

Extra info Beton

Aantasting van beton

Aantastingmechanismen

Voor de aantasting van beton bestaan drie soorten chemische reacties:

- oplossingsreacties door zuren en zacht water;
- uitwisselingsreacties door zouten;
- expansieve reacties met sulfaten en de alkali-silicareactie.

Oplossingsreacties door zuren

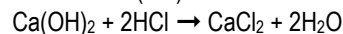
Cementsteen (beton) bestaat uit een verbinding van calciumoxide, CaO , siliciumdioxide SiO_2 en water, H_2O : calciumsilicaathydraat: $x\text{CaO}\cdot y\text{SiO}_2\cdot z\text{H}_2\text{O}$, ook wel CSH genoemd.

De poriën van de cementsteen zijn gevuld met een verzadigde oplossing van calciumhydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Een zuur reageert eerst met calciumhydroxide en daarna zal het calcium uit de cementsteen in oplossing gaan (zie kader). Daardoor gaat de samenhang van de cementsteen verloren, wat sterkteverlies tot gevolg heeft. Het ene zuur is agressiever dan het andere. Soms kan een onoplosbaar calciumzout worden gevormd, dat in de poriën een vaste stof vormt met als gevolg dat reacties vertragen en zelfs tot stilstand kunnen komen.

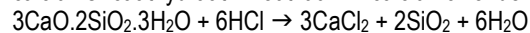
Voorbeeld: het oplossen van CSH door een zuur

omzetten $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



oplossen CSH (principe):

calciumsilicaathydraat + zoutzuur \rightarrow calciumchloride + kiezelzuur + water



Zoutzuur is een sterk zuur, het reageert met calciumsilicaathydraat tot het calciumzout van het sterkere zuur (calciumchloride) en kiezelzuur.

Uitwisselingsreacties door zouten

Zouten zijn het reactieproduct van een zuur en een base. Sommige zouten vormen graag nieuwe combinaties (zie kader). Cementsteen kan ook gezien worden als een zout. Enkele zouten waar cementsteen gemakkelijk nieuwe verbindingen mee vormt zijn

Voorbeeld uitwisselingsreactie

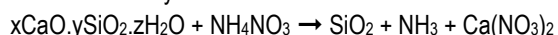
Zouten van een zwakke base en een sterk zuur reageren met de zouten van een sterke base en een zwak zuur tot een zout van een sterke base en een sterk zuur.

Calciumsilicaathydraat ($x\text{CaO}\cdot y\text{SiO}_2\cdot z\text{H}_2\text{O}$) kan gezien worden als het zout van een sterke base ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) en een zwak zuur (SiO_2).

De agressiviteit van het zout van een zwakke base en een sterk zuur is vergelijkbaar met de agressiviteit van het betreffende vrije zuur.

Uitwisselen CSH (principe):

calciumsilicaathydraat + ammoniumnitraat \rightarrow kiezelzuur + ammoniak + calciumnitraat.



Calciumnitraat is een goed oplosbaar zout, dat kan worden afgevoerd. Kiezelzuur heeft geen mechanische sterkte. Deze reactie is extra agressief omdat het NH_3 , ammoniak, een gas is dat uit het beton kan ontsnappen, waardoor het evenwicht van bovenstaande reactievergelijking naar rechts verplaatst.

