald- als loofhout aan.  
Een minstens even gevaarlijke schimmelaantasting is die van de witte rot. Alle houtdelen worden afgebroken. Er ontstaat een verpulverde massa.

Zachte rot is met het blote oog vrijwel niet te zien. De aantasting is oppervlakkig. Ze komt veel voor op hout dat lang nat is.

### 2.9 Bescherming en verduurzaming

#### 2.9.1 inleiding

In *droge* toestand (normaal binnenshuis) of geheel onder water (funderingen, waterwerken) zal aantasting vrijwel niet plaatsvinden. Droge toestand betekent voor minder duurzame houtsoorten en spint dat het vochtgehalte beneden 21% moet blijven. Hout onder water is beschermd omdat de aantasters onder water (zonder zuurstof) niet kunnen leven (zie de uitzondering bacteriën, 2.8.8). voor geveltimmerwerk (ramen, kozijnen, enz.) kan de timmerfabriek de aangewezen plaats zijn om het hout preventief te beschermen of te verduurzamen.

Er wordt duidelijk onderscheid gemaakt tussen:

* *Beschermen*, het aanbrengen van een beschermende oppervlaktelaag
* *Verduurzamen*, inpersen van een bederfwerend chemisch middel, een voor biologische aantasters giftige vloeistof.

Men spreekt in het algemeen van *verduurzaming* als hout gedurende ten minste 10 jaar verdedigd moet worden tegen rotverschijnselen (schimmelaantasting). Is die tijd korten, dan wordt *bescherming* bedoeld.

#### 2.9.2 beschermen

Met beschermen beoogt men het hout te voorzien van een voor de buitenlucht min of meer afsluitende huid. Voorbeelden van een dergelijke oppervlaktebehandeling zijn carbolineren, schilderen, vernissen, oliën, met een bederfwerend chemisch verduurzamingsmiddel bestrijken en bekleden met metaal of kunststof.

***Carbolineum*** is een dunvloeibaar destillatieproduct van steenkool. Het dringt vrij goed in hout en heeft daardoor een groot bederfwerend vermogen. Het product heeft een ademend karakter. Carbolineum is in verschillende kleuren verkrijgbaar.  
Het ademen kan zeker ook worden verkregen door een oppervlaktebehandeling met een verduurzamingsmiddel.

Met **s*childeren***wordt een min of meer dichte, beschermende laag gevormd. Bij een onjuist gekozen verfsysteem kan het hout te veel worden afgesloten. Verfsystemen moeten kunnen ‘ademen’, vooral de verfsystemen aan de buizenzijde van geveltimmerwerk (zoals voor kozijnen); 10.2.5.

Het ***bekleden met metalen*** treft men in de bouw nog steeds aan, bijvoorbeeld de bescherming tegen vocht van bovendorpels van buitendeur- en raamkozijnen met loodslabben of kunststofstroken.  
Het ***bekleden met kunststoffen*** is eveneens mogelijk. Voorbeelden daarvan zijn o.a. raamkozijnen. Beschadiging moet worden voorkomen.

#### 2.9.3 Verduurzamen

##### Principe houtverduurzaming

Verduurzamen van hout wordt gerelateerd aan behandeling met chemische middelen, die de aanval van schimmels (zwammen), insecten (larven) en marineboorders moeten helpen weerstaan.

#### 2.9.6 Effectiviteit van verduurzamen

Duurzaamheidklassen

De duurzaamheidklassen I t/m V zijn een indicatie voor de levensduur die door een houtsoort wordt bereikt in contact met vochtige grond in een gematigd klimaat. Bij zogenoemde kerkhofproeven worden rondhoutpanelen van 8 à 9 cm doorsnede en een lengte van ca. 175 cm, ca. 50 cm in humusrijke zandgrond geslagen. De levensduur wordt nu bepaald op het moment dat de paal kan worden gebroken met een kracht van 60 kg aangrijpend 100 cm boven het maaiveld.

Zie Tabel 2.83 p136 (I zeer duurzaam > V zeer weinig duurzaam)

### 2.10 Houtproducten, plaatmaterialen

#### 2.10.1 Inleiding

Plaatmaterialen zijn al of niet vlakke halfproducten van verschillende afmeting en grondstofsamenstelling, die vrijwel direct bruikbaar zijn voor constructieve en/of scheidende functies.  
Belangrijke gegevens:

* De dikte is vele malen kleiner dan lengte en breedte
* De volumieke massa bij een grote afmeting is laag

*Plaatmaterialen* zijn verkrijgbaar van verschillende basismaterialen zoals hout, staal, kunststoffen en ook mineraalgebonden producten (waartoe verzelcementplaten behoren).  
Hier worden behandeld de plaatvormige producten die hoofdzakelijk uit hout bestaan. Het onderscheid in deze plaatmaterialen kan goed worden gemaakt naar het uiterlijk:

* Een groep die nog duidelijk de kenmerken van de gebruikte houtsoorten draagt
* Een groep die die kenmerken niet meer laat zien

Tot de eerste groep behoren triplex, multiplex en meubelplaat. Zij zijn onbehandeld als hout herkenbaar. Met producten zoals vezelplaten (de boards) en spaanplaat is dat vrijwel onmogelijk.

Pas eind 19e eeuw kwam de fabricage van houtachtige plaatmaterialen goed op gang. Opmerkelijk was toen al de gedachte om zuinig met hout om te springen. Daarnaast was er echter ook al sprake van om voor verschillende doeleinden tegemoet te komen aan hinderlijke bijverschijnselen van bepaalde eigenschappen van hout in de praktijkomstandigheden (zwel/krimpgedrag, enz.); met andere woorden de invloed van de vezelrichting en de aanpassing van hout aan de vochtigheid van de omgeving.   
Historisch gezien werd meubelplaat het eerst ontwikkeld; daarna vrij snel triplex. De boards kwamen rond 1930 tot ontwikkeling. Boards zijn voor een zeer groot gedeelte samengesteld uit de pure houtvezels, evenals een vrij modern materiaal als MDF (medium density fiberboard). Spaanplaat is na 1950 pas goed in productie gekomen.

Plaatmaterialen van hout zijn in de gebruiksomstandigheden bijzonder afhankelijk van aantastende invloeden. Vooral vochtige omstandigheden kunnen funest zijn. De ontwikkeling van de watervaste kunstharslijmen hebben zeer positief uitgewerkt.

#### 2.10.2 Triplex (= 3 laagjes fineer)

##### Inleiding

Triplex is een plaatmateriaal dat bestaat uit drie of meer fineerlagen, zodanig op elkaar gelijmd dat de vezelrichtingen van de lagen elkaar loodrecht kruisen (fig2.85).

In de bouwpraktijk wordt ook de naam *multiplex* gebruikt als het om meer dan drie lagen gaat.

De grondstof voor de triplexfabricage is fineer. *Fineer* is hout in dunne plakken (van minder dan 1 mm tot enkele mm dik) dat op een ondergrond wordt aangebracht of wordt samengesteld tot een nieuw materiaal. In het eerstgenoemde geval vaak met een verfraaiend oogmerk (teak, mahonie, enz.) in het laatstgenoemde geval meer met een constructief oogmerk (okoumé en meranti voor triplex, oregonpine voor constructietriplex).

De vervaardiging van fineer kan op twee manieren plaatsvinden:

1. De *snijmethode* voor de duurdere soorten fineer
2. De *schilmethode* voor alle andere soorten

Bij het snijden van fineer blijft de oorspronkelijke, tevens gewenste, houtstructuur goed zichtbaar. Bij het schillen is het hierom minder te doen; eerder wil men op een goedkope manier fineer in grote hoeveelheden produceren.  
Bij het schillen wordt het fineer verkregen van een stuk stam. Dit moet voor goede zachtheid eerst worden gestoomd of gekookt+. Het schillende mes schuift naar het midden van de stam en er ontstaat een ‘oneindig’ lange schil hout. Er kunnen schilscheurtjes ontstaan die de kwaliteit van triplex kunnen benadelen. De stam heeft een conische vorm, waardoor geschild fineer in het algemeen de vlammen van tangentiaal gezaagd hout laat zien. Er worden smalle banen fineer gebruikt zodat het fineer voor triplexfabricage moet worden gevoegd. De voegen maken deel uit van de kwaliteit van triplex: goede kwaliteit betekent geen voegen in buitenfineer en goed gesloten voegen in het interieur.  
Fineer wordt ook verwerkt op meubelplaat, spaanplaat en vezelplaat (MDF) voor versterking en/of verfraaiing.

##### Eigenschappen

Volumieke massa tussen 450 en 750 kg/m³

***Mechanische eigenschappen***  
De eigenschappen zoals sterkte, stijfheid en vormveranderingen door vochtwisselingen zijn afh van:

* De soort lijm en lijmverbinding
* De kwaliteit en soort fineer
* De dikte van de fineerlagen (invloed scheurtjes)

De anisotropie van de houtsoorten wordt door de kruislingse verlijming sterk verminderd

***Zwel en krimp***Het zwellen en krimpen van triplex hangt af van de gebruikte houtsoort en van de dikte van de samenstellende fineerlagen.  
Globaal zijn voor de berekeningen de waarden uit tabel 2.86 bruikbaar.

***De duurzaamheid***De duurzaamheid is bijzonder afhankelijk van de eerder genoemde factoren  
Voor fineersoorten gelden de duurzaamheidklassen van het ervoor toegepaste hout

***Lijmsoort***Ook de lijmsoort is van groot belang voor de duurzaamheid.

##### Triplexsoorten en toepassingen

Triplexsoorten worden in het algemeen aangegeven naar de soort hout die voor de deklagen worden gebruikt.  
De kwaliteit van triplex kan worden gekoppeld aan onvolkomenheden in de dekfineren. De algemene kwaliteitsindeling is als volgt:

* **Kwaliteit A**: onder andere in dekfineren; geen kantvoegen, geen wormgaatjes en inzetstukken, enkele kwastjes. Toegepast voor blank werk.
* **Kwaliteit B**: dekfineren met goed gesloten voegen en inzetstukken, kleine reparaties en enkele wormgaten toegestaan. Deze kwaliteit wordt toegepast bij overschilderen en overfineren.
* **Kwaliteit C**: functioneel bruikbaar triplex. Het dekfineer heeft geen uiterlijke functie.

Enkele bijzondere *triplexsoorten* zijn:

* **Brandvertragend triplex**
* **Betontriplex:** Dit is een triplex dat in betonkistingen wordt toegepast voor snelle, gemakkelijke ontkisting en gladde niet verder af te werken betonoppervlakken (schoonwerkbeton).
* **Constructietriplex:** In de houtskeletbouw fungeert het triplex vooral als verstijving (stabiliteit) voor wanden, vloeren en daken.
* Ook voor **deuren** wordt triplex toegepast

#### 2.10.3 Meubelplaat

Meubelplaat is, evenals triplex, een plaatmateriaal dat nog duidelijk de kenmerken van hout draagt. De platen zijn opgebouwd uit een kern van staafjes of latten van massief hout, waarop aan beide zijden een fineerlaag is gelijmd.

#### 2.10.4 Spaanplaat (beperkt vocht/prijs lager)

Er kunnen verschillende hulpmiddelen zijn toegevoegd om bepaalde eigenschappen te verkrijgen. Er zijn vele euronormen voor spaanplaat uitgebracht.

De *lijm* is in het algemeen een ureumformaldehydelijm. Voor vochtresistente plaatsoorten gebruikt men melamine- of fenolformaldehydelijm. De kleur van de lijm geeft geen uitsluitsel over de gebruikte lijmsoort (eventuele kleurstoffen).

*Hulpstoffen* kunnen worden toegevoegd tijdens de fabricage. *Voorbeelden* daarvan zijn:

* **Waterwerende middelen** om vormveranderingen tegen te gaan (antizwelmiddelen)
* **Verduurzamingmiddelen** om insectenvraat en schimmelaantasting te voorkomen
* **Brandvertragende middelen**

De *houtspaanders* worden verkregen van afvalhout uit bossen, afvalhout uit onder andere zagerijen en gebruikt schoon bouwhout. Hieruit blijkt een milieutechnische aanpak.  
Belangrijke houtsoorten voor spaanplaat zijn dennen, vuren, grenen, berken, beuken en populieren. Er wordt 5-15% lijm toegevoegd. Het lijmpercentage bepaalt de plaateigenschappen.  
Een nieuwe ontwikkeling wordt vlakgeperst. Er bestaat echter ook een continuextrusieproces. De spaanders liggen dan verticaal ten opzichte van het plaatoppervlak. Hierdoor moet er gefineerd worden, omdat anders de platen te breekbaar zijn. Geëxtrudeerde platen worden ook met holle kanalen gemaakt.

##### Enkele eigenschappen

***De volumieke massa***  
Afhankelijk van soort en merk zijn uiteenlopende volumieke massa’s mogelijk. De volumieke massa neemt af met toenemende dikte.

##### Soorten en toepassingen

Spaanplaat vindt in de bouw zeer grote toepassing, voor ondervloeren, wand- en plafondbetimmeringen, deurpanelen en geïsoleerde dakpanelen.   
Vele afwerkingen zijn mogelijk, zoals gefineerd met hout of kunststoffen zoals HPL (high pressure laminate) op platen en gemelamineerd.

Enkele bijzondere spaanplaatproducten zijn OSB (Oriented Structural Board) en Waferboard, bruikbaar voor verstijvende platen in daken en wanden. De laatstgenoemde soort is opgebouwd uit grote brede spanen in buitenlagen en kleinere in een binnenlaag. Bij OSB gaat het om in richting gestrooide langwerpige spanen.

*OSB kent vier toepassingsgebieden* waaruit tevens de kwaliteit blijkt:

1. **OSB1:** interieur- en meubelbouw.
2. **OSB2:** dragend, droge omstandigheden.
3. **OSB3:** dragend, vochtige omstandigheden (tot 80% RV). Vloeren, wanden daken, binnenspouwbladen, **houtskeletbouw.**
4. **OSB4:** zwaarbelast, vochtig klimaat.

De spanen in OSB verlijmd (tot 30%lijm). Paraffine wordt toegevoegd voor de watervastheid. Voor betonbekisting wordt OSB gemelamineerd. Voor hellende daken wordt OSB gecombineerd met geëxtrudeerd plystyreen (isolatie).

#### 2.10.5 Houtvezelplaat (board)

##### Inleiding

Het woord vezelplaat is genormaliseerd. Er wordt onder verstaan: geperste platen van houtvezelfs of andere plantaardige vezels al of niet gebonden met een organisch bindmiddel.   
Houtvezelplaten, meer algemeen boards genoemd, hebben hun ontwikkeling in feite te danken aan de grote hoeveelheden afval van de houtverwerkende industrieën en uit duurzaam beheerde bossen. De vraag naar houtvezelplaten heeft de afvalvoorraad zodanig overtroffen dat nu ook inferieure houtsoorten en zelfs andere plantaardige stoffen als riet en stro worden gebruikt. Uit de naam valt op te maken dat we te doen hebben met de vezels van een (organische) grondstof, de kleinst mogelijke deeltjes.  
De verschillende boardsoorten worden in diverse persingen in de handel gebracht. Men onderscheidt twee grote groepen:

1. Zachtboards
2. Hardboards

##### Enkele eigenschappen

De volumieke massa (naargelang druk waaronder geperst)

* zachtboard: <350 kg/m£³
* Halfhardboard: 350 < 0 < 800 kg/m³
* Hardboard: >800 kg/m³
* Superhardboard: >950 kg/m³

Verschillende eigenschappen  
Er worden bepaalde chemische stoffen aan de vezelmassa toegevoegd om een bepaalde kwaliteit te verkrijgen, bijvoorbeeld verbetering van de mechanische eigenschappen en vochtgevoeligheid (parafinnetoevoeging).

