

GEKLEURD BETON

TECHNOLOGIE | DECEMBER 2016

BB/SfB

		f2	(G5)
--	--	----	------

- LICHT - KLEUREN - PIGMENTEN
- INVLOEDSFACTOREN
- VEROUDERING
- KLEURMETING





's Hertogenmolens, Aarschot (noAarchitecten)

Dat beton niet altijd grijs hoeft te zijn, is welbekend bij ontwerpers, architecten en bouwheren. Spelen met de kleur en textuur van het oppervlak laat toe om een betonnen product of bouwwerk niet alleen voor zijn functionele kenmerken maar ook voor zijn decoratief uiterlijk te waarderen.

Het kleuren van de betonspecie door de toevoeging van pigmenten is dan wel een eenvoudige techniek, toch blijven er vaak heel wat vragen over de manier om een bepaalde kleur of tint te creëren. Er zijn immers nog verschillende andere parameters die het uiteindelijke uitzicht van het beton beïnvloeden. We denken hierbij aan de water-cementfactor van het beton, het gebruikte type cement en zand en ook het mengproces.

Een andere bezorgdheid is de evolutie van het uitzicht van het betonoppervlak doorheen de tijd. Vervuiling en verwerking spelen hierin een belangrijke rol maar de meest gestelde vraag is ongetwijfeld waarom de kleuren soms blijken te vervagen. Noties over lichtweerskaatsing en -diffusie en een microscopisch inzicht in het beton zijn nodig om hierop een antwoord te geven. Deze publicatie zal ingaan op deze diverse aspecten van het in de massa gekleurd beton en zal ook kort de mogelijkheden van kleurmeting en -evaluatie toelichten.

Andere uiterlijke aspecten van beton zoals luchtbellens, grindnesten of variaties in grijs tinten komen hier niet aan bod. Hiervoor wordt verwezen naar andere vakpublicaties over zichtbeton (prNBN B 15-007) en architectonisch beton, o.a. PTV 21-601.

Ook het uitgewassen beton, waarbij niet alleen de eventueel gekleurde mortel, maar ook de granulaten aan het oppervlak het uitzicht bepalen, wordt slechts even aangehaald. Hiervoor wordt onder andere verwezen naar de FEBELCEM publicatie I-3 "Verhardingen in gekleurd uitgewassen beton".

INHOUDSOPGAVE

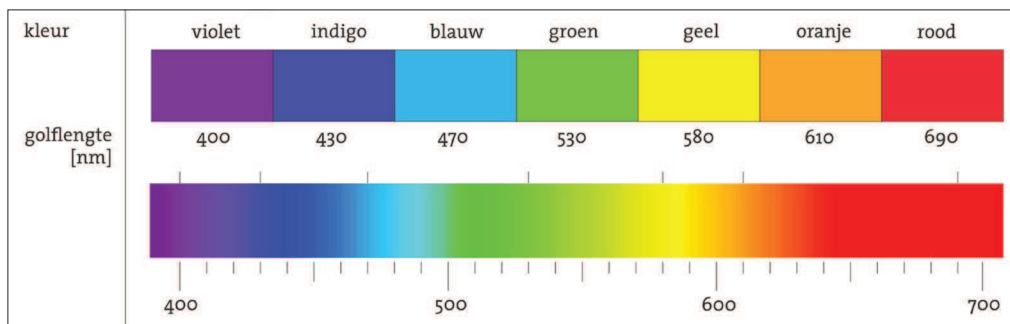
1. Licht en kleur
2. Pigmenten
3. Invloedsfactoren voor gekleurd beton
4. Verouderen van gekleurd beton
5. Invloed van pigment op de betonkwaliteit
6. Voorschrijven en beoordelen van gekleurd beton

1. LICHT EN KLEUR

Licht is een electromagnetische golf die waarneembaar is door het menselijk oog voor golflengtes tussen ongeveer 380 nm en 740 nm. De verschillende golflengten stemmen overeen met verschillende kleuren gaande van violet voor de kortste golflengte tot rood voor de langste. Dit spectrum is beter gekend als de kleuren van de regenboog.

Het kleurenspectrum is echter continu : met elke waarde van een golflengte stemt een kleur overeen.

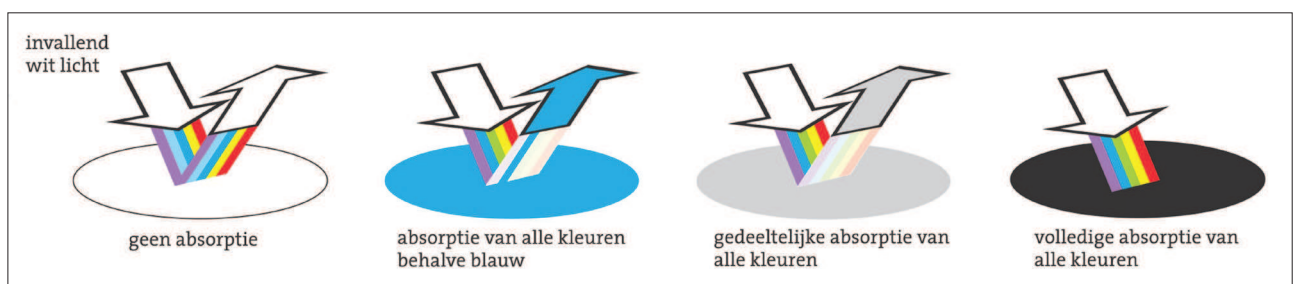
Bovendien zijn er nog kleuren buiten het spectrum die door mengen van twee kleuren (of golflengten) verkregen worden, bijvoorbeeld roze en paarse tinten zoals magenta.



Kleurenspectrum en golflengtes

Wanneer we een gekleurd voorwerp zien, is dat dankzij het licht dat weerkaatst wordt op dat voorwerp. In een donkere omgeving gaan de kleuren vervagen; in volledige duisternis zijn ze niet meer waarneembaar.

De kleur van een oppervlak wordt bepaald door de golflengte van het weerkaatste licht. Een oppervlak dat alle golflengten absorbeert – en dus geen licht weerkaatst – wordt zwart genoemd. Als alle golflengten weerkaatst worden, is het een wit voorwerp.



De waarneming van een gekleurd oppervlak wordt bovendien beïnvloed door de mate waarin het licht erop weerkaatst wordt. Een glad oppervlak zorgt voor een optimale weerkaatsing en bijgevolg een glanzende kleur. In geval van een poreus oppervlak worden de lichtstralen verstrooid en krijgen we een doffere, blekere kleur. Naarmate het licht meer diffuus verstrooid wordt, zal de kleur lichter worden tot zelfs wit. Hiervan kent iedereen volgende voorbeelden: het schuim op een glas bier is wit gekleurd door de verstrooiing van het licht op de poreuze structuur en ook een sneeuwtpijp heeft die witte kleur door de verstrooiing in alle richtingen.