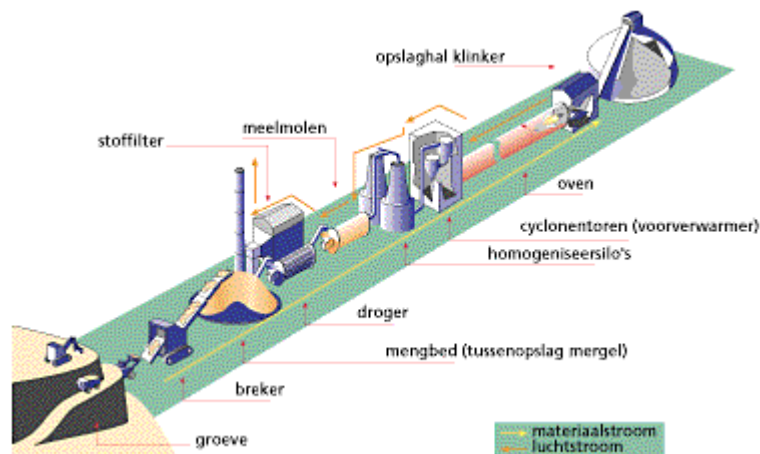
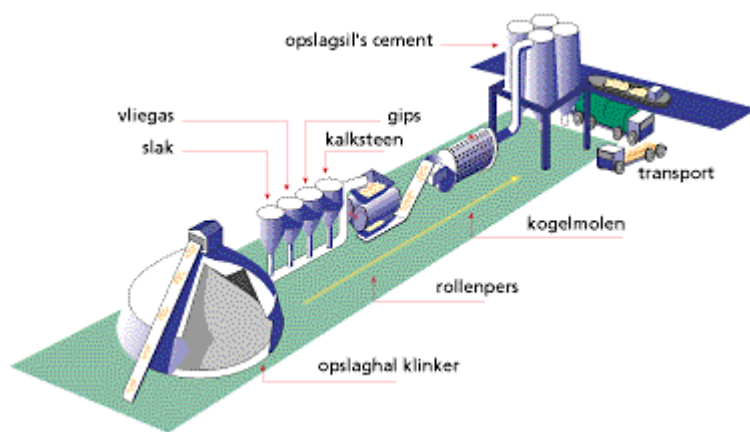
bijvoorbeeld ammonium- en magnesiumzouten (zie tabel 1). Het is van belang of de nieuw gevormde zouten oplosbaar zijn of neerslaan. Zouten die niet oplosbaar zijn kunnen de

poriën verstoppen, waardoor ook de aantasting stopt. Oplosbare zouten kunnen zich met het poriewater naar buiten verplaatsen, waardoor de reactie kan blijven verlopen. Ook door uitwisselingsreacties gaat de samenhang van cementsteen verloren en ontstaat sterkteverlies.

Expansieve reacties

Bij een expansieve reactie is het volume van de reactieproducten groter dan van de oorspronkelijke bestanddelen. Door een expansieve reactie kan beton inwendig uit elkaar worden gedrukt. Het bekendste voorbeeld is het roesten van wapening: ijzeroxide neemt meer ruimte in dan ijzer en zuurstof bij elkaar.

In cementsteen kunnen sulfaten en alkaliverbindingen beiden tot expansieve reacties leiden. In beide gevallen wordt in de reactieproducten water opgenomen, wat tot een destructieve zwelling kan leiden.



Tabel 1

naam	reactie	agressiviteit	naam	reactie	agressiviteit	naam	reactie	agressiviteit
Zuren			Magnesium	U/E	3	Dierlijk vet en vetzuren		
Azijnzuur	O	3-4	Natrium	U/E	3	Beenderolie	O	2
Boorzuur	O	2				Varkensvet	O	2
Carbolzuur (fenol)	O/U	2-3	Sulfaten van			Visolie	O	2
Citroenzuur	O	4	Aluminium	E	4	slachtafval	O	3
Fosforzuur	O	4	Ammonium	U/E	5			
Humuszuur	O	4	Calcium	E	4	Diversen		
Melkzuur	O	3	Kalium	E	4	Alcohol		1
Mierenzuur	O	3	Koper	E	4	Aceton		1
Oxaalzuur	O	1	Mangaan	E	4	Ammoniak		1
Salpeterzuur	O	5	Magnesium	U/E	5	Bier	O	2
Tannine (looistof)	O	1-2	Natrium	E	4	Bleekwater	C	2
Waterstoffluoride	O	5	Nikkel	E	4	Borax		1
Wijnsteenzuur	O	1	IJzer	E	4	Soda		1
Zoutzuur	O/C	5	Zink	E	4	Cider	O	4
Zwavelwaterstof	O	2				Ether		1
Zwavelzuur	O/E	5	Petroleumdestillaten			Etherische olie		1
			Benzine		1	Fenol	U	3
Zouten en alkaliën			Kerosine		1	Glucose	U	3
			Naftaleen		1	Glycerine	U	2
<i>Carbonaten van</i>			Petroleum		1	Honing		1
Ammonium	U	2	Zwarte olie		1	Houtpap		1
Kalium	E	2	Dieselolie		1	Permanganaat		1
Natrium (soda)	E	2				Kalk		1
			Koolteerdestillaten			Karnemelk	O	3
<i>Chloriden van</i>			Anthraceen		1	Koolzuurgas		1
Aluminium	U/C	3	Benzeen		1	Kuilvoer	O	5
Ammonium	U/C	3	Cumeen		1	Lood		1
Calcium	C	1	Kreosoot (olie)	U	2	Looistoffen		1
Kalium	C/E	1	Kresol	U	2	Melasse	U	3
Koper	C	1	Paraffine		1	Melk		1
Kwik	C	1	Teer		1	Mest	O/U	4
Magnesium	U/C	3	Tolueen		1	Suiker: droog		1
Natrium	C/E	2	Xyleen		1	Suikeroplossing	U	3
IJzer	C	2				tetra		1
Zink	C	2	Plantaardige oliën			tolueen		1
			Amandelolie	U	3	Tri		1
<i>Fluoriden van</i>			Chinese houtolie	U	3	Ureum		1
Ammonium	U	4	Katoenzaadolie	U	3	Urine	O/U	3
			kokosolie	U	3	Vaseline		1
<i>Hydroxiden van</i>			Lijnolie	U	3	Vruchtensap	O	4
Ammonium		1	Maanzaadolie	U	3	Waterglas		1
Calcium		1	Olijfolie	U	3	Wei	O	3
Kalium	E	2	Pindaolie	U	3	Wijn		1
Natrium	E	2	Raapolie	U	3	Zacht water	O	3
			Ricinusolie	U	3	Zeep		1
<i>Nitraten van</i>			Sojaboonolie	U	3	Zwavel		1
Ammonium	U	5	Terpentijn	U	3			
Calcium		1	Walnootolie	U	3			
Kalium	U/E	3						

