



BETON & LICHT

JOKE WELTENS

Copyright 2009

Provinciale Hogeschool Limburg
Department Architectuur & Beeldende Kunst
Universitaire Campus gebouw E
3590 Diepenbeek
Academiejaar 2008-2009
Seminarie Bouwtechnisch Concept

Beton & Licht

Joke Weltens

Promotor: Maria Leus

DANKWOORD

Ik zou deze scriptie willen beginnen met een woord van dank. Een scriptie schrijven vergt veel tijd en werk. Het schrijven ervan doe je zelf, maar dit zou niet lukken zonder de hulp en aanmoediging van enkele mensen. Vooreerst wil ik mijn promotor Mevr. Leus bedanken voor haar wijze raad en hulp. Zij wist me altijd te motiveren en in de juiste richting te sturen. Dank ook aan alle architecten en bedrijfsverantwoordelijken die me geholpen hebben aan de nodige informatie. In het bijzonder wil ik M. Verbrugh van Philips Lighting bedanken voor het beantwoorden van alle vragen. Zo ook wil ik M. Pingen en M. Heugen van Geelen Beton en M. Timmermans van de Technische Universiteit Eindhoven bedanken voor hun tijd en hulp. M. Delveaux van Febelcem wil ik ook bedanken voor alle documenten. M. Lövenstein van de firma Lövenstein heeft de tijd genomen om mijn vragen te beantwoorden, waarvoor dank. Een woord van dank aan Bert Vandael, die zijn onderzoek graag aan mij ter beschikking heeft gesteld. Ook dank aan M. Rega voor het lezen van mijn thesis. Tenslotte nog een laatste woord van dank voor mijn familie, vrienden en mijn vriend voor de nodige aanmoediging en hulp.

INHOUDSTABEL

INLEIDING

1. BETON EN LICHT	16
1.1 Beton	16
1.1.1 Algemeen	16
1.1.2 Samenstelling	16
1.1.3 De sterkte van beton	17
1.1.4 Thermische eigenschappen	17
1.1.5 Korrelgrootte	18
1.1.6 Budgetvriendelijk	18
1.2 Licht	19
1.2.1 Licht en waarneming	19
1.2.2 Licht en architectuur	19
1.2.3 Licht – wetenschappelijk benaderd	19
2. LICHTDOORLATEND BETON	24
2.1 Translucent beton: X-ray architecture	25
2.1.1 Idee	25
2.1.2 Eerste stappen	25
2.1.3 Technische eigenschappen	26
2.1.4 Toepassingen	27
2.1.5 Betekenis	28
2.2 Lichtdoorlatend beton o.b.v. glasvezels (Litracon™)	29
2.2.1 Idee	29
2.2.2 Werking	29
2.2.3 Fabricage	31
2.2.4 Uitzicht	32
2.2.5 De glasvezels	32
2.2.6 Technische eigenschappen	33
2.2.7 Prijs	33
2.2.8 Toepassingen	33
2.3 Lichtdoorlatend beton o.b.v. kunststofvezels (Luccon)	36
2.3.1 Idee	36
2.3.2 Werking	36
2.3.3 Technische eigenschappen	36
2.3.4 Toepassingen	37
Luccon Veneer	37
Luccotherm	37
2.3.5 Reiniging en onderhoud Andreas	38
2.4 Doorschijnende betonblokken	40
2.4.1 Andreas Bittis versus Litracon	40
2.4.2 Werking	40
2.4.3 Technische eigenschappen	41
2.5 Vergelijkende studie	42
2.6 Besluit	43
3. EXPERIMENTEEL ONDERZOEK: CONCEPTUEEL	48
3.1 Light, the giver of all presences	48
3.2 Besluit	52
3.3 Concrete Lightfall, Blitz beton atelier 2003	53
3.3.1 Introductie	53
3.3.2 Thema 'Lichtinval'	53

3.3.3	De concepten	54
	Structure	55
	Control of Light	56
	3 types of light	58
	Curved concrete	60
	Reproduce light	62
4.	EXPERIMENTELE ONDERZOEKEN: MATERIAALTECHNISCH	68
4.1	Introductie	68
4.2	Led-integratie	70
	4.2.1 LED-verlichting	70
	Werking	70
	Lichtbron	71
	4.2.2 Geïntegreerde lichtbron – zichtbare LED's	71
	4.2.3 Geïntegreerde lichtbron – onzichtbare LED's	75
	4.2.4 Afzonderlijke lichtbron – onzichtbare LED's	76
4.3	Transparante kunststofstaven	77
	4.3.1 Transparante kunststofstaven	78
4.4	Totaalbeton	79
	4.4.1 Kunststofplaat	79
	4.4.2 Wapening	80
	4.4.3 Klei	80
	4.4.4 Beton	80
4.5	Glas in beton	82
	4.5.1 Sterkte	82
	4.5.2 Krimp	83
	4.5.3 Alkali-silicareactie	83
	4.5.4 Vorm	83
	4.5.5 Verdeling	84
	4.5.6 Toepassing	84
	Max light	85
	Verrazzo B.V.	85
4.6	Oplichten en nagloeien	90
4.7	Luminous concrete	93
	4.7.1 Algemeen	93
	4.7.2 Idee	93
	4.7.3 Methode	93
	Drukproeftesten	94
	Spuitsbeton	95
	4.7.4 Architecturale toepassingen	96
4.8	Interactief	97
4.9	Lövenstein	99
	4.9.1 Toepassingen	99
	CONCLUSIE	102
	BIJLAGEN	104
	BIBLIOGRAFIE	106

INLEIDING

INLEIDING

De ontwikkelingen en de mogelijkheden in de betontechnologie zijn de laatste decennia toegenomen. Van een louter constructief materiaal groeide het uit tot een materiaal met ook esthetische ambities. Schoon beton wordt gebruikt voor en beoordeeld op haar visuele kwaliteiten. De grenzen van het materiaal beton werden verlegd en ook nu nog. Dit komt omdat ontwerpers meer verlangen van beton. Het materiaal kent geen beperkingen meer, dan enkel de fantasie van de ontwerper. De laatste tien jaar wordt er geëxperimenteerd om het materiaal beton transparanter te maken. Hoe kan je het robuuste en grijze karakter van beton wijzigen zodat het een meer transparant uitzicht krijgt? Hoe 'verlicht' je het materiaal beton? Beton en licht, twee ogenschijnlijk onverenigbare begrippen, beton zijnde als het zware en robuuste materiaal en licht als iets transcendent, ongreepbaar en immaterieel. Toch gaan deze begrippen goed samen.

Het doel van mijn thesis is een zo volledig mogelijk overzicht te geven van betonproducten met een (ver)lichtende applicatie en de mogelijkheden van beton te onderstrepen voor (toekomstige) architecten. Het kan een inspiratiebron betekenen voor nieuwe ontwikkelingen. Volgende vragen vormen de basis van mijn onderzoek: Op welke manieren kan het materiaal beton zijn oorspronkelijke prestaties en uitzicht overtreffen om alzo een 'licht' karakter te krijgen? Welke materialen of elementen kan je aan het beton toevoegen of wijzigen zodat het gewicht en de dikte van een betonnen element verdwijnen en deze het element doen verlichten? Hoe kan je het idee van het 'grijze, saaie, massieve en constructieve' beton veranderen in een idee waarbij dat het beton ook voor esthetische toepassingen geschikt is waarin licht een belangrijke rol speelt?

Hierbij is het niet de bedoeling een betontechnologisch werk te schrijven, omdat het aanbod te groot is. De thesis kan opgevat worden als een soort inventaris. Elk onderdeel kan een studie op zich vormen. Beton en licht hebben niet enkel betrekking op materiaaltechnisch vlak, maar uiteraard ook op architecturaal vlak. Je kan een ruimte, die geconstrueerd is in beton, ook verlichten op een conceptuele wijze. Dit is een minder drastische manier dan de eigenschappen van het materiaal te wijzigen.

Als student architectuur kom je in je opleiding in aanraking met een veelheid aan materialen. De technologie hieromtrent staat niet stil. Het is belangrijk om zo goed mogelijk op de hoogte te blijven van recente ontwikkelingen. Door het lezen van een krantenartikel over 'translucent beton', wekte dit innoverende materiaal mijn interesse op. Hierover wou ik meer te weten komen. Na een zoektocht op het Internet had ik besloten hierover mijn thesis te schrijven.

Aangezien lichtdoorlatend beton een relatief nieuw materiaal in de bouwwereld is en dus nog niet op grote schaal wordt toegepast, is er daarover nauwelijks geschreven literatuur te vinden. Mijn bronnen kwamen vooral van het Internet. Op de websites van de verschillende fabrikanten vond ik informatie, maar al snel genoeg besepte ik dat ik hiermee geen volwaardige thesis zou kunnen schrijven.

Om die reden heb ik mijn onderwerp uitgebreid tot 'beton en licht'. Dit reikt veel verder dan enkel lichtdoorlatend beton. Daarin komen ook betonproducten met een verlichtende applicatie aan bod, soorten beton waar bestanddelen van 'gewoon' beton worden

gewijzigd of stoffen aan worden toegevoegd om het aspect licht erbij te betrekken. Na verschillende bedrijven en ontwerpers te hebben gecontacteerd, werd duidelijk dat vele applicaties slechts prototypes zijn. Men is dus vooral experimenteel te werk gegaan d.m.v. uitgevoerde tests, maar het is voorlopig nog niet de bedoeling om deze prototypes in omloop te brengen. Dit had tot gevolg dat hierover onvoldoende informatie beschikbaar was.

Beton en licht vat ik nog ruimer op: men hoeft deze begrippen niet enkel op materiaalkundig vlak toe te spitsen, maar ook op architecturaal en conceptueel vlak. Louis Kahn past in dit rijtje. Ook vandaag spelen studenten in een 'Blitz atelier beton' met de mogelijkheden van beton en daglicht.

De thesis is onderverdeeld in vier hoofdstukken. Alvorens alle verlichtende betonproducten te bespreken, wordt een hoofdstuk gewijd aan wat de begrippen beton en licht inhouden en betekenen binnen deze thesis. Het tweede hoofdstuk handelt over alle toepassingen van lichtdoorlatend beton. *Daarbij wordt geëxperimenteerd met vezeltechnieken en het vervangen van toeslagmaterialen door glas of kunststoffen.*¹ De Amerikaanse architect Bill Price onderzocht welke van de traditionele componenten van beton licht doorlaten. Hij deed zijn eerste tests in 1999. In 2001 patenteerde de Hongaarse architect Aron Losonczy zijn versie van lichtdoorlatend beton, genaamd LiTraCon. Later volgden nog andere producten zoals Luccon van het Duitse Heidelbergcement én lichtdoorlatende betonblokken van patent concurrent van LiTraCon, Andreas Bittis. Anders dan het combineren van beton en licht op een materiaaltechnisch niveau, gaat Louis Kahn op een verantwoorde en architecturale wijze om met beton en (dag)licht en dit in relatie met de structuur van het gebouw. Het beton krijgt een zwevend karakter en wordt van zijn massiviteit ontdaan. Zo krijgt het een speels en 'licht' karakter. Dit is een inspiratiebron voor studenten. In een 'Concrete Lightfall Blitz beton atelier 2003' worden ze aangemoedigd om met het materiaal beton architecturale elementen te creëren, de zogenaamde 'daglicht happens' waardoor licht binnenvalt in ruimtes met een plat dak. Deze twee onderwerpen vormen een derde hoofdstuk. Een laatste hoofdstuk benadert 'beton & licht' op een materiaaltechnisch vlak. Hierin komen prototypes aan bod die naast een eventuele bouwkundige functie een 'verlichtende' applicatie herbergen.

Mijn onderzoek bestaat vooral uit literatuuronderzoek. Internetartikels, tijdschriftartikels en bibliotheekboeken zijn de voornaamste literatuurbronnen. Toch was het noodzakelijk om veldonderzoek te doen. Een bedrijfsbezoek aan 'Geelen beton' en een bezoek aan de Technische Universiteit van Eindhoven zijn belangrijke geweest voor mijn thesis. Bij het bedrijfsbezoek werd mij meer verteld over het productieproces van het prototype 'oplichtend en nagloeiend beton' en 'interactief beton' door M. Pingen en M. Heugen. Alle foto's en documentatie hieromtrent heb ik meegekregen bij het bezoek. M. Timmermans van de universiteit Eindhoven heeft me uitleg gegeven over de opzet van het 'Blitz beton atelier 2003' en mij de nodige informatiedocumenten en cd-roms mee gegeven om het hoofdstuk 'experimenteel onderzoek: conceptueel' verder uit te diepen en met de nodige tekeningen en foto's te voorzien.

¹ Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008



01

BETON & LICHT



1. BETON & LICHT

Alvorens alle vernieuwende betonproducten, waarbij licht een essentieel onderdeel is, te bespreken, is het noodzakelijk een hoofdstuk te wijden aan 'normaal' beton en zijn karakteristieken én licht en zijn eigenschappen. Dit hoofdstuk kan dan steeds als referentie dienen. Allereerst behandel ik beton. Dit subhoofdstuk is onderverdeeld in zes delen. Elk deel bespreekt een karakteristiek van gewoon beton dat relevant is voor de nieuwe producten en waarbij ik ook kort de link leg met deze (ver)lichtende betonelementen.¹ Daarna bespreek ik licht en zijn invloed op de waarneming door de mens en dit in relatie met architectuur.

1.1 Beton

1.1.1 Algemeen

Beton is een steenachtig product dat zijn sterkte, hardheid, dichtheid en kleur verkrijgt door chemische reacties van een bindmiddel bij, in het algemeen, normale temperatuur. De meest gebruikte bindmiddelen voor cementgebonden kunststeen zijn portlandcement en hoogovencement. Andere toeslagmaterialen dan grind zoals gebroken natuursteen, oversinterde kleikorrels, sintels en lavakorrels worden gebruikt voor bepaalde toepassingen of om vervangende redenen. Bij lichtdoorlatend beton worden vezels bijgevoegd in de normale betonsamenstelling. Om beton te doen oplichten en nagloeien wordt gebruik gemaakt van luminescerende materialen.

Beton is een poreus materiaal. Alle eigenschappen hangen in het bijzonder af van het poriënsysteem. Het poriënsysteem is afhankelijk van de samenstelling, de verdichting en de nabehandeling (verhardingsomstandigheden) van het beton. Het bepaalt heel wat eigenschappen van het beton: de sterkte, stijfheid, kruip, uitdrogingskrimp, waterdoorlating, waterdampdiffusie, bestandheid tegen agressieve omstandigheden en vorstbestandheid. Is het poriënsysteem bekend, dan kan men op zekere hoogte het betongedrag aangeven. Met een bepaalde cementsoort en een bepaald toeslagmateriaal (grind, steenslag) is het in principe mogelijk de verschillende eigenschappen te voorspellen indien, wanneer dan ook tijdens het verhardingsproces, het poriënsysteem bekend is.

Niet alleen het poriënsysteem is bepalend voor de eigenschappen van het beton, maar ook de w/c factor. Dit is de verhouding van de hoeveelheid water tot de hoeveelheid cement in een betonmengsel en is in praktijk dé factor die allerlei betoneigenschappen bepaalt: de druksterkte, de waterdoorlaatbaarheid en daarmee de duurzaamheid. Gebruikelijk is beton toe te passen met een w/c factor 0,50.

1.1.2 Samenstelling

Aangezien de verschillende nieuwe betonproducten vertrekken van 'gewoon' beton waar eventueel toeslagmaterialen bijgevoegd worden, zal ik hier een algemene samenstelling neerschrijven van beton. Bij elk prototype kan ik dan hiernaar verwijzen en verder ingaan op de nieuwe toeslagmaterialen.

¹ voor 1.1 heb ik gebruik gemaakt van volgende bronnen: Materiaalkunde - bouwkunde & civiele techniek, Verver en Fraaij + ABC van cement en beton, FEBELCEM + website infobeton.be

Beton is samengesteld uit granulaten of toeslagmaterialen namelijk grove granulaten en zand, cement en water. Het mengsel water/cement² vormt een pasta of lijm, die dan verhardt tot cementsteen. Cementpasta en zand vormen mortel die de grovere granulaatkorrels tot een hecht geheel bindt, wat steenachtig skelet wordt genoemd, en vult zo de ruimten ertussen. In de nog plastische fase spreken we van betonspecie. Hulpstoffen en toevoegsels dienen om bepaalde eigenschappen van het verse of verharde beton te verbeteren zoals de sterkteontwikkeling of bij de betonprototypes om het aspect 'licht' erbij te betrekken. Vrijwel onmiddellijk na het mengen van de grondstoffen begint de reactie van cement met water: de hydratatie. Dit is merkbaar aan het stijgen van de temperatuur en het geleidelijk teruglopen van de plasticiteit of vloeibaarheid. Door de reactie ontstaat cementsteen, het verharde bindmiddel dat toeslagmaterialen en vulstoffen aaneenklit. Na het verharden koelt beton af. De betonsamenstelling bepaalt de eigenschappen en zo ook het toepassingsgebied.

1.1.3 De sterkte van beton

Een belangrijke invloed voor de sterkteontwikkeling van beton is de (verhardings)tijd. Andere elementen die ook bepalend zijn voor de sterkte zijn de verdichtingsgraad, de ouderdom van het beton, de soort toeslag, de gebruikte hulpstoffen, de temperatuur tijdens de verharding, toevallige ontmenging, chemisch verontreinigd water en/of verontreinigde toeslagmaterialen en het verhogen van het cementgehalte. Zoals reeds hierboven vermeld is, is de w/c factor een bepalende factor voor de druksterkte. De treksterkte van beton is tien keer kleiner dan de druksterkte. Om dit op te vangen, wordt wapening in beton aangebracht die de optredende trekkrachten opneemt.

Bij lichtdoorlatend beton zijn enkele van deze factoren niet bepalend - zoals de verhardingstijd, de temperatuur tijdens de verharding, toevallige ontmenging - aangezien de lichtdoorlatende betonblokken prefab zijn waarbij het beton onder gecontroleerde omstandigheden kan gefabriceerd worden en uitharden.

Voor de experimentele prototypen geldt hetzelfde. Voor de sterkte is vooral de toevoeging van toeslagstoffen bepalend. Dit zal per prototype duidelijk worden. Bij luminous concrete zijn de toegevoegde luminescerende stoffen en het cementgehalte, dus ook de w/c factor, bepalend voor de sterkte van de proefkubussen.

1.1.4 Thermische eigenschappen

Beton is thermisch inert: het slaat de thermische energie op en geeft deze later geleidelijk weer af. In de zomer zorgt dit ervoor dat de woning niet oververhit raakt. De opgeslagen warmte wordt in de tijd verdeeld. In de woning zal gedurende langere tijd een aangenaam koel klimaat heersen. Zonnewering en oriëntatie zijn uiteraard ook bepalende factoren. In de winter wordt zonne-energie in het beton opgeslagen en nadien met een zekere faseverschuiving weer afgegeven. Goed isoleren en de luchtlekken beperken zijn belangrijk.

Dankzij zijn warmtecapaciteit speelt beton dus een klimaatregulerende rol. Het mildert pieken in de temperatuur en verbetert het comfortgevoel terwijl het wezenlijke besparingen in verwarming en dus energie mogelijk maakt. Beton is een goede keuze. Zwaarder beton

² zie 'voorschrijven van beton volgens de normen' FEBELCEM in bijlage

geleidt de warmte beter en isoleert daardoor minder goed. Lichte betonsoorten bevatten van elkaar gescheiden ruimten of cellen gevuld met stilstaande lucht of gas en isoleren goed tot matig.

De lichtdoorlatende betonblokken kunnen geïsoleerd toegepast worden. Isolatie wordt ook aangebracht in de totaalbeton elementen. Bij elk vernieuwend betonproduct zijn de toepassingsmogelijkheden duidelijk omschreven.

1.1.5 Korrelgrootte

De korrelmaat d/D geeft de afmetingen in mm van de kleinste en de grootste korrel. De keuze van D_{max} is afhankelijk van de afmetingen van het te storten element, de afstand tussen de wapeningen en de betondekking. Bij beton met een goede korrelverdeling is het aantal holtes tussen de korrels beperkt en de hoeveelheid grove granulaten zo groot mogelijk. Een goede korrelverdeling is belangrijk om een dichte korrelstapel te krijgen, die leidt tot een hogere sterkte, dichter beton en minder krimp.

Bij glas in beton is de korrelgrootte en de vorm van het toegevoegde glas bepalend voor het effect en de eigenschappen.

1.1.6 Budgetvriendelijk

Beton is een uitstekende materiaalkeuze, het kan je budget verlichten op verschillende manieren. Beton wordt in België gefabriceerd, op basis van grondstoffen die overvloedig aanwezig zijn in eigen bodem. Op deze manier blijven de vervoerskosten beperkt. *Bouwelementen op maat vereenvoudigen de activiteiten op het bouwterrein en versnellen de uitvoering.* Dit betekent een vermindering van de duur van het bouwproject.