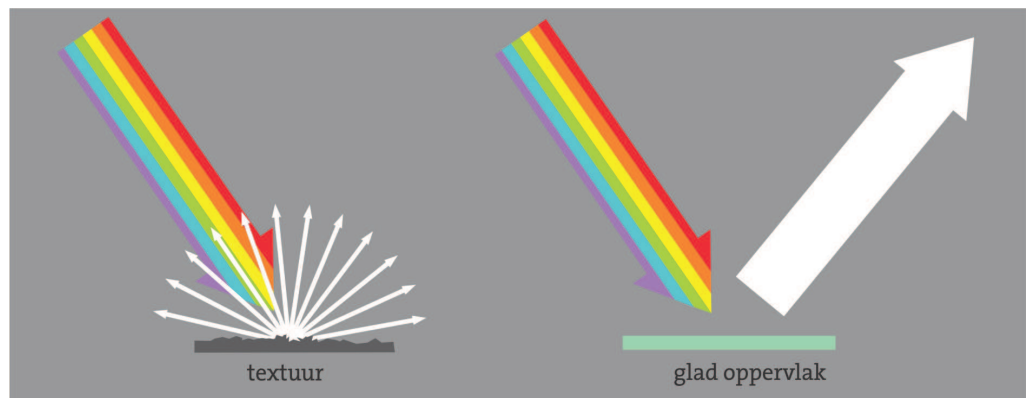
Weerkaatsing en absorptie

*Verstrooiing van
het licht op een
poreus oppervlak*



Ook een glad betonoppervlak zal een meer glanzende kleur hebben dan een oppervlak met een ruwere textuur. De oneffenheden op het oppervlak zorgen voor een verstrooiing van het licht waardoor een blekere kleur wordt waargenomen.

Helderheid en glans



Vergelijking van twee gekleurde oppervlakken van proefstukken vervaardigd met hetzelfde beton. Links een glad en glanzend oppervlak. Het rechtse oppervlak werd met een zurige oplossing behandeld om een ruwere textuur te realiseren. De kleur wordt hierdoor lichter en tevens zijn witte en zwarte vlekjes zichtbaar, afkomstig van de granulaten.

2. PIGMENTEN

Pigmenten bestaan uit bijzonder fijne deeltjes : korrels die ongeveer 1/2000 mm groot zijn (of 0,5 μm of 500 nm), dat is zowat 20 maal fijner dan cementdeeltjes. In tegenstelling tot cement gaat het wel over inerte deeltjes; er vindt m.a.w. geen hydraulische reactie plaats.

De vereiste eigenschappen staan beschreven in de norm NBN EN 12878:2014 'Pigmenten voor het kleuren van bouwmaterialen op basis van cement en/of kalk - Specificaties en beproevingsmethoden'.

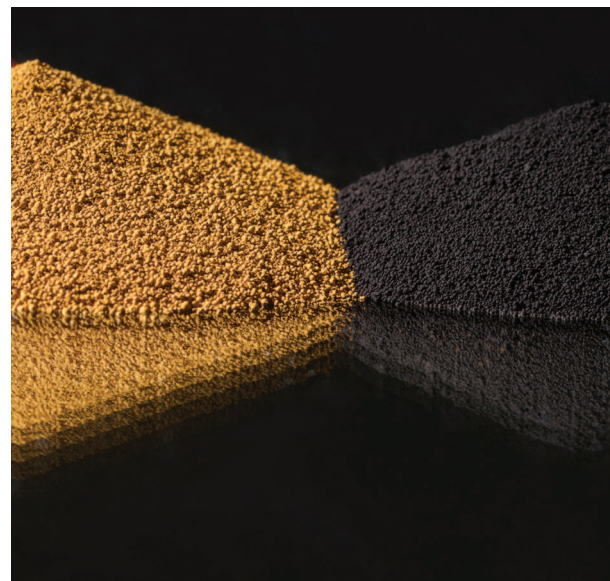
Pigmenten, bestemd voor het kleuren van beton, dienen bestand te zijn tegen alkaliën, tegen licht, in het bijzonder UV-licht, en tegen veroudering. De reproduceerbaarheid van de kleursterkte moet aangetoond worden en de kleur moet in overeenstemming blijven met die van een referentiepigment.

Bovendien moeten de betontechnologische eigenschappen van pigmenten zodanig zijn dat ze de aanvang en het einde van de bindingstijd slechts beperkt beïnvloeden.

In geval van gewapend beton zijn er nog bijkomende eisen.

Kleurstoffen komen voor onder verschillende vormen : als poeder, als korrels, in suspensie en in oplosbare zakjes.

- Poeder is de meest voorkomende en goedkoopste vorm en is in vele kleuren beschikbaar. De absolute densiteit bedraagt ca. 5 kg/dm³. Het nadeel van poeder is het moeizamere mengen en de mogelijke stofontwikkeling.
- Pigment in korrelvorm ("granulaten") wordt verkregen door het samenklonteren van poeder door gebruik van een bindmiddel, meestal een polymeer. Deze vorm wordt hoofdzakelijk toegepast in de prefabbetonsector in combinatie met het gebruik van automatische doseerinstallaties.



*Pigmenten in
poedervorm (links)
en in korrelvorm
(Foto's : Bart
Helincks, Cathay)*

- Ook onder vloeibare vorm (slurry) waarbij het poeder als suspensie optreedt, zijn er veel beschikbare kleuren. Een vloeibare kleurstof is eenvoudig doseerbaar, vergemakkelijkt het mengen en maakt ook mengen in de truckmixer mogelijk. Nadeel is wel dat een pomp met doseerinstallatie noodzakelijk is. Aangezien slechts een fractie van de vloeibare kleurstof uit vaste deeltjes bestaat – dit percentage dient te worden verklaard door de fabrikant - dient de dosering aangepast te worden. Grosso modo kan men stellen dat 1 kg vloeibare kleurstof 600 g poeder bevat, wat wil zeggen dat 1 % poeder overeenstemt met 0,6 % vloeibare kleurstof. Wanneer bij voorbeeld 3 % pigment (vaste stof – poedervorm) gespecificeerd wordt, zou een dosering onder slurryvorm moeten aangepast worden naar $3/0,6 = 5$ %.
- De in water oplosbare zakjes of 'Cold Water Soluble Bags' zijn arbeidsvriendelijk en maken mengen in de truckmixer mogelijk. Het is de meest toegepaste vorm voor stortklaar beton. De hoeveelheid van de zakjes stemt niet altijd overeen met de gewenste dosering in functie van het cementgehalte in het beton. Daarom wordt de dosering best aangepast zodat een geheel aantal zakjes wordt verkregen.