Board is in het algemeen een vochtgevoelig materiaal, een en ander wel afhankelijk van persing en toevoegingen. Sommige soorten moeten daarom voor bepaalde omstandigheden aan de achterzijde voor de verwerking worden bevochtigd om naderhand bolstaan door vochtopneming te voorkomen.

##### Soorten en toepassingen

* Zachtboards worden onder andere gebruikt voor aftimmering van plafonds en scheidingswanden; verder ook voor deurvullingen, de basis voor stucwerk en verloren-betonbekisting. Voorzien van gaatjes en sleufjes wordt zachtboard gebruikt als geluidsabsorberend (dempend) materiaal, ook akoestisch materiaal genoemd.
* Hardboard is eveneens een bekledingsmateriaal. Het is in diverse hardheden als hard, superhard en dergelijke in de handel.
* Standaardhardboard wordt toegepast voor allerlei afwerking (waaronder ook vloeregalisatie en –renovatie), deuren, dakbeschot, verstijvingsplaten in de houtskeletbouw, betimmeringen, enz.
* Superhardboard krijgt extra hardheid en hoge weerstand tegen vocht door een olie- en temperatuurbehandeling. Het maakt dit board geschikt voor toepassing onder ‘extreme’ omstandigheden, dus buitentoepassingen zoals gevelafwerking, boeiboorden, garagedeuren ,maar ook betonbekistingsplaat en het lijf in I-profielen.
* Half hardboard wordt nog onderscheiden in MDF (medium density fiberboard) en HDF (high density fiberboard) naar de volumieke massa. De toepassingen zijn als bij standaarboard.

#### 2.10.6 Houtwolplaten

##### Inleiding

Houtwolplaten verkrijgen hun sterkte en stijfheid door de mate van persing en het gebruikte bindmiddel. Het bindmiddel geeft de naam aan het product. Dat bindmiddel kan zijn cement of magnesiet. Men spreekt van houtwolcementplaten en magnesietgebonden platen.  
Vaak wordt alles houtwolcement genoemd, maar er is dus wel degelijk verschil. Het bindmiddel is daarvoor verantwoordelijk.

##### Soorten en toepassingen

Houtwolmagnesiet- en houtwolcementplaten vinden zowel constructief, bouwfysisch (geluidsabsorptie) als esthetisch in de bouw toepassing.   
Een belangrijke bouwfysische eigenschap van houtwolplaten is de thermische isolatie, die wordt veroorzaakt door de vele met droge lucht gevulde ruimten in het materiaal. Rekenwaarden voor de warmtegeleiding worden door de fabrikant nader opgegeven.

#### 2.10.7 Houtcementproducten

In tegenstelling tot houtwolcementplaten zijn houtcementproducten samengesteld op basis van korte houtdelen (spaanders) en cement, het zogenoemde houtbeton. De spaanders zijn antirot en soms ook brandwerend geïmpregneerd.

#### 2.10.8 Gelamineerd hout

Met gelamineerd hout worden constructieonderdelen bedoeld zoals balken en spanten die opgebouwd zijn uit delen (planken) van 15 tot 35 mm dikte en die onder persdruk zijn verlijmd. Figuur 2.94 en 2.95 geven een teweetal praktijvoorbeelden.

FIG. 2.96 p 155

Tabellen p164-169 > opzoekingswerk enkel die van ppt kennen

## Natuursteen

3.1 Inleiding

3.2 Indeling naar de wijze van ontstaan

3.3 Ontginning en bewerking

3.4 Eigenschappen

3.5 Onvolkomenheden

P 204 – 205 ppt

### 3.1 Inleiding

Natuursteen behoeft dankzij de samenstellingen gunstige eigenschappen slechts een bewerking te ondergaan om voor verschillende doeleinden in de bouw dienst te doen, zowel constructief als esthetische. Die bewerking is soms zelfs zeer beperkt (het losbreken uit de groeve) bijvoorbeeld voor stortsteen in de waterbouw.  
Nederland bezit betrekkelijk weinig natuursteen, in tegenstelling tot andere landen. Het Nederlandse zand en grind (grondstoffen voor de betonindustrie) en de mergel (een kalksteensoort) van de st. pietersberg (grondstof voor de cementindustrie) hebben evenwel een hoge economische waarde. De ‘natuursteen’ klei is de grondstof voor vele keramische producten.

De harde korst rondom de aarde, de steenschaal (max. ca. 60km dik), levert vele natuursteensoorten. Binnen in de aarde is de massa, het magma, nog vloeibaar. De steenschaal is ontstaan door afkoeling van het magma.   
Veel gesteenten zijn opgebouwd uit kristallen; als *er geen kristallen aanwezig zijn is de massa glasachtig.* De gesteenten zijn dus kristallijn of amorf.  
De kristalachtige vormen (verbindingen) worden mineralen genoemd.   
Ze hebben een vaste chemische samenstelling. Bij natuursteen zijn bekende mineralen: kwarts, veldspaten, glimmers, kalksteen en gipssteen.

Kwarts, veldspaten en glimmers zijn silicaten; zij komen zeer veel voor omdat de aardkorst ook voor een zeer groot gedeelte uit silicaten bestaat. De silicaten zijn voornamelijk opgebouwd uit de lichte elementen: silicium, aluminium en zuurstof. Deze elementen zijn de lichtste zodat ze bij het ontstaan van de aarde kwamen ‘bovendrijven’. Ze vormden bij verdere langzame afkoeling vele verbindingen (zoals de oxiden bla en bla). Bij lagere temperaturen kristalliseerden die uit en vormden met metalen en andere oxiden bepaalde verbindingen met verschillende samenstelling en structuur, de grote groep van de sillicaatmineralen. Graniet betsat voornamelijk uit een verzameling van de mineralen kwarts, velspaat en glimmer.

In basalt en lava zijn er geen mineralen aanwezig, die gesteenten zijn te snel afgekoeld en konden daardoor geen verbindingen, dus geen kristallen vormen.  
Deze gesteenten zijn daarom amorf.

### 3.2 Indeling naar de wijze van ontstaan

#### 3.2.1 Inleiding

De natuursteensoorten worden onderverdeeld in een drietal hoofdgroepen die elk op hun beurt weer onderverdeeld worden in drie subgroepen de indeling berust op de geologische ontstaanswijze van de gesteenten, ZIE TABEL 3.3 p175

#### 3.2.2 Stollings-, sediment- en metamorfe gesteenten

##### inleiding

Stollingsgesteenten. Door de geleidelijke afkoeling van de aarde is het buitenste magma gestold en vormden zich de eerste gesteenten van de steenschaal de zogenoemde stollingsgesteenten of primaire gesteenten.

Bij de afkoeling van het magma kunnen kristallen (= verbindingen = mineralen) gevormd worden onder de volgende condities:

* Langzaam afkoelen (vorming grote kristallen)
* Snel afkoelen (vorming kleine kristallen in een amorfe (glasachtige) ondergrond)
* Zeer snel afkoelen (geen kristallen > amorf (glasachtig) materiaal

Sedimentgesteenten. Allerlei omstandigheden (wind, zon, regen, enzovoort) verweren de primaire natuursteen, waarvan de afbraakproducten door het water in rivieren worden meegevoerd.  
Deze producten zetten zich ergens anders af en vormen in de loop van de tijd de afzettingsgesteenten, sedimentgesteenten of secundaire gesteenten. Deze gesteenten ontstaan in het algemeen uit de primaire gesteenten. Zo kan in water opgeloste kalk, afkomstig van uitloging van primaire gesteenten, door lagere dieren voor hun pantsers worden gebruikt. Bij het afsterven van deze organismen worden dan lagen kalk gevormd, zoals de kalksteensoort hardsteen. Bij deze steen zijn de organische resten te ruiken. Bij breuk ontwijkt namelijk het gas bla (rotte-eirengeur).

Metamorfe gesteenten. Door hoge druk en temperatuur kunnen primaire en secundaire gesteenten in de natuur een vormverandering ondergaan. Er worden metamorfe gesteenten gevormd, zoals gneis uit graniet, en het echte kristallijne marmer (cristallino) uit het niet-gekristalliseerde ‘gewone’ sediment marmer. Het gneis is een gelaagd graniet; het graniet is eenvoudigweg gedurende zeer lange tijd platgedrukt. Een cristallino is een marmer met duidelijke kristallen van vrijwel gelijke grootte. Zowel cristallino als gewoon marmer is kalksteen.

##### Stollingsgesteenten

FIG. 3.4 p.177

Onderverdeeld in:

* Dieptegesteenten
* Ganggesteenten
* Uitvloeiingsgesteenten

##### Sedimentgesteenten

Gelaagde structuur > deze overblijfselen worden fossielen genoemd.

##### Metamorfe gesteenten

De metamorfe gesteenten zijn ontstaan door natuurlijke verandering van primaire gesteenten of van secundaire gesteenten. De oorspronkelijke gesteenten hebben op een of andere wijze door hoge druk, hoge temperatuur of beide een metamorfose ondergaan (metamorfose = verandering van vorm)

Zo ontstaat uit graniet onder invloed van vooral hogedruk de steensoort gneis. Gneis heeft nog steeds de silicaatsamenstelling van het oorspronkelijke graniet maar vertoont nu een duidelijke kristalvormige gelaagdheid.

Onder invloed van enorme hitte kan zandsteen uitvloeien en bij stollen omgevormd worden tot een steensoort met een duidelijk gelaagde structuur, het kwartsiet. De soort kwartsiet wordt bepaald door de oorspronkelijke zandsteensoort. De korrelvormige silicaat zandtsteen is veranderd in amorf kwartsiet. Een gewoon marmer kan onder invloed van hoge temperatuur in combinatie met druk veranderen in ‘echte’ marmer. Dit ‘echte’ marmer is altijd kristallijn. De samenstelling is gelijkgebleven, een kalksteensoort.

Door (zeer) hoge druk kan klei veranderen in leisteen (leien). Leisteen wordt in de literatuur tot de afzettingsgesteenten of de metamorfe gesteenten gerekend. De beste indeling is de laatste, omdat lei in de natuur samengedrukte klei is (er vond drukmetamorfose plaats over zeer lange tijd). De kleiminerralen zijn in de leisteen aanwezig gebleven.  
Onder zeer hoge wrijvingsdruk kunnen kalksteenformaties uitvloeiend verbrokkelen en weer aan elkaar kitten. Een voorbeeld hiervan zijn kalkbreccies (fig3.8). in het algemeen worden gesteenten bestaande uit aaneengekitte afgeronde stenen conglomeraten (fig3.9) genoemd en gesteenten bestaande uit aaneengekitte hoekige brokstukken breccies.

### 3.3 Ontginning en bewerking

#### 3.3.1 ontginningsmethoden

Het ontginnen van natuursteen geschiedt in steengroeven (zogenoemde carrières) in bergachtige streken. Deze groeven kunnen zowel ‘open’ als ‘verdekt’ zijn.

#### 3.3.2 bewerkingsmethoden

De uit de groeve afkomstige ruwe bouwsteen is voor de praktijk onbruikbaar. Eerst wordt de steen in wel bruikbare stukken gezaagd of gekloofd in dunne platen en dikkere eenheden. Daarna ondergaan de kleinere delen een voor praktijk verlangde nabewerking.

De esthetische bewerkingen zijn:

* De **brute of rustieke bewerking**. Hierbij wordt het oppervlak van de steen zeer ruw behakt figuur 3.13. *Soms laat men aan de zijkanten een smalle vlakbewerkte strook staan*. Men spreekt dan van *bossagebewerkt.*
* **Frijnen**. Hieronder verstaat men de bewerking van het oppervlak met een frijnbeitel.  
  Het oppervlak wordt voorzien van evenwijdig lopende groefjes fig. 3.14. Er wordt onder andere *onderscheid gemaakt tussen de gewone frijnslag, de kathedraalslag en de visgraatslag.*  
  Men spreekt ook nog wel van de (fijnere) Hollandse frijnslag en de (grove) Belgische frijnslag. Het scharreren gebeurt met een beitel; er worden groepjes groeven gevormd. Tegenwoordig wordt veel machinaal gefrijnd (goedkoop).
* **Boucharderen**. Bij deze methode wordt het oppervlak voorzien van zeer vele kleine putjes door er met een hamer, waarvan de kop bezet is met een aantal punten, op te slaan (de bouchardhamer). FIG. 3.15. Let wel op de tekening van de bewerking; de vierkante hamerindrukken zijn te herkennen. Stocken of grotten is een dure variant. De putjes worden dan met een enkelvoudige puntbeitel geslagen.
* **Schuren.** Het oppervlak wordt bewerkt met fijn zand en water of met bepaalde slijpmiddelen fig. 3.16. Let hier op de afdrukken veroorzaakt door het draaien van de (droog)schuurschijven.
* **Zoeten.** Na het schuren kan een tweede bewerking volgens met poetsschijven en olie. Het oppervlak is zeer glad, maar glanst niet fig. 3.17.
* **Polijsten.** Fig3.18. Na het schuren kan het oppervlak glanzend worden gemaakt met een slijpmiddel. Een voorbeeld is het droogslijpen met epoxygebonden diamantpoeder of met schuurschijven. Gepolijste oppervlakken kunnen hinderlijke (soms zelfs ongewenste) spiegeleffecten geven. Tegen gladheid kan een laserbehandeling uitkomst bieden. Hiermee gevormde onzichtbare microputjes maken het oppervlak antislip.

**P183 FIGUREN HERKENNEN VOOR- EN NADELEN**

Met de laatste drie methoden wordt de weerstand tegen aantasting min of meer vergroot, omdat er een glad en dicht opp wordt gevormd. Bepaalde bewerkingen zijn voorbehouden aan bepaalde steensoorten. Zo zijn diverse kalksteensoorten uitstekend te polijsten, maar bijvoorbeeld zandsteen en kwartsiet niet.  
Sinds 1922 (zandsteenbesluit) mag zandsteen alleen onder bepaalde voorwaarde worden bewerkt (in verband met de longziekte silicosis).

### 3.4 eigenschappen

#### 3.4.1 factoren van invloed op de eigenschappen

De eigenschappen van de gesteenten zoals sterkte, volumieke massa, waterdichtheid, uitzetting en de weerstand tegen weersinvloeden, hangen van een aantal belangrijke factoren af:

* De atomaire en moleculaire structuur van de mineralen
* De chemische samenstelling van de mineralen
* De grootte van de mineraalkristallen, grof of fijn kristallijn
* De mineraalverdeling in de gesteenten
* Gelaagde gesteenten vertonen anisotropie
* De porositeit

Tabel 3.20 p185 > weten wat de hardheidsschaal van Mohs is.

#### 3.4.3 Mechanische eigenschappen

De sterkte

Hier wordt gewezen op de hoge druksterkte en de zeer lage treksterkte van natuursteen.

Hardheid

De hardheid is een moeilijk te omschrijven begrip; het is de mate van weerstand tegen indrukken  
De hardheid wordt aangegeven met de harheidsschaal van Mohs (tabel 3.23 p.189). In deze reeks mineralen kan het hoger geplaatste mineraal het lagere krassen. In de schaal van Mohs is diamant het hardst.