Dankzij de uitstekende weerstand tegen klimatologische beproevingen blijft het onderhoud van beton beperkt. Met beton kan je bovendien tot 30% besparen op energiekosten. De warmtecapaciteit en de thermische inertie van betonnen vloeren en muren hebben een regulerend effect op de temperatuur in huis.

Er is een duidelijke meerkost bij het gebruiken van lichtdoorlatende betonblokken. Dit komt door het gebruik van de vezels. Maar doordat het prefabblokken zijn, kan er op de werf bespaard worden op werkuren. Het bouwen gaat sneller. Ook de testfase van het idee uitgewerkt door Bert Vandael voor de Concrete Design Competition deed vragen rijzen over de kostprijs en het commercialiseren van het product. Nochtans is de kostprijs een belangrijke factor in het kiezen van het materiaal voor een project, zeker voor de opdrachtgever.

1.2 Licht

1.2.1 Licht en waarneming

Licht is een belangrijk element voor de menselijke waarneming. Het is namelijk dankzij licht dat de mens zich een beeld kan vormen van de ruimte en zich erin kan bewegen. De mens is niet enkel gevoelig voor het licht alleen, maar ook voor zijn karakteristieken en zijn variaties. Het oog is het schakelelement tussen de mens en zijn omgeving. De visuele waarneming van de mens kan soms beperkt worden, indien de graad van visueel comfort onvoldoende is.³

1.2.2 Licht en architectuur

De gebouwde omgeving nemen we waar dankzij licht. Vorm, volume, textuur en kleur zijn te onderscheiden. In een gebouw of een ruimte bepaalt licht de dramatiek en de sfeer. Licht draagt betekenis. Het ondersteunt de beleving van een ruimte, en daardoor de sfeer, en stuurt de bezoeker. Licht en belichting kunnen bepaalde dingen benadrukken zoals details. Het ondersteunt ook de inrichting en de functionaliteit waar nodig.⁴ Licht zorgt ook voor veiligheid.

*Volgens Theo Van Doesburg is 'de beelding van de ruimte zonder licht niet denkbaar. Licht en ruimte vullen elkaar aan. In de architectuur is het licht een beeldend element en wel dan ook nog het belangrijkste. Het organisch verband tussen ruimte en materiaal kan alleen door middel van licht tot stand worden gebracht. Daarmee echter is de architectuur nog niet voltooid. Perfectionering van de architectuur is alleen dan mogelijk als ook het licht gebeeld wordt. De architectonische beelding is zonder kleur niet denkbaar. Kleur en licht vullen elkaar aan. Zonder kleur is de architectuur uitdrukingsloos, blind.'*⁵

Aangezien de mens het grootste deel van zijn leven doorbrengt in een gebouwde omgeving, is het belangrijk om daglicht op een doordachte en zo goed mogelijke manier in de ruimte te integreren. Daglicht is noodzakelijk voor de mens. Daglicht en licht in het algemeen bepaalt de stemming van mensen.

1.2.3 Licht – wetenschappelijk benaderd

Licht is elektromagnetische straling met een zodanige frequentie dat die waarneembaar is met het menselijk oog. Men spreekt van infrarood licht, zichtbaar licht en ultraviolet licht. Infrarood en ultraviolet licht zijn niet waarneembaar met het menselijk oog. De drie variabelen die licht beschrijven, zijn de lichtsterkte ofwel amplitude, de kleur ofwel frequentie of golflengte en de polarisatie ofwel de trillingsrichting. Het zichtbare spectrum van licht heeft een golflengte tussen 380 nm en 780 nm in een vacuüm. De verschillende golflengten worden door het oog gezien als verschillende kleuren.⁶

³ WTCB 'visueel comfort en normalisatie'

⁴ http://www.henkvandergeest.nl/visie/bureauapres_architectuur.html

⁵ Theo Van Doesburg over kleur in de architectuur

⁶ <http://nl.wikipedia.org/wiki/Licht>



02

LICHTDOORLATEND BETON

2. LICHTDOORLATEND BETON

Om beton een 'licht' karakter te geven, kan dit op verschillende manieren bereikt worden. In dit hoofdstuk hebben de ontwerpers met de samenstelling van beton in functie van licht geëxperimenteerd, omdat beton door zijn samenstelling een massief materiaal is. Welke bestanddelen kan men wijzigen en/of toevoegen om licht door het beton te laten? Hoe kan men beton doen 'verlichten'? Het resultaat van deze experimenten hebben in sommige gevallen geleid tot toepasbare bouwproducten.

Twee vormen van lichtdoorlatend beton zijn in de architecturale pers¹ beschreven: Bill Price heeft de traditionele betonmaterialen vervangen, d.w.z. grof aggregaat zoals grind, fijn aggregaat zoals zand en cement als bindmiddel, door kunststof en glas van verschillende maten en deze verbonden met een transparante lijm. Daardoor moet het materiaal niet strikt worden omschreven als 'beton'. Beton is in het algemeen versterkt met stalen staven. Voor een vergelijkbaar doel heeft Price doorzichtige plastic staven gebruikt. Hij beweert dat uit de tests van zijn eerste monsters blijkt dat structureel het doorschijnende 'beton' net zo goed is als het traditionele beton, maar dat het ongeveer vijf keer zo veel kost. Dr. Price is ook de eerste om toe te geven dat transparantie nog ver weg is.

De Hongaarse architect Aron Losonczy heeft doorschijnende betonblokken gemaakt door vermenging van glasvezels in combinatie met steenslag, cement en water. Deze vezels lopen evenwijdig aan elkaar tussen de hoofdoppervlakken van een blok. Hij beweert dat het lichtdoorlatende beton sterk genoeg is voor de toepassingen van traditioneel beton. Chemische toevoegingen kunnen de sterkte enorm verhogen.² Zijn bedrijf LiTraCon is gevestigd in Hongarije en bracht de doorschijnende betonblokken in 2004 op de markt.

In september 2006 heeft Heidelbergcement stappen ondernomen op weg naar massaproductie van doorschijnende betonblokken met hun product Luccon. Een speciaal ontwikkeld weefsel van lichtgeleidende vezels werd gebruikt. Door een parallelle regeling van dit weefsel afgewisseld met een laag fijn aggregaat beton werd een hoog niveau van helderheid en doorschijnendheid bereikt. Het materiaal is beschikbaar in vellen van 250 x 500 mm en 300 x 600 mm van 40 tot 100 mm dikte.

Een andere contactpersoon is Andreas Bittis.³ Hij werkt samen met het Duitse bedrijf Florack.

Hieronder komen al deze contactpersonen en bedrijven aan bod. De eerste in het rijtje is de Amerikaanse architect Bill Price, verbonden aan de universiteit van Houston en een voormalige medewerker van Rem Koolhaas. Hij heeft onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van lichtdoorlatend beton. Dit onderzoek verscheen in een artikel van 'The Economist' in 2001.⁴

1 Time Magazine, RECORD, Concrete Engineering International, Concrete Plant International, Metropolis Magazine, The Economist...

2 luchtbelvormer, superplastificeerder, vertrager en minerale hulpstoffen

3 artikel The Concrete Society 'translucent concrete'

4 artikel De Standaard Online 'Concrete Design Competition' 26 april 2008

2.1 Translucent beton: X-ray architecture

2.1.1 Idee

Bill Price's heeft een nieuw materiaal uitgevonden dat de manier hoe een gebouw eruit ziet en functioneert, kan veranderen. *"Ik had een visie",* zegt Price. *"Ik woonde in Rotterdam in één van de verlichte torens aan de Maas in de buurt van de Erasmusbrug. Ik stond op mijn balkon te kijken naar het stadslandschap in de nacht. Vóór mij zag ik een nog niet bekleed betonnen gebouw opgetrokken worden, dat verlicht was en het licht werd gezeefd door alle perforaties in het beton. Plotseling zag ik een omgekeerd beeld: de perforaties als een vast iets en het beton als het materiaal dat licht liet binnenkomen in het gebouw. De visie verspreidde zich snel over de volledige scène. Alle gebouwen zouden worden gebouwd met een materiaal dat licht zou doorlaten. Ik vroeg mezelf af of we op deze manier een nieuwe stad kunnen maken."*

Price heeft voor OMA⁵ gewerkt. De inspiratie voor deze visie kwam door een vraag van Rem Koolhaas tijdens een vergadering over een concertzaal in Porto, Portugal: *"Kunnen we het beton doorschijnend maken?"* *"Rem deed heel veel onderzoek naar transparantie."* Vertelt Price. *"Transparantie in de bouw - maar ook in het modelleren. Op een bepaald ogenblik werden bijna alle maquettes van een OMA project transparant gemaakt."*

2.1.2 Eerste stappen

Lichtdoorlatend beton is meer een 'embryo' dan een 'volwassen kind'. De eerste monsters werden geproduceerd in september 1999. Daarna voerde Price druk- en buigsterkte tests op verschillende kleine monsters en ontwierp hij een reeks van belasting-ervorming diagramma⁶ voor het materiaal. De volgende stap was het verzenden van discrete verzoeken naar commerciële fabrikanten in de hoop op bespoediging van zijn onderzoek. Buiten de fabrikanten, en een paar vertrouwde vrienden en medestanders, heeft Price zijn onderzoek niet in het openbaar bekendgemaakt of gepubliceerd. Er is geen melding gemaakt van 'lichtdoorlatend beton' in de vakpers noch bekendgemaakt aan het grote publiek. Koolhaas mag dan de eerste zijn die de woorden uitte, maar er is geen twijfel dat het Prices idee was. Alleen iemand als Price, met de brede visie van een architect en de focus van een kunstenaar, kon goochelen met de samenstelling van een nieuw materiaal en tegelijkertijd de toepassingen in de bouw en design verkennen.

Tijdens zijn vier jaar bij OMA, samen met zijn ontwerpverantwoordelijkheden en -taken als directeur van R & D, bleef Price piekeren over Koolhaas idee van lichtdoorlatend beton. Het was een origineel, praktisch, trendy genoeg idee om een groot deel van zijn denken aan op te eisen. Prices notitieboek van die jaren zijn gevuld met schetsen, schema's, toevallige notities en filosofische reflecties geïnspireerd door zijn toen nog niet gedefinieerd materiaal. In 1999 verliet hij OMA om terug te keren naar de universiteit en zich te focussen op onderzoek.⁷

⁵ Office for Metropolitan Architecture is een internationaal bureau onder leiding van Rem Koolhaas. Architecten, onderzoekers, ontwerpers, maquette makers, industriële ontwerpers en grafische ontwerpers werken samen. (<http://www.oma.nl/>)

⁶ specifieke details hierover zijn niet beschikbaar

⁷ RIBA journal vol 108, no 6, 2001 June p 60-62 'making light work'

2.1.3 Technische eigenschappen

Voor lichtdoorlatend beton was de wens om de van oudsher ondoorzichtige elementen van een gebouw te wijzigen - fundering, muren, dak, ondersteunende kolommen - in componenten die licht doorlaten. Licht reist door het materiaal met verschillende hoeveelheden en intensiteit, afhankelijk van de samenstelling ervan. De meeste van Prices monsters en renderingen zonden een gloed uit. De noodzaak was dat het doorschijnende materiaal gietbaar zou zijn en, als het eenmaal uitgehard was tot zijn structureel gewicht, schokken zou absorberen, zou isoleren en duurzaam zijn als of beter dan traditioneel beton.



TRANSLUCENTE BLOKKEN, Architectural Record

Price heeft ervoor gekozen zich te concentreren op het materiaal. Hij lanceerde een systematische analyse van beton om uit te vinden welke van de vier traditionele componenten – namelijk een combinatie van aggregaat, bindmiddel, versterking en vorm - het best geschikt was als drager van het licht. Hij bereikte een manier om van elke component een drager van licht te maken. Hij vroeg zich af of het aggregaat, dat meestal gemaakt is van gemalen grind, het reizen van licht doorheen zijn massa zou toestaan als de dichtheid varieert. Hij voegde ook verbrijzeld glas toe om licht door te laten. Hij onderzocht het vervangen van cement - het gebruikelijke bindmiddel in beton - met doorschijnend materiaal, zoals translucet plastic. Voor versterking, gewoonlijk verricht door ondoorzichtige stalen staven, dacht Price eraan licht over te zetten doorheen de cementmassa met behulp van doorschijnende versterking zoals plastic. Hij experimenteerde zelfs met het manipuleren van het oppervlak van het beton om punten van lichtdoorlating te creëren.⁸

Kan het materiaal wel omschreven worden als beton? Volgens Price, is deze discussie een probleem voor de octrooi-juristen. Gezien het feit dat elke variabele veranderd is, kan het worden omschreven als een nieuw materiaal, maar tegelijkertijd is de bouwtechniek precies dezelfde. *“Dit is een vloeibaar materiaal dat kan worden gebruikt als een dragend element. Wat betreft het milieu, plastic en glas kunnen gerecycleerd worden.”*⁹ *“Mijn ultieme doel was een materiaal te creëren om beton te veranderen – maar dat nog steeds de constructietechniek intact houdt.”* zegt Price.

Een monster uit een gegoten blok van lichtdoorlatend beton was gemaakt van gemalen glasaggregaat en een kunststoffen bindmiddel. Er was ook een kleine cilinder van hetzelfde materiaal gemaakt: geplet glas, plastic buizen en gemalen opaak grind, dit alles bevroren in doorschijnende plastic.

“Dit zou in blokken of bakstenen kunnen worden gemaakt.” merkt Price op. Voor een ander OMA-project hielp hij bij het ontwerpen van een reeks van gewicht dragende doorschijnende kolommen voor een sociaal dienstencentrum in opdracht van Samsung in Korea. Ook hier is de oplossing ingenieus en simpel: een glazen cilinder in een glazen cilinder met een film tussenin die verandert in schuim en dient als brandbarrière. *“Maar uiteindelijk heb ik graag een materiaal dat je gewoon kunt gieten in een vorm. Het zou de*

⁸ technische specificaties van het gebruikte materiaal zijn niet beschikbaar
⁹ RIBA journal vol 108, no 6, 2001 June p 60-62 'making light work'

hele scène herstructureren. Wat een geweldige ontwikkeling voor architectuur – dat het dit nieuwe element heeft gekregen. Ik ben niet bezig met het oplossen van een specifiek structureel probleem. Ik probeer een nieuw materiaal te ontwikkelen, dan zullen we zien wat we ermee kunnen doen.”

Bill Price ontwikkelde ook de Pixel Panels door het inbrengen van optische vezels in een grid in betonnen panelen, in twee dimensies, om licht van de ene zijde naar de andere zijde over te dragen.¹⁰ Hij ontwikkelde gewapend beton dat naast cement, grind en zand 5% plastic vezels bevat, die licht doorlaten. Sommige eigenschappen van Prices beton zijn superieur aan dat van gewoon beton. Druk en buigingsweerstand verbeteren door het toevoegen van verbrijzeld glas i.p.v. grind.¹¹

Hij heeft ook geëxperimenteerd met de massa van beton, om dunnere versies te ontwikkelen van zijn Pixel Panels. Zo is er een paneel van slechts 4 cm dikte dat 35% licht doorlaat. Een ander paneel is slechts 2,5 cm dik en laat 25% licht door. De lichtdoorlaatbaarheid wordt nochtans niet bepaald door de dikte. Een paneel van 25 cm dik kan dezelfde hoeveelheid licht doorlaten. Voor een project in Zuid-Korea ontwikkelde hij een ander prototype, een doorschijnende steen van 10 cm x 30 cm x 60 cm. Met deze eenheden, bouwde hij twee muren van 5,5m op 5,5m hoog, gestabiliseerd met kabels.¹²



PIXEL PANEL, Business Week

2.1.4 Toepassingen

Volgens Price kan het materiaal worden gebruikt in de bouw, alsook voor ontwerpobjecten: baden, toiletten, tafels, lampen en zelfs lampenkappen. Lichtdoorlatend beton moet verder worden onderzocht, geperfectioneerd, en getest voordat wijdverspreide toepassingen mogelijk zijn. De analyses die tot nu toe zijn gedaan – proeven in het laboratorium op Virginia Tech op kleine kolommen en cilindrische delen van lichtdoorlatend beton met gemalen glas als aggregaat en plastic bindmiddel - hebben aangetoond dat het nieuwe materiaal superieur is t.o.v. traditioneel beton wat betreft druk en buiging. Maar grootschalige toepassingen van zijn nieuw materiaal zijn nog maanden - zo niet jaren – buiten bereik. Er zijn geen antwoorden op vragen over thermische dynamiek, warmte-overdracht, seismische stabiliteit, of een groot aantal andere bouwparameters.

¹⁰ Archi Tech 'Concrete: the once & future liquid stone' maart/april 2005

¹¹ Domus november 2004 'Heavyweight transparency'

¹² Architectural record 'Concrete gets glamorous in the 21st century'

Het economische aspect is ook belangrijk. De kosten van de componenten in de meest succesvolle mix maken lichtdoorlatend beton ongeveer vijf maal duurder dan traditioneel beton, waardoor het materiaal niet direct zou overwogen worden voor grote projecten. Price stelt, dat dit relatief is, omdat de bouwers minder beton zouden nodig hebben, omwille van de betere buiging en druksterkte, om dezelfde prestaties te verkrijgen dan als zij volledig gewoon beton zouden gebruiken.

2.1.5 Betekenis

Robert Dunay, decaan van de Virginia Tech architectuur afdeling en directeur van industrieel ontwerpen, meent dat lichtdoorlatend beton één van de oudste architecturale tweedeling kan oplossen. *“Historisch gezien, degelijkheid en lichtheid hebben altijd op gespannen voet geleefd”*, zegt Dunay. *“Doorschijnend beton kan ons de mogelijkheid geven om om te gaan met een aantal attributen van beton - sterkte, stabiliteit, en het vormen in mallen – maar het kan het ook de kwaliteiten geven die mensen normaal associëren met glas. Dit zou zowel op grote als op kleine schaal toepassingen vinden.”*

Wim Eckert, een in Zürich gevestigde architect, meent dat lichtdoorlatend beton een oplossing kan zijn voor privacy. *“Het kan echt interessant zijn natuurlijke lichtomstandigheden te fuseren in een volstrekt ondoorzichtige gevel dankzij dit materiaal, zodat de structuur een soort huid voor licht wordt. Je krijgt het natuurlijke licht van de omgeving - zonder te worden geconfronteerd met de fysieke aanwezigheid.”*

Ook de structurele mogelijkheden van het lichtdoorlatende beton zijn volgens Eckert groot. *“Als we werken met transparantie, dan moet je dit meestal behouden”*, zegt hij. *“Dit betekent dat je voortdurend verbindingpunten moet toevoegen aan het gebouw. Als wij dit kunnen beperken tot één materiaal, dan heb je één verbindingpunt minder nodig. Het zou interessant zijn een naadloos gebouw te hebben, omdat verbindingen altijd een technisch probleem zijn. Als we dit materiaal zouden kunnen gebruiken om de zwakke punten in een gebouw te elimineren, dat zou pas een baanbrekend architectonisch concept zijn.”*¹³

De Hongaarse architect, Áron Losonczi, was Bill Price te snel af. Hij ontwikkelde nog datzelfde jaar, in 2001, zijn eigen versie van doorschijnend beton dat hij onder de naam Litracon patenteerde. Litracon laat licht door dankzij 4 procent optische glasvezels in het mengsel. Tot nu toe is er nog geen oplossing gevonden voor de beperkingen in het ontwikkelingsprocedé. Zo is het product enkel beschikbaar in blokken, omdat het niet massief kan gegoten worden. Maar de impact op architecturaal vlak is groot: weg met dat sobere, robuuste en grijze beton.¹⁴

¹³ artikel Metropolitismag.com 'X-ray Architecture' april 2001

¹⁴ artikel De Standaard Online 'Concrete Design Competition' 26 april 2008

2.2 Lichtdoorlatend beton o.b.v. glasvezels (Litracon™)

2.2.1 Idee

Litracon™ presenteert het fenomeen van lichtdoorlatend beton in de vorm van een toepasbaar nieuw bouw materiaal. Het is uitgevonden door de Hongaarse architect Áron Losonczi in 2001. Hij legt uit hoe hij op het idee kwam: *“Ik begon na te denken over lichtdoorlatend beton na geïnspireerd te zijn door een kunstwerk.*



LICHTDOORLATEND BETON, Litracon™

*De kunstenaar sloot stukjes glas van verschillende dikte in in een massieve vorm van beton. Het ruwe materiaal versoepelde en won een nieuwe kwaliteit bij door er gefilterd, spontaan veranderend licht door te laten. Ik maakte het mijn doel om buiten de grenzen van een bepaald object te stappen en deze ervaring om te zetten in architectuur.”*¹⁵

Hij studeerde in Stockholm af met het onderwerp ‘glas in de architectuur’. Op die manier kwam hij ook in contact met optische glasvezels. Hij zag architectonische potentie in het grijs en zwaar bestaande beton. Met behulp van glasvezels dacht hij letterlijk een lichtvoetig bouw materiaal te kunnen maken. Hij benaderde glasvezelproducent Schott te Mainz voor een gratis lading oefenmateriaal te ontvangen. Het altijd naar innovatie zoekende bedrijf onderkende de mogelijkheden meteen. In de woorden van verlichtingsmanager W. Streu: *“We zijn altijd op zoek naar nieuwe toepassingen voor onze optische vezels, maar deze heeft zelfs ons zeer verrast.”* De verrassende inbreng van Losonczi leidde na enkele succesvolle experimenten en publicaties in kunstbladen en op het Internet, uiteindelijk tot de oprichting van LiTraCon GmbH, dat de marketing van het product op zich neemt.¹⁶

2.2.2 Werking

In 2002 nam Losonczi een patent op zijn lichtdoorlatend beton. In 2004 kwam het nieuwe bouwproduct op de markt. Litracon™ staat voor light transmitting concrete ofwel licht overdragend beton. Litracon™ is een product dat optische vezels van de firma Schott combineert met



LICHTDOORLATEND BETON, Litracon™

fijnkorrelig beton. Het kan geproduceerd worden als prefabblokken of –panelen. Het nieuwe materiaal won reeds verschillende prijzen, waaronder de “red dot 2005 design award” voor de hoogste design kwaliteit. Recent won Aron Losonczi de Ernst & Young “In-

¹⁵ <http://en.red-dot.org/1349.htm>

¹⁶ Het Laatste Nieuws ‘Dragende wanden van lichtdoorlatend beton’ 13 augustus 2004

novator" award 2008.¹⁷

De glasvezels laten licht door via contactpunten van de vezels, die zich bevinden tussen beide zijden van een blok, met het betonoppervlak. Natuurlijk - of kunstmatig - licht dat op de belichte zijde van het beton valt, wordt overgebracht door de glasvezels dwars door het materiaal, elke kronkel volgend van de vezel¹⁸, tot het licht op een enigszins diffuse wijze tevoorschijn komt op het oppervlak van de andere zijde. Zichtbaar zijn dus lagen van optische glasvezels, die licht doorlaten van de ene kant van een paneel naar de andere kant. Schaduwen verschijnen aan de donkerdere kant als duidelijk te onderscheiden lijnen. De blokken zijn in staat om silhouetten van bomen, huizen en voorbijgangers weer te geven. Het beton verliest zijn zwaarte.¹⁹ De kleur van het licht en dus ook van het voorwerp blijft hetzelfde.