Pigmenten in vloeibare vorm (slurry) en in wateroplosbaar zakje
(Foto's : Bart Helincks, Cathay)



Kleurstoffen kunnen van organische of van minerale (synthetische of natuurlijke) oorsprong zijn. Organische kleurstoffen bevatten koolstofverbindingen en zijn van dierlijke of plantaardige oorsprong. Zij zijn zeer kleurdekkend maar de kleuring is minder stabiel dan met anorganische kleurstoffen en zij kunnen zelfs bij het zeer lage gebruikspercentage dat wordt aanbevolen (maximaal 1 %) tot aanzienlijk verlies van vorstbestendigheid van het beton leiden. De minerale kleurstoffen van natuurlijke oorsprong hebben dan weer minder kleurend vermogen. Toch wordt aanbevolen met minerale (of anorganische) synthetische pigmenten te werken.

De meest gekende en meest toegepaste minerale synthetische kleurstoffen zijn ijzeroxiden :

- Fe_3O_4 – ijzer(II,III)oxide (magnetiet) : grijs tot zwart
- Fe_2O_3 – ijzer(III)oxide (hematiet) : rood
- $\text{FeO}(\text{OH})$ – gehydrateerd ijzeroxide of goethiet : geel

Oranje, beige en bruine kleuren ontstaan door het mengen van deze pigmenten. Voor andere kleuren kan men gebruik maken van synthetische pigmenten op basis van andere metaalverbindingen :

- Cr_2O_3 – chroomoxide : groen
- TiO_2 – titaandioxide : wit
- CoAl_2O_4 – kobaltaluminiumoxide : blauw

Als organische kleurstof voor beton is vooral het zogenoemde 'carbon black' of roet gekend.

Pigmenten zijn relatief dure hulpstoffen en zeker in geval van hoge doseringen kunnen ze een belangrijke impact hebben op de kostprijs van het beton. Rode en zwarte pigmenten zijn doorgaans goedkoper dan de gele en bruine terwijl groen en blauw veruit de duurste zijn.



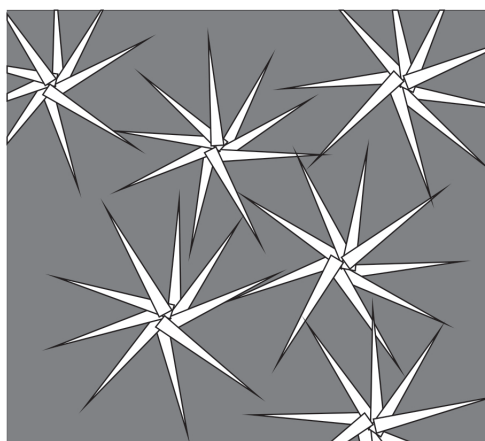
Vers beton met bruinachtige kleur door gebruik van een mengsel van 60 % anthraciet, 20 % geel en 20 % rood pigment.
(Foto : Bart Helincks, Cathay)

Residentieel complex Giardin, Samedan (CH) (arch. Mierta & Kurt Lazzarini, foto Grace)

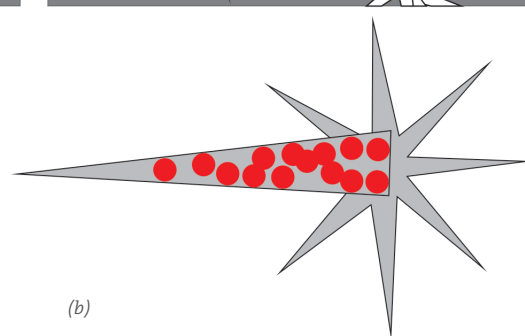
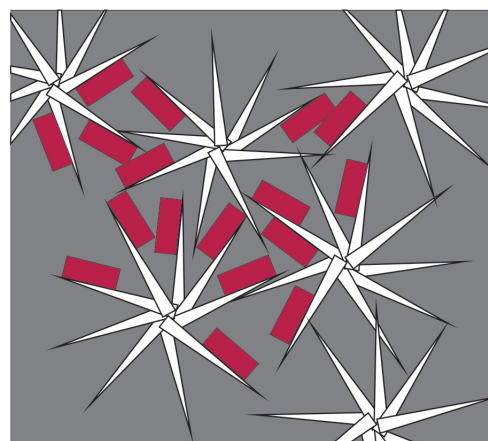


Wanneer cement reageert met water ontstaan er hydratatieproducten. Op microscopisch vlak kunnen deze vereenvoudigd voorgesteld worden als kristalnaalden. De pigmentkorrels, die ongeveer 20 x kleiner zijn dan die van het cement, gaan zich fysisch nestelen tussen die naalden.

Cementrydraten en
kleurpigmenten
(a) fysische nesteling
van pigmentkorrels
tussen kristalnaalden
(b) elektrostatische
binding van
metaaloxiden



(a)

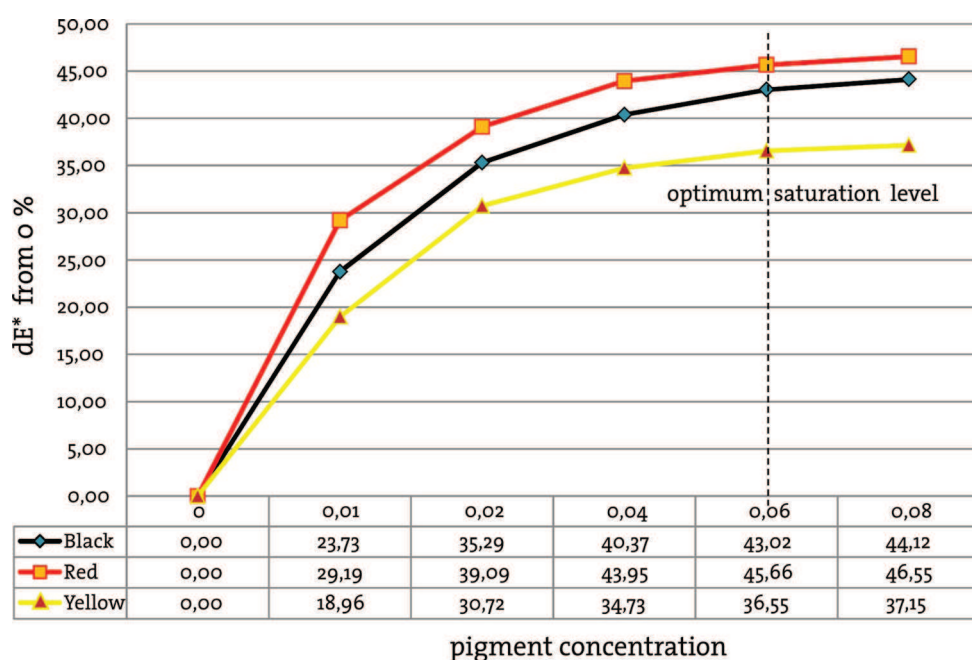


(b)

In het geval van pigmenten op basis van metaaloxiden is er bovendien nog een elektrostatische aantrekking welke zorgt voor een stabiele binding. Die elektrostatische binding is er niet bij carbon black, wat verklaart dat een aanvankelijk intens zwarte kleur in de loop van de tijd volledig kan vervagen. Aangezien de cementrydraten de verstrooiing van het licht bevorderen, speelt de hydratatiegraad van het beton een belangrijke rol in de kleurwaarneming. Meer hydratatie betekent meer kristalnaalden op microscopisch vlak en bijgevolg meer diffusie van het licht en dus een blekere kleur. Deze eigenschap zal ook terugkomen bij het bespreken van de invloedsfactoren en de veroudering van gekleurd beton.