10 hardst / 1 zwakst

#### 3.4.4 andere eigenschappen

Vooral problemen van materialen leren. Het is belangrijk weten wat schade kan aanbrengen.

* **Zwellen krimpen door vocht**
* **Volumieke massa**
* **Uitzettingscoëfficïent**
  + De warmte-uitzetting kan sterk uiteenlopen. Donkere steensoorten nemen meer warmte op dan lichtgekleurde steensoorten. Donkere soorten zullen dus in het algemeen meer uitzetten (van belang bij gevelbekleding)
* **Bestandheid tegen vuur (hitte)**
* **Duurzaamheid**
  + De duurzaamheid is vooral gebaseerd op weerstand tegen chemische en mechanische aantasting.
  + Materialen op basis van kalksteen (dus ook natuurlijke kalkhoudende gesteenten) worden in industriegebieden chemisch meer aangetast dan in andere gebieden. Kalkbevattende gesteenten worden aangetast door zuren. Autogassen zijn voor monumentale gebouwen desastreus.
  + De gevormde gipssteen is enigszins oplosbaar. Vaak zien we op kalksteen daarom min of meer vervuilde gipskorsten.
  + CaCO + blablabla  
    Dit bicarbonaat is goed oplosbaar in regenwater, waardoor continue afspoeling plaatsvindt.
* **Schoonmaken en onderhoud**
  + De natuursteensoorten kunnen op chemische samenstelling globaal worden ingedeeld in een groep op voornamelijk kalksteenbasis (zoals marmers) en een groep waarin vooral silicium de hoofdrol speelt (onder andere granietsoorten). Hoewel de laatstgenoemde groep (de silicaatgroep meer weerstand biedt, dient bij schoonmaken altijd te worden gelet op eventuele chemische aantasting door het schoonmaakmiddel (zuur op kalk!). het beste is dat een middel oplosbaar is in water – en na de behandeling dus afspoelbaar is – en niet krast. Overigens is het inschakelen van een deskundige (natuursteenhandel) soms niet overbodig. Van belang zijn steeds de soort oppervlaktebehandeling, de steensoort en de soort vervuiling. Vooral de zachtere kalksteensoorten, zoals marmers, zijn aan slijtage onderhevig. Een methode voor deze soorten is het kristalliseren. Door een chemische reactie met een bepaalde vloeistof wordt de toplaag fijnkristallijn en daardoor harder en slijtvaster. De bekende cementsluier op tegelwerk uit een voegspecie wordt ook hiermee verwijderd.

### Onvolkomenheden (!)

Onvolkomenheden (ook nog wel gebreken genoemd) kunnen de eigenschappen zoals sterkte en vorstbestandheid nadelig beïnvloeden.

Enkele *in bepaalde natuursteensoorten voorkomende onvolkomenheden* zijn:

* **Zwarte aderen** (in hardsteen)
* **Witte aderen** (in hardsteen): Soms kan toch breuk optreden.
* **Zoutgaten**
* **Roest**
* **Glimmerlagen:** ze kunnen aanleiding zijn tot ongewenste splijting
* **Boormossel:** bepaalde mosselsoorten boren gaten in de steen
* **Zonnebrand:** dit is een onvolkomenheid die uitsluitend in basalt voorkomt. Bij de winning hoeft niets te zien te zijn. Men ontdekt het pas doordat in de loop der tijd scheurtjes ontstaan die elkaar in alle richtingen kruisen en waarbij de steen een korrelige structuur krijgt.
* **Haarscheuren**. Deze kunnen natuurlijk zijn of ontstaan zijn bij ontginning met bijvoorbeeld explosieven (reeleger)

(na alle leerstof geleerd te hebben is het sterk aangewezen FIG. 3.28 p.197 te bekijken, niet te kennen, samenvatting)

P204-209 ppt (vindtplaats nooit kennen)

## Gebakken kunststeen

4.1 Inleiding

4.2 De grondstof klei

4.3 Baksteen

4.6 Keramische tegels

### 4.1 Inleiding

Onder gebakken kunststeen verstaat men producten die worden verkregen door daarvoor geschikte kleisoorten tot een bepaalde noodzakelijke temperatuur te verhitten. De grofkeramische industrie vervaardigt voor de bouw producten als baksteen, dakpannen, buizen en tegels.   
De grondstof is steeds klei.

### 4.2 De grondstof klein

#### 4.2.1 ontstaan van klei

Klei ontstaat door verwering van natuursteen. Op aarde is niets bestand tegen verwering.

De steen brokkelt af en wordt door gletsjers en rivieren meegevoerd en verkleind.

Klei is een mengsel van fijn zank, kleimineralen en ijzer-, kalk- en andere verbindingen. De kleideeltjes zijn zo fijn dat ze het verst van de bergen worden afgezet.

#### 4.2.2 de samenstelling van klei

Klei bestaat hoofdzakelijk uit fijn zand en kleimineralen. Het zandgedeelte kan ca. 30% bedragen. De kleimineralen bepalen in bijzondere mate het gedrag van de klei met betrekking tot de verwerkbaarheid van de nog kneedbare massa en het droog- en bakproces. De kleimineralen, die een platte vorm hebben, zijn zeer fijn: gemiddeld < 10µm (1 µm = 0.001 mm). De ijzer- en kalkverbindingen zijn verantwoordelijk voor de kleur van het uiteindelijk gebakken product, als geen andere kleurbepalende behandelingen worden verricht. Als het ijzergehalte overheerst, is de klei *roodbakkend*. Indien er meer kalk dan ijzer aanwezig is, is de klei *geelbakkend*, een en ander met nuanceringen.

#### 4.2.4 Drogen van klei

Uit het voorgaande volgt dat men voorzichtig zal zijn bij het drogen van alle soorten klei-watermengsels. Het mengsel van kleine deeltjes in het waterige milieu neemt namelijk een kleiner volume in (krimpt) wanneer er water wordt afgestaan (droogt). De krimp gaat zo lang door tot de zandkorrels en kleimineralen tegen elkaar leunen. De volumevermindering (6% of meer) hangt af van het percentage fijne materiaaldeeltjes en het vochtgehalte van de klei.  
Indien de snelheid van verdampen van het water te groot is, droogt het materiaal (bijvoorbeeld een pas gevormde ‘baksteen’) aan de buitenkant sneller dan binnenin, met als gevolg het ontstaan van krimpscheurtjes.   
Ook als deze scheurtjes zeer klein zijn, zijn ze nadelig; ze kunnen tijdens het bakproces door de dan optredend bakkrimp groter worden, met alle (praktische) nadelige gevolgen van dien. Vooral bij geperforeerde strengpersstenen kan dat moeilijkheden opleveren. Ze worden breekbaarder door kleine scheurtjes die rond om de gaten zelfs duidelijk zichtbaar zijn. De scheurtjes kunnen soms van perforatie tot perforatie lopen en een reden voor afkeuring van deze steen zijn.  
Het *droogproces* is nader beschreven in het diagram van fig4.5:

* In **periode I** bestaat een constante betrekking tussen de tijd en de volumevermindering. Vrij water verdwijnt, er treedt krimp op
* In **periode II** zet de krimp door tot 72 uur; water verdwijnt om de kleinste deeltjes; er ontstaan steeds meer poriën.
* In **periode III** is er geen krimp meer. Nog meer water verdampt, met groter poriëngehalte tot gevolg. Na 156 uur is het water verdampt. De massa bestaat dan uit klei met poriën.

#### 4.2.5 bakken van klei

##### De graad van doorbakkenheid

Bij het bakken (het in temperatuur verhogen) van de klei wordt het materiaal steenachtig en is dan niet meer met behulp van water plastisch te krijgen. Naarmate de temperatuur in de over hoger wordt, verandert ook de kleur van het product en tevens de hardheid en dichtheid. Hoe verder de temperatuur stijgt, hoe hoger de graad van doorbakkenheid zal zijn. Dit staat duidelijk in verband met de praktische kwaliteitsindeling van gebakken producten.

##### Bakken en chemie

Bij het bakken wordt een product van klei langzaam opgewarmd, daarna een tijd op een maxiumtemperatuur gehouden en dan langzaam afgekoeld. Dit gebeurt om steeds de reacties in de klei goed tot stand te laten komen.

* Tot ca. 400°C
* Van ca. 400°C tot ca. 800°C
* Van ca. 800°C tot ca. 1050°C De silicaat werkt als een soort kitmiddel voor de andere deeltjes.
* > ca. 1050°C Er treedt smelting (sintering). De deeltjes kitten aaneen; de vloeistof trekt ook in de poriën waarin oorspronkelijk water aanwezig was. Het volume van de steen wordt duidelijk kleiner omdat de vloeistof bij hoge temperatuur steeds meer in de poriën trekt.

### 4.3 Baksteen

Moeilijk te dateren  
7 verschillende uitbloeiingen (schade aan baksteen) > 3 frequent

#### 4.3.1 Inleiding

De geschiedenis van baksteen gaat zeker 6000 jaar terug. Altijd werden daarvoor kleisoorten gebruikt. Maar niet altijd werd gebakken; vaak ging het om in de zon gedroogde ‘stenen’.

De processen die de klei moet doorlopen om een bruikbare bouwsteen te verkrijgen, zijn:

* Voorbewerking
* Vormen en drogen
* Bakken (van de groene steen (steen die nog moet gebakken worden))

#### 4.3.3 vormen van groene steen

##### Met plastische klei

Het *vormen van de groene ‘steen’* (groenling of vormling) kan op de volgende manieren gebeuren:

* Met de **hand**
* Met de **vormbakmachine**
* Met de **strengpers**

***Vormen met de hand***In houten vormen met zes of zeven ruimten wordt met kracht een bal klei geworpen (fig4.8). De vormling krijgt zijn typische handvormuiterlijk doordat de klei niet wordt aangedrukt maar de boven de vorm uitkomende klei slechts wordt afgestreken. De vormling vertoont vijf zijden die min of meer diep geplooid zijn en kan worden ‘gelost’ doordat de natte vormen van tevoren met zand zijn bestrooid. In figuur 4.8 zien we dat twee bewerkingslijnen bij het handvormen elkaar kruisen.

Tegenwoordig wordt handvormsteen in het algemeen met een volautomatische machine gemaakt. Men spreekt dan van de machinale handvormsteen. De plooien zijn duidelijk minder diep.

***Vormen in de vormbakmachine***  
Bij dit machinale vormprocedé (fig. 4.9) neemt een machine het gehele vormproces voor haar rekening. De productie bedraagt ca. zeshonderd stenen per minuut. De normale vormbaksteen die met deze machine wordt gevormd, is veel strakker en gelijkmatiger van vorm dan de echte handvormsteen; de plooien ontbreken geheel. De vormen worden in verband met het lossen eveneens bezand. Ze vertonen dus ook vijf bezande kanten. Evenals bij de handvormsteen is één platte zijde (de afgestreken zijde) niet bezand.

***Vormen met de strengpers (extruder)***  
In een strengpersmachine bevindt zich een as waarop schroefwindingen zijn aangebracht. Deze schroefwindingen persen de klei door een nauwe opening met het profiel van de gewenste steen (fig. 4.10). vlak achter de opening wordt de kleistreng op de gewenste steendikte (formaatdikte) afgesneden. Strengpersstenen zijn scherpkantig en vertonen boogvormige lijntjes op de platte zijden door het afsnijden van de kleistreng met een stalen snaar. Bezanding van drie zijden (twee koppen, één strek) is mogelijk door een zandblaasapparaat vlak achter de strengpersmond. Bezand zijn is dus geen algemeen kenmerk bij strengstrengpersstenen!  
de strengpers is het aangewezen middel om holle baksteen (fig. 4.11), buizen, sommige tegelsoorten en eenvoudige typen dakpannen te vervaardigen. Strengpersstenen behoeven niet meer noodzakelijkerwijs geperforeerd te zijn. In de persmond van de strengpers was vroeger een voorziening uit stalen staven aangebracht om te voorkomen dat gelaagdheid door stromingsverschillen van de klei in de stenen ontstond. De staven leidden tot de perforatie van de stenen. De klei wordt tegenwoordig zo voorgestructureerd dat de strengpersmetselsteen ook massief kan zijn. De voorziening in de persmond is overbodig geworden. Er zijn vrijwel geen structuurverschillen in de kleistreng meer aanwezig.

#### 4.3.4 drogen van groene steen

Het *drogen van de groene steen* kan op twee manieren gebeuren:

1. Langs **natuurlijke weg** in de buitenlucht
2. Via een **gecontroleerd proces** in droogkamers of droogtunnels

De eerstgenoemde methode is seizoenswerk en sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Om het gebruikelijke vochtgehalte voor het bakproces van minder dan 10%£ te verkrijgen, is zelfs onder gunstige klimatologische omstandigheden drie weken droogtijd nodig. Deze methode is in het overgrote deel van europa niet meer in gebruik.  
Bij de kunstmatige droogmethode kan men met anderhalf à twee dagen toe. Het is een continu, uitermate controleerbaar proces waarbij men werkt met verwarmde lucht. Er wordt gewerkt met de overtollige warmte van het bakproces (economisch en milieuverantwoord).  
Een goed droogproces is van groot belang. Er treedt onder normale omstandigheden een droogkrimp op tot 10%. Te snel drogen versnelt het krimpproces van de klei en kan scheurvorming in de groenling veroorzaken doordat de buitenzijde van de steen sneller droogt dan de kern.

#### 4.3.5 het bakken van groene steen

***De ovens***  
De toegepaste ovens zijn *vlamovens* en *tunnelovens*. Voor een overzicht van het principe is ook een omschrijving van de ‘voorloper’ *ringoven* opgenomen.

***Temperatuurcontrole bakproces***  
Voor de controle van het bakproces, dat wil zeggen of de juiste temperatuur aangehouden wordt, beschikt men over controlemiddelen.

TABEL 4.16 p.228

***De kleur van baksteen***Baksteen kan op verschillende manieren een kleur krijgen***. Geheel gekleurd ook inwendig door***:

* De **keuze van de klei**: roodbakkende klei (meer ijzeroxide) en geelbakkende klei (meer kalkhoudende klei)
* De **baktemperatuur**: hoe hoger de baktemperatuur, hoe grauwer de kleur, de klinkersoorten.
* **Toevoeging aan de klei van kleurvormende pigmenten**. Dit zijn in het algemeen metaaloxiden.
* Het **kalkgehalte van de klei te verhogen** waardoor gelere steen wordt verkregen. Indien echter het ijzeroxide gehalte hoog is, is de steen moeilijk geel te krijgen. De toevoeging van kalk wordt wel mergelen genoemd.

***Strek en/of kop kleuren door:***

* *Het verglazen van de steen* (glazuren). Naar de aard van het toegepaste glazuur, zijn daarbij te onderscheiden:
  + Steen met **tinglazuur**
  + Steen met **loodglazuur**

Het verglazen kan op verschillende soorten steen worden toegepast. Tinglazuur en loodglazuur kan men goed van elkaar onderscheiden. Door loodglazuur ziet men het oppervlak (de scherf) van de steen nog duidelijk. Tinglazuur is dekkend, dus de ondergrond is onzichtbaar. Door aan beide glazuren metaaloxiden (pigmenten) toe te voegen, kunnen alle mogelijke kleuren worden verkregen. De loodglazuren blijven steeds doorschijnend. Het glazuurvormend kleipapje wordt voor het bakken opgebracht. Bij dure of ingewikkelde producten wordt eerst gebakken, dan volgen glazuren en opnieuw bakken. Glazuur werkt verfraaiend en geeft een gladde, niet gauw vuilwordende waterdichte laag. Het glazuur ontstaat doordat het smeltpunt van het kleipapje lager ligt dan de baktemperatuur van de steen.