Toelichting:

Agressiviteit: 1=onschadelijk; 2=licht agressief; 3=matig agressief; 4=sterk agressief; 5=zeer sterk agressief
Reactietype: O=oplossing; U=uitwisseling; E=expansie; C=corrosie wapening

Portland cement bevat vijf belangrijke ingrediënten en nog wat minder belangrijke. De samenstelling van portland cement staat hieronder in tabel 2 weergegeven.

Grondstof	Gewichtspercentage	Chemische formule
Tricalciumsilicaat	50 %	Ca_3SiO_5 of $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
Dicalciumsilicaat	25 %	Ca_2SiO_4 of $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
Tricalciumaluminaat	10 %	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ of $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
Tetracalciumaluminoferriet	10 %	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ of $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
Gips	5 %	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Tabel 2: Samenstelling van portland cement.

Als water aan het cement wordt toegevoegd, vindt hydratatie plaats van alle grondstoffen en draagt bij aan de eigenschappen van beton. Alleen de calciumsilicaten zorgen voor de sterkte van het beton. Tricalciumsilicaat zorgt voor de sterkte in het begin (de eerste 7 dagen). Dicalciumsilicaat reageert minder snel en zorgt voor de latere sterkte.

Tijdens het toevoegen van water reageert tricalciumsilicaat snel en vormt calciumionen, hydroxide-ionen en veel warmte. De zuurgraad stijgt snel tot pH 12, doordat er hydroxide-ionen vrijkomen. Het oplossen wordt langzaam trager, omdat er minder warmte geproduceerd wordt en dus het mengsel afkoelt, maar ook omdat de concentratie ionen toeneemt.

De reactie gaat langzaam door totdat een verzadigde oplossing van calciumionen en hydroxide-ionen is ontstaan. Als dit eenmaal is gebeurd kristalliseert calciumhydroxide uit. Op het zelfde moment ontstaat ook calciumsilicaathydraat. Omdat de concentratie van calciumionen en hydroxide-ionen lager wordt, neemt de reactie van tricalciumsilicaat tot calciumionen en hydroxide-ionen weer toe. De warmteproductie neemt ook weer toe.

De vorming van calciumhydroxidekristallen en calciumsilicaathydraatkristallen zijn entplaatsen waar weer meer calciumsilicaathydraat gevormd kan worden. De calciumsilicaathydraatkristallen worden steeds groter, waardoor water moeilijker bij het nog niet gehydrateerde calciumsilicaat kan komen. De snelheid van de reactie wordt nu bepaald door de snelheid waarmee de watermoleculen door het calciumsilicaathydraatlaagje kunnen komen. Dit laagje wordt steeds dikker en resulteert in een steeds trager wordende vorming van calciumsilicaathydraat.