Omdat het pigment geïntegreerd wordt in de matrix van cementsteen, wordt de dosering van pigmenten ook uitgedrukt in percentage van het cementgehalte, of precieser gezegd: in percentage van het bindmiddelgehalte. Voorbeeld : een beton voor een gewapend betonnen constructie-element in een zeeomgeving ES4 (contact met zeewater, getijden- en spatzone) bevat 340 kg/m³ cement. Een pigmentdosering naar rata van 5 % betekent dus 17 kg pigment (droge stof) per m³.

De kleurintensiteit van een betonoppervlak neemt nagenoeg lineair toe met een stijgend gehalte aan pigmenten. Vanaf een bepaald gehalte zal de kleur nog nauwelijks intenser worden en spreekt men van kleurverzadiging. Op microscopisch vlak hebben de pigmenten dan al een volledige dekking bereikt of zelfs verschillende laagjes gelegd op de cementnaalden, zonder dat dit verder een effect heeft op de kleur. Onderstaande figuur geeft de evolutie van de kleurintensiteit in functie van de dosering. Deze curven zijn afhankelijk van het type pigment maar kunnen ook verschillen voor verschillende soorten cement. In de praktijk worden zelden gehalten toegepast van meer dan 5 %.



Invloed van het pigmentgehalte op de kleurintensiteit van het beton
(Figuur: Cathay)



Invloed van de dosering op de kleur van beton
(met wit CEM I, zwarte en rode pigmenten Scholtz, gewassen zand, W/C= 0,45)
Links : 2 %
Midden : 6 % -
Rechts : 10 %
(Foto : Betoniek 16/12)

3. INVLOEDSFACTOREN VOOR GEKLEURD BETON

De uiteindelijke kleur van een betonoppervlak hangt niet alleen af van het gebruikte pigment maar ook van de verschillende samenstellende bestanddelen en van de verwerkingsmethodes van het beton. Om een constante kleur te creëren is het daarom van belang om altijd met dezelfde grondstoffen en dezelfde samenstelling te werken alsook om het uitvoeringsproces te standaardiseren. Hierna wordt kort toegelicht in welke mate de verschillende factoren een invloed hebben op het uiterlijk van het beton.

*Mechelen – Veemarkt
(Arch. Secchi-Vigano –
uitvoering 2003-2005) :
meestal wordt een
uniforme betonkleur
verwacht als resultaat.
In dit project kozen
de architecten echter
voor een variatie in
kleurintensiteit. Dit werd
bereikt door wisselende
gehaltes aan kleurstof
te doseren voor de
achtereenvolgende
ladingen stortklaar
beton.*



3.1 BESTANDDELEN

• WATER-CEMENTFACTOR

Een hogere W/C -factor zorgt voor meer poriën in het betonoppervlak en op microsocpisch vlak voor een hogere ontwikkeling van de cementnaalden. Het licht zal dan meer verstrooid worden en het betonoppervlak wordt bleker. Omgekeerd zorgt minder water in het beton voor een donkerder oppervlak.

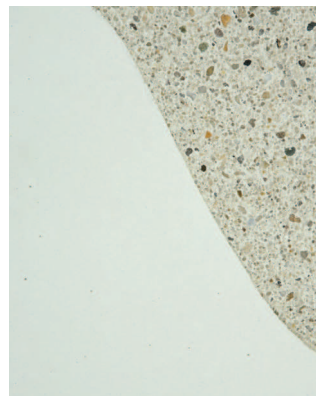
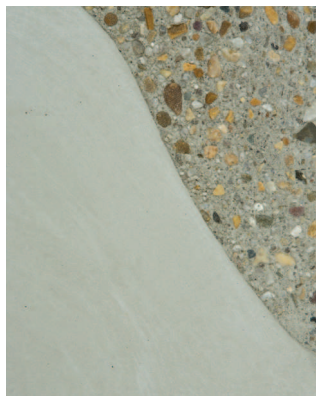
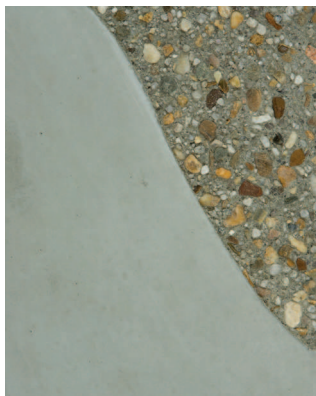
*Invloed van de water-
cementfactor op de
kleur van beton (stalen
vervaardigd met mortel
op basis van CEM III/B) :
Links : $W/C=0,6$
Rechts : $W/C=0,3$
(Foto : Betoniek 16/12)*



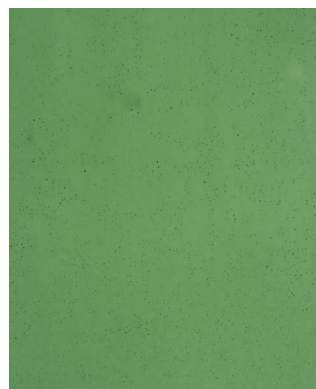
- TYPE CEMENT

Omdat een menging met grijs de andere kleuren afzwakt in intensiteit, kunnen intensere kleuren verkregen worden door gebruik van een wit cement. Uiteraard is dat het geval voor een wit beton maar ook voor de lichte kleuren zoals geel en groen is de invloed vrij groot. Voor zwart is het effect dan weer beperkt.

Ook onder de grijze cementen bestaan er bepaalde verschillen. Hoogovencement CEM III is lichter dan portlandcement CEM I omwille van de toevoeging van de licht gekleurde hoogovenslakken bij de meer donkere portlandklinker. De kleur wordt dan ook lichter bij toenemend slakgehalte (CEM III/C is lichter dan CEM III/B die op zijn beurt lichter is dan CEM III/A.) Daarenboven kunnen de maalfijnheid en de afkomst van het cement nog een rol spelen.