* Het engoberen van de steen. Ook bij deze methode wordt alleen het in het zicht komende gedeelte van de steen (strek of kop) met een kleipapje bewerkt en wordt daarna gebakken. In tegenstelling tot glazuren glanzen geëngobeerde stenen veel minder (ze zijn over het algemeen dof gekleurd) en ze zijn nooit doorzichtig. De kleuren worden ook hier bepaald door metaaloxiden en er zijn vele kleuren mogelijk.  
  Evenals bij glazuren wordt de engobelaag aangebracht vóór het bakken. Het percentage ‘misbaksels’ is bij het moderne bakken namelijk zeer laag.
* Smoren. Indien in de ovengassen een laag percentage zuurstof aanwezig is of de steen is van vette klei gebakken (zeer dichte steen), wordt uit ijzerverbindingen in de klei ook ijzeroxide gevormd. Dit oxide heeft een zwarte kleur. De Belgische Boomse steen kan zo gebakken zijn. De steen is door smoren dicht van structuur. Door de steen in de oven enige tijd op 700 à 800% te houden wordt hij aan de buitenzijde weer rood door ijzeroxide vorming. De kern van de steen blijft diepgrijs.  
  Smoren is een veel gebruikt proces voor keramische dakpannen (4.4.3)

*Opmerking:* Het zogenoemde zoutglazuur hoort in deze opsomming niet thuis. De methode is alleen geschikt voor producten vervaardigd van gresklei (4.5.4).

#### 4.3.6 Omschrijving baksteenproducten

In deze paragraaf worden de benamingen en kwaliteitseisen behandeld zoals die in de huidige norm NENBLA: *metselbaksteen* worden omschreven. In de naaste toekomst worden metselstenen in de normen NENBLABLA en BLABEBLOE *Specificaties van metselwerk* nader vastgelegd voor baksteen, kalkzandsteen, beton- en natuursteen.

##### Het steentype (de wijze van vormen)

Het steentype wordt bepaald door de manier waarop de steen wordt gevormd. Belangrijke vormen zijn:

* Handvormsteen (FIG. 4.18 p.231). Deze steen is te herkennen aan de plooien en groeven op het oppervlak die door de speciale manier van vormen zijn ontstaan. Behalve aan de onregelmatige nerven is de handvormsteen te herkennen aan vijf bezande kanten en één onbezande, afgestreken, vlakke zijde. Handvormsteen kan ook machinaal worden vervaardigd, de plooien zijn dan duidelijk minder diep. Toepassing: buitengevels en schoonmetselwerk binnen.
* Vormbaksteen (FIG. 4.19). Deze met zogenoemde vormbakmachine gevormde steen bezit evenals de handvormsteen vijf bezande kanten, maar mist de grillige nerven daarvan. Soms is opzettelijk een nerf aangebracht. Met de vormbakmachine wordt een groot percentage van alle metselsteensoorten en tevens vrijwel alle gebakken straatsteen gefabriceerd. De steen is vrij strak van vorm. Een platte zijde (de afgestreken niet bezande zijde) vertoond soms de afdruk van de oplegplanken of oplegroosters./ vormbaksteen vindt vooral toepassing in buitengevels, maar ook voor dragend binnenwerk.
* Strenperssteen (FIG. 4.20). deze steen is zeer kantig en strak van vorm. Op de twee platte zijden van deze machinaal gevormde steen zijn min of meer gebogen lijntjes te zien die zijn veroorzaakt door de snijdraad. De strengperssteen wordt ook bezand geleverd. Het bezanden d.m.v. een zandblaasapparaat aan het eind van de persmond, beperkt zich tot de beide koppen en één strek. Door achter het mondstuk van de pers enkele geprofileerde rollen aan te brengen, kan men generfde steen produceren, zogenoemde ‘boomschors’ (FIG. 4.21 p232).  
  Strengpersstenen worden onderscheiden in steen zonder (massief) en in stenen met perforaties. Indien het oppervlak aan holle ruimten kleiner is dan 15% van het platte oppervlak (fig. 4.22) zullen de sterkte-eigenschappen, de waterdichtheid, de warmte- en geluidsisolatie in het algemeen niet merkbaar afwijken van die van massieve steensoorten. De massieve stenen zullen de geperforeerde (van gaten voorzien) geheel verdringen. De aanpassing van de klei (d.m.v. de plasticiteit) aan het extrusieproces in de machine is daarvan de oorzaak (zie ook 4.3.3).
* Holle strenpersstenen zijn stenen met een percentage holle ruimte groter dan 20% t.o.v. het totale oppervlak.

##### Het steenformaat (de afmetingen)

De steenformaten zijn van oudsher in verschillende streken (vaak aan de grote rivieren, vandaar sommige namen) ontstaan, maar zijn, wat de productie betreft, niet aan die streken gebonden gebleven. Er zijn genormaliseerde maten.

Preuze baksteensoorten

Poreuze bakstenen zijn stenen met opzettelijk door het gehele materiaal gebrachte min of meer grote poriën. Het zijn alle thermisch isolerende lichte binnenmuurstenen van het type strengperssteen. E(e)n(kele) soort(en):

**Porisosteen** (fig. 4.27). ook deze steen voelt, in verhouding tot zijn grootte, vrij licht aan. De poreusheid wordt hier verkregen door de klei te mengen met zaagsel.  
  
Binnenshuis kunnen porisostenen sfeervol als akoestisch schoonmetselwerk worden toegepast. Beide zijn dragend te verwerken.

#### 4.3.8 enige wenken voor het gebruik van metselbaksteen

Maar al te vaak wordt bij teleurstellingen de schuld aan de baksteen gegeven. Dit zou kunnen indien te snel gebakken is tot een bepaalde temperatuur. De steenstructuur is dan niet geschikt voor een bepaalde toepassing.  
Vaak zijn echter een onjuist gebruik, een foutieve keuze, een ongelukkig constructiedetail of een wijziging in functie, een verkeerde opslag en niet vergeten combinaties daarvan, de schuldige.

**Voorbeelden (p240):**

* Steenstructuur niet dicht genoeg voor bepaalde toepassingen
* Vlekken
* Natte muren
* Te zachte steen
* Te poreuze steen
* Verglaasde steen
* Te zachte steen
* Interieursteen besmeurd met kalk
* Allerlei beschadigingen

**Enkele adviezen:**

* Voorkomen van vervuiling
* Beschermen van nieuwe muurdelen

### 4.6 keramische tegels

#### 4.6.1 inleiding

Zowel vloer- als wandtegels zijn in grote verscheidenheid in de handel. Vele uitvoeringen zijn bekend zoals geglazuurd, mat, stroef, effen en met reliëf. De kleisoort bepaalt soms de naam van de tegels.

#### 4.6.2 fabricage

Ook bij de fabricage van keramische tegels hebben we de gewone gang van kleivoorbewerking, vormen, drogen en bakken. Het vormen gebeurt machinaal en soms nog met de hand.

#### 4.6.3 Soorten tegels

Er bestaan zeer veel soorten tegels die nog weer zijn te rangschikken in enkel groepen.

De decoratieve tegelsoorten zijn vrijwel altijd geglazuurd met tinglazuur (dekkend) of loodglazuur (doorschijnend), gresproducten met zoutglazuur of een engobe.

##### Enkele tegelsoorten

* **Wandtegels en vloertegels**. Ook bij wandtegels treffen we een grote verscheidenheid in kleur en afmeting aan. Ze zijn doorgaans dunner dan de vloertegels. De dikte bedraagt 7-10 mm.  
  De achterzijden zijn van ribbels voorzien voor een goede aanhechting van de mortelspecie of de lijmt. Als grondstof worden fijnere kleisoorten gebruik. Vele soorten zijn geglazuurd in vele kleuren.
* (De vloertegels) voor gebieden waar grote slijtweerstand wordt vereist, worden aan strenge eisen onderworpen; zeer grote vloertegels (ook voor wanden geschikt)

##### Bijzondere tegels

Onder bijzondere tegels verstaan we tegels voor speciale doeleinden. Ze moeten daarvoor dicht, stroef, zuurvast, bestand tegen vorst en sterk zijn.

Bijzondere tegels zijn:

* **Vensterbanktegel**
* **Traptegel**. Ze zijn vaak gebakken van een fijne gresklei en aan de voorzijde voorzien van een antislipprofiel. (niet altijd waar voor visueel in zicht om beter voeten te plaatsen)
* **Muurafdekkingen**. Muurafdekkingen zijn geglazuurde tegels met al dan niet schuin aflopend profiel voor een goede waterafvoer. Ze zijn in gresuitvoering (of met ijzeraarde (ijzerklinker) als grondstof vervaardigd.

#### 4.6.4 kwaliteit en keuring

De belangrijkste eisen zijn gesteld ten aanzien van de vlakheid, goede doorbakkenheid, afmetingen en dergelijke.

Op grond van nog gebruikelijke keuringseisen worden wandtegels in drie soorten ingedeeld, elk met een bepaalde kleur op de verpakking en soms achter op elke tegel een codering.

ZIE FIG. 4.53 p.260 (1e handelskeuze = 2e keus)

**Drie soorten:**

* Eerste soort (rood / geen fouten in afmeting en glazuur; vlak)
* Tweede soort (blauw / geringe afwijking op de 1e soort toegestaan)
* Derde soort (groen / overige tegels, mits voor het doel nog bruikbaar)

Keramische tegels zijn in een grote groep normbladen NEN-EN onder die benaming genormaliseerd, zowel geglazuurd als ongeglazuurd. Hierin zijn te vinden: classificaties voor wand- en vloertegels, afmetingen, wateropneming, sterkte-eisen, hardheid, slijtweerstand, thermische uitzetting, monsterneming en vorstbestandheid.

## Anorganische bindmiddelen

5.1 Inleiding

5.2 Kalk

5.3 Cement Belangrijkste

5.4 Gips bindmiddelen

P290

### 5.1 inleiding

Anorganische bindmiddelen worden voor bouwdoeleinden in vele soorten mortels en species verwerkt. De belangrijkste zijn gips, kalk en cement. Een bindmiddel bepaalt in grote mate het karakter van de mortel of specie.

Onder anorganische bindmiddelen verstaat men poederachtige stoffen waarmee korrelvormige materialen als grind en zand na menging met water aan elkaar worden gekit.

De scheikundige verharding, waarbij dus chemische reacties een rol spelen, is onder te verdelen in:

* Een hydraulisch bindmiddel. Water nodig. De zuiver hydraulische bindmiddelen zijn gips en cement.
* Niet-hydraulische bindmiddelen. Geen water. Voorbeeld hiervan is luchtkalk. In beide gevallen is echter ook steeds water nodig om het mengsel van bindmiddel met toeslagmateriaal (zand, grind, e.d.) verwerkbaar te maken.

### 5.2 Kalk

#### 5.2.1 Inleiding

De kalksoorten in de bouw werden enige tijd geleden nog onderscheiden (in luchtkalk en hydraulische kalk)

Hydraulische kalk is in de loop van tijd door andere bindmiddelen of mengsels daarvan vervangen.

#### 5.2.2 luchtkalk

*Luchtkalk of (vette kalk)* wordt verkregen door branden van zuivere kalksteen.

#### 5.2.3 Hydraulische kalk

De vroegere hydrauliscche kalk werd eveneens verkregen door branden van kalksteen.

Deze verbindingen hebben de eigenschap dat ze kunnen verharden met en onder water! Vandaar de naam hydraulische kalk.

Andere praktijkbenamingen voor *hydraulische kalk* zijn *waterkalk* en *magere kalk*.

De tegenwoordige hydraulische kalksoorten zijn vaak kant-en-klaar geleverde mengsels van luchtkalk, gemalen hoogovenslak, ongebrande gemalen kalksteen, een weinig cement en hulpstoffen.

Het voordeel van de hydraulische kalken t.o.v. luchtkalk is dat in kortere tijd een hogere sterkte wordt bereikt. Dit is (ook historisch gezien) een belangrijk gegeven.

#### 5.2.4 tras

Het is nuttig om hier ook tras te behandelen. Hoewel tras geen bindmiddel is maar een zogenoemde hydraulische toeslag.

### 5.3 cement

#### 5.3.1 inleiding

De langzame verharding van kalksoorten zou in onze tijd voor de toepassing in gemetselde constructies een groot probleem zijn. Door de uitvinding van cement is dit allemaal opgelost. Cementen gemengd met water, stijven in enkele uren op en veranderen daarbij chemisch en ook daarna nog lange tijd onder steeds verdergaande verharding in een steenachtige massa, cementsteen genoemd.  
Cement is een geheel hydraulisch bindmiddel. Water wordt tijdens het verharden in chemische verbindingen opgenomen; hydratatie treedt op. Cement verhardt met water en zelfs onder water in een voor de praktijk aanvaardbare korte tijd.

#### 5.3.2 cementsoorten en normalisatie

Volgens de norm (NENENBLA) worden de ‘gewone’ cementsoorten in vijf hoofdgroepen ingedeeld:

1. CEM I : portlandcement
2. CEM II : samengesteld portlandcement
3. CEM III : hoogovencement
4. CEM IV : puzzolaancement
5. CEM V : composietcement

In de groep CEM II wordt de cementsoort mede aangeduid met het bestanddeel dat naast een bepaald percentage portlandcementklinker in het cement aanwezig is. Bijvoorbeeld: portlandslakcement, portlandpuzzolaancement en portlandvliegascement. Enkele belangrijke bestanddeelaanduidingen zijn: P voor puzzolaan, S voor (hoogoven-)slak, V voor vliegers, T voor leisteen en L voor kalksteen. Zitten er meer bestanddelen in het cement, dan wordt gesproken over portlandcomposietcement met de aanduiding M (mengsel). Men geeft met een letter A, B of C in de cementgroepen II t/m V het (afnemend) klinkergehalte per groep aan. Verder wordt ook de sterkteklasse aangegeven. De puzzolaan- en composietcementen ontlenen beide hun specifieke eigenschappen aan de toevoegingen slak en vliegas. In de norm NEN Bla zijn opgenomen de ‘gewone’ cementsoorten met speciale eigenschappen: sulfaatbestand cement (HS), cement met lage hydratatiewarmte (LH) en wit portlandcement. (HS: engels voor high sulfated; LH voor low heat.)

Alle ‘gewone’ cementsoorten worden voor de verhardingsprocessen door de basis grondstof portlandcementklinker aangestuurd.

#### 5.3.3 Portlandcement

##### Fabricage

De grondstoffen kalk en klei worden via een industrieel proces omgevormd tot portlandcement.

Een bijproduct van de portlandcementindustrie is silex. In mergel zitten van nature brokken vuursteen (harde en dichte amorfe kwarts) die hun nut hebben bij het maalproces van de mergel. In de wegenbouw kan silex worden verwerkt in paklagen (gewalste funderingslagen) onder het eigenlijke wegdek.

##### Verhardingsproces portlandcement

Direct na het aanmaken van portlandcement met water gaan de klinkermineralen reageren met dat water. Dit wordt hydratatie genoemd, en is de basis van de sterkte-ontwikkeling.