Duizenden optische glasvezels vormen een soort mat. De glasvezels liggen netjes in het gelid naast elkaar in de breederichting, dus in één richting en lopen evenwijdig aan elkaar tussen de twee oppervlakken van elke blok. De blokken laten enkel licht door in één richting, namelijk in de richting waarin de vezels zijn geplaatst. Het is door deze parallelle positie van de vezels dat de 'lichtinformatie', zoals personen en bomen, aan de donkerdere zijde onveranderd verschijnt. Door een weefsel van vezels, of door optische vezels in twee dimensies te plaatsen, zou het ook mogelijk moeten zijn om elementen te realiseren die aan vier zijden translucient zijn, zoals bijvoorbeeld pijlers. Helaas is dit tot nu toe nog niet mogelijk.²⁰

De glasvezels zijn van de lichttransporterende soort, zoals die ook in de telecommunicatie worden toegepast. Het aandeel van de vezels is zeer klein (4%) ten opzichte van het totale volume van de blokken. Bovendien mengen deze vezels zich vanwege hun geringe omvang met het beton en vormen zo een structurele component zoals een soort bescheiden aggregaat. Op deze manier is het resultaat niet twee materialen - glas in beton - gemengd, maar een derde, nieuw materiaal, dat homogeen is in zijn innerlijke structuur en ook over zijn oppervlakken. Door het geringe aandeel van de vezels zijn de technische specificaties van de LiTraCon blokken hetzelfde als het gebruikte beton.²¹

In theorie kan men een muur met lichtdoorlatend beton bouwen van enkele meters dikte omdat de glasvezels het licht zodanig goed transporteren en werken bijna zonder enig verlies in licht tot 20 meter. Dit werd gestaafd met berekeningen op de computer.²² Dragende structuren worden gebouwd met deze blokken, aangezien de glasvezels geen negatief effect hebben op de welgekende hoge druksterkte van beton en de draagkracht van een wand. Uit druksterktesten bleek dat de resultaten beter waren dan voor normaal beton. De blokken worden geproduceerd in verschillende maten en kunnen geproduceerd worden met geïntegreerde warmte-isolatie. Het betreft een soort sandwich element, waar de isolatie zich in de kern bevindt en geen lichtdoorlating onderbreekt.²³ De optische vezels passeren drie lagen: beton, isolatie en beton. De isolatie kan van eender welk type

17 Litracon.hu 'About'

18 Architectural record 'Concrete gets glamorous in the 21st century'

19 Schott

20 Production today 'transparent concrete causing a sensation'

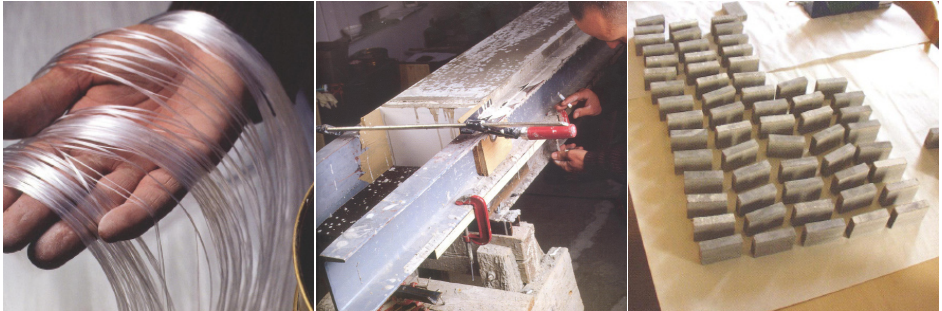
21 Concrete engineering international 'Seeing the light' winter 2006 p.54-55

22 Het Laatste Nieuws 'Dragende wanden van lichtdoorlatend beton' 13 augustus 2004

23 Concrete engineering international 'Seeing the light' winter 2006 p.54-55

zijn: lucht, polystyreen... afhankelijk van de vereisten.²⁴ Lichtdoorlatend beton kan zowel buiten als binnen toegepast worden.²⁵

2.2.3 Fabricage



FABRICAGE PROCES, Domus November 2004

Om LiTraCon blokken te kunnen produceren werd een bijzondere fabricagetechnologie ontwikkeld. Om zeker te zijn dat de uiteinden van de vezels wel degelijk in contact staan met de twee zijden van het beton worden de blokken uit afwisselende lagen opgebouwd: in een lange, smalle en rechthoekige mal wordt een dunne laag fijnkorrelig beton gegoten met een dikte van twee tot drie mm, vervolgens wordt een laag van optische vezelmatten in de langsrichting van de mal aangebracht, en dat gaat zo door tot men een balk krijgt. De mal kan tot 2,8m lang zijn. Het proces moet snel en zonder grote onderbrekingen worden uitgevoerd, tot de gewenste totale hoogte voor het element wordt bereikt. Dit om de homogeniteit van het materiaal te waarborgen.²⁶ Na droging en ontkisting wordt de balk als een cake in plakken gesneden, haaks op de vezelrichting. Vervolgens worden de plakken nog eens in kleinere schijven of blokken gezaagd. De koppen van de vezeldraden bevinden zich zo aan beide oppervlakken. Het productieproces sluit grootschalige constructieve toepassingen vrijwel uit. Omdat de schijven uit massieve blokken moeten worden gezaagd, zijn forse wandelementen niet maakbaar, waardoor grote wanden alleen door stapelwerk kunnen worden opgebouwd. Dit is bijzonder arbeidsintensief en dus praktisch financieel onhaalbaar voor grote constructies.²⁷ In-situ storten lijkt voornamelijk niet mogelijk, zolang geen oplossing is gevonden voor het noodzakelijke in één richting plaatsen van de glasvezels.

De maximale afmetingen van een blok zijn 600 x 300 mm. Dit wordt standaard gebruikt. De dikte van de blokken kan verschillen van 25-500 mm. Andere afmetingen zijn verkrijgbaar op verzoek.²⁸

Tot nu toe werd beton C20/25 gebruikt. De toevoeging van de vezels zorgt voor een toename in sterkte, vergelijkbaar met een C50/60, waarbij de sterkte in de richting van de vezels aanzienlijk hoger is. Dankzij de glasvezels is het materiaal brandwerend en licht van gewicht. Het materiaal kan gerecycleerd worden en is geheel gebaseerd op organische grondstoffen.²⁹

²⁴ Domus november 2004 'Heavyweight transparency'

²⁵ Litracon.hu 'About'

²⁶ Production today 'transparent concrete causing a sensation'

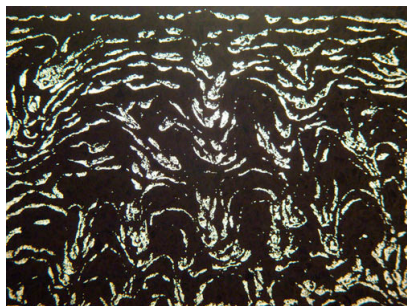
²⁷ http://www.flandersdc.be/blog/mooier_doorschijnend_lichtgevend_beton_of_beton_met_fotogravure/ + artikel in bouwIQ

'transparent beton blijft nichemarkt'

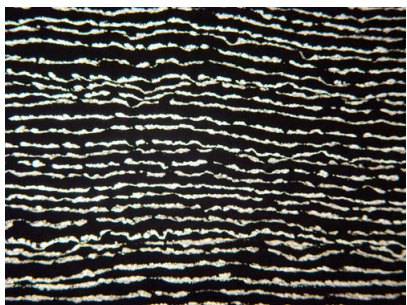
²⁸ Litracon.hu 'About'

²⁹ Bouw IQ februari 2008, jrg 13 nr 1 'beton wordt hi tech' p.16

2.2.4 Uitzicht



ORGANISCH, Litracon™



LAAGJES, Litracon™

De omvang en de opstelling van de vezels kunnen verschillen in elk Litracon™ blok. Omdat Losonczy uit eigen ervaring weet hoe eigenzinnig en kieskeurig architecten kunnen zijn, gaat Litracon ze betrekken bij de samenstelling van het lichtdoorlatend beton. Ze mogen meebeslissen welke diameter glasvezel wordt toegepast, dit kan variëren van 2 micrometer tot 2 millimeter in diameter, en in welke afmetingen en vorm zoals een grid, logo, fotobeeld enzovoort en met welk betonmengsel de elementen worden geprefabriceerd.³⁰ Meestal worden vezels van tussen de 0,5 en 1 mm in diameter gebruikt.³¹ Hier zie je enkele van de verschillende manieren om de vezels te organiseren in elk blok - dat kan in regelmatige meer strikte verdeling of met een organische opstelling zijn. Standaardblokken hebben een organische verdeling van de vezels. De blokken zijn ook in verschillende kleuren te verkrijgen: zwart, grijs en wit. Aangeraden wordt om een 2-componenten epoxyhars³² te gebruiken bij het verlijmen van Litracon™ blokken. De

voegen kunnen opgevuld worden met dezelfde samenstelling van beton en dezelfde kleur. Als het nodig is, kan men gewoon betonstaal plaatsen tussen de blokken, horizontaal of verticaal.³³

2.2.5 De glasvezels

De firma Schott levert de optische glasvezels voor het maken van de Litracon-blokken. De B3 fiber, de glasvezel die gebruikt wordt, met een aanvaardingshoek³⁴ van 64 ° heeft goede transmissie en een lage kleurverschuiving in het zichtbare spectrum. Typische toepassingsgebieden zijn verlichting, sensor- en medische technologie.³⁵ Een voordeel voor het gebruik van optische glasvezels is dat de vezelkabel alleen licht uitzendt en geen elektriciteit. Daarom kan het op veilige wijze geïnstalleerd worden in ongunstige omstandigheden of potentieel gevaarlijke gebieden zoals zwembaden en kindvriendelijke omgevingen.³⁶

30 Het Laatste Nieuws 'Dragende wanden van lichtdoorlatend beton' 13 augustus 2004

31 Production today 'transparent concrete causing a sensation'

32 2 componenten epoxyhars: optimale hechting op bijna alle materialen, kan na uitharding machinaal bewerkt worden, zijn bestand tegen alcohol, ester, zout water, oliën en de meeste zuren en logen, temp. bereik: -35°C tot + 120°C

33 Litracon.hu 'Building blocks'

34 de hoek van een optische vezel beneden dewelke stralen geleide stralen worden

35 Schott pdf

36 Schott.com architectural wellness

2.2.6 Technische eigenschappen

Glasvezel LiTraCon blokken

'Normaal' beton

Dichtheid: 2100-2400 kg/m³

Dichtheid: 2400-2500 kg/ m³

Druksterkte: 50 N/mm²

Druksterkte: 5-55 N/ mm²

Buigende treksterkte: 7 N/mm²

Treksterkte: 10 keer kleiner dan druksterkte

Afwerking: gepolijst

Afwerking: gepolijst, gecoat, uitgevlakt...

2.2.7 Prijs

Deze lijst dateert van februari 2007. Het gaat hier over de blokken met standaardafmetingen, zowel in het wit, grijs of zwart, met de organische verdeling van de vezels. De waterdichte afdichting kost 50€/m². Door het productieproces is het vrijwel onmogelijk grootschalige constructieve toepassingen te realiseren. Forse wandelementen zijn niet maakbaar. Grote wanden kunnen alleen door stapelwerk worden opgebouwd. Dit is enorm arbeidsintensief en daardoor financieel onhaalbaar voor grote projecten.³⁷ Een kubieke meter transparant beton heeft ongeveer 200.000 m optische glasvezels nodig waarbij één meter glasvezels 10 cent kost. De hoge prijs van het materiaal samen met de grote inspanningen voor de productie zijn de reden waarom een kubieke meter Litracon ongeveer 50.000 euro kost.³⁸ De prijs van gewoon beton is ongeveer 80€/m³.

Thickness [mm]	Price [EUR/m ²]	Minimum order quantity [m ²]
25	745	6
30	825	5
40	980	4
50	1130	3
75	1520	2.5
100	1900	2
150	2680	1
200	3460	1

2.2.8 Toepassingen

Het materiaal is een middel van expressie in de handen van architecten en kunstenaars. Lichtdoorlatend beton kan de architect de transparantie bieden die in de traditionele betonbouw ontbreekt. Er zijn vele toepassingsmogelijkheden: van kunstobjecten en architectonische spelerei tot dragende muren en vloeren voor gebouwen en zelfs elementen voor in huis zoals keukenaanrechten, trappen... Dit kan dan gecombineerd worden met het veiligheidsaspect: voldoende licht valt binnen om onveilige situaties te voorkomen. Hierbij denken we aan parkeergarages of ondergrondse metrostations, maar ook aan bankgebouwen en soortgelijke utiliteitsgebouwen waarin voldoende lichttoetreding in

³⁷ Artikel bouw IQ 'transparant beton blijft nichemarkt'

³⁸ Production today 'transparent concrete causing a sensation'

contrast staat met de gewenste hoge mate van afscherming. Bij brand kan het eventueel dienst doen als noodverlichting voor vluchtwegen.³⁹

Het meest typische toepasbare gebied blijkt als muur, zowel buiten als binnen. Oost of west oriëntering wordt aangeraden. Op die manier bereiken de stralen van de opgaande en de ondergaande zon de optische glasvezels in een lagere hoek en zal de intensiteit van het passerende licht groter zijn. Het kan ook als muurbekleding worden toegepast die verlicht wordt langs achter.⁴⁰

“Mijn verwachting is, dat dit nieuwe bouw materiaal het interieur van betonnen gebouwen voorgoed zal veranderen, door het licht en luchtig te maken in plaats van donker en zwaar.”

Deur museum Cella Septichora



INGANG MUSEUM CELLA SEPTICHORA, Litracon™

Een project dat reeds uitgevoerd is met de Litracon blokken, bevindt zich in Hongarije. Het gaat hier over een bezoekerscentrum ‘Cella Septichora’ in Pécs. Het centrum is ontworpen door Bachmann & Bachmann Architects. De blokken werden gebruikt voor de toegangsdeur.

De stad Pécs is een historische stad, rijk aan archeologische vondsten. Je vindt er vooral ondergrondse structuren zoals kapellen, kamers, graftombes. Deze gebouwen zijn van grote waarde en betekenis. Het museum leidt de mensen naar deze ondergrondse kamers.

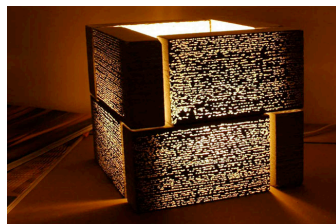
De twee ton zware LiTraCon deur doet dienst als hoofdingang van het bezoekerscentrum. Deze is opgebouwd uit 48 blokken met voorgespannen betonstaal tussen de blokken in. De blokken zijn in een stalen kader geplaatst om de hele structuur te kunnen bewegen. Overdag kan je de schaduwen van de voetgangers en de omliggende bomen van binnenuit zien. 's Avonds is de deur van binnenuit verlicht. De deur is 361 cm breed, 244

³⁹ Het Laatste Nieuws ‘Dragende wanden van lichtdoorlatend beton’ 13 augustus 2004
⁴⁰ Litracon.hu ‘Project walls’

cm hoog en heeft een dikte van 10 cm in het stalen kader.⁴¹

LitraCube lamp

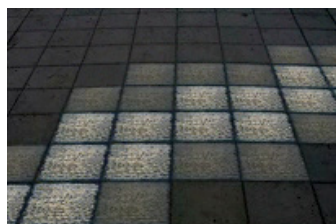
Deze lamp bestaat uit vier identieke stukken Litracon™ beton. Vanwege de speciale geometrie vormen deze stukken een stabiele structuur zonder ze vast te maken. Het design is van de hand van Aladár Csontos en Áron Losonczy. Het element heeft een lengte en een breedte van 19 cm en een hoogte van 20,2 cm. Het weegt 10,5 kg.



LAMP, Litracon™

Bestrating

Het gebruik van Litracon™ als beloopbaar oppervlak dat wordt verlicht langs onderen. Overdag lijkt het oppervlak op een eenvoudige betonnen stoep. Bij zonsondergang beginnen de bestratingsblokken te schijnen, zelfs in verschillende kleuren. Dit product is nog steeds in ontwikkeling.⁴²



VOETPAD, Litracon™

Kunst en design

Het ontwerpen van logo's kan m.b.v. de Litracon blokken. Kleurrijke figuren, inscripties en afbeeldingen kunnen afgebeeld worden als logo. Door delen te graveren, worden bepaalde plaatsen van het oppervlak minder translucient dan gepolijste stukken. Kunstwerken worden gerealiseerd met de beton blokken van Litracon. Zo is de Europe Gate in Hongarije in 2004 gebouwd en meer recent het Iberville Parish Veterans gedenkteken in Louisiana van in 2008.



EUROPE GATE, Litracon™

⁴¹ Dezeen.com 'Litracon-light-transmitting-concrete' 20 januari 2008

⁴² Litracon.hu 'Project pavements'

2.3 Lichtdoorlatend beton o.b.v. kunststofvezels (Luccon)

2.3.1 Idee



TRANSLUCENT BETON, Luccon

In 2006 lanceerde de Duitse betonfirma Heidelbergcement zijn versie van translucent beton, namelijk Luccon.⁴³ Luccon is gemaakt van fijn korrel beton en een doorschijnende stof die in laagjes gegoten is in prefabmallen. Door het relatieve lage gehalte aan deze doorschijnende stof, zijn de soliditeit en de consistentie van lichtdoorlatend beton gelijk aan hogesterktebeton.⁴⁴

2.3.2 Werking

De geleiding van licht door de optische kunststofvezels gebeurt vrijwel zonder verlies, waardoor licht, schaduwen en zelfs kleuren door het beton kunnen worden gezien en dit zelfs door dikke muren. Alle Luccon producten moeten langs achter verlicht worden. Het productieproces en de samenstelling van de Luccon producten maakt onderdeel uit van 'industriële geheim'.

Standaardafmetingen zijn 40 x 100 cm tot een grootte van 160 x 70 cm. De dikte van een standaard plaat bedraagt 20 mm. Afwijkende maten of aangepaste versies zijn beschikbaar op aanvraag. De standaardkleur is lava grijs, maar kleuren zoals ivoor, wit en bruin zijn ook verkrijgbaar op aanvraag.⁴⁵

2.3.3 Technische eigenschappen⁴⁶

Druksterkte: $>90 \text{ N/mm}^2$

buigende treksterkte: $>12 \text{ N/mm}^2$

Schijnbare dichtheid: $2100 - 2300 \text{ kg/m}^3$

Verwerking: Alle gemeenschappelijke methoden voor de verwerking van beton, zoals zagen, afschuiven, boren of polijsten zijn ook mogelijk met de Lucconblokken.