In de bovenstaande tekening geeft (a) aan dat hydratatie nog niet is begonnen en dat de lege ruimte tussen de entplaatsen nog gevuld is met water. Bij (b) begint de hydratatie. Bij (c) gaat de hydratatie door. Ofschoon er nog steeds lege plaatsen aanwezig zijn (waarin zich calciumhydroxide en water bevinden) zijn er ook al verbindingen van

calciumsilicaathydraat ontstaat tussen de afzonderlijke entplaatsen. Bij (d) wordt bijna uitgehard beton weergegeven.

In de weinige gaten die er nog over zijn (gevuld met calciumhydroxide en water) vindt nog steeds hydratatie plaats, zolang er maar water en nietgehydrateerde tricalciumsilicaat aanwezig is.

Dicalciumsilicaat vergroot ook de sterkte van beton door hydratatie. Dicalciumsilicaat reageert op eenzelfde wijze met water als tricalciumsilicaat, alleen voor minder snel. De warmte die daarbij geproduceerd wordt is ook minder, omdat de reactie minder snel gaat. De producten van de hydratatie van dicalciumsilicaat zijn dezelfde als die van tricalciumsilicaat.

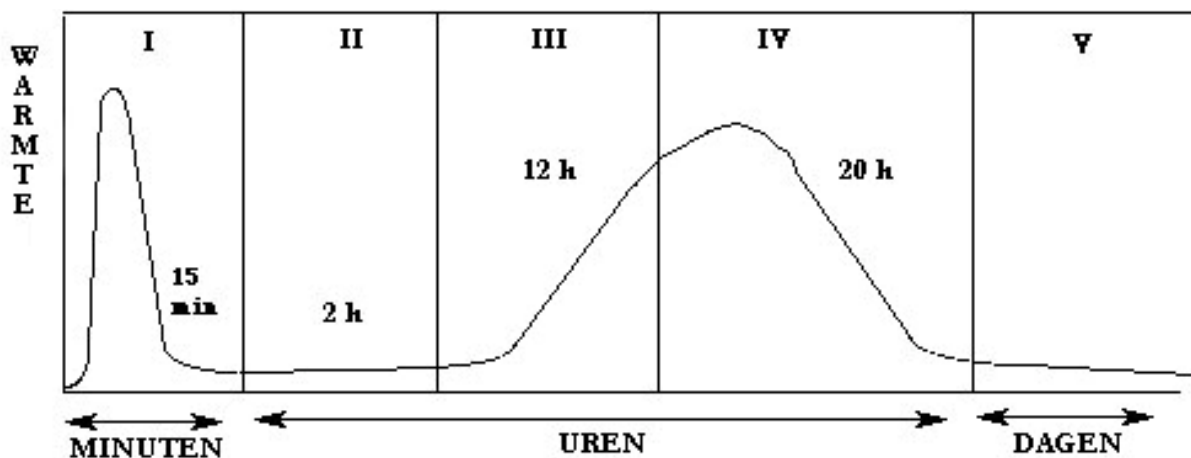
dicalciumsilicaat + water → calciumsilicaathydraat + calciumhydroxide + warmte



De andere bestanddelen van portland cement, tricalciumaluminaat en tetracalciumaluminoferriet, reageren ook met water, alleen nog weer trager. De hydratatie van deze twee bestanddelen is veel complexer omdat deze ook nog met gips reageren. De hydratatie van de bestanddelen in cement kunnen gerangschikt worden naar reactiesnelheid (van snel naar traag):

Tricalciumaluminaat > tricalciumsilicaat > tetracalciumaluminoferriet > dicalciumsilicaat

Tijdens hydratatie komt veel warmte vrij, maar deze warmte komt niet allemaal tegelijkertijd vrij. Warmte komt vrij tijdens het breken en maken van chemische bindingen tijdens hydratatie. De vrijgekomen warmte wordt in onderstaande figuur getoond als functie van de tijd.