#### 5.3.4 Hoogovencement

Naast portlandcement (p.c.) wordt de gewone cementsoort hoogovencement (h.o.c.) op grote schaal in de bouw gebruikt. Hoogovencement en portlandcement nemen zo’n 95% van het cementgebruik in, waarvan hoogovencement ca. 60%

Het bepalende bestanddeel van hoogovencement is hoogovenslak, een bijproduct van het hoogovenproces waarbij ruwijzer wordt geproduceerd.

#### 5.3.5 portlandvliegascement

Een portlandcementsoort die evenals hoogovencement een percentage van een ander materiaal bevat, is portlandvliegascement. Vliegas is een (milieubelastend) restproduct dat bij het stoken van elektriciteitscentrales met steenkool vrijkomt.

#### 5.3.7 cement met lage hydratatiewarmte (LH)

Deze gewone cementsoort, ook low-heat cement genoemd, is een cement met lage warmteontwikkeling tijdens het verharden.

Toepassing: in zware constructies, bijvoorbeeld stuwdammen, zware keermuren, dikke vloerplaten voor grote gebouwen.

#### 5.3.8 Sulfaatbestand cement (HS)

De cementsoort is goed bruikbaar voor fabrieksvloeren en andere omstandigheden (grondinvloed) waar aantasting door bepaalde zwavelhoudende chemicaliën te verwachten is.

#### 5.3.10 cementkwaliteiten

Alle cementen van de norm (nenen bla) worden ingedeeld in drie sterkteklassen, te weten 32,5, 42,5 en 52,5. Dit zijn de normdruksterkten in N/mm², bepaald (en minimaal behaald) na 28 dagen verharding. Elke klasse kent een normale en een hoge beginsterkte na twee dagen. De hoge gaat vergezeld van de letter R (Rapid) dus bijvoorbeeld 32,5R.

#### 5.3.11 Enkele cementeigenschappen

##### De sterkte en de duurzaamheid

De eigenschappen sterkte en duurzaamheid worden ten zeerste beïnvloed door de toegevoegde hoeveelheid water. Voor de verharding van het cement maar ook voor de verwerking van de species is water nodig. Te veel water veroorzaakt veel poriën in het eindproduct, met andere woorden: te veel water geeft een lagere sterkte en mogelijkheden tot (zure) aantasting.  
Goede hydratatie van het cement is verder alleen mogelijk bij goed nathouden tijdens de verharding van de aan de buitenlucht blootgestelde oppervlakken van een constructie, zeker de eerste tijd (tot één week). Men vat dit samen met zeer belangrijke praktijkuitvoering *nabehandelen*.

Ook de tijd heeft invloed op de sterkte. De reactiesnelheid van cement met water is in het begin groter dan later. Na een dag of zeven is een vrij grote sterkte bereikt, bij goed gemaakt beton ca. 70% van die bij 28 dagen.  
De fijnte van de maling van een cement is van belang; hoe fijner, hoe sneller (de verhardingsreactie). Sommige cementen zijn snel, andere minder snel. Hulpstoffen kunnen de sterkteontwikkeling voordelig beïnvloeden.

##### De krimpverschijnselen

De chemische krimp bij het verharden van cement is van groot belang in de eerste verwerkingsfase. Verhardingskrimp van het cement treedt al in de eerste uren op (ca. 10%).

De uitdrogingskrimp treedt zowel in het begin als in later stadium van de verharding op. In het laatstgenoemde geval is het gevaarlijk door mogelijk ontstaan van krimpscheuren in het brosse steenachtige product. In het begin kunnen zogenoemde plastische krimpscheurtjes in het oppervlak van een vloer worden weggestreken met mechanische hulpmiddelen. Een hoog cementgehalte in mortels of beton kan bij een grote hoeveelheid water en bij onoordeelkundige nabehandeling (uitdroging) de kans op krimpscheuren vergroten. Aan uitdrogingskrimp is dus veel te doen.

##### De warmteontwikkeling

Kan zeer groot zijn.

##### De invloed op bepaalde bouwkundige voorzieningen

Het gebruik van hoogovencement wordt ontraden voor tegelwerk, vooral geglazuurde wandtegels; de tegels kunnen namelijk lelijke verkleuringen gaan vertonen (doorslaan onder het glazuur van cementwater). Hoogovenslak bevat verbindingen van ijzer en zwavel die na de verharding van het cement blauwgroen kleuren.  
Deze blauwgroene kleur van pas ontkist beton, verdwijnt na enkele weken en verandert door oxidatiereacties van genoemde verbindingen in lichtgrijs. Bij ‘schoonwerk’ beton behoeft de blauwgroene kleur van het begin dus geen bezwaar te zijn.

#### 5.3.12 transport en opslag van cement

Men mag onafgedekt cement niet vervoeren bij regen, anders treedt vroegtijdige verharding op. Papieren zakken geven dan ook moeilijkheden.  
Opslag niet direct op de vloer.  
Oudergeworden cement dient men te controleren op kluitvorming (verharding). Te oud geworden cement is zelfs onbruikbaar door verhardingsverschijnselen en dient te worden afgekeurd.

### 5.4 Gips

#### 5.4.1 Inleiding

De grondstoffen voor de gipsfabricage zijn natuurlijk gipssteen en industriegips.

#### 5.4.2 Fabricage

Gipssteen is een afzettingsgesteente oorspronkelijk uit zeewater afgescheiden.

#### 5.4.4 eigenschappen van gips

Eigenschappen van verhard gips zijn:

* Gips is niet watervast; de oplosbaarheid is 2g/l water. Stromend water tast gips aan. Dit houdt in dat wandtegels in een doucheruimte voldoende hoog moeten worden aangebracht. Gips is dus ook niet toe te passen voor buitenwerk. In Duitsland wordt het wel voor buitenmuurbepleistering gebruikt, indien een groot dakoverstek aanwezig is. Watervaste gipssoorten zijn voor bepaalde toepassingen in de handel. Dit gips is gemengd met bepaalde polymeren die het waterafstotend en waterondoorlatend maken.
* De sterkte en dichtheid van gipssteen is groot genoeg om bepaalde materialen aan vast te maken (zoals wasbakken).

### 5.5 Herkenning van bindmiddelen en toeslagstoffen

##### Tras

Is een hydraulisch toeslag; met andere woorden: het is GEEN bindmiddel.

Toepassing: vulstof in beton; het verbetert de verwerkbaarheid en is in staat vrije kalk in beton te binden.

## Mortels en species

6.1 Inleiding

6.3 Samenstellingen van mortelspecies

6.4 Mortelspecies voor metselwerk (metselmortels)

6.10 Betonspecies

### 6.1 inleiding

De productbegrippen ‘mortel’ en ‘specie’ worden helaas door elkaar gebruikt, zelfs op ‘hoog niveau’.

Formulering van mortel en specie zal de toepassing in essentie niet schaden.

De materiaalkundige definities zijn:

* Een **specie** is een *verwerkbaar mengsel* van toeslagmateriaal, bindmiddel en water
* Een **mortel** is *een verhard mengsel* van toeslagmateriaal, bindmiddel en water

Betonspecie is een mengsel van grind (of een ander steenachtig materiaal), zand, een cementsoort en water. Is de betonspecie eenmaal verhard, dan hebben we beton gekregen.

Na verharding van de mortelspecie is een mortel ontstaan. Wat we tussen baksteen in voegen van baksteenmetselwerk zien, is dus een mortel. In de praktijk wordt onder mortel ook verstaan een droog mengsel van een bindmiddel en zand.  
Het water wordt toegevoegd:

* Om de mortelspecie verwerkbaar te maken
* Om de bindmiddelen te laten verharden

Omdat de bindmiddelen cement en kalk krimp vertonen bij het verhardingsproces, wordt zand als verschraling of vermagering aan een mortel toegevoegd.

### 6.3 Samenstellingen van mortelspecies

#### 6.3.1 Inleiding

Vele mortelspecies worden kant-en-klaar door mortelproducenten geleverd. Er is een duidelijk verband tussen de samenstelling van de mortelspecies en het doel waarvoor ze moeten worden gebruikt. Bij waterdicht metselwerk (kelders) bijvoorbeeld zal een waterdichte mortelspecie bij de juiste dichte steensoort moeten worden toegepast.   
Er zijn vele samenstellingen van mortelspecies mogelijk. Er zijn species voor:

* Metselwerk
* Voegwerk
* Pleisterwerk (stukadoorwerk)
* Het zetten van tegels
* Het vastzetten van nokvorsten
* Beraping van binnenspouwbladen

### 6.4 Mortelspecies voor metselwerk (metselmortels)

#### 6.4.1 inleiding

De mortelspecies voor metselwerk worden ook aangeduid met metselmortels (droge mengsels).

Zij moeten steenachtige stapelproducten (baksteen, kalkzandsteen, betonsteen) samenvoegen tot een sterke en stabiele metselconstructie.

Feit is dat de specie goed verwerkbaar moet zijn, met andere woorden een bepaalde ‘vloeibaarheid’ (consistentie) moet hebben, maar dat mag uiteraard niet ten koste gaan van het uiteindelijke metselwerk. Er zijn enorme fouten begaan. Verwerkbaar maken, traditioneel met (watervasthoudende) luchtkalk, is binnen grenzen toelaatbaar. Maar ongecontroleerd op het werk een of andere schuimvormer (bijvoorbeeld een afwasmiddel!) toevoegen leidt tot catastrofen! Hechtproblemen tussen mortel en metselsteen kunnen dan gemakkelijk aanleiding zijn voor slepende juridische problemen, om nog maar te zwijgen over de bouwkundige moeilijkheden.

#### 6.4.3 de kwaliteit van metselmortels

Enkele dichtheidskwaliteiten naar functie (p302):

* **Waterdichte species** (dient onder water toegepast te worden)
* **Vochtdichte** of **basterdspecies**. Behoeven geen water tegen te houden dat onder druk staat.
* Bij **waterdoorlatende**, (poreuze) of **slappe species** is de waterdichtheid niet van belang. Verschillende samenstellingen zijn mogelijk.

#### 6.4.4 mortels en metselwerk

##### Aantasting metselwerk

Gebakken materialen zijn in het algemeen bestand tegen chemische aantasting afhankelijk van dichtheid en graad van doorbakkenheid. In bakstenen zelf kunnen echter stoffen voorkomen die uitslag op een muur geen. Dat kan esthetisch onaanvaardbaar zijn, maar erger zijn de zouten welke expansieve reacties veroorzaken waardoor destructie van muren optreedt. Bepaalde zouten kunnen reeds aanwezig zijn door de gebruikte kleisoorten of ze kunnen in de steen komen door het bakproces of door opzuiging.

De gewone witte kalkuitslag komt vaak in het voorjaar tot uiting. Als dan namelijk buitenmuren beginnen uit te drogen, zal er een vochttransport (diffusie) plaatsvinden in de steen van binnen naar buiten. In dit vocht zijn bepaalde zouten opgelost, zodat deze na verdampen van het water op het oppervlak achterblijven. Vaak is kalkuitslag op nieuwbouw te zien.

*Het vóórkomen en ontstaan van zouten:*

* **In de steen zelf**
* **In het grondwater**. Door opzuigen van sulfaathoudend water kan aantasting ontstaan. Aanbrengen van een waterdichte laag in het onderste deel van metselwerk (bijv. polyetheenfolie) kan uitkomst bieden bij restauratie.
* **Onder invloed van lucht**
* **Kalk afkomstig uit mortels of betonspecies**. Soms is in een voegmortel of metselmortel luchtkalk verwerkt. (In beide gevallen kan) de kalk ook met in de steen aanwezige zouten reageren.
* **Calciumsulfaten uit de steen**
* **In oudere baksteen** kan door het bakproces met steenkool CaSObla zijn afgezet. Combinaties zijn zeer wel mogelijk. De ernst van de aantasting uit zich pas na lange(re) tijd.
* **Door afvalwater.** Hierdoor ontstaat een soort zoutuitslag, die muursalpeter wordt genoemd. Het wordt veroorzaakt door nitraten en komt in de gewone bouwpraktijk weinig voor (wel in stallen en andere agrarische bouwwerken).

### 6.10 betonspecies

#### 6.10.1 inleiding (zonder water geen reactie)

Een betonspecie is een mengsel van grind (of een ander steenachtig product) zand, bindmiddel (cementsoort) en water. Grind heeft in dit mengsel de grootste korrelafmeting. Na de verharding van een betonspecie spreken we van beton. In een betonspecie is het bindmiddel altijd een cementsoort. Evenals bij een mortelspecie heeft het water een dubbelrol:

* Voor de verwekbaarheid van het mengsel
* Om het bindmiddel te doen verharden

Het watergehalte van verse betonmengsels (betonspecie dus, betonmortel) wordt uitgedrukt in de watercementfactor (de w.c.f.)  
***De w.c.f.*** *is de verhouding tussen de totale hoeveelheid in de specie aanwezig massa water en de massa cement (let wel in kg dus).* Het water is dan de soms van toegevoegd water en eventueel aan grind en zand klevend water.

Voor de vervaardiging van kwaliteitsbeton (sterk en waterdicht) moet zo min mogelijk water worden gebruikt. Voor de verharding van het cement, is ca. 25% van de massa van het cement nodig, een w.c.f. dus van 0,25. De specie is dan echter zo droog dat ze niet te verwerken is. Door de hoeveelheid water op te voeren, de w.c.f. dus te verhogen, verkrijgt men de verwerkbaarheid die voor een bepaalde toepassing nodig is.

#### 6.10.2 de samenstelling van betonspecie

##### Classificaties

* Betonsoorten:
  + Lichtbeton
  + Beton met een (hogere) volumieke massa (tussen 2000 en 2800 kg/m³)
  + Zwaar beton

##### De materialen in beton

* Cement
* Toeslagmaterialen: de harde dichte toeslagmaterialen zand en grind (moeten voldoen aan de norm bla) toeslagmaterialen voorbeton. Betongranulaat is een mengsel van gebroken beton; metselgranulaat bestaat uit gebroken baksteen, kalkzandsteen of betonsteen.
* Water: toegepast moet worden zuiver (leiding)water
* Vulstoffen
* (hulpstoffen

## Beton en andere kunststeen

7.1 Inleiding

7.2 Beton

7.3 Vezelcementproducten

7.4 Drijfsteenproducten

7.5 Kalkzandsteen

7.6 Gipsproducten

### 7.1 Inleiding

Beton en andere niet-gebakken kunststeen zijn steenachtige producten die sterkte, hardheid, dichtheid en kleur hebben verkregen anders dan door een bakproces.  
De eigenschappen van deze steengroep worden niet zoals bij baksteen ontleend aan temperatuurverhogingen van het materiaal klei in bakovens. Hier ontstaat de verstening door chemische reacties van een bindmiddel bij, in het algemeen, normale temperatuur (ook wel kamer- of omgevingstemperatuur genoemd).  
Een groot deel van de niet-gebakken kunststeen wordt ingenomen door constructiebeton en prefab-betonartikelen. De meest gebruikte bindmiddelen voor cementgebonden kunststeen zijn portlandcement en hoogovencement. Voor bepaalde toepassingen of om vervangende redenen worden in plaats van grind andere toeslagmaterialen gebruikt, zoals gebroken natuursteen, oversinterde kleikorrels, sintels en lavakorrels. Tot de niet-gebakken kunststeensoorten behoren ook producten zoals kalkzandsteen (bindmiddel kalk), vezelcementartikelen en gipsproducten.