Invloed van de cementsoort op de kleur van beton
 Links : CEM I grijs
 Midden : CEM III/B en 30 % CEM I grijs
 Rechts : CEM I wit
 (Foto's : Betoniek 16/12)



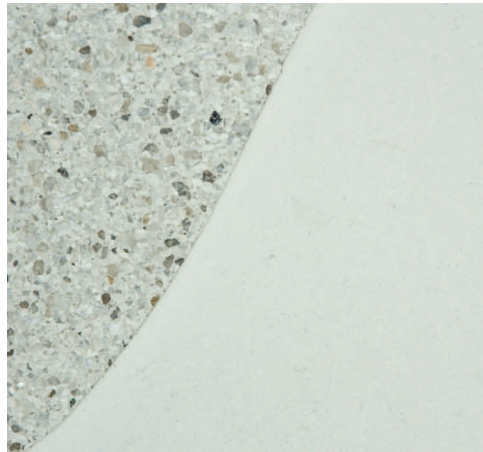
Invloed van de cementsoort op de kleur van beton (6 % pigment)
 Links : CEM I grijs
 Rechts : CEM I wit
 (Foto's : Betoniek 16/12)



• TYPE ZAND

Voor de fijnere deeltjes uit de zandfractie, tussen 0 en 0,250 mm, zijn mee bepalend voor de kleur van het beton. Hoewel in de eerste plaats de betontechnologische eigenschappen van het zand van belang zijn, kan toch in zekere mate een zand worden gekozen dat aansluit bij de kleur van het beton. Voor een donker beton kan (gedeeltelijk) een donker breekzand van kalksteen of basalt gebruikt worden; voor een licht beton (gedeeltelijk) een wit kwartzand (bijvoorbeeld zand van Lommel of Mol). Een geel maaszand kan de mortel een beige tint geven. Net als bij de cementkeuze is voor lichte kleuren de invloed van het zand meer bepalend dan voor de donkere kleuren.

*Invloed van het zand
op de kleur van beton
Links : gewassen
rivierzand
Rechts : ongewassen
slibrijk rivierzand
(Foto's : Betoniek 16/12)*



• HULPSTOFFEN

Hulpstoffen worden slechts in kleine hoeveelheden toegepast en hebben daarom weinig tot geen invloed, maar niettemin kunnen bijvoorbeeld sommige bruine vloeistoffen (superplastificeerder op basis van naftaleen) de kleur beïnvloeden.

Een ander bijzonder geval is de wisselwerking die kan voorkomen tussen een superplastificeerder van het type PCE (polycarboxylaate ether) en zwart ijzeroxide.

*Invloed van de hulpstof
op de kleur van beton
(met wit CEM I,
wit zand, W/C= 0,40)
Links : transparante
hulpstof (PCE)
Rechts : bruine
hulpstof (naftaleen)
(Foto : Betoniek 16/12)*



- GEBRUIK VAN TOEVOEGSELS

Omwille van de fijnheid (korrels < 0,125 mm) zullen toevoegsels een invloed hebben op de kleur. Kalksteenmeel en gemalen hoogovenslakken zijn licht van kleur terwijl poederkoolvliegass, door het aandeel zwarte koolstof, donker is en het oppervlak dus ook donkerder zal kleuren, soms met de verschijning van zwarte vlekken. Deze toevoegsels worden vaak gebruikt in zelfverdichtend zichtbeton waar het uitzicht en de kleur een belangrijke rol spelen.



*Invloed van toevoegsels
op de kleur van beton
(met wit CEM I,
wit zand, W/C = 0,45)
Links : kalksteenfiller
Rechts : poederkool-
vliegass
(Foto : Betoniek 16/12)*

3.2 PRODUCTIE EN VERWERKING VAN HET BETON

- MENGEN VAN HET BETON

Het is aanbevolen om de pigmenten samen met het zand en steenslag te doseren en minstens 15 seconden voor te mengen alvorens cement en water toe te voegen. Er moet voldoende lang gemengd worden – 1,5 à 2 minuten na dosering van het water – om een homogene kleuring te realiseren. De gedoseerde hoeveelheid pigment en dus ook de verhouding pigment/cement moet zo constant mogelijk zijn, zeker bij lage doseringen, om kleurvariaties te vermijden. Een dosering in massadelen is verplicht. In geval van stortklaar beton gebeurt de menging van het pigment (poedervorm, wateroplosbare zakjes of slurry) meestal in de truckmixer. Een mengtijd van ca. 20 minuten is dan noodzakelijk voor een homogene verdeling van het pigment in de verse betonspecie.

- NABEHANDELING

Sommige nabehandelingsproducten (curing compound) hebben een geelachtige kleur en blijven zichtbaar achter op het betonoppervlak. Dit valt des te meer op wanneer het product ongelijkmatig werd aangebracht. Deze kleurschakeringen verdwijnen met de tijd.

*Bruine vlekken
door een teveel aan
ontkistingsolie
(Foto : Betoniek 16/12)*

- ONTKISTINGSOLIE

Net als het nabehandelingsproduct kan ook een ontkistingsolie tijdelijke of blijvende sporen nalaten op het betonoppervlak. Het type en de hoeveelheid ontkistingsolie, alsook de homogeniteit van aanbrengen, hebben een invloed op de oppervlakstructuur en dus op de lichtverstrooiing.



- BEKISTING

Ook de bekistingspanelen beïnvloeden door hun ruwheid, absorptie en zuiverheid de kwaliteit van het betonoppervlak na ontkisting en bijgevolg ook de kleurintensiteit. Een absorberende en/of ruwe bekisting levert een bleker oppervlak op.

- DROGING EN UITHARDING VAN HET BETON

Wanneer het betonoppervlak uitdroogt, ontstaat een minder dichte poriestructuur aan het oppervlak en zal het licht meer verstrooid worden. De kleur wordt daarom bleker.

Ook de uithardingstemperatuur heeft enige invloed. Een hogere hydratatietemperatuur leidt tot meer ontwikkeling van cementsteen; meer naalden dus op microscopisch niveau en ook meer verstrooiing van het licht en bijgevolg ook een blekere kleur van het oppervlak. Betonvlakken met dezelfde gewenste kleur dienen daarom ook na dezelfde tijd ontkist te worden.

- BEWERKING VAN HET BETONOPPERVLAK

Een oppervlakafwerking, onmiddellijk na het storten van het beton of na uitharding, zal ook vaak een impact hebben op de kleurperceptie. Een gebezemd oppervlak is ruwer dan een glad gepolierd oppervlak en zal hierdoor minder glans vertonen. Bij een uitgewassen oppervlak bepalen de zichtbaar gemaakte stenen aan het oppervlak mee het uitzicht.

Wanneer een verhard betonoppervlak gepolijst wordt, door het afschuren van enkele millimeters van het oppervlak, zal de kleur intenser worden naarmate er met een fijnere korrel gepolijst wordt. Bewerkingen zoals stralen of bouchardereren maken het oppervlak dan weer ruwer met blekere kleur. De lokale variaties in porositeit en textuur zorgen voor verschillende kleuren of grijs tinten. Anderzijds zorgt de macrotextuur ervoor dat kleurvariaties minder opvallen.

- VOCHTIGHEID

Een nat betonoppervlak lijkt meer op een glad, dicht oppervlak en heeft een donkerdere, intensere kleur dan hetzelfde droog oppervlak. Dit komt omdat de waterdruppels, die de cementsteen en pigmenten omhullen, zorgen voor een verminderde verstrooiing van het licht en een hogere weerkaatsing.