2.3.4 Toepassingen

Luccon Veneer

⁴³ Businessweek.com 'Concrete wonders - translucent concrete'

⁴⁴ sterkteklassen boven 65 N/mm^2 : hoog cementgehalte, lage w/c factor, plastificeerders, voor slanke en hoge constructies

⁴⁵ Luccon technisches merkblatt

⁴⁶ Luccon technisches merkblatt

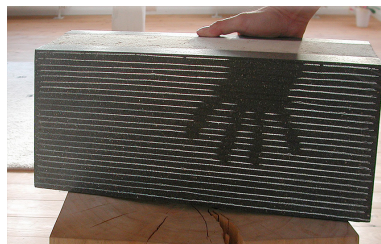
Dit product is tot stand gekomen op vraag van de auto-industrie, die Luccon wilde toepassen als ornamentele strips in het interieur van de auto. Het is lichtdoorlatend fineerbeton met of zonder een hoog percentage kwarts optische vezels. Een specifiek kenmerk van dit product is de driedimensionale plooibaarheid. Met gewone panelen kunnen immers geen organische vormen gemaakt worden. De grootte van de elementen kan gaan tot 100 cm x 50 cm. Niet standaard afmetingen zijn mogelijk. De standaarddikte is 0,8 mm. Het kan dunner. Het element is zeer UV bestendig. Het element wordt best aangebracht op een glazen of plexiglas ondergrond.⁴⁷ Het kan verwerkt worden op verschillende manieren zoals snijden, lijmen, boren, enz. Het fineerbeton element kent toepassing in verschillende gebieden zoals de auto- en jachtengineering, kamerdecor enz. De grenzen van het nieuwe materiaal zijn alleen bepaald door de eigen fantasie en creativiteit.⁴⁸



LUCCON VENEER, Luccon

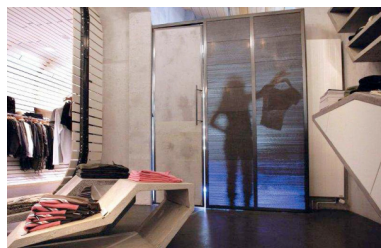
Luccotherm

Luccotherm is een nieuw alternatief in geveltechniek en structureel design. Het bestaat uit hoog treksterkte fijn beton, geïnjecteerd met optische vezels en geïntegreerde warmte-isolatie. Dit doet niets af aan de translucentie van het element. Gebruikt als gevelelement is het bestand tegen vorst en zout. Het element is doorschijnend. Standaardafmetingen van de bouwstenen gaan tot 250 cm x 80 cm. De dikte van het element is standaard 15 cm, dit varieert in overeenstemming met isolatiespecificaties. De warmteoverdracht hangt af van de sterkte van het element: U-waarde tot 0,18 W/m²K zijn mogelijk, afhankelijk van de vraag naar isolatie. Het element is zeer UV bestendig. Het kan verwerkt worden op verschillende manieren zoals lijmen, zagen, schuren, boren, stralen... alle vastgestelde verwerkingsmethoden voor conventioneel beton.⁴⁹



LUCCOTHERM, Luccon

Luccon kan zowel binnen als buiten gebruikt worden. Er zijn reeds vele toepassingen. Luccon is vooral geschikt voor de inrichting van commerciële gebouwen: scheidingswanden die langs achter zijn verlicht, transparante liftschachten, planken, verlichte kolommen, vloerplaten, tentoonstellingscabines, verlichte plafond panelen, douchecabines enz. Reeds commercieel verkrijgbaar zijn de wastafels.⁵⁰ Ook het ontwerpen van logo's is mogelijk.



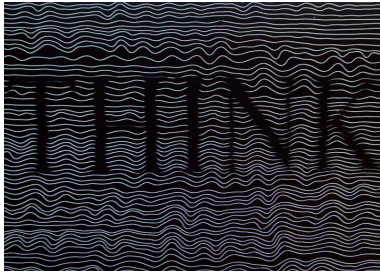
PASKAMER, Luccon

⁴⁷ mail met Sascha George

⁴⁸ Veneer technisches datenblatt

⁴⁹ Luccotherm technisches datenblatt

⁵⁰ Luccon.com



LUCCON PRODUCTEN

De manier om foto's of afbeeldingen zichtbaar te maken is simpel: het motief hoeft enkel geprint op transparante film of op glas en achter het LUCCON paneel geplaatst. Als het verlicht wordt langs de achterzijde, wordt de foto of afbeelding zichtbaar aan de voorkant.⁵¹

2.3.5 Reiniging en onderhoud

Voor alle producten van Luccon zijn de onderhoudsinstructies dezelfde.⁵²

Voor het hydrofoob maken en impregneren van Luccon platen werden Colortech 200 van het bedrijf Hebau en Fleckstop MN van het bedrijf Lithofin bewezen en getest. Men mag kiezen welk product men aanbrengt. De platen zijn waterafstotend af fabriek.⁵³ Na installatie raadt Luccon aan een extra aanbrenging van het beschermende impregneringsmiddel/hydrofoobmiddel in overeenstemming met de instructies van de fabrikant. Het aanbrengen kan plaatsvinden vóór of na de installatie van de Luccon platen. Het betonoppervlak is niet toegankelijk voor 12 uur na de behandeling.⁵⁴

Bij het lijmen van de Luccon platen met de geschikte lijm, is het belangrijk dat de gelijmde oppervlakken niet in contact komen met de hydrofobe elementen. Wegens 'industriële geheim' mag men niet meedelen welke lijm gebruikt wordt, maar het zal waarschijnlijk ook een 2-componenten epoxy hars zijn.⁵⁵

Voor het reinigen gebruik pH-neutrale reinigingsmiddelen, dus geen zeep of bijtende producten. Een droge of vochtige spons of doek kan gebruikt worden voor het schoonmaken. Schurende poeders of schuurspunten mogen niet worden gebruikt. Vloeistoffen met een hoog of intensief kleurenaandeel moeten onmiddellijk worden opgedroogd na contact met het betonoppervlak.

⁵¹ mail met Sascha George

⁵² Luccon Pflegehinweis

⁵³ De verkoper levert de goederen door ze in zijn bedrijfspand ter beschikking te stellen van de koper. De verkoper heeft de minste verantwoordelijkheden. Hij zorgt voor goederen met factuur en de minimale verpakking. De koper is aansprakelijk voor het laden.

⁵⁴ als de bescherming niet meer voldoende is, moet het element eerst worden gereinigd om dan een nieuwe coating te krijgen. Een daling van het beschermend effect vindt plaats wanneer water het betonnen oppervlak binnendringt. De tijd voor vernieuwing van de hydrofoobmiddel/ impregnering hangt sterk af van de mate van gebruik. Instructies voor het aanbrengen volgens de voorschriften van de fabrikant.

⁵⁵ zie LiTraCon

Platen die gebruikt worden in een overwegend vochtige omgeving, bijvoorbeeld een badkamer of buitenshuis, zijn reeds uitgerust met een coating af fabriek. Deze platen vereisen geen extra hydrofoobmiddel of respectieve impregnering. Deze platen kunnen worden gereinigd met gewone huishoudelijke reinigingsmiddelen en zachte borstels.

2.4 Doorschijnende betonblokken⁵⁶

2.4.1 Andreas Bittis versus Litracon

Andreas Bittis heeft architectuur gestudeerd en is bovendien een professionele journalist. Na het lezen van een artikel van Schott over LiTraCon, nam hij contact op met Losonczi voor een interview. Na de eerste ontmoeting was Bittis zo onder de indruk van het product dat hij Losonczi een voorstel deed: het opstellen van een gezamenlijke onderneming. Ze verdeelden de werklust: Bittis wilde de financiering organiseren die nodig was voor de marketing en de dekking van de opstartkosten en Losonczi zou prototypen produceren en de productontwikkeling stimuleren. De eerste publieke presentatie van het materiaal gebeurde in the Ribe Gallery in Londen. Dit bracht een onvermoede echo teweeg in de media. Vele andere tentoonstellingen volgden. Er was veel belangstelling voor het nieuwe materiaal.



TRANSLUCENT BETON, Andreas Bittis

Maar de hype bracht geen geld op in het financieel radeloze bedrijf. Met als gevolg dat de twee partners het oneens begonnen te zijn over de aard van de financiering: Bittis was voorstander van een start-up in de vorm van een vennootschap met beperkte aansprakelijkheid. Beide oprichters zouden gelijke partners zijn. Het patent zou in eigendom komen van het bedrijf. De deelnemende banken zouden tevreden zijn met gewoon de juiste inschrijving in het Duitse handelsregister als zekerheid voor de financiering van de onderneming. Maar voor Losonczi was het opgeven van het patent dat hij zelf ingediend had onaanvaardbaar. In dit opzicht hebben de twee lange tijd overhoop gelegen. Toen duidelijk werd dat Bittis geen geld kon voorzien zonder patent, stortte de start-up in en Losonczi

begon rond te kijken voor partners met meer aanvaardbare financiële voorstellen. De Hongaarse uitvinder is voorstander van het licentiemodel: hij wil zijn patent behouden en licentierechten verlenen aan een bedrijf met de geschikte knowhow en kapitaal, om eerst de prototypes verder te ontwikkelen tot producten en vervolgens deze producten op de markt te brengen. Hij wil Litracon ontwikkelen in zijn eigen stad Csongrád in Hongarije en producten van zijn eigen productie verkopen.⁵⁷

2.4.2 Werking

Wat betreft de beschrijving van de werking en de samenstelling van de 'doorschijnende betonblokken' is deze exact als die op de website van LiTraCon. Het is duidelijk dat er een discussie is rond patent en naam 'Litracon'.⁵⁸

⁵⁶ Technical information www.florack.de

⁵⁷ Production today 'transparent concrete causing a sensation'

⁵⁸ dit werd mij ook duidelijk gemaakt door Noel Naert

Bittis werkt samen met het Duitse bedrijf Florack. De blokken worden geproduceerd, afhankelijk van de esthetische wensen en structurele behoeften van de projecten van de architect. In principe zijn alle maten van prefabbeton mogelijk: van kleine bakstenen tot gevelplaten of bestrating. Omdat het aandeel optische vezels slechts 4% is, hebben de blokken dezelfde technische gegevens als het gebruikte beton. Dezelfde flexibiliteit doet zich voor met de vezels: op dit moment kan de diameter van de vezels worden gekozen van 2 micro- tot 2 millimeter. Ook de techniek voor het maken van de blokken kan verschillen al naar gelang de behoeften van het project: de compositie van de vezels kan aangepast worden aan de vereisten.

Bovendien is het translucet beton een beton met hoge dichtheid - omwille van de uiterst fijne diameter van de vezels moeten de andere aggregaten worden gekozen. De doorschijnende betonelementen worden samengevoegd door ze te lijmen of door ze te combineren in een gemeenschappelijk kader.

2.4.3 Technische eigenschappen

maximale grootte: 2,00 x 1,20 m

Dikte: min 2 cm

Kleuren: wit, grijs, zwart

Gemiddelde dichtheid: 2.400 kg/m³

druksterkte: min. 70 N/mm²

buigtreksterkte: 4-5 N/mrn²

Hieruit blijkt dat het materiaal ook dragend kan toegepast worden. Voor een vergelijking met de technische gegevens van de andere producten, zie vorige subhoofdstukken.



TRANSLUCENT BETON, Andreas Bittis

2.5 Vergelijkende studie

Tussen deze vier hoofdrolspelers van 'beton & licht' zijn vele overeenkomsten maar ook verschillen. De overeenkomsten zijn vooral op het vlak van het uitzicht van het translucente beton, de flexibiliteit naar de ontwerper toe en het doel van het materiaal: beton een licht en luchtig karakter geven, waardoor de dikte en het gewicht van een betonnen muur verdwijnt. Maar elke speler legt de nadruk op een ander aspect van het nieuwe materiaal.

Bill Prices translucēt 'beton' is niet zo bekend en verspreid. Bij hem ligt meer de nadruk op onderzoek. Prices aanpak naar onderzoek en ontwikkeling toe verschilt t.o.v. de meeste uitvinders. Hij begon zijn onderzoek door de traditionele ingrediënten van het materiaal beton te bevragen. Hij bestudeerde elke component en ofwel veranderde hij deze ofwel verving hij het. Hierbij maakte hij gebruik van polymeer en geplet glas. Daarom spreek je niet altijd van beton. Het was een proces van 'trial and error'.⁵⁹ De gietbaarheid van deze elementen was belangrijk. Dit in tegenstelling tot de andere drie spelers, waarbij de elementen enkel in prefabblokken zijn uitgevoerd. Zijn doel is om niet één product, maar een reeks van doorschijnende betonproducten zoals panelen, stenen en blokken te creëren. Daarna experimenteert hij ook met de massa van beton. In een volgende fase werden de Pixel producten gemaakt door een grid optische vezels in te brengen in het beton. De vezels bevinden zich dus in twee dimensies terwijl bij de Litracon producten de vezels slechts in één richting liggen.⁶⁰

De uitvinder van Litracon heeft zich toegespitst op het toevoegen van glasvezels in beton. Het product is op de markt, maar is slechts bereikbaar voor een klein publiek. Litracon en Luccon hebben een soortgelijk product, maar er zijn wezenlijke verschillen. Eén van die verschillen zijn de afmetingen van de blokelementen. Een ander verschil zijn de toegepaste vezelmatten. Luccon maakt gebruik van kunststofvezels i.p.v. glasvezels.⁶¹ Het bedrijf Luccon probeert het materiaal commercieel te lanceren, zoals de wastafels. Het product kent een grote verscheidenheid aan toepassingen en deze zijn reeds op vele plaatsen terug te vinden, zoals in een bar, een juwelierszaak, het logo voor Vodafone, Cork international airport hotel... . Tussen beide partijen heerst een juridische kwestie waarvan de inzet de patentrechten zijn. Er is weinig verschil tussen de producten van LiTraCon en Andreas Bittis. Ook hier heerst discussie. Algemeen beschouwd geldt Aron Losonczi als uitvinder, omdat hij het materiaal als eerste op de markt bracht. Interessant om te weten is dat in 1952 een paper verschenen was met de titel 'Translucent concrete' geschreven door M. Newell met een futuristische visie op het onderwerp.⁶²

Tijdens mijn onderzoek viel op dat over Litracon beduidend meer informatie te vinden was. Luccon en Bittis geven weinig prijs over hun product. Luccon spreekt van industriële geheimhouding. Heeft dit te maken met de kwestie rond het patent? In een brief aan Dezeen Magazine verduidelijkt Losonczi dat Litracon de enige fabrikant en verdeler is van Litracon producten. Hieruit blijkt dat hij angstvallig zijn product wil beschermen.

⁵⁹ Architectural record 'Concrete gets glamorous in the 21st century'

⁶⁰ atelier-ad.blogspot.com 'Light transmitting concrete' 11 september 2007

⁶¹ artikel bouwIQ 'transparant beton blijft nichemarkt'

⁶² Concrete engineering international 'Seeing the light' winter 2006 p.54-55

2.6 Besluit

Het zijn vooral architecten die geïnteresseerd zijn in lichtdoorlatend beton. Toch is de kans klein dat het product met glas- of kunststofvezels ook werkelijk doorbreekt. Het blijkt eenvoudigweg te duur voor een groot marktaandeel. Betondeskundige Hans Köhne, werkzaam bij het Cement & Betoncentrum, ziet dit in de toekomst niet snel veranderen. Het materiaal zal hoogstwaarschijnlijk bereikbaar blijven voor een luxe kleine markt. Köhne: *“De grootste slag kan worden gemaakt met automatisering. Nu bestaat de vervaardiging bijna geheel uit handwerk. Betonmortel en vezelmatten moeten handmatig in de prefabkist worden aangebracht. Het is dus arbeidsintensief en daardoor kostbaar. Machinale verwerking zal de prijs zeker fors doen dalen, maar dit heeft niemand tot nu toe aangedurfd. Wie wil investeren in dergelijke ingewikkelde machines, waarvan het niet zeker is of de investeringen uiteindelijk lonen? Zelf al gebeurt het proces machinaal, dan nog zou het product duur blijven. Lichtdoorlatend beton blijft altijd een veelvoud kosten van gewone betonmortel.”*

Men is reeds aan het experimenteren voor systemen van in het werk gestort beton. Tot nu toe is het enkel mogelijk lichtdoorlatend beton in prefabblokken te krijgen. In het werk gestort beton met doorkijkmogelijkheden zullen in de toekomst tot de mogelijkheden behoren. Ook hier doet zich hetzelfde probleem voor als bij de automatisering van prefab vezelbeton. Welk bedrijf neemt de ontwikkeling ter hand? Productontwikkeling voor in het werk gestort beton is echter een proces waarin veel partijen iets moeten bijdragen. Die ‘versnippering’ van eigenaren staat vooralsnog een echte doorbraak in de weg.⁶³

⁶³ artikel bouwIQ ‘transparant beton blijft nichemarkt’



03

EXPERIMENTEEL ONDERZOEK

CONCEPTUEEL



3. EXPERIMENTEEL ONDERZOEK: CONCEPTUEEL

Dit hoofdstuk handelt over conceptueel omgaan met beton en licht. Daarmee wordt bedoeld dat aan het materiaal beton zelf niets gewijzigd wordt om het een 'licht' karakter te geven. Men gaat dus creatief te werk om licht in een architecturale ruimte binnen te laten met beton als materiaal. In een eerste deel komt Louis Kahn aan bod. Hij dient als voorbeeld voor hedendaagse studenten. Hij heeft zijn eigen unieke manier om daglicht in zijn ruimtes binnen te laten. Hij combineert dit altijd met de betonnen structuur van het gebouw. Deze combinatie is inspirerend voor architecten. In een Blitz beton atelier werd aan de studenten van de universiteit Eindhoven gevraagd een betonnen voorwerp uit te denken dat licht binnenlaat in een ruimte met een plat dak. Daarvoor gingen ze experimenterend te werk, met computer simulaties en echte prototypes als eindresultaat. Het voorwerp heeft bepaalde conceptuele eigenschappen: het is niet zomaar een luttele opening, maar deze opening beoogt lichtinval met speciale effecten. Wat is de invloed hiervan op de gebruiker van de ruimte? Wat kan het element bijdragen aan de ruimte?

3.1 Light, the giver of all presences

Integratie van massa en ruimte: Kahn heeft lang gezocht deze fundamentele en blijkbaar tegengestelde elementen waarvan architectuur is gemaakt, te verzoenen. Voor Kahn werd massa altijd rationeel geanalyseerd als een kwestie van structuur – de basis van het bouwen – terwijl ruimte meer mystiek gedefinieerd werd in termen van natuurlijk licht – de energie die de ruimte tot leven bracht. Het manipuleren van zowel structuur als licht was van essentieel belang bij het maken van 'een kamer', wat volgens Kahn een elementair compositorisch element van de architectuur is. Hij was ervan overtuigd dat de twee elementen samen konden werken.

Hij hield ervan om te zeggen dat architectuur zelf ontstaan was 'toen de muren zich scheidden en de kolommen ontstonden', licht binnenlatend en tegelijkertijd een dragend systeem creëerde. Kahn zei in 1971: "*The room is the beginning of architecture. It is the place of the mind. You in the room with its dimensions, its structure, its light respond to its character, its spiritual aura, recognizing that whatever the human proposes and makes, becomes a life. The structure of the room must be evident in the room itself. Structure, I believe, is the giver of light.*"¹ Volgens Kahn speelt licht een hoofdrol in het maken van architectuur: 'No space is really an architectural space unless it has natural light'.² Licht heeft volgens hem materie en structuur nodig om zijn taak te kunnen volbrengen. Schaduw is even belangrijk als licht. "*Structure is the maker of light. A column and a column bring light in between them. It is darkness-light, darkness-light, darkness-light, darkness-light.*" Kahn was gefascineerd door het voortdurend wijzigen van daglicht.³

Het totstand brengen van een ruimte-definiërende alliantie tussen structuur en licht verzachtte Kahns ontwerpen. Ze werden serener.⁴ Eind jaren '60 formuleerde hij zijn favoriete visie, die mysterieus was: stilte en licht. Kahn zei dat architectuur gecreëerd was op een punt gelegen tussen 'silent ideal' en 'the illumination of the real', ook wel genoemd 'de drempel waar Stilte en Licht elkaar ontmoeten, Stilte met zijn verlangen om te zijn en

1 Louis I. Kahn: in the realm of architecture p.126

2 Louis I. Kahn: in the realm of architecture p.128

3 Daglicht in de architectuur – Sofie Rastelli 2005-2006

4 Louis I. Kahn: in the realm of architecture p.126

Licht als de gever van alle aanwezigheden'. Later breidde hij dit uit met het volgende: Stille is het rijk van de ideale waarheid dat al bestond voor de bouw van de piramides, voor de eerste steen was gelegd. Licht is de energie van het echte: "I sense Light as the giver of all presences, and material as spent Light. What is made by Light casts a shadow, and the shadow belongs to Light. I sense a Threshold: Light to Silence, Silence to Light - an ambiance of inspiration, in which the desire to be, to express crosses with the possible." Aan de hand van twee kort besproken projecten van Kahn, wordt zijn visie omtrent licht duidelijk.