### 7.2 Beton

#### 7.2.2 De sterkte van beton

##### Sterkte en w.c.f.

De sterkte van beton wordt naast de tijdsfactor in hoge mate bepaald door de hoeveelheid toegevoegd water (w.c.f.). Te veel water geeft een lagere sterkte. Het cement heeft voor volledige verharding ca. 25% van het cementgewicht aan water nodig; verder wordt nog eens ca. 15% water in de zeer kleine poriën (gelporiën) van het verharde cement vastgehouden. Theoretisch kan dus worden volstaan met een watercementfactor van 0,4. Voor de praktijd (verwerking en verdichting e.d.) is dit vrij laag, zeker in normale bouwconstructies.

#### 7.2.3 Vormveranderingen van beton

Wij kunnen diverse vormveranderingen die beton kan ondergaan, onderscheiden:

* Door wisselende mechanische belastingen
* Door vochtwisselingen
* Door permanente gelijkblijvende mechanische belasting
* Door temperatuurwisselingen
* Door chemische omzettingen

#### 7.2.5 De wapening van beton

Steenachtige producten bezitten een hoge druksterkte, maar altijd een vrij lage treksterkte.

Dit houdt in dat ook van beton zonder voorzorgsmaatregelen geen op trek en buiging belaste constructies kunnen worden gemaakt. Daartoe wordt in beton, op die plaatsen waar trekspanningen heersen, staal opgenomen. Staal kan wel trek opnemen.  
De toepassing van gewapend beton zou echter nooit zo’n grote vlucht hebben genomen als de materialen beton en staal niet zo goed op elkaar waren afgestemd. De combinatie voldoet zo goed omdat:

* Staal en beton een vrijwel gelijk uitzettingscoëfficiënt bezitten
* Staal en beton goed aan elkaar hechten
* Het staal in goed vervaardigd beton door d ‘vrije kalk’ die bij de cementverharding wordt gevormd, tegen corrosie wordt beschermd (zie 8.2.7)

#### 7.2.6 Aantasting van beton

##### Carbonatatie

Voor een eventuele aantasting van beton is in het bijzonder de vrije kalk in de verharde cementsteen verantwoordelijk. Deze vrije kalk wordt door zuren uit de lucht (vooral in industriegebieden) of in zuur grondwater of in zeewater omgezet in andere verbindingen. Koolzuurgas uit de lucht veroorzaakt de zogenoemde carbonatatie. Hierbij wordt de vrije kalk in het beton omgezet in kalkproducten die oplosbaar zijn en met (regen)water uit het beton naar buiten treden. Als die aantasting zich bij slecht (poreus) beton voortzet, zal steeds meer vrije kalk verloren gaan. Bij de carbonatatie verlies niet alleen het beton langzamerhand zijn samenhang maar wordt tevens de voor het wapeningsstaal beschermende vrije kalk, langzaam weggenomen. Indien steeds meer poriën in het beton ontstaan, dus als de deklaag (wapeningsdekking) steeds poreuzer wordt, zullen ook zuurstof en water het wapeningsstaal kunnen bereiken. Het beschermende basische milieu van de vrije kalk is verdwenen en het staal gaat corroderen (roesten.)

*Opmerking:*  
Te vaak wordt nog de verwerpelijke uitdrukking ‘betonrot’ gehanteerd. Het is een verzonnen benaming voor het functieverlies door carbonatatie gevolgd door roestvorming. Betonaantasting is de juiste benaming.

##### Sulfaataantasting

Een andere mogelijke betonaantasting. Eveneens veroorzaakt door een milieu-invloed. Door fabrieksprocessen.

##### Chlooraantasting

Indien in poreus beton ook chloor kan binnendringen wordt de corrosie van het wapeningsstaal versneld en versterkt (in kustgebieden en in zeewater). Zelfs zonder carbonatatie worden de passiverende ijzerzouten op het staal door chloor afgebroken; een vorm van putcorrosie treedt daarbij in het wapeningsstaal op. Het is dus begrijpelijk dat verontreiniging van aanmaakwater en toeslagmaterialen met chloor ontoelaatbaar is.  
Een te hoog chloride gehalte in bepaalde prefab elementen veroorzaakte in de jaren zeventig van de vorige eeuw een spraakmakend en indringend geval van betonaantasting.

##### Externe factoren van invloed op de aantasting

* **De stroming** van (grond)water. Met stromend water kunnen zouten of zuren steeds worden aangevoerd en uitgeloogde stoffen afgevoerd. Stroming werkt aantastingbevorderend.
* **De plaats** van een constructiedeel in water, geheel of niet geheel. Capillaire opzuiging van zoutoplossingen kan plaatsvinden. Na verdamping van het water ontstaan zoutconcentraties waardoor een grotere aantasting en ook soms kristallisatie-expansie optreden.
* Het is van belang hoe **het milieu** in de toekomst zal zijn. De vestiging van bepaalde industrieën vereist vroegtijdige maatregelen.
* **Grond** die wordt omgewoeld kan een chemische verandering ondergaan. Zo kunnen de donkerblauwe ijzersulfiden in klei tot sulfaten worden geoxideerd door lucht.
* Een **aantasting** treedt vrijwel altijd op *als functie van verschillende factoren*. Warmte afgewisseld door regen kan scheurtjes veroorzaken. Wateropzuiging en daarna bevriezing vergroot de scheuren. Het klimaat is dus van groot belang
* **Isolatie**. Een muurconstructie, waarbij een dunne betonlaag een laag van kunststofschuim overdekt, kan door zonnewarmte zo warm worden dat plotselinge afkoeling door regen scheuren doet ontstaan. Door de isolatielaag achter het betonoppervlak wordt de betontemperatuur extra hoog. Aantasting wordt hierdoor bevorderd.

#### 7.2.12 Bestratingsmaterialen

##### Betontegels of trottoirtegels

Betontegels worden voornamelijk vervaardigd van grindbeton.

#### 7.2.13 Metselproducten

Voor binnen- en buitenmetselwerk in betonsteen zijn vele producten in de handel. Zij zijn er in diverse kleuren en uitvoeringen onder andere gewone betonsteen (metselsteen) maar ook als zogenoemde splitblokken; dat zijn gespleten betonblokken.

#### 7.2.16 lichte betonartikelen

##### inleiding

Men heeft voor bepaalde constructies gezocht naar oplossingen om de volumieke massa te verminderen. Daarmee wordt de belasting op een fundering een stuk minder.  
Tegelijkertijd zijn andere factoren van belang, zoals voordeel in gewicht tijdens het vervoer, tijdbesparing bij plaatsing van lichte gefabriceerde elementen en thermische isolatie.   
Een lagere volumieke massa kan op de volgende manieren worden verwezenlijkt:

* Door holten in elementen van normale grindbeton aan te brengen. Voorbeelden zijn cassetteplaten, kanaalplaten en cassettekanaalplaten. Deze producten worden gebruikt voor vloeren en daken. Het materiaal is uitgespaard op die plaatsen waar in de constructie geen of niet noemenswaardige spanningen behoeven te worden opgenomen (neutrale gebieden).
* Door lichte toeslagmaterialen toe te passen in plaats van het (zware)grind.

Combinaties zijn mogelijk!  
Enkele hiervoor bruikbare *poreuze korrelmaterialen* zijn:

* **Bims:** dit is puimsteen; het natuurlijke stollingsgesteente met een schuimstructuur
* **Hoogovenslak:** dit is gegranuleerde slak; een poreus bijproduct van de ijzerbereiding in de hoogovens

##### Cellenbeton

Het beton wordt vervaardigd van zand, kalk, cement en water. Het mengsel wordt gemalen en gemengd met wat aluminiumpoeder. De reactie van het aluminiumpoeder met de bindmiddelen levert waterstofgas. Er ontstaan zeer vele cellen; de brij gaat rijzen. Onder stoomdruk in autoclaven (drukketels) treedt verharding op; er ontstaat een wit poreus steenachtig product. Het waterstofgas is dan ingenomen door lucht (de vroeger gebruikte benaming ‘gasbeton’ is om de onjuistheid geheel verlaten).

FIG. 7.40 p.364

Bekende handelsna(a)m(en) zijn Ytong (en Siporex). Er zijn in de handel producten als blokken, dak-, vloer- en wandplaten, cascoplaten, lateien, scheidingswandpanelen en brandwerende wanden.  
Toepassingen: dragende en niet-dragende wanden (ook buitenmuren), binnenspouwbladen, woningscheidende muren, brandmuren.   
Cellenbeton is sterk, licht, warmte- en geluidsisolerend, brandwerend, vochtresistent, vorstbestand en snel te verwerken.

De verwerking op de bouwplaats geschiedt met door de fabrikant geleverde lijm, mortels en plugmateriaal.

### 7.3 Vezelcementproducten

In vezelcementproducten zijn de basismaterialen cement en bepaalde vezels verwerkt tot sterke, harde en stijve producten. Voor vezels kan worden gekozen uit minerale vezels (glas, steen), cellulosevezels (van hout of oud papier) en kunststofvezels (PE, PP, PVC, en andere). Zeer lange tijd heeft tot deze groep materialen het asbestcement behoort. Ondanks de goede eigenschappen ook in bouwproducten is asbest geheel verboden in verband met grote schadelijkheid voor de gezondheid (kankerverwekkend). Bewerken, verwerken en verwijderen van bestaande asbestcementproducten dienen dan ook met intensieve voorzorgsmaatregelen te geschieden.

Weet ook dat asbtest extra kosten met zich meebrengt!

### 7.4 drijfsteenproducten

Tot de drijfsteenartikelen rekent men de zogenoemde vermiculitesteen, een zeer lichte isolatiesteen vervaardigd van vermiculite (verhitte, zeer poreuze geëxpandeerde mica) en cement. (bijzonder hitte-isolerend en is zelf) in hoge mate brandresistent.

### 7.5 Kalkzandsteen

De chemische reactie tussen kalk en zand in aanwezigheid van water is hier van belang. Als kalk en zand worden gemengd.  
Bij de bereiding van kalkzandsteen wordt daaarvan gebruikgemaakt. Er worden bepaalde steenformaten samengeperst van mengsels van kalk, zand en water en in stoomdruk van 10 bar geplaatst (ca. 180°C) in een drukketel.

Er worden dus samenkittende calciumsilicaten gevormd.

Op deze wijze worden zowel de gewone kalkzandsteen, de kalkzandsteenklinker als de kalkzandsteenbouwblokken vervaardigd.

##### Toepassingen kalkzandsteen

De gewone kalkzandsteen vindt toepassing voor normaal metselwerk in funderingen, als achterwerkers van spouwmuren, in binnenmuren al of niet balkdragend; de klinkerkwaliteit in kelders, cementramen en zwaarder belaste balkdragende muren.

##### Eigenschappen van verwerking

Enkele voordelen van kalkzandsteen zijn onder andere de geringe wateropneming.  
Eventuele nadelen kunnen zijn: lage thermische isolatie door grote dichtheid, scheurvorming.  
Kalkzandsteen is bovendien niet te gebruiken als fundering in stromend agressief grondwater! Ook brak- en zeewater zijn gevaarlijk.

De vroeger veelvuldig gehoorde mening dat kalkzandsteen (belegen’ moest zijn (drie tot zes maanden laten liggen), is volgens de producent niet nodig.

### 7.6 Gipsproducten

#### 7.6.1 gipskartonplaten

Door zuivere gipspasta (gips + water) tezamen met dun karton te persen tot een sandwich (aan beide zijden van het gips het karton) verkrijgt men gipskartonplaten, een plaatmateriaal voor plafonds, scheidingswanden, plinten, enz.  
Handelsbenamingen zijn onder Andre Knauf, Gyproc en Rigips.  
 Blauw = geluidswerend  
 Groen = waterwerend  
 Rood = brandwerend  
Naast de standaardplaten kartongips-karton zijn enkele speciale producten vervaardigd:

* In het gips zijn glasvezels verwerkt waardoor een hogere brandwerendheid wordt verkregen
* In het gips worden, naast de glasvezels, ook siliconen verwerkt waardoor een lagere waterabsorptie optreedt. Herkenning: het karton is groen gekleurd. Toepassing: douches, badkamers en keukens

Er zijn ook thermisch isolerende bouwplaten in de handel: gipskartonplaten gecombineerd met PU(polyurethaan), PE of glaswol.  
Gipskartonplaten behoren samen met gipsvezelplaten en gipsblokken tot een groep materiealen voor de ‘droge’ afbouw. Natte mortels komen er niet aan te pas.

#### 7.6.2 Gipsvezelplaten

Gipsvezelplaten worden geperst van een mengsel van natuurlijk gips en cellulosevezels; geen afwerking met karton dus. Een bekend product is Fermacell. Eigenschappen van dergelijke producten: onbrandbaar, maken constructies brandwerend, behoorlijke geluids- en warmte-isolatie, vochtresistent.  
Toepassing: wand-, dak- en vloeplaten, binnenspouwbladen, scheidingswanden in natte ruimten.

#### 7.6.3 gipsblokken

Gipsblokken zijn binnenwandelementen en bestaan uit zuivere gips.

Ze lenen zich uitstekend voor lichte scheidingswanden.

#### 7.6.5 Vloei- en gietvloeren

Een steeds meer toegepast product is de zogenoemde anhydrietvloer. Anhydriet kan worden verkregen door gipssteen bij 500°C te branden. De met anhydriet gebonden grondstoffen worden zo vloeibaar aangebracht dat men van giet- of vloeivloeren spreekt. De anhydriet (het bindmiddel) vormt samen met de toeslag zand, water en een superplastificeerder een zeer laag viskeuze specie.  
Het aanbrengen en de afwerking behoeven door de uit zichzelf uitvloeiende gipsmortel zeer weinig inspanning (zogenoemde selflevelling vloeren). Toepassing: waterpas-dekvloeren in utiliteitsbouw (kantoren, ziekenhuizen, scholen, bedrijfsgebouwen en woningen).  
Estrichgips (ook anhydriet) wordt toegepast voor zwevende dekvloeren, die tegen contactgeluid isoleren. Het gips voor deze vloeren wordt vermengd met water en vulmiddelen tot een strijkbare massa.

## Metalen

Thermoplasten kennen  
PVC in zelfde zone  
PE

8.1 Inleiding

8.2 Staal

8.3 Non-ferrometalen

### 8.1 Inleiding

Metalen worden onderscheiden in twee groepen:

1. De groep waarin het element ferrum Fe (ijzer) de eigenschappen nader vastlegt (ijzer en staal)
2. De niet-ijzerhoudende groep, de non-ferrometalen, waarin andere metaalelementen bepalend zijn. Metalen voor de bouw in deze groep zijn: aluminium (Al), zink (Zn), koper (Cu) en lood (Pb).