4. VEROUDEREN VAN GEKLEURD BETON

De kleur van een betonoppervlak is onderhevig aan de gebruiksomstandigheden en de natuurlijke omgeving waaraan het oppervlak is blootgesteld. Voor een behoud van de kleur in de tijd dient hiemee bij het ontwerp rekening te worden gehouden. Ook kan een bescherming van het oppervlak worden voorzien, bij voorbeeld door het aanbrengen van een hydrofobeer-impregneermiddel.

• VERVUILING EN VERWERING VAN HET BETONOPPERVLAK

Onder invloed van het weer, de omgevingsomstandigheden (zeeomgeving, bosomgeving, uitlaatgassen,...) en/of externe belasting (verkeersbelasting, dooizouten, golfslag...) kan er een verandering van kleur optreden over de tijd. Hierbij denken we aan vervuiling door de groene aanslag van mos of algen, zwarte sporen van banden van voertuigen, afzetting van stof en kleideeltjes, sporen van waterlekken enz.

Verwerking heeft tot gevolg dat, vooral bij ontkiste of glad afgewerkte betonoppervlakken, de cementsteen van de buitenste mortellaag gaat verdwijnen zodat de grove deeltjes van het zand of de steenslag zichtbaar worden aan het oppervlak. Wanneer mortel en stenen dezelfde kleur hebben, valt dit minder op dan in geval van contrasterende kleuren. Aantasting door vorst-dooicycli en dooizouten resulteert ook in een ruwer oppervlak, met een minder intense kleur, en mogelijk het zichtbaar worden van granulaten.



*Vervuild betonoppervlak
van een fietspad*

• KALKUITSLAG

Deze afzetting van kalk manifesteert zich als witte vlekken, een witte waas, poeder of soms zelfs witte korsten op het betonoppervlak. Het kan zich voordoen omdat beton een poreuze microstructuur heeft die intern vochttransport mogelijk maakt. Het komt zowel voor op horizontale als op verticale vlakken en manifesteert zich op relatief korte termijn.

Pigmenten zijn inert en hebben dus verder geen invloed op het fenomeen van kalkuitslag. Wel zijn de witte vlekken veel storender op gekleurde betonoppervlakken, in het bijzonder op zwart beton. Als de kalkuitslag zich voordoet als een witte waas, heeft het oppervlak een bleker uitzicht dan gewenst. Kalkuitslag heeft verder geen invloed op de mechanische sterkte of de duurzaamheid van het beton.

*Kalkuitslag op
zwarte geprefabriceerde
betontegels*



Het fenomeen van kalkuitslag kan grotendeels soms vermeden worden door een goed gesloten beton te maken (lage w/c-factor, goede verdichting en nabehandeling). Het is van belang om het pas gestorte beton of de ontkiste producten af te screenen van regen en sneeuw. Als het zich toch voordoet, is in sommige gevallen reiniging met een zurige wateroplossing (HCl, 1 à 3 %) mogelijk.

- CHEMISCHE OF FYSISCH REACTIES VAN DE PIGMENTEN

Anorganische pigmenten op basis van ijzeroxiden ondergaan geen chemische of fysische veranderingen tijdens de aanmaak van het beton, tijdens de uithardingsfase of erna. Ze zijn stabiel en blijven onlosmakelijk verbonden met het bindmiddel in het beton. De norm NBN EN 12878 biedt de mogelijkheid deze kenmerken te preciseren.

Voor organische pigmenten is dat echter niet altijd het geval. Het zwarte pigment “carbon black” of roet is niet stabiel en verliest dus aan kleurintensiteit in de tijd.

Ultramarijnblauw, een kleurstof op basis van een natuurlijk mineraal, kan met cement reageren; de natriumionen van het pigment worden vervangen door calciumionen van het cement met verlies van kleursterkte tot gevolg.

- VERDERZETTING VAN DE CEMENTHYDRATATIE

In tegenstelling tot het pigment ondergaat het bindmiddel – cement, eventueel in combinatie met toevoegsels – uiteraard wel veranderingen. Zoals eerder vermeld gaat dit op microscopisch vlak gepaard met de verdere vorming van cementhydraten in de cementsteen, die zorgen voor een verstrooiing van het licht en bijgevolg een bleker betonoppervlak. Aangezien de cementhydratatie zich nog verderzet in de loop van de tijd, zeker gedurende de eerste maanden na storten of fabricatie van het betonproduct, zal ook de vorming van die hydraten nog verder toenemen. Dit is meer het geval bij tragere cementen, bijvoorbeeld hoogovencementen CEM III, dan bij de snellere portlandcementen CEM I. Het gevolg is dan ook dat de kleur kan verbleken in vergelijking met het ogenblik na storten of fabricatie. Dit effect is meer uitgesproken voor donker gekleurde objecten dan voor lichte.

- INVLOED VAN HOOGOVENCEMENT

Bij het gebruik van hoogovencement gebeurt het dat er kort na aanleg/productie donkere (blauw/groene) vlekken ontstaan. Dit is te wijten aan een reactie van de hoogovenslakken waarbij ijzer-sulfide (FeS) en mangaansulfide (MnS) ontstaan. Die sulfiden hebben een blauw/groene kleur. In contact met de lucht worden de sulfiden omgezet tot sulfaten (FeSO_4 en MnSO_4), die geen blauw/groene kleur meer hebben. Dat verklaart waarom het beton in contact met de lucht die blauw/groene kleur verliest om een beton te worden van de gewenste kleur.



*Blauw/groene vlekken op een okerleurige buitenverharding
(Foto's : Bart Helincks, Cathay)*



*Dezelfde verharding na verdwijnen van de vlekken
(Foto's : Bart Helincks, Cathay)*

5. INVLOED VAN PIGMENT OP DE BETONKWALITEIT

Er is al aangehaald dat pigmenten inert zijn en dus geen chemische of fysische wijziging ondergaan in het beton en de sterkte van het beton dus ook niet op rechtstreekse wijze gaan verhogen of verlagen.

Maar pigmenten zijn wel heel fijne poeders met een erg hoge waterbehoefte waardoor de verwerkbaarheid van het beton verlaagt. De betonproducent dient hiermee rekening te houden door een aangepaste betonsamenstelling. Bovendien kan de verwerkbaarheid van een gepigmenteerd beton sneller teruglopen, wat de indruk kan geven dat er een versnelde binding plaatsvindt. Water toevoegen om de verwerkbaarheid te verhogen komt de duurzaamheid niet ten goede en is bovendien niet toegelaten voor gecertificeerde betonsamenstellingen. Daarom is het aangeraden om het pigmentgehalte beperkt te houden tot maximaal 5 % van de cementmassa.

Wanneer pigmenten gebruikt worden zonder dat het watergehalte wordt aangepast – eventueel door het gebruik van een (super) plastificeerder - kan men zelfs komen tot een compacter, sterker en duurzamer beton. Dit is gebleken uit proeven op wegenbeton waarbij de weerstand getest werd tegen afschilfering bij vorst-dooicycli in aanwezigheid van dooizouten. De pigmenten vullen dan de poriën in het beton met een verminderde interne transportcapaciteit voor agressieve stoffen.