Philips Exeter Academy Library (1965-1971), Exeter, New Hampshire

In deze bibliotheek zijn de eigenschappen van Kahns stijl duidelijk te zien. Vanuit een simpel plan, creëerde hij toch een mooie ruimte gevuld met licht. Functioneel is het een bibliotheek, maar spiritueel is het een heiligdom.⁵ Het gebouw is georganiseerd rond een atrium van vijf verdiepingen hoog, en verstrekt de leeszaal met diffuus daglicht het hele jaar rond. Het atrium wordt omringd door balkons waar de rekken met boeken en studieruimtes zich bevinden.



ZICHT NAAR BOVEN, Flickr

De lezer komt, één verdieping boven de grond, binnen in een vierkante ruimte, die gedefinieerd is door structuur en licht: betonnen cirkels kaderen elke interieurverdieping in, en versterken de hoofdkolommen in de hoek. De zon die langs boven binnenkomt, baadt het geheel in een rustige helderheid. De centrale hal heeft de cirkel-in-rechthoek als leidmotief. Hoewel de boekenrekken duidelijk zichtbaar zijn in de ronde openingen, worden de boeken zelf in relatieve duisternis gehouden.⁶

Ver van de boekenrekken, aan de rand van het gebouw, gaan de muren uit elkaar om natuurlijk licht binnen te laten in de leesruimtes die een dubbele hoogte tellen. In elke leesruimte creëert een mezzanine balkon een bovenste werkniveau naast de rekken. Een rij van houten studienissen, elk voorzien met een eigen raam op bureauniveau dat dicht kan, staan opgesteld tegen de buitenmuur. Deze omgeving beantwoordt aan wat Kahn beschouwde als het instinctieve gedrag van de lezer: "A man with a book goes to the light. A library begins that way." De studienissen geven de studenten de mogelijkheid om natuurlijk licht en het zicht binnen te laten of uit te sluiten en geven hen ook een essentiële autonomie. Kahn zei over scholen in het algemeen: "The windows should be made particular to suit a student who wants to be alone even when he is with others."⁷

⁵ Louis I. Kahn: in the realm of architecture p.129

⁶ Louis I. Kahn: in the realm of architecture p.390

⁷ Louis I. Kahn: in the realm of architecture p.129

Kimbell Art Museum (1966-1972), Fort Worth Texas



RITMERING BUITEN, Flickr

Het leidmotief zijn horizontale cirkelvormige daken/plafonds. Diffuus licht stroomt door de lichtstraten binnen die over de volledige lengte van elk plafondgewelf lopen. Om de inherente verschillen tussen de materialen te beklemtonen, werd de boog van het betonnen dak/plafond radiaal verschoven tegenover de boog van de aangrenzende niet-dragende met travertijn beklede muur. De ruimte tussen deze bogen vormt een bovenraam waardoor licht zijdelings de zalen binnenvalt.⁸

Natuurlijk daglicht moest integraal deel uitmaken van het museum, zonder traditionele oplossingen aan te bieden zoals dakramen of clerestorey-openingen.⁹ Het structurele systeem van buiten zet zich binnen verder. Binnen is het museum opgevat als een opvolging van kamers, gedefinieerd door een geïntegreerd systeem van structuur en verlichting. Het dragende systeem wordt ongekunsteld toegelicht aan de bezoeker. Kahn verwoordde het als volgt: *“How the building is made, is completely clear before you go into it.”* Vier betonnen kolommen ondersteunen een langwerpige betonnen schaal.



BINNEN IN DE GALERIJ, Flickr

De versterking van het gevoel van totaliteit, door elke galerijruimte bezeten, kwam door haar integrale natuurlijke verlichting. Kahn creëerde een dakraam systeem, dat geen gelijke kende in de geschiedenis van de architectuur. Het gebouw opende zich naar de zon namelijk door het scheiden van de dakstructuur en alzo ondersteuning en verlichting samen te verweven. Zo legde hij het uit in 1972: *“Structure is the maker of light, because structure releases the spaces*

between and that is light giving.” Elk gewelf splitst zich over de volledige lengte van zijn kroon. Dit is het hoogste punt van de boog. De positionering van dit dakraam waar het sluitstuk had moeten zijn, toonde aan dat de structuren niet echte gewelven waren, maar gebogen in situ gegoten, nagespannen betonnen balken, elk 30 meter lang. De gewelven definiëren ruimten door licht en structuur te verenigen.¹⁰

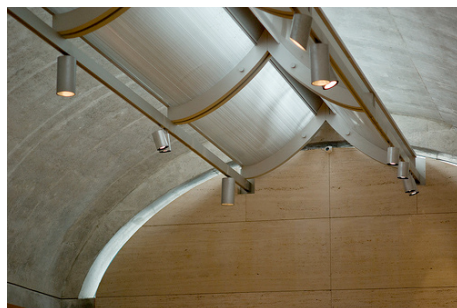
Volgens Kahn heeft natuurlijk licht de mogelijkheid om een ruimte door te dringen met betekenis – ‘to make rooms’. De dakramen van de Kimbell galerijen geven ‘een geruststellend gevoel wetende welk tijdstip van de dag het is’. Dit effect werd afgezwakt door de diffusoren, gebruikt om de schadelijke intensiteit van de Texaanse zon te reduceren. Het natuurlijke daglicht dringt dus de ruimte binnen via openingen (75 cm) in

⁸ Louis I. Kahn, Taschen ‘de Morgen’ p. 79

⁹ Rijen ramen boven ooghoogte die licht in een ruimte binnenlaten. In de moderne architectuur: clerestorey ramen laten licht binnen zonder afleiding van een zicht of zonder de privacy in het gedrang te brengen.

¹⁰ Louis I. Kahn: in the realm of architecture p.130-133

de kroon van een gewelf en valt vervolgens in op een hangend, convex aluminium element – ‘a natural light fixture’. Het licht wordt gereflecteerd op deze aluminium elementen naar de betonnen gewelven. Door deze reflectie van het daglicht wordt het licht omgezet in een egaal, vlak en diffuus zilverachtig licht dat de onderzijde van het tongewelf verlicht en over dit gewelf lijkt te vloeien. Hierdoor lijkt het betonnen gewelf zelf een lichtbron te worden. Wanneer het licht vervolgens op de wand van travertijn en de eiken vloer stoot, warmt het op en vermengt het zich naadloos met het warme kunstlicht van de lampen die bevestigd zijn aan het ‘natural light fixture’.¹¹



NATURAL LIGHT FIXTURE, Flickr

¹¹ Daglicht in de architectuur – Sofie Rastelli 2005-2006

3.2 Besluit

Op een eigenzinnige en unieke manier verenigt Kahn structuur en licht en zo ook materiaalgebruik. Tijdens Kahns leven stond de ontwikkeling van de lichttechnologie nog niet zo ver. Ondertussen is deze verder geëvolueerd en kan men speciale effecten bereiken door gebruik van LED's, luminescerende stoffen enz. Toch slaagt Kahn erin interessante projecten omtrent dit opzicht te creëren. Het gebruik en de beleving van de ruimtes die hij ontwerpt, worden sterk bepaald door het de inval van daglicht. Dit koppelt hij telkens aan de structuur van het project. Hij heeft een sterke visie omtrent dit namelijk "No space, architecturally, is a space unless it has natural light." Hij maakt dus gebruik van reeds aanwezige elementen, daglicht en structuur, en creëert een zekere spanning tussen beiden. Geen truckjes, geen geheimen, hij bereikt zijn indrukwekkende effecten met eenvoudige elementen.

Ook vandaag blijft het onderwerp 'licht' architectuurstudenten boeien. Tijdens een Blitz Beton Atelier experimenteerden zij met beton. De studenten leren aan de hand van deze experimenten beton kennen en gebruiken met al zijn mogelijkheden en beperkingen en dit in relatie met een gekozen thema. Het thema in 2003 was licht. Hun belangrijkste onderzoeksvraag was hoe dat je daglicht kan manipuleren om de ervaring in een ruimte met een plat dak te beïnvloeden. Zij testten dit uit a.d.h.v. computermodellen, maquettes en uiteindelijk in een betonnen prototype. De studenten doen net hetzelfde als Louis Kahn: werken met het beton om natuurlijk daglicht binnen te krijgen. De studenten gebruiken weliswaar andere methoden. Zij werken echte 'lichtarmaturen' uit, maar het doel en het effect zijn hetzelfde.

3.3 Concrete Lightfall, Blitz Beton Atelier 2003

3.3.1 Introductie

Betonbedrijven in Nederland hebben Blitz Beton opgericht, workshops met beton in het architecturale onderwijs. Het doel van deze workshops en atelier series¹² is om beton te leren waarderen als een architecturaal materiaal met groot potentieel. Ze hebben een duidelijke visie: leren door middel van actie en niet enkel uit de boeken, met hoge snelheid en onder hoge druk in een aangename omgeving. Materialen doorgronden door middel van voelen. Tijdens de jaarlijkse Blitz Beton workshop ontwerpen en bouwen de studenten met het materiaal beton voor een paar weken. De Blitz Concrete Workshop 2003 werd georganiseerd door de faculteit Architectuur & Bouwtechnologie TU Eindhoven in samenwerking met ENCI, de Nederlandse Cement Industrie. ENCI heeft het Blitz Beton programma naar voor gebracht als een goede leerervaring met beton. Als Nederlandse marktleider op het gebied van cement en beton, heeft ENCI de verantwoordelijkheid om de opvoeding te bevorderen van de toekomstige architecten en constructeurs. Met het Blitz Beton netwerk worden aan scholen expertise, materialen en faciliteiten aangeboden die niet beschikbaar zouden zijn in de gangbare schoolprogramma's.

De uitdaging was nieuwe producten en toepassingen voor beton te vinden, dat dan een bijzonder aandeel kan betekenen op esthetisch en / of strategisch vlak. Het hoofdthema van het jaar 2003 was 'licht'. De opdracht was het verkennen en het uitwerken van een 'daglicht happer'¹³ met de speciale toevoeging dat het ontwerp speciale effecten moest geven op de woon- en werkervaring in diepe ruimtes met een plat dak. Een andere toepassing zou de toevoer van licht in ondergrondse ruimtes kunnen zijn. De belangrijkste doelstelling was het realiseren van de ontwerpen in beton, en het effect te kunnen testen van het concept in een reële buitensituatie. Het project duurde tien weken.

3.3.2 Thema 'Lichtinval'

In de Blitz Beton workshop heeft men het idee van lichtinval vanuit het volgende perspectief onderzocht: hoe kun je daglicht manipuleren, als het licht binnen wordt geleid door een grondig bepaalde opening met behulp van een 'daglicht happer' in een verder gesloten plat dak? Het onderzoek in de eerste fase ging over de ervaring van het uitstralen en het verzamelen van licht, en hoe je in staat bent deze te manipuleren met de vorm van een opening in een oppervlak. De belangrijkste vraag was: hoe kan licht de ervaring van een ruimte veranderen?

Het proces

Ongeacht hoe de ontwerpen van de studenten er uitzagen, allen werden ze in een simulatieprogramma getest. Daarna werd het reële voorwerp aangepast naar deze simulatie. In de ogen van wetenschappers zijn de praktische bouw en de controle overdreven, maar het bleek niet zo eenvoudig om het betonnen ontwerp heel precies te maken en het te laten lijken op de simulatie.

¹² jaarlijkse workshops en atelier weken met telkens een ander thema

¹³ betonnen object dat in een gevel of plafond geplaatst wordt en dat licht op een mooie manier de ruimte binnen brengt

Goeduitgeruste labo's waren essentieel binnen dit project. Een kamer met daglicht werd vaak gebruikt om een concept te testen a.d.h.v. kartonnen schaalmodellen. In deze ruimte konden de studenten de bedoelde lichteffecten beschrijven, testen en registreren. Lichttechnisch onderzoek is niet uitgevoerd. Het effect in deze kamer geeft een beeld van de realiteit en is dus anders dan het gebruiken van puntbronnen voor het testen van lichteffecten. Het resultaat kon soms tegenvallen. De computersimulaties echter gaven goede oplossingen en lichteffecten. Na dit proces werd het concept reeds omgezet in een ontwerp. De geometrie, afmetingen en kenmerken van het ontwerp werden genoteerd. De volgende stap in het proces was het maken van een prototype. Hiervoor gebruikten de studenten het 'construction engineering lab', waar dat ook de uiteindelijke prototypes werden gemaakt.

Tijdens de betonexperimenten werden de studenten geconfronteerd met de mogelijkheden van het beton maar ook met de onmogelijkheden. De betonproducten werden gemaakt in een mal of bekisting. Er werd een fijn-zand beton gebruikt dat met de mixer was aangemaakt, geen grind. Eventueel werd een eenvoudige wapening toegepast. Anders zou de Workshop te complex worden. Het experiment bestond vooral uit het zoeken naar vormen. Voor de mallen werd gebruikt gemaakt van multiplex of piepschuim. Buiten werd getest of het bedoelde lichteffect was bereikt. Een heuse tentoonstelling was opgezet. Er kunnen namelijk verschillen zijn tussen experimenten uitgevoerd in een gecontroleerde omgeving (labo) dan in de buitenomgeving. Op papier en computer is alles mogelijk.

Het werd weer een heel leerzame ervaring voor de studenten. Dat is de kracht van deze jaarlijkse workshop met ENCI, het is een vruchtbare samenwerking en een wederzijdse stimulans.

3.3.3 De concepten

Er zijn veertien concepten uitgewerkt tijdens dit 'Blitz beton'. Hiervan ga ik er vijf bespreken. De keuze van deze concepten, is gebaseerd op de objecten met het beste lichtresultaat en een technisch sterk uitgewerkt idee. Het is niet zomaar een element, er is nagedacht over de maakbaarheid en de werking.

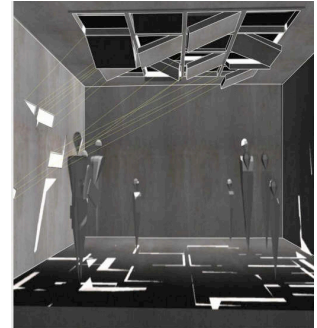
Concept Structure

Francesca Altavilla

Het idee was om het verschil te onderstrepen tussen twee materialen. Het eerste materiaal is beton, een materiaal met hoge dichtheid en het tweede is licht, een materiaal zonder dichtheid. Het contrast tussen deze tegengestelde materialen creëert een zekere spanning. Om een sterke configuratie te realiseren, was de structuur van het dak een belangrijke kwestie. Een van de eerste experimenten met de dakstructuur was gelinkt aan tijd, aangezien het lichteffect verandert gedurende de dag. Geknikte stroken komen los van het dak. Er werden ook kleurstroken aangebracht om de invloed hiervan in de ruimte te zien. Een eerste experimentele model werd gemaakt uit beton en gaf een zeer goed resultaat, omdat de effecten bijna precies dezelfde waren als bij het kartonnen model. Elke strook werd in een aparte mal van styrodur gemaakt. Het plafond werd in lichtstroken onderverdeeld volgens de kortste richting van overspanning. Een raar effect was dat de schaduwen op de muren verschillend waren op elke zijde.

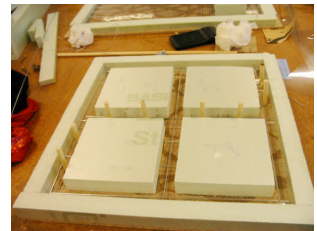


EERSTE MODEL, Francesca Altavilla



NIEUW MODEL, Francesca Altavilla

Men ging door met het herstructureren van het dak in beton. Enkele nieuwe experimenten werden getest. Het nieuwe model was extremer. De verhouding tussen de dichtheid van licht en beton werd omgedraaid: licht is het materiaal dat het beton 'breekt' en in stukken opdeelt. Het plafond werd onderverdeeld in 16 betonnen vierkanten, die zich openen om daglicht binnen te laten, weliswaar in verschillende posities om het effect te versterken. Het toevoegen van kleur door gekleurd papier op de openingen te plaatsen, gaf een leuk effect. Voor het betonnen prototype werd zowel boven- als onderwapening gebruikt. De eerste keer dat dit nieuwe model werd gemaakt, braken sommige betonnen delen af toen het element uit de mal werd gehaald, omdat de structuur te dun was.



MAL, Francesca Altavilla

Het tweede model was dikker. Het voorwerp bestaat uit verschillende delen die achteraf verbonden worden. Het kader wordt in één geheel gestort. Er worden sparingen voorzien voor het achteraf vastschroeven van de vierkante plaatjes. Deze worden in een aparte mal gegoten. Het uiteindelijk voorwerp telde vier betonnen vierkanten. Maar deze kunnen herhaald worden.

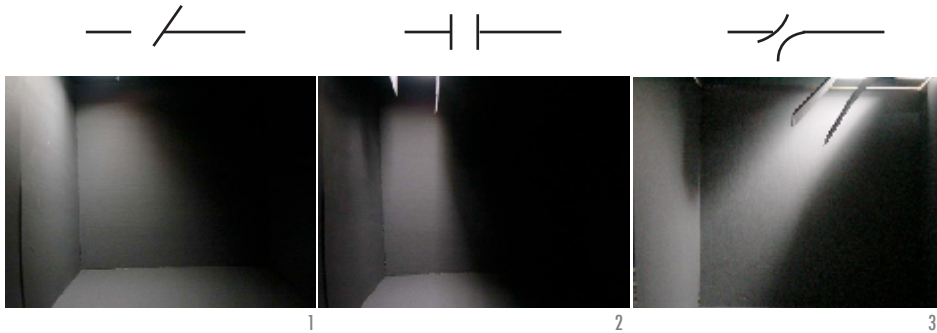


UITEINDELIJKE MODEL, Francesca Altavilla

Concept Control of light

Katrin Fuernschuss

Het idee wordt het best uitgedrukt in de conceptnaam: het controleren van licht. Hiervoor werden verschillende tests gedaan. Allereerst werden experimenten gedaan in de 'daglicht kamer'. De eerste test bestond uit een enkel vlak element dat in verschillende standen werd geplaatst (1). De tweede test bestond uit twee vlakke elementen in verschillende posities (2). Licht kan gecontroleerd worden en het geeft goede effecten. Een volgende test was het gebruiken van twee licht gebogen voorwerpen (3). Dit geeft zeer goede resultaten zelfs bij een lage lichtintensiteit. Hierop is dan de verdere ontwikkeling van het prototype gebaseerd. De keuze voor deze twee gebogen vormen is omdat het een duidelijke en simpele vorm is met toch een maximaal effect. De licht gebogen vormen lieten meer licht binnen.

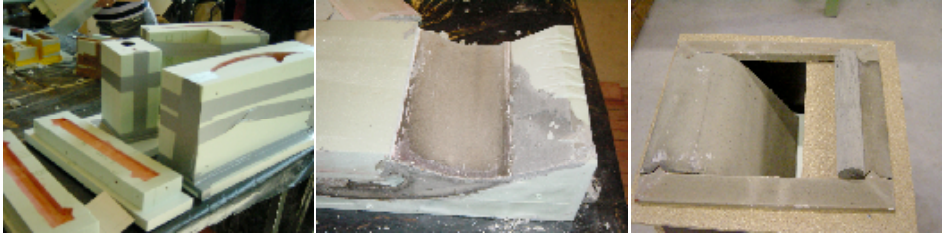


Het object bestaat uit twee delen en een kader. Het rechterdeel is vast, het linkerdeel kan bewogen worden. De diverse posities van het object zorgde voor interessante effecten. Het bewegende deel en zijn tegenhanger dat op het kader bevestigd is, werden voorzien van een cilindrisch geribbeld oppervlak, waardoor het bewegen mogelijk werd. Het bewegend deel kan vastgezet worden in verschillende posities met een pin en een moer. Het kader houdt het object op zijn plaats. Kleureffecten kunnen verkregen worden door het gebruik van plexiglas aan beide zijden van het object. De vorm werd nog geoptimaliseerd.

Hieronder zie je een simulatie van in de daglicht kamer. Het verspreidt diffuus licht (4). Daarna werd deze test herhaald in natuurlijk zonlicht (5). De zon schijnt direct op het vaste gedeelte. De intensiteit van zonlicht is niet hoger dan dat van diffuus licht, maar de kleur is anders, ze is blauwachtig. Als de zon direct schijnt op het bewegende deel, krijg je verschillende kleureffecten (6).



Het maken van het voorwerp in beton verliep niet vlot. In een eerste fase werd het voorwerp uit vier delen gemaakt en na droging aan elkaar gelijmd. Op eerste zicht leek het lijmen van de verschillende onderdelen een goed idee, maar na slechts één ongecontroleerde beweging, brak het kader. Het was niet mogelijk om de delen vrij van stof te ontwerpen, daardoor hield de lijm niet.