#### 8.1.4 Eigenschappen van metalen

Verschillende eigenschappen van metalen treden op de voorgrond:

* De volumieke massa is hoog
* De treksterkte en elasticiteit zijn hoog tot zeer hoog (alhoewel met verschillen)
* De meeste zijn plastisch vervormbaar
* Ze zijn in het algemeen lasbaar
* De geleiding voor warmte en elektriciteit is groot
* Ze zijn niet poreus
* Ze hebben nieuw de typische metaalglans
* In het algemeen zijn ze goed recycleerbaar

Staal en aluminium zijn constructiemetalen, andere komen in de afbouw aan de orde. Lood en zink zijn vooral ook waterkerende metalen

### 8.2 Staal

#### 8.2.1 Inleiding

De vervaardiging van staal kan worden gesplitst in twee industriële processen:

1. Het maken van ijzer (ruwijzer) uit ijzererts in een hoogoven door reductie met CO-gas. IJzerertsen zijn gesteenten waarin ijzer in een of andere chemische verbinding aanwezig is (hoofdzakelijk ijzeroxiden). In een moderne grote hoogoven wordt ca. 4 miljoen ton ruwijzer per jaar geproduceert.
2. Het omzetten van het ruwijzer in staal in een staalfabriek (het staalbereidingsproces)

#### 8.2.2 De vervaardiging van ijzer

De vervaardiging van het ijzer (ruwijzer genoemd) geschiedt in hoogovens via een jaarlijks continu proces. Daarvoor zijn nodig een ijzererts, een brandstof (voornamelijk cokes = ontgaste steenkool) en een toeslag op kalksteenbasis die de steendelen uit de erts opneemt (de slakvorming). Verder doen aan het proces mee hete wind, zuurstof en vocht.

De belangrijke grondstof voor de ijzerbereiding is ijzererts, dat hoge percentages ijzeroxide (ijzer gebonden aan zuurstof) kan bevatten. Met magnetiet is het ijzergehalte 45-70%, met hematiet 40-60%. Om de ijzerdelen in het moedergesteente (het ijzererts dus) tijdens het ovenproces goed te kunnen bereiken, wordt dit gesteente van tevoren vaak fijngemalen en daarna gebakken tot een poreus product van kleine brokjes, *sinter* genaamd. Ook is er een methode waarbij het poedererts in roterende ovens wordt gebakken tot ertsknikkers, pellets genaamd.  
Dergelijke voorbewerkingen zijn vooral nodig indien alleen fijnertsen (zo fijn als zand) voorhanden zijn. Poedervormige ertsen zijn namelijk ongeschikt om zonder meer in de hoogoven te verwerken. De poeders bakken door de hoge temperatuur in de oven aaneen, waardoor regelmatig naar beneden zakken niet mogelijk is.

In de hoogoven worden de ijzerverbindingen van het erts gereduceerd tot ijzer. Dit chemische proces wordt mogelijk door de toevoeging van cokes, die tevens dient als brandstof om de voor het proces benodigde hoge temperatuur te bereiken. Voor de verbranding van de cokes wordt hete lucht in de oven geblazen, waardoor de zeer hoge temperatuur (2000-2400°C wordt bereikt).

(Aan de hoogovenvulling wordt als toeslag een kalksteensoort toegevoegd) om de steenachtige bestanddelen van het erts te binden. Er worden calciumverbindingen (calciumsilicaten en –aluminaten) gevormd. Dit zijn hoofdbestanddelen van hoogovenslak. Het zware vloeibare ijzer zak naar het diepste punt van de hoogoven; de lichtere vloeibare slak blijft erop drijven.

P396 goed lezen vanaf voorgaande paragraaf

#### 8.2.3 De vervaardiging van staal

Het ruwijzer dat niet voor de vervaardiging van bepaalde ijzer-eindproducten wordt gebruikt, wordt in de oxystaalfabriek omgezet in staal. Daarbij wordt het koolstofgehalte sterk verlaagd.  
*Staal is eigenlijk ijzer met een laag koolstofgehalte.* Ijzer met minder dan 1,9% koolstof wordt staal genoemd.

#### 8.2.6 Eigenschappen van staal

##### Inleiding

Staal behoort tot de echte constructiematerialen.

##### De treksterkte

De meest benutte mechanische eigenschap van staal is de treksterkte. Deze sterktewaarde is gekoppeld aan de maximale trekkracht (trekspanning) die een staaf staal bij een trekproef kan weerstaan. De waarde van de treksterkte geeft (in samenhang met de vloeigrens) de staalsoort aan volgens de norm NENEN10025.

##### Eigenschappen bij brand

Hoewel staal tot de onbrandbare materialen behoort, ondervindt het duidelijk de gevolgen van hoge temperaturen. Te grote vervormingen zullen het gevolg zijn. Bij ca. 500°C is de sterkte nog slechts ongeveer de helft van de bij de staalsoort behorende maximale sterkte en zal boven 500°C steeds verder en sneller dalen.

Er treden dan dus gevaarlijke vervormingen op. Betrekken we bij dit alles de vrij hoge thermische-uitzettingscoëfficiënt van staal dan wordt voor bepaalde constructies wel besloten tot brandwerend inpakken. Hiertoe kunnen materialen worden gebruikt als gips, vermiculite en zelfs hout. Het lijkt vreemd om een brandbaar materiaal als hout te gebruiken om de nodige brandwerendheid te bereiken. Vurenhout van voldoende dikte (30-40 mm) is daarvoor zeer goed bruikbaar.

##### Eigenschappen door warmtebehandelingen

Met warmtebehandelingen beoogt men staalsoorten een zodanige structuur te geven dat bepaalde eigenschappen worden gewijzigd en geoptimaliseerd.

Staal kan worden gehard door het tot hoge temperatuur (>750°C) te verhitten, waarna men het snel laat afkoelen met water (afschrikken).  
Het staal is dan sterker, harder en slijtvaster geworden. Door deze behandeling is het staal echter ook iets brosser geworden!

Door na het harden het staal opnieuw te verhitten (ontlaten aan 200°C) wordt de taaiheid (totale rek) vergroot zonder nadelige daling van de hardheid.

Door bij hogere temperatuur te ontlaten (400°C) verdwijnt de hardheid, maar blijven bijvoorbeeld treksterkte en taaiheid in gunstige combinatie bestaan. Harden door waterkoeling en daarna ontlaten geeft betonstaal hoge sterktewaarden, buigbaarheid en goede lasbaarheid.   
Het harden en daarna bij hoge temperatuur (ca.700°C) ontlaten noemt men het *veredelen* van staal (de hardheid is dan verdwenen). Een zeer fijne verdeling van de kristallieten is dan ontstaan.

##### Eigenschappen van legeringen

Onder het legeren van staal wordt verstaan het toevoegen van een of meer andere metalen aan de staalsoort in gesmolten toestand. Bij het roestvaste chroomnikkelstaal bijvoorbeeld is de legering een combinatie van chroom, nikkel en staal. Toevoegingen van andere metalen aan staal dienen in het algemeen om bepaalde eigenschappen te verbeteren, zoals grotere hardheid, verhoogde corrosie-, hitte- en slijtweerstand.

Zink samen met koper, de legering messing, heeft een hogere sterkte dan koper zelf. Koper en tin (brons) heeft een nog grotere sterkte.

Bij roestvaststaal is de chemische samenstelling zeer belangrijk. De legeringselementen zijn hier mangaan, chroom, nikkel en soms molybdeen.

Bij de roestvaste staalsoorten ontwikkelt zich een zeer dun, dicht, beschermend en doorzichtig chroomoxidehuidje op het staal. De uitdrukking ‘roestvrij’ is een onjuiste benaming. Het staal corrodeert wel, maar vertoont geen ‘roestafzettingen’ (ijzeroxiden) met de bekende bruine kleur. Misschien is het zelfs beter te spreken van ‘corrosievast’.  
Laaggelegeerde koper- en nikkelstaalsoorten zijn zogenoemde weervaste staalsoorten (architectonische staalsoorten). Op dit staal ontwikkelt zich een zeer dichte diepbruine roestlaag van ijzeroxiden die verdere aantasting voorkomt.  
Het zogenoemde Cortenstaal is zo’n weervaste staalsoort, waarvan wordt gezegd dat het bestand is tegen een industrieel klimaat.

#### 8.2.7 De corrosie van staal

##### Het corrosieproces algemeen

***Corrosie zonder water***  
Het proces vindt plaats van buitenaf door een gas bijvoorbeeld zuurstof en zwaveldioxide. Er ontwikkelt zich een corrosielaag die zeer dun maar vaak ook zeer dicht is.

***Corrosie met water***Bij corrosie met water stuurt het metaal ionen het water in en blijven er elektronen op het metaal achter. Het metaal wordt daardoor negatief geladen. Alle metalen zullen dit doen ook de zogenoemde edele. De afsplitsing van ionen houdt op als er tussen metaal en water een zeker potentiaalverschil is ontstaan. Bij edele metalen is dat verschil zeer laag.

##### Corrosie bij twee verschillende metalen

Het corrosieproces is vooral van groot belang als twee verschillende metalen in onderling contact met elkaar zich in water bevinden, bijvoorbeeld zink en koper. Zink heeft daarbij de neiging meer in oplossing te gaan dan koper.

Wat hier dus spreekt is dat:

* De metalen geleidend verbonden zijn (contactvlak)
* Er een geleidend vocht aanwezig is.

De mate van de corrosie is afhankelijk van het spanningsverschil van de metalen (anode en kathode) met het omringende vocht en de weerstand in het vocht zelf. Dit heeft geleid tot de vergelijking van metalen in een zogenoemde spanningsreeks. De achtergrond is de neiging van een metaal om in oplossing te gaan en het ene metaal doet dat gemakkelijker dan het andere, het hogere potentiaalverschil.  
De getallen in volts geven de neiging aan voor de metaal corrosie. Hoe hoger (negatief) het getal hoe gemakkelijker een metaal corrodeert (zogenoemd onedeler). Enkele metalen in de spanningsreeks:

* Magnesium
* Aluminium
* Zink
* Ijzer
* Lood
* Waterstof
* Koper

### 8.3 Non- ferrometalen

#### 8.3.1 Inleiding

Tot de non-ferrometalen behoren de metalen aluminium, koper, lood, zink en hun legeringen. De (internationale) benaming ‘non ferro’ betekent ‘niet-ijzer’.

Bekijken we de toepassing van de non-ferromaterialen, dan komen we tot de slotsom dat het gebruik gericht is op scheidende en afsluitende functies in de bouw (de afbouw dus) en op de afwerking.

#### 8.3.2 Aluminium

##### Grondstoffen en winning

De grondstof voor de aluminiumbereiding is bauxiet dat voor 50 à 60% uit aluminiumoxide bestaat.

##### Eigenschappen aluminium

***De volumiek massa***  
De volumieke massa van aluminium is in tegenstelling tot andere metalen vrij laag.

***De mechanische eigenschappen***  
De toevoeging van koper maakt aluminium dus sterk.

***De duurzaamheid***  
DE duurzaamheid (corrosieweerstand) van aluminium is in onbehandelde toestand vrij goed. Toch reageert aluminium zeer gemakkelijk met de zuurstof uit de lucht en daar is geen water voor nodig zoals bij staal. Een droge corrosie dus. Het aangename is dat de vorming van aluminiumoxide beperkt blijft tot een zeer dunne laag aan het oppervlak.

Het oxidelaagje levert niet in alle milieus het gewenste resultaat op.

Om de duurzaamheid van aluminium te verhogen kan men naast legeren het metaal ook zogenoemd anodiseren. Hieronder wordt verstaan het langs elektrolytische weg aanbrengen van een al dan niet gekleurde alumniumoxidelaag op het oppervlak van het aluminium.

definitie kennen

##### Aluminium in de bouw

Aluminium komt zeer gevarieerd in de bouw voor, zowel onbehandeld, geanodiseerd als voorzien van beschermende gekleurde deklagen (gemoffeld).

#### 8.3.3 Koper

##### Eigenschappen koper

Belangrijke eigenschappen voor de toepassing zijn:

* Hoog elektrisch geleidingsvermogen; circa 40% van de koperproductie wordt voor dit doel gebruikt. Het spreekt vanzelf dat het hier gaat om toepassing in de elektrotechniek.
* De bruikbaarheid van legeren met andere metalen; dit betreft circa 40% van de productie.  
  Koper wordt zeer veel in legeringen toegepast. De koperlegeringen worden verkregen door koper samen te smelten met andere metalen en/of soms ook andere elementen.  
  Dit is het voornaamste doel bijvoorbeeld van de messingsoorten (legeringen van koper en zink.
* Goede corrosieweerstand, hoog warmtegeleidingsvermogen, goede verwerkbaarheid; circa 20% van de productie.

Duurzaamheidde hoge duurzaamheid van koper komt tot uiting in de architectuur. Zuiver koper als dakbedekking toegepast krijgt een aangename groene kleur door de vorming in het vochtige buitenmilieu van kopergroen (basisch kopercarbonaat) Een uiterlijk mooie, hoewel giftige verbinding.  
Bij dakafvoeren moet men dan geen staal of zink gebruiken. Binnenshuis krijgt koper, dat in nieuwe toestand roodglanzend is (een foutieve nog steeds gebruikte benaming voor zuiver koper is roodkoper), een bruine kleur afkomstig van de gevormde koperoxidehuid. Deze zeer dunne en dichte huid beschermt het koper in droge omgeving tegen verdere corrosie.

#### 8.3.4 Lood

##### Enkele eigenschappen van lood

* Zeer zwaar metaal
* Lood is bijna zichtbaar aan *kruip* onderhevig (duidelijke vervorming onder constante belasting)
* Lood lost, zij het langzaam, op in zacht water. Ook in regenwater. De gevormde loodzouten zijn zeer giftig en daarom zijn loden pijpen voor drinkwaterleidingen al heel lang verboden, maar ze komen in oude steden nog steeds voor!
* Sommige hardhoutsoorten zoals eiken, merbau, afzelia en teak, kunnen inverse toestand lood aantasten door looizuurachtige inhoudstoffen. In direct contact met staal en ook met aluminium en zink en in dubieuze gevallen moeten scheidingsmaterialen worden aangebracht, bijvoorbeeld een bitumineuze laag op het lood.
* Voor contactcorrosie wordt verwezen naar tabel 8.35

#### 8.3.5 Zink

##### Eigenschappen van zink

* De uitzettingscoëfficiënt van zink is hoog. Dit houdt in dat aan zink, bijvoorbeeld voor dakbedekking, gelegenheid moet worden gegeven om uit te zetten.   
  Hiermede wordt scheurvorming van deze dakbedekking voorkomen.

## Kunststoffen en rubbers

9.1 Inleiding

9.2 Eigenschappen

9.3 De thermoplasten

9.4 De thermoharders

9.9 Overzichten kunststoffen en rubbers

### 9.1 Inleiding

#### 9.1.1 Wat zijn kunststoffen?

Kunststoffen is de verzamelnaam voor een grote groep van hoogmoleculaire organische materialen die langs vrijwel volledig synthetische weg zijn gevormd. Een kunststof is vervaardigd uit koolwaterstoffen (organische verbindingen) en is opgebouwd uit of lange molecuulketens (draadvormige moleculen) of ruimtelijke molecuulnetwerken.  
De verbindingen besatan op zich uit grote aantallen koolstofatomen waaraan vele waterstofatomen en verder, afhankelijk van de soort kunststof, andere atomen zijn verbonden.

Kunststoffen zijn nieuwe materialen met specifieke eigenschappen. Het is in wezen niet de bedoeling vervangende materialen te maken. Kunststoffen kunnen wel vervangend optreden voor bestaande materialen, waarvan de grondstoffen (opraken of welke sterk milieubelastend zijn.)  
Door deze variëteit lopen de eigenschappen onderling dan ook zeer sterk uiteen.

*Men maakt gewoonlijk het volgende onderscheid:*

* **Kunststoffen**
  + Thermoplasten
  + Thermoharders
* **Rubbers**
  + Synthetische rubbers (elostomeren)
  + Natuurrubber

De ontwikkeling van de synthetische (macromoleculaire producten) is ontstaan (bij de uitvindeing van de vulkanisatie van rubber). Volledig macromoleculair is fenolformaldehyde (bakeliet).