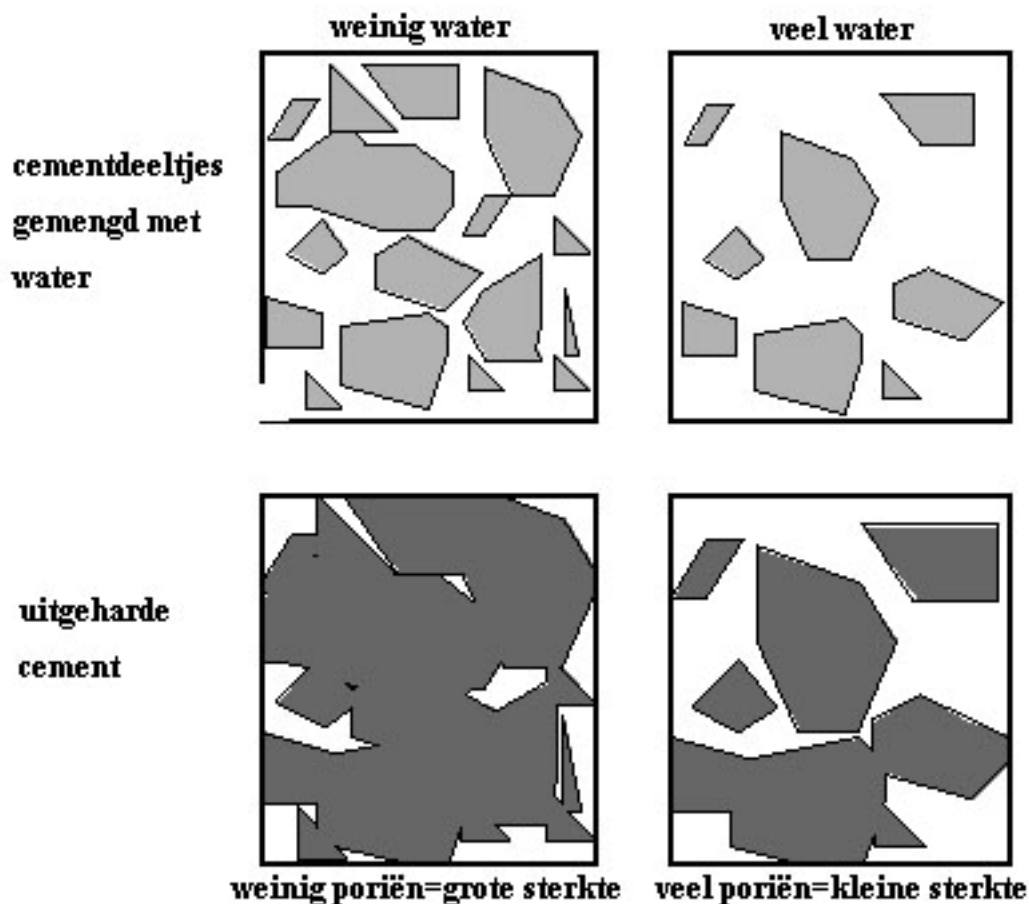
Figuur 4: Vrijkomen van warmte tijdens hydratatie van portland cement.

Tijdens periode I vindt een snelle warmteontwikkeling plaats. De temperatuur stijgt enkele graden. Periode II is een soort 'rust'-periode. Er is bijna geen

warmteontwikkeling. De 'rust'-periode duurt één tot drie uur. Tijdens deze periode kan de cementpasta vervoerd en verwerkt worden. Aan het eind van deze periode begint de uitharding van het beton. Tijdens periode III en IV hardt het beton verder uit en de warmteontwikkeling neemt weer toe. Periode V wordt na 36 uur bereikt. De vorming van calciumsilicaathydraat gaat door zolang er water en nietgehydrateerde calciumsilicaten aanwezig zijn.