EERSTE MODEL,

Hieruit kon afgeleid worden dat het voorwerp uit één geheel moest gemaakt worden en dat versterking, wapeningsnetten, moest gebruikt worden zodat het kader de hoge druk kan opnemen. Het ontwerp bleef hetzelfde, alleen werd de constructie verbeterd. Versterking werd in elk onderdeel aangebracht: het vaste deel is verbonden aan het kader. De mallen zijn van geëxtrudeerd polystyreen. Het kader zelf werd bijkomstig versterkt met een houten kader erin, ter verbetering van de buigingskracht. Het bewegende deel heeft een hoge statische stabiliteit omwille van de versterking en omdat het zwaartepunt precies op het kader rust, zodat het bij geen enkele positie naar beneden kan vallen.

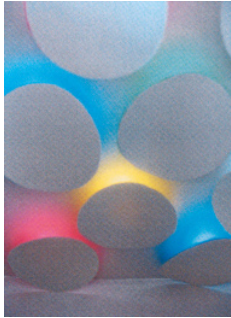
Het uiteindelijke ontwerp bleek stabiel, er is geen kans op breuk. De lichteffecten tijdens de eindtentoonstelling kwamen overeen met die van de testmodellen en waren zelfs beter. Deze effecten zijn een combinatie van direct diffuus licht en gereflecteerd diffuus licht.



UITEINDELIJKE MODEL

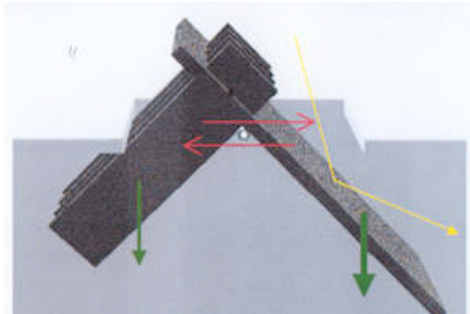
Concept 3 Types of Light

Barbara Vicari



EERSTE TEST, Barbara Vicari

De eerste experimenten bestonden uit het onderzoeken van lichteffecten a.d.h.v. kartonnen modellen door het aanbrengen van snedes of openingen. Bij volgende tests werden meerdere schijven met een gekleurd bovenvlak aan het plafond opgehangen. Het licht reflecteerde op dit vlak naar het plafond. Vanuit de ruimte gezien, is de lichtbron verborgen door deze schijven. Daarna werd dit experiment herhaald maar dan met kegels. Interessante lichteffecten werden bekomen door deze kegels in verscheidene openingen van het dak te hangen. Allereerst komt direct licht binnen in de ruimte door de opening in de kegel. Dan verschijnt gereflecteerd licht op het plafond door reflectie op de buitenkant van de kegel en aan de binnenkant is de kegel verlicht. Deze test werd herhaald met buizen die door het plafond staken. Andere experimenten laten het lichteffect zien met verschillende maten, posities en hoeken van de kegel. Hoe groter de hoek van de kegel, hoe groter het lichteffect.



3 TYPES OF LIGHT, Barbara Vicari

Men verwacht dat drie soorten licht door het lichtobject zouden gaan: ten eerste 'grazing' licht¹⁴ ten tweede direct licht en ten derde gereflecteerd licht. Het eerste model in beton toonde niet 'the grazing light' omwille van het onregelmatige oppervlak. Omwille van dit en omdat het doel is om meer licht door het object zelf te laten binnenkomen en omdat men de drie verschillende soorten licht gelijktijdig wilden laten samenwerken, heeft men het ontwerp van het lichtvoorwerp een beetje gewijzigd. De kegel werd 'geopend'. Na enkele nieuwe experimenten met licht met het nieuwe ontwerp, werd het lichtvoorwerp gemaakt van beton. Het voorwerp bestaat uit een dichte plaat gecombineerd met zes verticale plaatjes, die in een hoek t.o.v. elkaar zijn geplaatst. De plaatjes hebben een lengte van 40 cm en een hoogte van 10 cm. De dichte plaat is 60 cm lang en 2 cm dik. De zes plaatjes steken 5 cm uit boven de dichte plaat.

Het voorwerp kan in drie verschillende standen worden geplaatst d.m.v. een pivoterende staaf die een diameter heeft van twee cm. Het is ook aan deze staaf dat het object vasthangt. Het invallen van het licht wordt bepaald door het gewicht van de plaat. Hierbij is het belangrijk dat de zes verticale platen tegen de opening blijven leunen.

¹⁴ licht dat gereflecteerd wordt van een bron dat zich dicht bij een oppervlak bevindt, meestal om de nadruk te leggen op de textuur van het oppervlak



3 TYPES OF LIGHT UITEINDELIJK ONTWERP, Barbara Vicari

Deze zes platen worden apart gemaakt, met wapening. De dichte plaat is ook gewapend. Bij het eerste model verschenen een aantal scheuren op een zeer belangrijke plaats in het object, namelijk daar waar de zes platen verweven zitten in de dichte plaat. Dus de tweede keer werd daar meer versterking toegevoegd om ervoor te zorgen dat het object niet meer zou breken op hetzelfde punt. Na het drogen werden de 6 platen geassembleerd samen met de betonnen plaat.

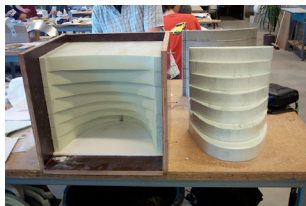
Concept Curved Concrete

Jurriën Vogelsang

De eerste experimenten bestonden uit het buigen van objecten tot divergerende¹⁵ en convergerende vormen wat verschillende reflecties geeft. Dit kan duidelijk worden gemaakt door kleur te gebruiken. Deze objecten werden geplaatst in verschillende posities op de top van het dak. Het resultaat was dat de reflectie van het licht op het plafond het beste was wanneer het object in de opening werd gehangen. Daarnaast is de reflectie op de wanden beter te controleren. Er werden meerdere experimenten gedaan met verschillende objecten in één opening met verschillende maten, vormen en gebogen lijnen. Uit deze experimenten werd duidelijk dat diffuus licht gereflecteerd werd op het plafond en op het object zelf. Daarnaast was er ook direct licht dat de ruimte binnenkwam via de zijkanalen van het lichtvoorwerp.

Het uiteindelijke voorwerp bestaat uit verscheidene lussen die van grootte verschillen die in de opening van het dak worden gehangen. De reflectie op een gebogen oppervlak verlicht een groter gebied. Hier gingen allerlei experimenten aan vooraf zoals de dikte van de lussen, het aantal lussen en hoe deze rangschikken. Een kleurenexperiment werd uitgevoerd om de invloed ervan op de ruimte te zien. Een laatste experiment werd gedaan over de afstand tussen de bogen. De verlichting van een ruimte is groter als de afstand tussen de bogen groter is.

Het eerste model uit beton experimenteerde met verschillende texturen om te zien wat mogelijk was met het materiaal beton en wat voor soort lichteffect er verscheen. Ribbelkarton, smalle houten latjes... werden getest.



MAL, Jurriën Vogelsang

De definitieve mal van het object werd gemaakt van styrodur, dat dan in een houten bekisting wordt geplaatst. De ene kant van de mal was geolied en de andere zijde was bedekt met bladen om een glad en glanzend oppervlak te verkrijgen. Dit model uit beton was niet perfect. Het beton werd gegoten vanaf de zijkant. De druk werd te hoog en stukken van de mal verschoven. De gebogen vlakken waren groter dan verwacht. Ook

verschenen belletjes aan het oppervlak. Dit gaf ruwe randen.



JUIST GIETEN VAN BETON, J. V.

Dus de derde keer werd het beton gegoten vanaf de top. De druk op de zijkanalen is kleiner. Dit gaf een beter resultaat. Dit model werd in de lichtbox met daglicht geplaatst. Het voorwerp heeft het effect van een spot: het belicht een wand in een duidelijke richting. Ten tweede is er diffuus licht waarneembaar tussen de bogen. Het plafond en de bogen zelf worden verlicht door reflectie. In een poging om de lichtintensiteit te verbeteren in de ruimte, werd een gebogen vlak onder een hoek van 30° gedraaid. Maar toch blijkt er meer contrast in de lichtreflectie te zijn bij het normale gebogen vlak.

¹⁵ verspreiden: de lichtbundel wordt wijder naarmate de afstand tot de bron toeneemt en is het tegenovergestelde van convergeren

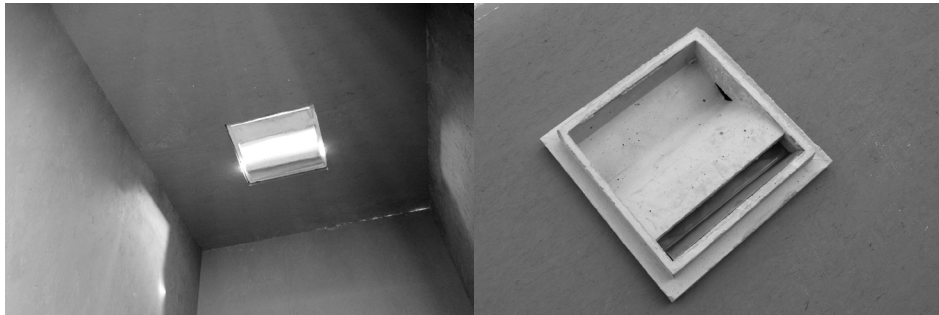


HET UITEINDELIJKE BETONNEN MODEL, Jurriën Vogelsang

Mogelijke toepassingen voor dit object kan zijn in een beeldenmuseum waardat het spoteffect goed van pas komt. Het kan ook in een tunnel gebruikt worden voor het autoverkeer te leiden.

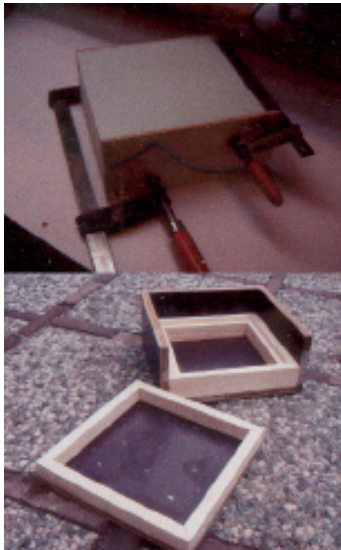
Concept Reproduce Light

Jeroen van Zundert



UITEINDELIJKE MODEL, Jeroen Van Zundert

Beton is meer dan louter een lineair constructiemateriaal. Dit object toont aan dat beton ook gebruikt kan worden voor meer vrije vorm toepassingen en vernieuwende elementen. Er zijn geen grenzen in het ontwerp. Het idee van dit object is dat het in eender welke situatie kan gebruikt worden. Verschillende parameters van het object kunnen gewijzigd worden naar de voorkeur van de gebruiker, vb. de plaatsing. Een ander uitgangspunt was dat het plafond en de licht happer één geheel moesten zijn. Het moest lijken alsof snedes in het beton waren gemaakt en werden omgebogen tot een golf. Er is geen materiaal verdwenen in tegenstelling tot het maken van simpelweg perforaties. Deze golf reproduceert licht en verspreidt dit over het plafond. De zijanten zijn open, waarlangs direct licht binnenkomt. Meerdere objecten zijn nodig om voldoende licht in de ruimte te krijgen. Niet enkel de ruimte waarin het lichtobject zich bevindt wordt gevormd maar ook de ruimte erboven. Het verbindt beide ruimtes. Door gebruik te maken van gepigmenteerd beton is het gereflecteerde licht gekleurd en een gekleurd indirect licht wordt verspreid.



MAL, Jeroen Van Zundert

De mal is gemaakt van polystyreen en hout, zodat de mal hergebruikt kan worden. Vooral voor gebogen vormen is polystyreen ideaal. Om de gebogen polystyreen mal te maken, werden platen, met de gebogen tekening eruit, gelijmd op het polystyreen. Met een hete ijzerdraad werd de vorm dan uitgesneden. Zo ontstaan twee vormen. De twee gebogen vormen van polystyreen werden geschuurd en glad gemaakt met enkele opvullagen. Daarna werd het oppervlak waterafstotend gemaakt met polytex. Het buitenste casco was van hout en de randen rond het model werden gevuld met hout. Deze randen dienen om later het model over de opening te schuiven. De polystyreen vormen worden tussen het hout geplaatst.

Het ontwerp van het lichtvoorwerp kan geïnstalleerd worden op een groen dak, zoals in een park met een ondergrondse openbare ruimte bijvoorbeeld. De dikte van die vloeropbouw is geschat op 600 mm. Dit houdt in dat de zijanten van het object ook 600 mm hoog zijn. Prefab vloerplaten van 1,2 meter breed worden gebruikt

voor de opbouw van de vloer. Daar waar een lichtobject gepland is, wordt een sparing gelaten. De platen die zich erlangs bevinden, worden tijdelijk ondersteund. Zodra de vloer voltooid is en alle lichtobjecten zijn geplaatst, wordt wapening aangebracht waardoor het object verbonden is met de prefab vloer. Daarna wordt de hele vloer voorzien van een laag beton en het lichtvoorwerp en de vloerplaten worden samen gegoten. Aansluitende platen worden nu ondersteund door het lichtobject dat de belasting overdraagt naar de aangrenzende vloerplaten. Het resultaat is een plafond zonder obstakels.

Het voorwerp kan gebruikt worden zowel op een plat dak als op straatniveau. Tussen beide verdiepingen is een relatie en heerst een zekere spanning. Je weet dat er een verdieping lager iets gaande is, maar wat? Het wakkert de nieuwsgierigheid aan van de voorbijganger. Ze willen weten wat die ruimte inhoudt. Het element kan ook 's avond gebruikt worden m.b.v. kunstlicht. Zowel de ruimte boven als beneden kunnen hier een voordeel uithalen. De ruimte beneden moet sowieso verlicht worden. Voor de bovenste ruimte kunnen de elementen als verlichting dienen voor de straat of voor reclame die aangebracht is bovenop het element.



04

EXPERIMENTEEL ONDERZOEK

MATERIAALTECHNISCH

4. EXPERIMENTELE ONDERZOEKEN: MATERIAALTECHNISCH

In dit hoofdstuk zullen betonproducten met een verlichtende applicatie aan bod komen. Dit kan op verschillende manieren nagestreefd worden: ofwel wijzigt men de bestanddelen van 'normaal' beton om zo beton met (ver)lichtende eigenschappen te krijgen of voegt men materialen toe ofwel brengt men verlichtingsarmaturen aan in het beton. Het is niet de bedoeling een betontechnologisch werk te schrijven, maar toch om met een kritische houding deze vernieuwende betonproducten te analyseren. Deze nieuwe betonproducten doen je verwonderen over de mogelijkheden van beton. Bij het zien van deze prototypen, vraag je je af welke andere 'wilde' ideeën mogelijk zijn. Het kan inspirerend zijn. Maar kunnen deze elementen echt een architecturale meerwaarde creëren en toegepast worden of zijn het enkel decoratieve truckjes?

4.1 Introductie

In Moeskroen zijn op 7 maart 2007 de resultaten gepresenteerd en geëvalueerd van de Casestudy Precast Concrete 2006/2007 'Licht op/in/door beton'. De productvoorstellen die in de workshop van december 2006 zijn ontwikkeld, zijn uitgewerkt tot prototypen. De betrokken betonproducenten¹ hebben elk met de architect – deelnemers, 15 in totaal, geëxperimenteerd met diverse maltechnieken, betonsamenstellingen en LED - lichttechnieken.

Van de elf productvoorstellen, die zijn ontwikkeld in de workshop op 13 december 2006 aan de Technische Universiteit Eindhoven, hebben er tien geleid tot een betonnen prototype of zelfs series van prototypen. In dit hoofdstuk heb ik enkel de prototypen behandeld die van toepassing zijn op mijn onderzoeksvraag. De prototypen zijn handmatig gemaakt. Opties voor rationele productie zijn nog niet bestudeerd. In bijna alle gevallen stelde de betrokken personen bij de exclusieve presentatie vast, dat er potentiële kansen zijn voor praktische toepassingen.² M. Pingen van Geelen beton heeft benadrukt dat het proefstukken zijn. De verdere en specifieke uitwerking en toepassing zijn aan de architect die eraan denkt één van de prototypen te gebruiken in zijn project.

Onbeantwoorde vragen, extreme toepassingen en schijnbaar onmogelijke ideeën vormen de basis van deze casestudies. Ervaringen uit het verleden of bestaande voorbeelden kunnen tot een idee leiden. Als uitgangspunt van dit initiatief wilde men de maakbaarheid verkennen van de steeds verder reikende fascinaties en ambities van ontwerpers en vormgevers. Men streeft hierbij ook naar een meer intensieve, uitdagende en vruchtbare communicatie tussen producenten van prefabbeton en ontwerpers. Het doel is de ontwikkeling van een product – prefabbeton. Hierbij staat innovatie centraal in ontwerp, toepassing en productie. De ideeën worden niet alleen op een professionele wijze bestudeerd maar ook daadwerkelijk uitgevoerd.

Ontwerpers en vormgevers werkten samen met specialisten uit de toeleverende industrie en de voorstellen werden in geconcentreerde één-dags brainstormsessies ontwikkeld tot werkbare beschrijvingen voor de uitvoering van prototypen. *Deze worden door de*

¹ vier Nederlandse en vier Belgische: betonindustrie de Veluwe, Geelen Beton, Hurks Beton en Hurks Oosthoek-Kemper; Prefadim, Decomo, Verheyen Beton en Loveld Beton

² document van De Nys Boudewijn, algemeen directeur Prefadim 'Resultaten Casestudy Precast Concrete' 2007 + Beton 'Experimenteren met licht en beton' - juni 2007

*industrie onder professionele omstandigheden vervaardigd en daarna onderworpen aan analyse, kritiek en verdere ontwikkeling voor lopende of komende projecten.*³

Beton wordt vaak gezien als een economische optie, waarbij het esthetische aspect minder belangrijk is, ondanks het groeiend aantal zeer uitgesproken en aansprekende voorbeelden, waarin beton juist wordt ingezet voor zijn esthetische kwaliteiten. Beton blijft in de ogen van veel ontwerpers en opdrachtgevers toch vaak grijs, saai, zwaar en functioneel. Ze denken dat beton beperkt is in de mogelijkheden om het materiaal naar hun hand te zetten. Met de casestudies brengt men een brede groep ontwerpers in dialoog met de industrie. *Een dialoog die niet bestaat uit louter informatie over bestaande mogelijkheden en kennismaking met de laatste toepassingen, maar één waarin aan de ontwerpers wordt gevraagd wat zij willen maken.* Aan hen wordt gevraagd vrij te denken en te ontwerpen, los van voorkennis met betrekking tot technische mogelijkheden en los van bestaande en schijnbaar impliciete beperkingen qua productie en financiën. *Elk voorstel wordt serieus en professioneel benaderd.*⁴

Elk idee wordt in twee brainstormsessies toegelicht, ontwikkeld en uiteindelijk verwerkt tot een prototype. De Casestudies richten zich in eerste instantie op onderzoek naar en ontwikkeling van beton. Ze zijn ook een kennismaking van verschillende culturen: die van ontwerpers en producenten. *De voorstellen zijn vaak zo extreem dat in het korte tijdsbestek van een Casestudy slechts sprake kan zijn van een eerste maar zeer belangrijke aanzet tot een serieuze productinnovatie.* Veelbelovende prototypen worden binnen individuele afspraken verder onderzocht en ontwikkeld. De kern van de Prefab Concrete Casestudies is het ontdekken van elkaars fascinaties, ambities en potenties; de potenties van beton; de fascinaties voor het materiaal van zowel de ontwerpers als de industrie; en de ambities ten aanzien van esthetiek, productie en innovatie.⁵

In de volgende hoofdstukken komen de verschillende prototypen aan bod, hierbij in gedachte houdende dat het steeds om experimenten gaat. Het doel was een innoverend betonproduct te ontwikkelen. De materialen moeten dus nog verder onderzocht en ontwikkeld worden, ze bevinden zich nog in hun eerste fases. Elk prototype heeft zijn doel en daardoor dus ook zijn eigen karakter en ontwikkelingproces.

³ Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008+ Casestudies precast concrete 2006

⁴ Casestudies precast concrete 2006

⁵ Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008 + Casestudies precast concrete 2006

4.2 Led-integratie

*LED-integratie is een onderzoek naar het naadloos integreren van hedendaagse verlichtingstechnieken met prefabbeton elementen. Onderzocht is of met standaard ingrediënten van betonelementen de LED-verlichtingselementen kunnen worden aangestuurd.*⁶

4.2.1 LED-verlichting⁷

LED's (Light Emitting Diodes) bieden veel voordelen ten opzichte van de traditionele gloeilampen. Welke precies hangt af van de desbetreffende toepassing, maar hier zijn enkele belangrijke voordelen:

- algemene voordelen
 - zeer lange levensduur (50.000 uren)
 - lagere onderhoudskosten
 - hogere efficiëntie dan gloei- en halogeenlampen
 - LED's lichten meteen op
 - volledig in sterkte regelbaar zonder kleurverlies
 - geven kleuren direct weer zonder filters
 - volledig kleurenspectrum
 - dynamische regeling van kleuren en instelbaar witpunt⁸
 - langere levensduur dan lampen nl. zeven tot tien jaar
- ontwerpvoordelen
 - volledige vrijheid dankzij verborgen licht
 - levendige, volle kleuren
 - gericht licht voor meer efficiënte systemen
 - niet gevoelig voor trillingen, schokbestendig
- milieuvoordelen
 - bevat geen kwik
 - geen infrarood- of UV-straling in het zichtbaar licht

Werking⁹

Een LED is een halfgeleider¹⁰. Wanneer een LED op elektrische stroom wordt aangesloten, bewegen elektronen zich door het halfgeleidermateriaal waarbij sommige elektronen overgaan in een lagere energietoestand. Bij dit proces wordt de resterende energie afgegeven in de vorm van licht. De golflengte, en daarmee de kleur, van het licht kan op nagenoeg elke manier worden ingesteld met behulp van diverse halfgeleidermaterialen en productieprocessen. Bovendien is de breedte van de golflengte relatief smal, waardoor de kleuren helder worden weergegeven.

Momenteel worden de meeste LED's gemaakt van traditionele, samengestelde halfgeleidermaterialen zoals galliumnitride (GaN). LED's gemaakt van organische materialen

⁶ Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008

⁷ Philips Lighting.com

⁸ het punt waar uit een bepaalde menging van de drie primaire kleuren wit ontstaat

⁹ Philips Lighting.com

¹⁰ halfgeleider: een materiaal met bijzondere elektrische eigenschappen, gevormd door een niet-geleidende stof, die geleidend is gemaakt door verontreinigingen van kleine hoeveelheden van bepaalde toevoegingen. Met combinaties van bepaalde halfgeleiders kunnen elektrische componenten als diodes worden gemaakt.

(OLED's) beginnen hun intrede te doen. Deze materialen, gemaakt van polymeer, vaak aangeduid met PLED's of PolyLED's, bieden veel van de voordelen van de traditionele LED's, maar kunnen worden uitgevoerd in buigbare lichtbronnen.

Lichtbron

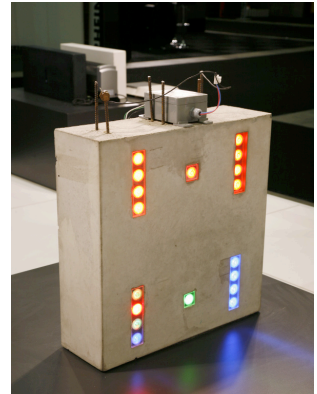
Bij LED-integratie zijn er twee mogelijkheden. De lichtbron kan ofwel buiten het beton geplaatst worden, of kan in het beton geïntegreerd worden. Het nadeel van de tweede optie is dat defecte LED's niet of heel moeilijk vervangen kunnen worden.

1. afzonderlijke lichtbron: Hierbij wordt een LED of een andere lichtbron aan de ene kant van het beton geplaatst.
2. geïntegreerde lichtbron: Hier worden er LED's aan de buitenkant van de betonnen wand opgenomen.

4.2.2 Geïntegreerde lichtbron – zichtbare LED's

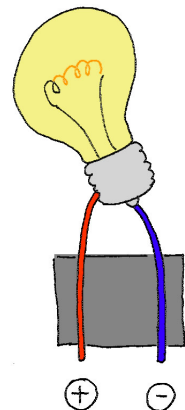
Dit prototype werd ontwikkeld door Prefadim met standaard LED modules van Philips namelijk Intuos LMS, die in diverse kleuren verkrijgbaar zijn. Het idee en ontwerp van dit prototype komen van Henk van Laarhoven, Raf van Tichelen en Stefan Verbrugh.

De doelstelling was om gebruik te maken van de reeds aanwezige wapening in de betonelementen om de LED's te voorzien van een elektrische voeding. Een raster van sockets op de wapening gekoppeld zou hiervoor kunnen worden gebruikt. De sockets kunnen tegelijkertijd dienen als afstandshouder tussen twee aanwezige wapeningsstaven en hierdoor de normaal aanwezige afstandshouders (deels) vervangen. De sockets zouden ook gebruikt kunnen worden om hierop de LED's vast te klikken.¹¹



LED's, Geveltotaalbeurs

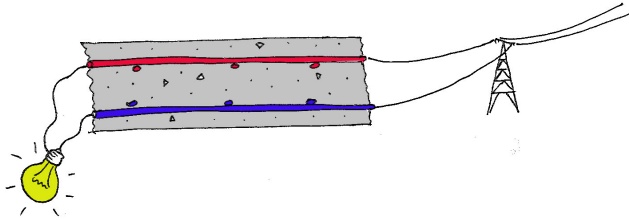
Deze LED's worden aan de buitenkant van de betonnen wand opgenomen. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden. Ofwel worden de LED's met gewone elektrische geleiders aangesloten aan een spanningsbron. Ofwel worden wapeningsstaven als elektrische geleider gebruikt. De lage-voltage LED-verlichting blijkt prima te werken met wapeningsstaal of voorspanstaal als geleider. Door een spanningsbron aan te sluiten op deze geleiders ontstaat een elektriciteitsnet waarop LED-armaturen kunnen geklikt worden. Het is mogelijk om de kleur en de volgorde waarin de LED's gaan branden te programmeren. Dit is afhankelijk van het patroon waarin de geleiders geschakeld zijn en/of de LED's aangestuurd worden met impulsen. Nadeel is wel dat het beton echt droog moet zijn om zelf niet elektrisch geleidend te zijn, beton als isolator. Het duurde enkele dagen vooraleer het prototype



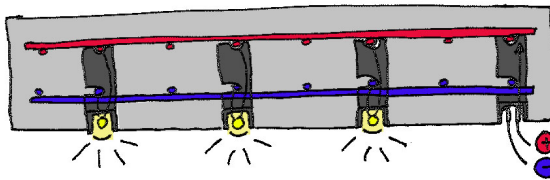
¹¹ document van De Nys Boudewijn, algemeen directeur Prefadim 'Resultaten Casestudy Precast Concrete' 2007

werkte. Zowel elementen met een boven- en ondernet als voorgespannen kanaalplaten worden ingezet.¹²

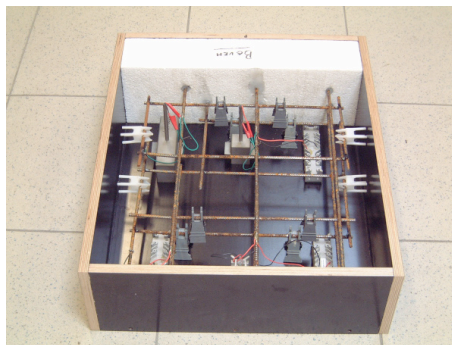
Nodig voor elektrische verlichting zijn twee geleiders, namelijk een positieve en een negatieve, en daartussen een isolator. (tekeningen van Raf Van Tichelen)



In gewapend beton zijn deze elementen potentieel aanwezig namelijk druk van het (droge) beton geldt als isolator, de trek van de wapening geldt als geleider.



Het principe gaat als volgt: de bovenwapening wordt gevoed met positieve laagspanning¹³ en de onderwapening wordt gevoed met negatieve laagspanning. De afstandhouders tussen de boven- en de onderwapening kan men gebruiken als aansluitpunten voor de verlichting.



SOCKETS EN LED'S BEVESTIGD AAN WAPENING, Geveltotaalbeurs

De afstandhouders moeten zo ontworpen worden dat ze afzonderlijk elektrisch contact hebben met boven- en onderwapening. Een eenvoudige socket komt onderaan de

¹² Beton 'Experimenteren met licht en beton' - juni 2007 + Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008

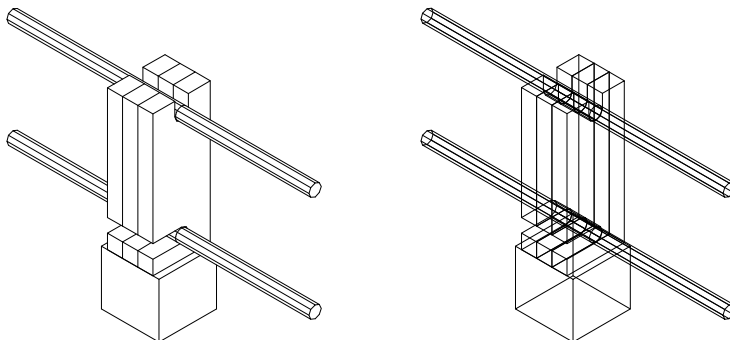
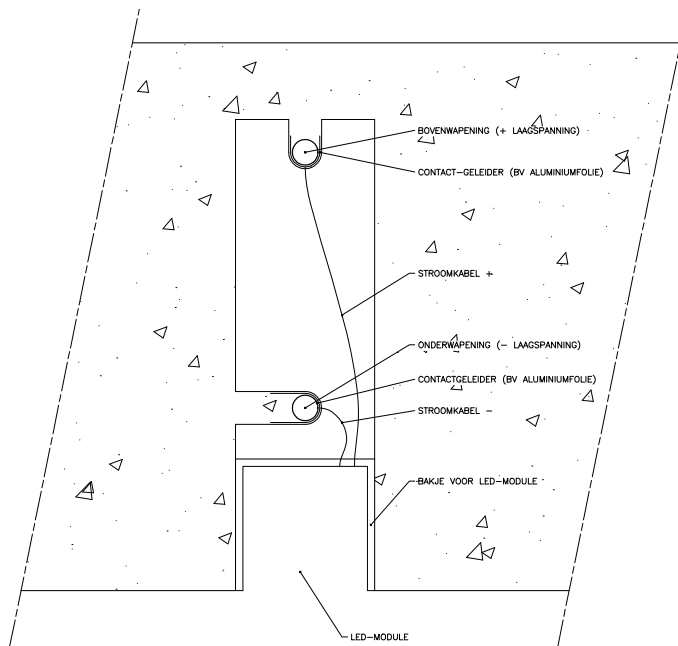
¹³ laagspanning: wisselspanningen tot 1000 volt en gelijkspanningen tot 1500 volt. Tot de laagspanning behoort ook de standaard 230/400 volt netspanning die gebruikt wordt in huishoudelijke, utiliteits- en industriële installaties.

afstandhouder zodat een LED lamp kan worden ingeplugd.

Aandachtspunten hierbij zijn:

- het spanningsverlies beperken bij een groot wapeningsnet
- corrosie vermijden
- afstandhouders eenvoudig te produceren
- afstandhouders eenvoudig te gebruiken in productieproces
- aansturing verlichting via power line modem zodat geen bijkomende kabels nodig zijn
- ook zonder lichtpunt dient het aansluitpunt afgewerkt te zijn

Mogelijke toepassingen zijn beton met boven- en onderwapening, prefab terrassen, wanden, vloerplaten van vb. ondergrondse parkeergarages...¹⁴



Experimenten ¹⁵

Een eerste idee in de werkgroep was om de techniek van de voeding via de wapening zichtbaar te maken. Om esthetische redenen werd dit idee snel verlaten. Bovendien diende deze wapening tot niets en droeg niet wezenlijk bij aan de stabiliteit van het element.

Na een aantal kleine experimenten die positief verliepen, was gebleken dat het mogelijk was om de LED's te voeden via de klassieke wapening aanwezig in de gewapende betonelementen. Zowel gewone wapening als wapening in inox kan hiervoor gebruikt worden. Grote, lange en zelfs dikke staven vormen geen probleem, ook niet voor de transformators¹⁶. Doordat er doorheen de wapening laagspanning stroomt, is er geen gevaar voor mogelijke elektrocutie. Het aantal LED's, dat kan gekoppeld worden aan een zelfde transformator, is afhankelijk van de grootte van deze transformator. Bij een kleine transformator zijn dat er 4. Een grotere transformator kan veel LED's verdragen. Het in betonneren van LED's en transformators bleek geen probleem te vormen, ook niet voor de afkoeling ervan.

Na deze eerste experimenten, werden een aantal prototypes geschetst van de sockets, dienstdoende als afstandhouder en isolator tussen de wapeningslagen, die onder een positieve en negatieve spanning staan en dienstdoende als houder om de LED's er op te pluggen. Bij wijze van experiment is er een prototype gemaakt met een aantal LED's gekoppeld aan de wapening en het geheel ingebetonnerd. Na het ontkisten van dit betonelement probeerde men deze wapening onder spanning te zetten via de transformator, maar de LED's wilden niet branden. Hoogstwaarschijnlijk had dit te maken met het feit, dat het beton nog te veel vocht bevat, waardoor er kortsluiting ontstond tussen de positieve en negatieve polen via het nog te vochtige beton. Na drie dagen uitdrogen, werkte het evenwel toch.

Toekomst

Er moeten echter nog veel experimenten en testen uitgevoerd worden: passende houders of sockets in serie produceren voor verschillende wand- en vloerdiktes voor de LED's en de transformators. Een verdere productontwikkeling samen met de producenten van de LED's, is hier aan de orde, want volgens het bedrijf Prefadim zit hier een potentiële markt in. De ontwikkeling van specifieke armaturen voor toepassing van LED-elementen in beton zal zeker kunnen bijdragen aan een verdere inpassing die onder andere vervanging en onderhoud mogelijk maken. M. Verbrugh van Philips deelt mee dat Prefadim en Decomo het zeer haalbaar achten om dit soort LED modules in echte prefabbeton constructies toe te passen. Er is zelfs gesproken over verlichting van ruimtes, dus wit licht. De LED modules zouden dan in prefab beton platen, die een vloer of plafond gaan vormen, ingegoten moeten worden. Hiervoor verkiest men dat de ruimtes verlicht worden door een lichtbron bij het plafond, dat geeft het prettigste resultaat.¹⁷

¹⁵ document De Nys Boudewijn algemeen directeur Prefadim 'Resultaten Casestudy Precast Concrete' 2007

¹⁶ toepassing: het omzetten van een hogere wisselspanning, zoals de netspanning, naar de gewenste lagere wisselspanning

¹⁷ uitleg door Stefan Verbrugh, Technology Manager LED Systems

Toepassingen

De mogelijke toepassingen lijken onuitputtelijk, van algemene verlichting tot specifieke aan de situatie aanpassende dynamische bewegwijzering geïntegreerd in de plafonds of vloeren van parkeergarages en signalering. Zelf denk ik hierbij aan esthetische interieurtoepassingen of gevelverlichting.

Intron

Een Nederlands bedrijf INTRON lanceerde samen met Traxon Technologies in maart 2008 een prototype van een LED betonmuur. Zij noemen dit een “levende betonmuur” en het bestaat uit een combinatie van LED's en beton waarbij de gebruiker van een ruimte een zeer verrassend effect ervaart als de muur ineens begint te “leven”, en waarbij de muur tevens vele functionele toepassingsmogelijkheden kent. Er werd een prototype ontwikkeld met LED boards van Traxon Technologies, ieder met 16 individueel aanstuurbare RGB LED's, verwerkt in een betonwand. Het licht van de LED's is zichtbaar aan de buitenkant van de betonmuur door het toepassen van optische vezels verwerkt in het beton. De LED's van het prototype kunnen individueel aangestuurd worden d.m.v. Traxon's besturingstechnologie, maar het is ook mogelijk om een wand in zijn geheel handmatig van kleur te doen veranderen.¹⁸

4.2.3 Geïntegreerde lichtbron – onzichtbare LED's

De opzet van het project was om een betonelement van lichtgevende punten te voorzien met de mogelijkheid om deze bij defect te kunnen vervangen en/of onderhouden. Deze lichtpunten moeten een indruk van levendigheid en transparantie geven aan een harde materie zoals beton. Wanneer de LED's niet branden zijn zij onopvallend, van op afstand lijkt het gewoon beton.¹⁹ Hierbij lag de nadruk niet op het ontwerp maar meer op de mogelijkheden binnen de huidige LED-technologie in combinatie met beton. Op welke manieren kan je LED's in beton integreren?²⁰ Het idee en het ontwerp van deze prototypes zijn van de hand van M. Verbrugh Stefan en is uitgewerkt in samenwerking met Decomo.

Lint met LED's

De lichtbron is in het beton opgenomen zodanig dat de lichtbron zeer dicht achter het oppervlak zit. In de kern van de betonplaat werden PVC rails ingestort. Hierin zijn met behulp van kleine boutjes op regelmatige afstand gaatjes voorzien, welke eveneens als doel hadden om de rail op een vaste afstand te houden tijdens het storten van het beton. Deze boutjes waren achteraf heel gemakkelijk uit te draaien zonder het beton te beschadigen zodat er een lichtdoorgang werd gecreëerd. Daarna



LINT MET BLAUWE LED'S, Geveltotaalbeurs

¹⁸ Intron.nl 'Levende betonmuren'

¹⁹ Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008 + casestudies

²⁰ Beton 'Experimenteren met licht en beton' - juni 2007

werden de linten met LED's in de rails geschoven totdat deze op de juiste positie ten opzichte van de voorziene gaatjes kwamen.²¹

In de versie met de blauwe LED's is een standaard Philips product gebruikt: Affinium LED String. Dit product is in een groot aantal LED kleuren beschikbaar en sinds kort ook met High Power LED's.²² In dit geval kan de lichtbron niet zo gemakkelijk worden vervangen als bij de optie met de glasvezels. Bij de huidige LED-techniek is de levensduur circa 10 jaar, veel langer dan een gloeilamp of fluorescentielamp, maar nog steeds korter dan de levensduur van een gebouw.²³

LED's aan het betonoppervlak

Bij dit prototype is nog een maltechniek toegevoegd; een speciale reliëfmat met parallelle ribbels van wisselende dikte. Met de schaduw effecten kan een fotoafdruk worden gesuggereerd, vb. het portret van Marilyn Monroe. Door LED's in te storten kunnen op gekozen maar voor het effect vitale plaatsen twinkelende lichtjes worden getoond.

4.2.4 Afzonderlijke lichtbron – onzichtbare LED's

Ook hier was de opzet dezelfde namelijk het creëren van een betonelement met lichtgevende punten. Het idee en het ontwerp van het prototype zijn van de hand van M. Verbrugh Stefan en is uitgewerkt in samenwerking met Decomo.

De lichtbron bevindt zich buiten het beton en het LED-licht wordt via optische vezels door het beton geleid tot het oppervlak. Het is mogelijk om hiermee een sterrenhemel-effect te creëren. In de grondplaat van de bekisting werden er volgens het ontwerp gaatjes geboord waarin de vezels werden vastgehouden. Het zijn plastieke vezels. Daarna werd het beton gestort, en na uitharding wordt het beton gepolijst. Aan de achterkant komen de vezels eruit en komen ze samen bij een "LED fibre engine". Dit is geen standaard product, maar een eenmalig prototype.²⁴ Door de kleine diameter van de vezels, zijn deze in het betonoppervlak niet of nauwelijks te zien. Als de LED-lichtbron wordt ingeschakeld, ontstaat plots een schitterend effect van twinkelende lichtjes in het oppervlak.²⁵



STEREEFFECT, Boudewijn De Nys



STEREEFFECT OFF, Boudewijn De Nys

21 Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008 + concrete casestudies prototypen die ontstonden uit een brainstorm met ontwerpers en producenten

22 uitleg door Stefan Verbrugh, Technology Manager LED Systems

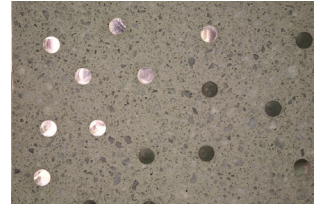
23 Beton 'Experimenteren met licht en beton' - juni 2007

24 uitleg door Stefan Verbrugh, Technology Manager LED Systems

25 Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008 + Beton 'Experimenteren met licht en beton' - juni 2007 + concrete casestudies prototypen die ontstonden uit een brainstorm met ontwerpers en producenten

4.3 Transparante kunststofstaven

Dit prototype richt zich op een vlakke afwerking van een gevel of wand. Het idee en ontwerp komt van Sven De Bock in samenwerking met Hurks Beton. Door middel van perforaties van verschillende diepten wordt een afwisselend patroon van schadueffecten verkregen. In de plaats van gaten zijn transparante kunststofstaven ingestort. Deze methode versterkt het spel tussen een strakke en vlakke afwerking met een variatie aan schaduw, licht en reflectie. Variatie in de afwerking van de betonoppervlakken is mogelijk om de effecten te versterken of juist te camoufleren en pas onder speciale omstandigheden te laten verschijnen. Dit kan door middel van kleur- en textuurverschillen.²⁶



KUNSTSTOFSTAVEN, Hurks Beton

Het uiteindelijke uitzicht van beton wordt bepaald door de samenstelling en de oppervlakteafwerking. Cement is een belangrijke kleurbepaler van het betonoppervlak.²⁷ Beton kan ook in zijn volledige massa gekleurd zijn en is samengesteld op basis van diverse toeslagmaterialen, cementsoorten en hulp-, vul- en kleurstoffen. De kleur van het beton is bepalend voor de reflectie. Wit beton reflecteert beter.²⁸

De afwerking van beton heeft effect op de reflectie. Gepolijst beton kan de (spiegelende) lichtreflectie in een ruimte tot 100% verhogen en op die manier de opbrengst van lampen verhogen. Dit betekent een betere zichtbaarheid, minder verlichting en een hogere veiligheidsfactor.²⁹ Gewoon beton is een smalle diffuser.³⁰ Beton verspreidt een zacht licht.