De bron voor de kunststofindustrie is aardolie. Kunststoffen zijn restproducten ontstaan bij de productie van benzine,..

#### 9.1.2 Het gedrag van kunststoffen en rubbers.

De groep thermoplasten kenmerkt zich door een gedrag dat sterk temperatuurgevoelig is. Deze stoffen worden altijd zacht (plastisch vervormbaar) bij hoge temperaturen, dit in tegenstelling tot de thermoharders. Thermoplasten zijn over het algemeen hard bij normale gebruikstemperaturen.  
De thermoplasten kunnen bij verwarming in een bepaalde vorm worden gebracht, die na afkoeling gehandhaafd blijft. Men maakt van deze eigenschap gebruik bij bepaalde fabricageprocessen (onder andere het extruderen van profielenà. In principe kan men de gegeven vorm weer veranderen door verwarming, zoals bij een product als PVC-krimpslang. De ‘slang’ heeft bij fabricage een bepaalde ‘opgedragen’ doorsnede gekregen, die bij verwarming kleiner wordt. Er is dus altijd een temperatuur waarbij de thermoplast verweekt (zacht) wordt.

De thermoharders vertonen dat typische verweken niet. (Een praktische) temperatuurgevoeligheid als bij de thermoplasten vertonen zij dus nooit. De vormgeving vindt bij thermoharders plaats door chemische uitharding bij een bepaalde temperatuur. De gegeven vorm is daarna in de praktijk niet meer te veranderen door verwarming. Bij een hogere temperatuur zal de thermoharder ontleden.

### 9.2 Eigenschappen

#### 9.2.1 Algemeen

*Positieve* eigenschappen zijn:

* Een lage volumieke massa
* Een vrij grote weerstand tegen bepaalde chemische aantastingen; wel met soms duidelijke verschillen
* Soms een goede weerstand tegen weersinvloeden
* Soms hoge thermische isolatie (bij schuimvormen)
* Gemakkelijke vormgeving, vooral bij de thermoplasten

*Negatieve* eigenschappen zijn:

* Niet altijd bruikbaar bij hogere temperaturen
* Brandbaar
* Hergebruik nog vrij moeilijk (ook milieutechnicsch). Bij op de juiste wijze van inzamelen van thermoplasten is hergebruik goed mogelijk.

### 9.3 De thermoplasten

#### 9.3.1 Algemeen

##### De temperatuurafhankelijkheid

De als kluwens in elkaar grijpende ketenmoleculen van de thermoplasten zijn onderling niet door (sterke) chemische bindingen verbonden. In de ketens heersen de sterke covalente bindingskrachten. De ketens kunnen zich dus vrij lang langs elkaar bewegen, waardoor de thermoplasten bij temperatuurverhoging plastisch vervormbaar worden.   
Deze temperaturen liggen voor de meeste thermoplasten tussen 150 en 200 °C

#### 9.3.2 Onderverdeling thermoplasten

##### Inleiding

Onderverdeling in groep van vier zeer veel toegepaste kunststoffen:

1. Polyetheen (PE)
2. Polypropeen (PP)
3. Polyvinylchloride (PVC) Zie ppt voor extra
4. Polystyreen (PS)

Daarnaast is er een groep speciale thermoplasten.

##### Polyetheen PE

Er bestaan verschillende soorten, zachte en wat hardere soorten, en mede gebaseerd op het fabricageproces. Alle zijn in de praktijk ‘zacht’ in onze handen.

De zachte soorten (LDPE = low density PE)  
In de dunnere uitvoering (bijvoorbeeld folies) is zacht polyetheen veel doorzichtiger dan een hardere soort. De laatstgenoemde is ook wat witter.  
De hardere soort polyetheen (HDPE = high density PE) is meer gekristalliseerd en is daardoor ondoorzichtiger en harder. Voorbeelden: zachte soort PE voor bouwfolie, hardere voor buizen.

##### Polypropeen PP

De eigenschappen zijn vergelijkbaar met die van polyetheen.

Polypropeen vindt veel toepassing in de waterbouwkunde, ook al om de grote bestandheid tegen het weer en andere belastingsomstandigheden.

##### Polyvinylchloride PVC

Stabilisatoren en anti-oxidanten hebben de eigenschappen van het ‘vroegere’ PVC sterk verbeterd (minder verbrossing[[1]](#footnote-1)).   
Toepassingen zijn bijvoorbeeld kunstleer (voor bekledingen), slangmateriaal en dakbedekkingen.

##### Polystyreen PS

Heeft een typische metaalklank bij aantikken.

Een bekende toepassing is de geëxpandeerde schuimvorm (EPS), het bekende piepschuim. EPS heeft een dichte pakking van geschuimde (witte) bolletjes. Door de met droge lucht gevulde celstructuur is de warmte-isolatie zeer hoog. Het wordt toegepast als materiaal voor thermische isolatie, maar heeft ook grote mogelijkheden als vervangend materiaal voor het veel zwaardere zand in weg- en railfunderingen.

Een variant van EPS is de geëxtrudeerde vorm XPS. De schuimstructuur is heel anders door de productiemethode door extrusie. Toepassing: Isolatieplaten voor daken, muren en wanden.

##### Enkele speciale thermoplasten

Ze zijn niet onbelangrijker dan de 4 hiervoor maar ze worden wel in kleinere hoeveelheden aangemaakt en zijn in het algemeen ook duurder.

Enkele voorbeelden:

* Polycarbonaten (PC): buitengewoon goede mechanische en elektrische eigenschappen. Is de concurrent van perspex voor ‘beglazingen’. Het is slag- en krasvaster dan perspex.
* Acrylaten (PMMA): het bekende plexiglas of perspex (is polymethylmetacrylaat, een organisch glas). Het is zeer helder en weervast; het is veel lichter dan glas, terwijl de schokweerstand ook groter is.
* Plyamiden (PA): is beter bekend onder de naam nylon
* Synthetische vezels: zij behoren tot de groep thermoplasten en thermoharders. We denken hier aan de polyamiden zoals Nylon en Enkalon en aan de polyesters zoals Terlenka en Trevira.

Van groot technisch belang zijn de aramide-vezels Kevlar

Een van de verwerkingstechnieken van thermoplasten is extruderen.

### 9.4 De thermoharders

#### 9.4.1 Algemeen

Ze zijn niet verweekbaar en niet smeltbaar.

#### 9.4.2 Onderverdeling thermoharders

##### De formaldehydegroep

Thermoharders worden tijdens de fabricageprocessen hard onder invloed van warmte. Vandaar de naam van deze groep kunsstoffen.  
De verkregen vorm van een product is blijvend.

De oudste synthetische macromoleculaire en nog steeds in gebruik zijnde thermoharder is bakeliet of fenolformaldehydehars, een harde en sterke kunsthars, gevormd uit fenol en formaldehyde. De fenolharsen zijn altijd bruin  
Ureumformaldehyde en melamineformaldehyde zijn heldere transparante thermoharders. De laatste is vrijwel ongevoelig voor vocht, zeer sterk en krasvast (de zogenoemde formicaproducten). Deze soorten kunnen wit en gekleurd geleverd worden.

##### Polyesterharsen (UP)

Een zeer belangrijk toepassingsgebied zijn de glasvezelversterkte polyesters.

##### Epoxyharsen (EP)

Zie dia

##### Polyurethanen (PUR)

Deze thermoharders kunnen variëren van hard tot zacht (polyurethaanrubber). Van groot belang zijn de schuimen (PUR-schuimen). De harde soorten hebben grote waarde als isolatiematerialen onder andere in sandwichconstructies (daken, wanden).

Een nadeel bij de schuimvorming van vooral vroegere producten is de polyurethaanuitzetting tijdens de vorming waardoor mogelijke destructie van oude spouwmuren bij na-isolatie!

### 9.9 Overzichten kunststoffen en rubbers

Zie tabbellen

## Isolatiematerialen

### 13.5 Producten voor isolatie

#### 13.5.1 Producten van geschuimde kunststoffen

##### Polystyreenschuim

***PS geëxpandeerd (EPS)***  
Polystyreenschuim heeft in de witte bolletjes een gesloten celstructuur. Het is een goedkope isolator. uit parels gevormd.

***PS geëxtrudeerd (XPS)***  
De fabricage van geëxtrudeerd polystyreenschuim geschiedt met een extruder (strengpers). De op deze wijze gevormde platen hebben een doorgaande structuur van gesloten cellen. Dit onderscheidt het schuim zo duidelijk van de (witte) bolletjesstructuur van geëxpandeerd polystyreenschuim.

***Eigenschappen PS***Polystyreenschuim heeft de volgende eigenschappen:

* Komt in plaatvorm voor, geëxpandeerd (kleur wit) en geëxtrudeerd (kleur blauw en groen); komt ook voor in (witte) EPS-bolletjes bestemd voor na-isoleren (inblazen).
* EPS heeft besloten cellen en is waterafstotend, echter niet dampdichte, in verband met ruimten tussen de bolletjes. EPS is wateropnemend; geëxtrudeerd (xps) is waterdichter (toch oppassen voor blaasvorming van bovenliggende dakbedekking).
* In verband met de brandeigenschappen oppassen in bepaalde ruimten
* Voor dakbedekking wordt vooral de geëxtrudeerde vorm XPS gebruik (in verband met hogere weerstand tegen puntlasten en de beloopbaarheid).
* Is niet bestand tegen temperaturen boven 100°C (oppassen voor warme bitumen!).
* Is bestand tegen schimmel en rot; muizen maken er nesten van (eten het niet op!).

##### Polyurethaanschuim PUR

In veel PUR-schuimen bevinden (bevonden) zich CFK’s, de milieubelastende (chloorfluor)koolstoffen. Dit (product) fungeert als blaasmiddel.   
Er ontstaat een schuim met tot 90% gesloten cellen, een harde schuimvorm in verschillende blokafmetingen. De blokken worden in platen gezaagd. Gecacheerde producten zijn mogelijk; eenzijdig gecacheerd kan kromtrekken.

***Eigenschappen PUR***  
PUR heeft de volgende eigenschappen:

* Komt in plaatvorm voor; ook voor naschuimen
* Zet enigszins uit bij naschuimen in een spouw!
* Kleeft direct bij schuimen, ook aan steenachtige materialen (keramische ook), hout, papier, ruwe metalen.
* Heeft weinig last van weersinvloeden
* Gezaagde platen kunnen hol staan, door temperatuur en vocht. Dit wordt minder door aanbrengen van bijvoorbeeld een bitumineuze (papier)afdeklaag (zogenoemde gechacheerde platen).
* Voor beloopbare dakbedekking is gecacheerde vorm het beste

#### 13.5.2 Kunststofschuimen op het werk gevormd

(Voor op het werk gevormde kunststofschuimen komen) twee schuimen in aanmerking:

1. PUR-schuimen
2. UF-schuim (ureumformaldehyde)

Als men PUR-schuim in een ruimte wil laten rijzen, dan moet men erop bedacht zijn dat er een alzijdige druk ontstaat. Voor spouwmuren is deze methode dan ook niet aan te bevelen. Er bestaan echter moderne PUR-schuimen die een lage druk uitoefenen.

Naast PUR- is PIR-schuim in de handel (poly-isocyanuraat); dit is meer brandwerend dan PUR. PUR is bestand tot 110°C, PIR tot 150°C.

Een geheel ander en goedkoper schuim dan de twee voorgaande is UF-schuim. Vaak gebruik voor de vulling van bestaande spouwmuren.

#### 13.5.3 Producten van anorganische materialen

##### Poreuze steenachtige producten

Het is mogelijk om steenachtige materialen lichter te maken door er in vloeibare toestand cellen in te laten ontstaan. Voorbeelden zijn: cellenbeton, schuimbeton, schuimglas (ook cellulair glas genoemd) en geëxpandeerde kleikorrels. Bij poreuze baksteen kan men de poriën doen ontstaan door wegbranden van organische bestanddelen (houtdeeltjes, polystyreenschuim). Deze materialen hebben het grote voordeel dat ze zelf niet brandbaar zijn en bruikbaar zijn zelfs tot ca. 300°C. ze zijn ook geschikt om belastingen te dragen, hoewel rekenregels (van de fabriek) moeten worden aangehouden. Ze hebben wel een beduidend lagere warmteweerstand dan de ‘echte’ isolatiematerialen en hun massa is hoog.   
Van belang zijn hygrische eigenschappen, steenachtige producten nemen gemakkelijk water op, de lambda waarde stijgt.

##### Cellulair glas

Voor thermische isolatie is schuimglas van belang. Het schuimglas, ook cellulair glas genoemd, heeft een volledig gesloten cellensysteem

Vocht- en gasdichtheid is zeer groot.

Schuimglas is zeer bros. Hierdoor zeggen de cijfers over de druksterkte niet alles.

Cellulair glas wordt als isolerende vloer op parkeerdaken tegen ijsvorming toegepast.

**Bijzondere eigenschappen van cellulair glas zijn:**

* Volkomen waterdichtheid (totaal geen wateropneming)
* Ook volkomen waterdampdicht
* Niet brandbaar
* Schimmel- en rotvrij
* Maatvast
* Duur
* Druksterkte: 0.5 – 1.6 N/mm²
* Volumieke massa: 150 kg/m³

##### Minerale wol

Een belangrijke plaats nemen ook de vezelachtige producten in, gewoonlijk in de praktijk wolproducten genoemd. IN het algemeen kent men ook de benaming minerale wol. Vbn steenwol en glaswol.

Bij spouwmuren in de nieuwbouw worden, naast kunststofschuim en schuimglas ook mineralewolplaten gebruikt. Ook dekens kunnen worden toegepast.

Voor de losse navulling van steenwol in een spouw worden maatregelen getroffen om uitzakken te voorkomen.

#### 13.5.4 Platen van houtspanen of houtkrullen

Voorbeelden van platen van houtspanen of –krullen met anorganische bindmiddelen zijn platen met magnesietgebonden (lange) houtkrullen (Herakliet). Deze platen zijn niet geschikt voor buitentoepassing (magnesiet is niet watervast). In plaats van magnesiet wordt ook cement gebruikt (houtcementplaat), dat wel watervast is.

#### 13.5.5 Losgestorte materialen

Er bestaat een groot aantal.

***Geëxpandeerde kleikorrels*** worden los gestort in kruipruimten, verwerkt in isolerende vloeren, dakisolaties, industriële isolatie, isolerende vloerconstructies en in lichte isolerende bouwblokken

***Perliet*** is afkomstig van vulkanisch gesteente. Toepassingen: na-isolatie van spouwmuren (daartoe worden ze gesiliconeerd = waterafstotend gemaakt) en in gebonden vorm met bitumen voor dakafwerkingen.

Vermiculiet is een mica-achtig natuurproduct. Het product heeft een zeer hoge temperatuurbestandheid. Het wordt toegepast op plaatsen waar hoge temperaturen te verwachten zijn. (bv ovenbemetselingen).

#### 13.5.7 Aluminiumfolies

Reflecterende isolaties zijn samengesteld uit een metaalfolie met een drager erachter (soms zijn beide zijden van de drager gecacheerd met aluminiumfolie).

(De warmtereflectie hangt af van de opp.karakteristiek, de dikte van de) omheullende luchtlaag en het temperatuurverschil. De folie moet zo aangebracht worden dat er een luchtlaag van ten minste 2cm bestaat boven de reflecterende laag.

1. Bros > spontaan breken / broos [↑](#footnote-ref-1)