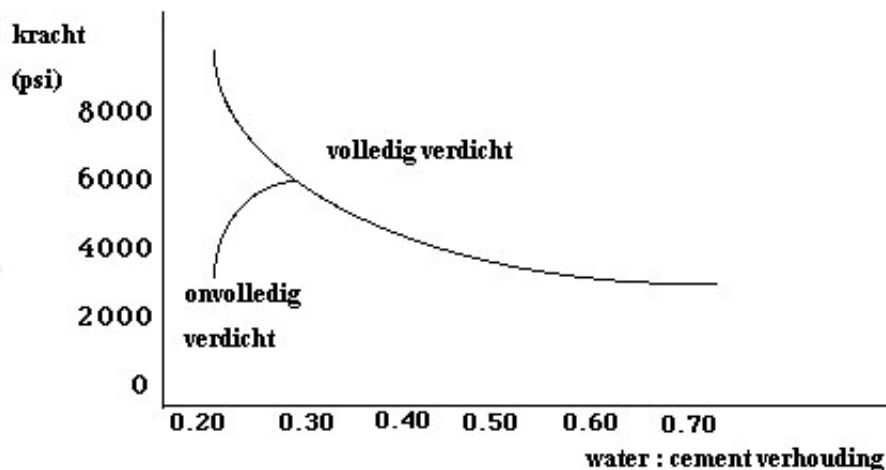
Sterkte van beton

De sterkte van beton is hoofdzakelijk afhankelijk van het hydratatieproces. Water speelt een belangrijke rol, vooral de hoeveelheid water. De sterkte van beton neemt toe als er weinig water wordt gebruikt. De hydratatiereactie gebruikt een bepaalde hoeveelheid water. Beton wordt gemengd met meer water dan eigenlijk noodzakelijk is. Dit extra water is nodig om het beton te kunnen verwerken. Goed vloeibaar beton is nodig om alle gaten en kieren te kunnen vullen. Het overtollige water dat niet gebruikt wordt in de hydratatiereactie blijft in de microstructuur van het beton achter. Deze poriën maken het beton zwakker, omdat er weinig calciumsilicaathydraat bindingen gevormd zijn. Daarom wordt het vers gegoten beton verdicht door een trilnaald te gebruiken. Sommige poriën blijven bestaan, hoe goed het beton getrild wordt.



Figuur 5: Tekening van de relatie tussen de hoeveelheid water en de hoeveelheid poriën.

De hoeveelheid lege ruimte (porositeit) wordt bepaald door de verhouding water : cement. De relatie tussen de verhouding water : cement en sterkte van het beton wordt in onderstaand schema getoond.



Figuur 6: Grafiek van betonsterkte als functie van de verhouding water : cement.

Een kleine verhouding water : cement geeft een grote sterkte van het beton, maar het beton is niet goed te verwerken. Een grote verhouding water : cement geeft een kleine sterkte, maar het beton is wel goed te verwerken.

Belangrijke karakteristieken van de vulstof zijn vorm, oppervlak en grootte. Deze kunnen indirect een grote invloed hebben op de sterkte van het beton, omdat het beton dan niet goed verwerkt kan worden. Als het aan de vulstof ligt dat het beton niet goed verwerkbaar is, zal een aannemer vaak water toevoegen. Dit leidt tot een verzwakking van het beton door een toename van de verhouding water : cement.

Tijd is ook een belangrijke factor voor de sterkte van beton. Beton wordt gedurende de tijd steeds harder. Waarom? Herinner je nog dat de hydratatiereactie steeds langzamer verloopt omdat er tricalciumsilicaathydraat gevormd wordt. Het kost heel veel tijd (zelfs jaren) voordat alle bindingen in het beton gevormd zijn. Gebruikelijk is de 28-dagen test om de relatieve sterkte van beton vast te leggen.

De sterkte van beton kan ook worden beïnvloed door toevoegingen. Deze toevoegingen zijn andere stoffen dan die al vermeld zijn die aan het betonmengsel worden toegevoegd. Sommige toevoegingen verhogen de vloeibaarheid van het beton, zonder er meer water aan toe te moeten voegen. Een lijst van toevoegingen en hun functies zijn hieronder weergegeven. Alle toevoegingen verhogen de sterkte van beton.

ENKELE HULPSTOFFEN EN HUN FUNCTIES

TYPE HULPSTOF	FUNCTIE
LUCHTBELVORMER	verhoogt duurzaamheid, verwerkbaarheid, verlaagt ontmenging, verlaagt vries- en dooi problemen (bijv. met speciale detergenten)
SUPERPLASTIFICEERDER	verhoogt sterkte doordat er minder water nodig is om toch een verwerkbaar beton te krijgen (bijv. met speciale kunststoffen)
VERTRAGER	stelt de bindingstijd uit, sterker beton (bijv. suiker)
VERSNELLER	versnelt de bindingstijd, het beton is sneller hard, maar minder sterk (bijv. calciumchloride)
MINERALE HULPSTOFFEN	verhoogt de werkbaarheid, plasticiteit en sterkte (bijv. vliegias)
PIGMENT	voegt kleur toe (bijv. metaaloxides)

Tabel 3: Hulpstoffen en hun functies.

Duurzaamheid is een erg belangrijke factor. Beton is een betrouwbaar bouw materiaal als het met de juiste stoffen en in de juiste verhouding wordt gemengd. Beton moet daarnaast ook goed onderhouden worden. Beton kan een oneindig lange levensduur hebben, mits onder de juiste condities. Water is een belangrijke stof om het beton te laten harden, maar eenmaal hard kan water er ook voor zorgen dat de sterkte van het beton afneemt. Dit komt omdat water schadelijke chemicaliën in het beton kan laten doordringen.