In geval van een beton met luchtbelvormer is het mogelijk dat, in aanwezigheid van de fijne pigmentdeeltjes, een hogere dosis luchtbelvormer moet gedoseerd worden om hetzelfde beoogde luchtgehalte te bereiken.



6. VOORSCHRIJVEN EN BEOORDELEN VAN GEKLEURD BETON

Het is erg moeilijk om een gewenste kleur van het beton ondubbelzinnig te beschrijven en het is al even complex om na uitvoering een objectief oordeel te vormen over het resultaat. Een kleuromschrijving met woorden zoals “donkerrood”, “okerbruin” of “blauwgroen” kan misschien een eerste indicatie geven maar kan onmogelijk uitsluitel geven over het preciese gewenste resultaat en kan dus aanleiding geven tot discussies.

Het voorschrijven van een bepaald percentage kleurstof voor een bepaalde kleur is een andere mogelijkheid maar ook die kan, omwille van de verschillen in kleursterkte tussen verschillende pigmenten, leiden tot afwijkende resultaten. Bovendien wordt er dan ook geen rekening gehouden met andere invloedsfactoren van de betonsamenstelling. Een betere oplossing kan erin bestaan

om tijdens de studie- en ontwerpfase al een gekleurd betonnen proefstuk aan te maken dat voldoet aan de wensen van de architect en/of bouwheer en dat als referentie kan dienen tijdens de aanbestedings- en uitvoeringsfase. Dit proefstuk moet voldoende groot zijn - bij voorbeeld 1m² - om de kleur op objectieve wijze te kunnen beoordelen en het moet vervaardigd worden op een gelijkaardige wijze (betonsamenstelling, verdichting, bekisting, ...) als later op de werf. In combinatie met een beschrijving van de kleur en met een indicatief pigmentgehalte moet dit aan de inschrijver toelaten om een correcte prijs te bepalen voor de betonsamenstelling en aan de uitvoerder om de referentiekleur zo goed als mogelijk te benaderen. In bepaalde gevallen is het zelfs aangewezen een volledig bouwelement in gekleurd beton te storten als referentie.



Soms wordt verwezen naar een kleurcatalogus of kleurkaart zoals bijvoorbeeld het RAL-systeem (*Reichsausschuß für Lieferbedingungen*), dat in 1927 werd ontwikkeld door het Duitse Instituut voor Kwaliteitsborging en Certificering, en bedoeld is om kleuren voor verven en coatings te definiëren. Het is dus zeker een goed idee om deze kleurcode



te gebruiken voor betonoppervlakken. Hoogstens kan het in bepaalde gevallen, net zoals een omschrijving met woorden, een indicatie aangeven van wat men wenst te bereiken. Hetzelfde geldt overigens voor andere systemen van kleurkaarten zoals bijvoorbeeld het Pantonesysteem voor textiel en drukwerken.

*Herstal – Pôle Marexhe
(Arch. MULTIPLE) :
Links : proefstuk op de
werf op ware grootte.
Rechts : stationsgebouw
na voltooiing
(Foto : Filip Dujardin)*

Een andere aanpak is de definitie van een kleur aan de hand van kleurcoördinaten. Het Hunter Lab systeem, ontwikkeld in 1957, biedt de mogelijkheid een kleur te beschrijven aan de hand van drie coördinaten :

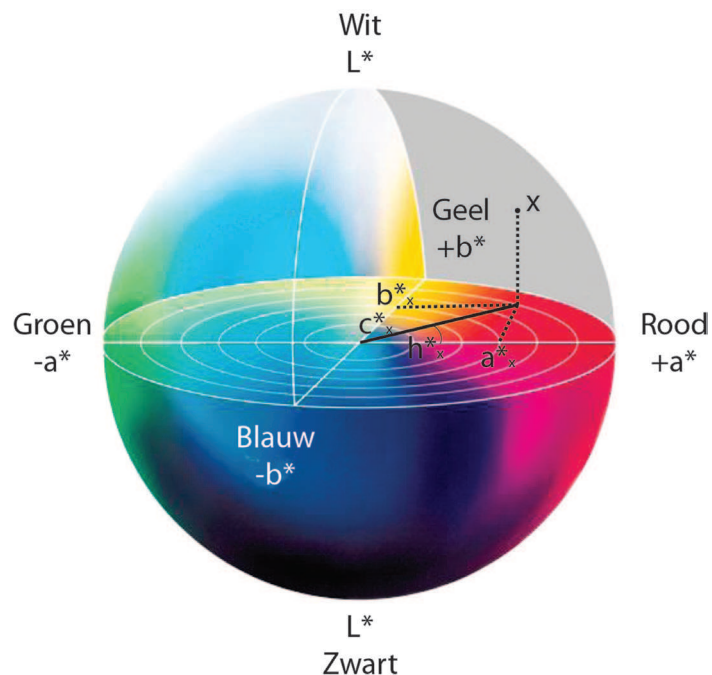
- hetzij L a b met L= helderheid, a= aandeel rood-groen, b= aandeel geel-blauw;
- hetzij L c h met L= helderheid, c= verzadiging, h= kleurtint.

In 1976 verscheen het verbeterde CIELAB-systeem (CIE = Commission Internationale de l'Eclairage) dat gebruik maakt van de coördinaten $L^*a^*b^*$. Het sterretje is belangrijk omdat voor een bepaalde kleur de waarden van deze coördinaten sterk afwijken van die uit het eerste stelsel zonder sterretje.

De helderheid L^* van de kleur varieert tussen 0 (zwart) en 100 (wit).

De chroma of kleur wordt weergegeven door a^* en b^* ; $+a^*$ is de rode en $-a^*$ de groene richting ; $+b^*$ is de gele en $-b^*$ de blauwe richting. Er zijn geen grenzen vastgelegd voor a^* en b^* maar algemeen kan aangenomen worden dat ze variëren tussen -100 en +100.

$L^*a^*b^*$ -kleurenruimte
(Foto : OCW – Ref. 7)



Om een kleurverschil te bepalen tussen een staal en een referentiekleur kan in de kleurenruimte de volgende formule gebruikt worden :

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

De formule drukt de afstand uit tussen twee punten in de $L^*a^*b^*$ -kleurenruimte. Helaas stemt die gekwantificeerde afstand niet altijd overeen met het kleurverschil dat door het menselijk oog wordt waargenomen. M.a.w. kan eenzelfde waarde van ΔE^* voor een bepaalde kleur slechts minimaal waarneembaar zijn terwijl voor een andere kleur een grote kleurafwijking wordt waargenomen. Dit heeft onder andere te maken met de niet uniforme verdeling van de kleuren in de kleurenruimte. De formule moet daarom gecorrigeerd worden indien men ze wil gebruiken voor de bepaling van toelaatbare kleurverschillen in een overeenkomst.

Kleurmetingen worden uitgevoerd met een zogenoemde spectrofotometer. Dit toestel werkt zoals het menselijk oog. Een object wordt belicht door een ingebouwde lichtbron; de weerkaatste straling wordt door het toestel geanalyseerd met als resultaat de drie kleurcoördinaten $L^*a^*b^*$. Het resultaat is afhankelijk van diverse parameters zoals de gebruikte lichtbron en de gezichtshoek waaronder gemeten wordt.



Voorbeeld van een spectrofotometer

Zowel het WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf) als het OCW (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw) hebben onderzoek uitgevoerd naar de verschillende meettechnieken en de interpretatie ervan. Tot op heden is er echter nog geen gestandaardiseerde meet- en beoordelingsmethode beschikbaar voor gekleurde betonoppervlakken.



Openbaar gebouw in Ruschlikon, CH
(foto: Grace Construction & Packaging)



Gebouw Origin in Den Haag,
(Beekink en Molenaar architecten)

GEKLEURD BETON VOOR BUITENVERHARDINGEN GEREALISEERD IN TER PLAATSE GESTORT BETON OF MET PREFAB PRODUCTEN

Voor de aanleg van (weg)verhardingen wordt vaak gekleurd beton gebruikt, soms voor functionele, soms voor louter esthetische redenen. Het functionele doel is meestal het verhogen van de “leesbaarheid” van de weg om tot een veiligere verkeerssituatie te komen. De gekleurde fietspaden zijn hiervan het best gekende voorbeeld. De decoratieve betonverhardingen worden o.a. toegepast voor de inrichting van publieke ruimten. Gekleurde verhardingen kunnen zowel met stortbeton als met prefab elementen gerealiseerd worden.

Om veiligheidsredenen dient het oppervlak van een buitenverharding een zekere

stroefheid te hebben. Een glad afgewerkt oppervlak kan immers leiden tot uitglijdende voetgangers en fietsers of tot te lange remafstanden voor gemotoriseerd verkeer. Dat betekent dus ook dat een glanzende kleur niet haalbaar is.

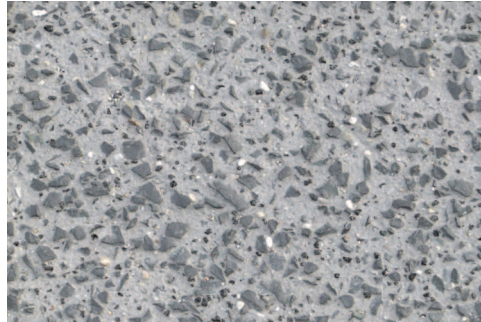
De meest voorkomende oppervlakafwerkingen voor ter plaatse gestort beton zijn het bezemen, in dwarse of langse richting, en het chemisch uitwassen. Bezemen wordt o.a. toegepast voor fietspaden, lokale wegen en landbouwwegen. In dat geval is aan het oppervlak alleen gekleurde mortel zichtbaar en geen stenen. De kleur van de mortel bepaalt dan ook helemaal het uitzicht.

*Links :
oppervlakafwerking
door dwars bezemen
van een rood
gekleurd fietspad
Rechts: okerkleurig
fietspad met dwars
gebezemd oppervlak
te Leuven*



In het geval van uitgewassen beton worden aan het oppervlak niet alleen de mortel maar ook de steentjes zichtbaar. Mortel en (gekleurde) stenen kunnen onderling kleurondersteunend zijn of contrasterend. Vaak is het interessanter om de kleur van

een verharding te bereiken door de juiste gekleurde stenen in voldoende aantal aan het oppervlak bloot te leggen, aangevuld met het gebruik van kleurstoffen in het beton om een gekleurde mortel te verkrijgen.



Voorbeeld van een kruispunt in zwart uitgewassen beton te Tremelo. De zwarte kleur ontstaat hoofdzakelijk door het gebruik van zwarte steenslag, namelijk basalt aangevuld met een kleine fractie glanskies (donkerzwart gekleurde aluminiumsilicaatslak). De anthraciet mortel werd gerealiseerd door toevoeging van 4 % zwarte kleurstof in het beton.

Betonstraatstenen zijn verkrijgbaar in een rijk gamma aan kleuren en verschillende types oppervlakafwerking (uitgewassen, gestraald, gehamerd,...). Ze worden in een fabriek vervaardigd door een aardvochtig beton met zeer hoge energie te verdichten in een mal. Ze worden kleurvast genoemd indien ze in twee lagen worden gefabriceerd met bovenaan een deklaag van 4 à 10 mm dik met een relatief hoog cement- en pigmentgehalte en met kleurondersteunende granulaten.



Gebruik van gekleurde betonstraatstenen voor het scheiden van de verkeersfuncties of voor decoratieve reden.

Ook (mega)tegels en prefab betonplaten in gekleurd beton zijn populair voor de inrichting van publieke ruimten zoals pleinen en voetgangerszones.



Pleinverharding te Redu met zwarte prefab betonplaten met gezuurde afwerking in combinatie met witte betonbanden.



T-6

Dit bulletin is een publicatie van :
FEBELCEM
Federatie van de Belgische Cementnijverheid
Vorstlaan 68 - 1170 Brussel
tel. 02 645 52 11 - fax 02 640 06 70
www.febelcem.be
info@febelcem.be

Auteur :
ir. L. Rens, FEBELCEM

Foto's :
FEBELCEM tenzij anders vermeld

Wettelijk depot :
D/2016/0280/07

V.u. :
A. Jasienski

infobeton.be

BIBLIOGRAFIE

1. Gekleurd beton, BETONIEK, Vereniging Nederlandse Cementindustrie, 's Hertogenbosch, februari 1990
2. De kleur van beton, BETONIEK, Band 16, uitgave 12, Aeneas Media, 2015
3. GEORGE M. (Cathay Industries), Sources of colour variation
4. KOHNERT L. (Lanxess), Basic rules for achieving optimal results when colouring building materials. Artikel in CPI – Concrete Plant International, uitgave 5, 2014
5. LUDWIG M. (Ludwig GmbH); WEBER P. (Scholz GmbH), How does water affect the brightness of the concrete surface, in: CPI Concrete Plant International, uitgave 6, 2012
6. NBN EN 12878:2014 - Pigmenten voor het kleuren van bouwmaterialen op basis van cement en/of kalk – Specificaties en beproevingsmethoden
7. Meetmethode voor het meten van de kleur van gekleurde bitumineuze verhardingen – Bepaling aan asfaltkernen OCW, MN90/15, Brussel, 2015
8. VEIT A.M. (Huntsman), Suggestions for improving colored concrete products, 2015
9. WEBER P. (Scholz GmbH), Fading concrete block surfaces, in: CPI Concrete Plant International, uitgave 6, 2015
10. WEBER P. (Scholz GmbH), Verblassende Betonsteinoberfläche, presentatie op de 58e 'Betontage' te Ulm, 2014
11. Kleurmetingen op afwerkingsmaterialen, in: WTCB-Contact 2014/4
12. Naar een objectievere beoordeling van kleuren en de toelaatbare afwijkingen, in: WTCB-Contact 2015/3