²⁶ Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008 + casestudies

²⁷ Licht dat op een oppervlak valt, is 'wit licht'. Als het oppervlak bestanddelen van het opvallende licht absorbeert, ontbreken bepaalde golflengten in het gereflecteerde licht. Dit gereflecteerd licht wordt dan als gekleurd waargenomen. Als alle stralen volledig worden weerkaatst, kleurt het oppervlak wit. Als alle stralen worden geabsorbeerd dan kleur het oppervlak zwart. Wanneer per golflengte naar verhouding eenzelfde fractie van het invallende licht wordt geabsorbeerd, ontstaat een grijs tint. De grootte van de fractie hangt af van de aard van het absorberend materiaal en de textuur van het oppervlak. (febelcem)

²⁸ holcim.nl

²⁹ masterss.be

³⁰ ppt lichtreflectie en lichtverstrooiing – architectuur PHL, diffuus: licht komt van alle kanten

4.3.1 Transparante kunststofstaven

Geheel amorphe kunststoffen zijn transparant, zoals PMMA³¹, PS³² en PC³³. Dit zijn thermoplasten.³⁴ Polymethylmetacrylaat, beter bekend als plexiglas, lijkt de beste keuze uit de thermoplasten voor het gebruik van transparante kunststofstaven. Bepalend hiervoor zijn de treksterkte, zijn reksterkte en zijn duurzaamheid. Het wordt o.a. gebruikt voor veiligheidsbeglazing en metaalvervangende toepassingen. Afhankelijk of dit prototype buiten of binnen toegepast wordt, is het belangrijk om de warmtegeleidingscoëfficiënt in rekening te brengen. Nu is deze voor thermoplasten in het algemeen goed, het komt namelijk in de buurt van hout. De warmtegeleidingscoëfficiënt van hout ligt tussen 0,1 en 0,5 W/mK.³⁵

Tabel 9.10 Enkele kunststoffen, sterkte en rek bij breuk

	σ_t	σ_d	σ_b	R breuk
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%
PVC hard	50-60	80	80-120	20-55
PE hard	30	25	40	>750
PP	300	50	45	>600
PC	60	80	80	>100
PMMA	70	110	135	3-4
PS	40	60	75	15
Nylon (PA)	40	80	25	150

VERGELIJKENDE TABEL

31 bekend als plexiglas: glashelder, duurzaam, weerbestand, hard, Tg: 80-110 °C, brandbaar (Materiaalkunde - bouwkunde & civiele techniek, Verver en Fraaij p. 483, 499)

32 hard materiaal in gebruikstoestand, bros waardoor uitgebreide bouwtechnische toepassingen niet mogelijk zijn, glashelder, metaalklank, glaspunt Tg is 95 °C. Boven die temperatuur wordt het materiaal slap en vervormbaar, matig weerbestand (materiaalkunde - bouwkunde en civiele techniek, Verver en Fraaij p. 481, 498)

33 goede mechanische en elektrische eigenschappen, amorphe structuur, glasachtig transparant, slag- en krasvaster dan plexiglas, groot gebied aan toepassingen, kan hoge temperaturen aan tot 135° (materiaalkunde - bouwkunde en civiele techniek, Verver en Fraaij p. 483, 498)

34 temperatuurgevoelig gedrag: hard bij normale gebruikstemperaturen, zeer lage temperaturen bros breekbaar, zacht bij hoge temperaturen

35 Materiaalkunde - bouwkunde & civiele techniek, Verver en Fraaij p. 470

4.4 Totaalbeton

Het proefstuk werd door Hurks Beton³⁶ in 2007 vervaardigd en is ontstaan in samenwerking met de adviseur Hans Köhne van het Cement & Beton Centrum in 's-Hertogenbosch en de ideehouder Gert Cuypers van Cuypers & Q architecten te Antwerpen.

Totaalbeton is de ultieme droom van elke architect. Het is een integraal element dat voorziet in een veelheid aan mogelijke eigenschappen die van een bouwelement kunnen worden verwacht: voldoende draagkracht en stabiliteit, warmte- en vocht-isolerend, transparantie en duurzaamheid. Een aantal van de vereiste eigenschappen is intrinsiek aanwezig in beton. De warmte-isolatie en de transparantie worden in het kader van deze casestudy geïntegreerd. Om aan de eis voor transparantie te kunnen voldoen, is het noodzakelijk een element te ontwikkelen dat niet gelaagd is. Dit bepaalt dat de isolerende werking van het element 'door en door' moet zijn. Hiervoor heeft men geëxpandeerde klei³⁷ in plaats van grind toegepast.

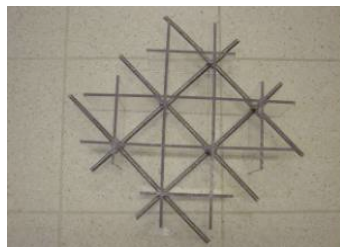


TOTAALBETON, Geveltotaalbeurs

4.4.1 Kunststofplaat

Door het gebruiken van kunststofplaten kan de gewenste transparantie bekomen worden. Het levert een veel grotere mate van lichtdoorlatendheid dan bijvoorbeeld het gebruik van glasvezels en het is ook goedkoper. Als doorzichtig plaatmateriaal wordt plexiglas³⁸ gebruikt. Het plexiglas werd hierbij niet in het vlak of aanzicht van de wand geplaatst, maar letterlijk in de dwarsdoorsnede. Er wordt een samenstel van plexiglas-stroken ontwikkeld in de vorm van een honingraat zodanig dat dit als een afstandhouder tussen de wandbekisting kan worden geklemd. De sparingen in de plexiglas stroken maken de realisatie van het element mogelijk. Hierdoor kan de betonmortel door de honingraat vloeien en wapeningsstaven kunnen door de honingraat worden gestoken.

Het element is na het ontkisten gepolijst wat niet alleen de cementlaag aan het oppervlak verwijdert maar tevens zorgt voor een gelijkmatige glans tussen kunststof en betonoppervlak. Er blijkt verrassend veel licht door het element te komen. Het honingraatpatroon wordt zichtbaar door het licht dat van achteren door de kunststofplaten valt. De 'transparantie' kan geoptimaliseerd worden door variatie in rastermaat en dikte van de transparante platen. Het resultaat is een proefstuk met een



HONINGGRAATPATTERN, Gert Cuypers

³⁶ hurksbeton.nl

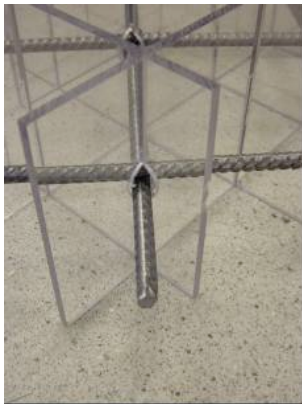
³⁷ speciale korrels klei die door verhitting uitzetten. Dergelijke kleikorrels worden gebruikt voor isolatiemateriaal. Als grondstof wordt kalkarm klei met fijn verdeelde organische bestanddelen gebruikt, die wordt gemalen, gegraneleerd en tot 1200°C verhit in een draaitrommeloven om zo opgeblazen kogelvormige korrels te verkrijgen. De kern van de korrels heeft dichte poriën en de oppervlakte is gesinterd.

³⁸ transparante thermoplast, polymethylmethacrylaat (PMMA) is een polymeer van methylmethacrylaat, het laat 90% van het licht door en wordt vaak ter vervanging van glas gebruikt

transparant honingraatpatroon, dat met een zwart zelfverdichtend lichtbeton gestort is. Het soortelijk gewicht van dit type beton is 1900 kg/m^3 , de warmte-isolatie is beter in vergelijking met conventioneel beton namelijk 2400 kg/m^3 .

4.4.2 Wapening

Wapening wordt gebruikt waar dit constructief nodig is. De betondekking om de wapening is noodzakelijk om corrosie te voorkomen. 'Totaalbeton' moet dusdanig flexibel zijn dat de wapeningstaven overal en in iedere richting geplaatst kunnen worden. Om dit te realiseren werd een transparante kunststofplaat werd in stukken gezaagd, met een hoogte die gelijk is aan de hoogte van de bekisting (120 mm). Over twee derde van de hoogte van de plaat is een zaagsnede aangebracht. Ongeveer in het midden van de hoogte van de plaat is een gat geboord met een diameter van 20 mm. Hierin werden later twee staven met een diameter van 8 mm geplaatst.



STAVEN EN PLEXIGLAS, Gert Cuypers

De platen werden op deze wijze gezaagd, om ze als honingraatpatroon in elkaar te kunnen zetten. Twee lagen staven zijn loodrecht op elkaar gekozen. De wapeningstaven en de kunststofplaten snijden elkaar in een hoek van 45 graden. Andere hoeken zijn ook mogelijk, hiervoor moet de afstand van de platen aangepast worden.

De staven liggen in de opening van de kunststofplaten en verbinden deze. Na het storten wordt een starre verbinding tussen beton, staal en kunststof verkregen, die de platen op hun plek houdt.

4.4.3 Klei

Geëxpandeerd klei, met een soortelijk gewicht van 1.15 kg/dm^3 , vervangt de grindkorrels



KLEIKORRELS, Gert Cuypers

in het beton. Door de poreuze toeslag komt een grote hoeveelheid extra lucht in beton terecht, waardoor een verbeterde warmte-isolatie verkregen wordt. Het soortelijk gewicht van beton kan nog lager door enerzijds zand in het mengsel te vervangen en anderzijds door extra lucht aan het beton toe te voegen. Er wordt een nog betere thermische isolatie verkregen.

4.4.4 Beton

Zelfverdichtend beton is een betonsoort met een hoge vloeibaarheid dat na het gieten niet meer verdicht dient te worden. Daardoor kunnen de kosten voor het gieten beperkt worden. Voor zelfverdichtend beton is het niet genoeg dat het beton vloeibaar genoeg is, bij een te hoge vloeibaarheid treedt segregatie³⁹ op. Verder moet het mengsel door zijn

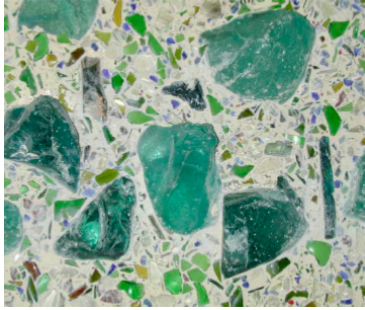
³⁹ dit is het zinken van alle zware deeltjes

eigengewicht de moeilijkste gaatjes kunnen opvullen.⁴⁰ *Zelfverdichtend lichtbeton vraagt speciale aandacht bij de samenstelling om het opdrijven van de kleikorrels te voorkomen. Ook de “samenwerking” tussen de bekisting en beton is relevant om met zo weinig mogelijk lucht aan het oppervlak te kunnen vullen. Aan het mengsel is een grotere hoeveelheid zwarte kleurstof toegevoegd om het contrast tussen het invallende licht en het zwarte betonmengsel te vergroten.*

Het honingraatrooster met wapening werd in een bekisting geplaatst en met beton opgevuld. Na het uitharden werd de plaat van twee kanten gepolijst om de cementshuid te verwijderen en de toeslagkorrels aan het oppervlak te halen. De positie van observatie bepaalt ten opzichte van het element of invallend licht gezien kan worden of niet. Het honingraatrooster is van de zijkant nauwelijks te herkennen is. Ter plaatse van de verbinding tussen de wapeningstaven en kunststof loopt beton tussen de platen en wordt het lichttransport belemmerd. Het honingraatpatroon blijft echter zichtbaar. Het is mogelijk dat licht vanuit de kunststofplaten door poreuze kleikorrels of lichtdoorlatende korrels straalt en deze verlicht.

⁴⁰ wikipedia.org 'zelfverdichtend beton'

4.5 Glas in beton



VERRAZZO, Verrazzo B.V.

Om het uiterlijk van beton te wijzigen, dat vaak nog steeds wordt gezien als een grof, grijs en saai materiaal dat enkel dient voor constructieve doeleinden, gaat men experimenteren met het toevoegen van glas, om het beton zo een aantrekkelijker uiterlijk mee te geven. De mogelijkheden variëren van het vervangen van toeslagmateriaal door kleine glasscherven tot het aanbrengen van grote brokken glas in het beton. Hierbij moet wel gedacht worden aan de sterkte en de duurzaamheid van dit glasbeton. Kan het nieuwe materiaal ook constructief worden toegepast? Kan het zowel binnen als buiten worden gebruikt? Als glasbrokken worden toegepast in beton zal lichtdoorval mogelijk zijn en zal 's avonds ook een speels effect geven. Bovendien kan door het vervangen van toeslagmateriaal door glas een aantrekkelijk gekleurd uiterlijk ontstaan.⁴¹

4.5.1 Sterkte

Als in een betonnen wandelement grote brokken glas worden aangebracht, zal dit de structuur van het beton doorbreken. Dit kan gevolgen hebben voor de sterkte van het wandelement, vooral in gebieden waar trekspanningen optreden. Om deze invloed van de glasbrokken te onderzoeken wordt gebruik gemaakt van het eindige elementenprogramma Atena2D. Voor de modelleringen wordt uitgegaan van een wandelement met een dikte van 120 mm (constructief wandelement). Hieruit blijkt dat de sterkte van een constructief element niet afneemt als glasbrokken in de trekzone worden aangebracht die het wapeningsnet niet doorsnijden.⁴²

Worden glasbrokken echter ook ter plaatse van de opleggingen aangebracht, dan zal het draagvermogen aanzienlijk afnemen, tot wel 30%. De aanhechting tussen het glas en het beton is niet zo sterk. Hierdoor kunnen nauwelijks schuifspanningen worden opgenomen in dit aanhechtingsvlak. De overige verzwakte betondoorsnede moet alle schuifspanningen overdragen, waardoor het element na verloop van tijd op dwarskracht bezwijkt. De vloeispanning⁴³ van de wapening wordt ter plaatse van de opleggingen overschreden en niet in het midden van de wand. Ook het toepassen van glasbrokken die de wapening onderbreken heeft een hoge afname van het draagvermogen tot gevolg. De afname is afhankelijk van het aantal wapeningsstaven dat wordt doorsneden. De overige wapening moet meer krachten op zich nemen en zal eerder vloeien. Het is dus af te raden uit oogpunt van sterkte lange glasbrokken te gebruiken. Langere vormen leveren grote scheuren op. Als het gebruik van lange glasbrokken omwille van esthetische redenen gewenst is, zal bij de dimensionering van het wandelement rekening moeten worden gehouden met een afname in draagvermogen. Lange glasbrokken hebben tevens een verlaging van de stijfheid tot gevolg. Door de zwakke aanhechting tussen beton en glas zullen scheuren ontstaan langs het glas die de stijfheid van het (wand)element doen

41 thesis Ir. I. Vegt 'Glas in architectuur' augustus 2003

42 thesis Ir. I. Vegt 'Glas in architectuur' augustus 2003

43 weerstand tegen verdere vervorming bij wrijvingsloos aangenomen deformatie, die afhangt van de temperatuur en van de deformatiegrootte en-snelheid

afnemen. Ook treden in de drukzone scheuren op bij de hoekpunten van de glasbrokken doordat bij deze hoeken spanningspieken optreden die de treksterkte van het beton overschrijden.⁴⁴

4.5.2 Krimp

Het ander aspect, is krimp van glasbeton. De invloed van grote glasbrokken op de krimp van een element werd met het programma Atena2D vastgesteld. Krimp is ook bestudeerd door middel van experimenteel onderzoek. Er werden drie betonnen platen gestort met grote glasbrokken, waarvan het beton ook glasscherven heeft als toeslagmateriaal. De betonnen platen zijn tevens gemodelleerd met Atena en de uitkomsten zijn vergeleken. Uit deze vergelijking blijkt dat het modelleren van krimp in Atena een negatiever beeld geeft van de gevolgen dan in werkelijkheid het geval is. De simulatie voorspelt scheuren, terwijl deze scheuren in werkelijkheid niet optreden. In werkelijkheid treedt relaxatie van beton op waardoor opgebouwde spanningen worden verminderd en er manifesteren geen scheuren. In de praktijk blijkt dat uiteindelijk wel scheuren rond de glasbrokken zullen ontstaan, maar deze scheuren blijven beperkt tot haarscheuren. In aanwezigheid van vocht zal de duurzaamheid van het materiaal hierdoor wel afnemen.⁴⁵

4.5.3 Alkali-silicareactie

Een laatste duurzaamheidsaspect is de gevoeligheid voor de alkali-silicareactie (ASR). De alkali-silicareactie is de reactie tussen de alkaliën in het beton en de silica uit het toeslagmateriaal. In een binnenklimaat zal geen schade aan constructies optreden als gevolg van de alkali-silicareactie.⁴⁶

Glas bestaat voor ruim 70% uit SiO_2 (silicaat). De kans op de alkali-silicareactie bij het toepassen van glas in het alkalische milieu van het beton is reëel. Dit wil zeggen dat er een chemisch proces ontstaat waarbij het glas en het beton in contact met vocht gaan reageren met elkaar en een nieuw eindproduct vormen, namelijk ASR gel. Deze zal meer ruimte innemen naarmate er meer vocht wordt geabsorbeerd. Hierdoor zal het beton van binnen uit scheuren en daardoor zijn sterkte verliezen. De hoeveelheid glas heeft gevolgen voor de grootte van de expansie. Bij een grotere hoeveelheid glas is ook een grotere expansie te zien is. Uit onderzoeken is gebleken dat helder glas meer expansie tot gevolg heeft dan groen glas en amberkleurig glas. Testen hebben aangetoond dat een beton met hoogovencement minder gevoelig is voor ASR dan een beton met portlandcement. Omdat de alkali-silicareactie kan optreden is de toepassing van glasbeton in een buitenklimaat af te raden. In combinatie met ontstane haarscheuren door krimp kan ASR leiden tot schade aan betonnen (constructie)elementen. Uit oogpunt van sterkte levert het toepassen van glasbrokken in een constructief element geen problemen op.⁴⁷

4.5.4 Vorm

Voor economische redenen is het makkelijker om rechte vormen te gebruiken omdat deze stukken glas afkomstig kunnen zijn van vensterglas, met een maximale dikte van 25 mm, en de eventuele mallen voor de glasbrokken makkelijker te fabriceren zijn. Het is

44 thesis Ir. I. Vegt 'Glas in architectuur' augustus 2003

45 thesis Ir. I. Vegt 'Glas in architectuur' augustus 2003

46 thesis Ir. I. Vegt 'Glas in architectuur' augustus 2003

47 tudelft.nl

goedkoper om (afval)vensterglas te gebruiken dan de brokken te laten gieten. Om een grote lichtdoorlatendheid te verkrijgen, zullen gegoten brokken moeten worden gebruikt. Een andere mogelijkheid die economisch aantrekkelijk is, is het gebruiken van brokken glas die uit de laag glas zijn gehakt die onder in de oven van een glasfabriek achterblijft. Deze brokken hebben zeer onregelmatige vormen en zijn waarschijnlijk niet heel doorzichtig, maar wel doorschijnend. De korrelvorm en -structuur bepalen de verwerkbaarheid en sterkte. Het oppervlak van korrels kan glad of ruw zijn. Bij een ruw oppervlak zal meer water in de specie nodig zijn, maar de aanhechting tussen de korrels en het cement is beter. Een gedrongen of ronde vorm geeft een betere verwerkbaarheid, maar voor goede aanhechting tussen korrel en cementsteen is een langwerpige korrel beter.⁴⁸

4.5.5 Verdeling

De verdeling bepaalt de uitstraling van het element. Door hiermee te spelen kan een vorm worden uitgebeeld of een bepaald effect gecreëerd. De functie van een element is bepalend voor de verdeling. Als veel wapening in het element moet worden aangebracht is de ruimte voor glasbrokken beperkt en zal waarschijnlijk een soort raster ontstaan. Als het element weinig of geen wapening bevat kan meer gevarieerd worden in de plaatsing van de glasbrokken. Voor de lichtdoorlatendheid is het belangrijk om voldoende glas aan te brengen waardoor genoeg licht door het materiaal kan vallen. Horizontaal aangebrachte stroken hebben bijvoorbeeld een grotere lichtdoorlatendheid dan verticaal aangebrachte stroken.⁴⁹

4.5.6 Toepassing

Beton met glas is een zwaar materiaal. Daarom zou het niet alleen voor een decoratieve functie maar ook voor een constructieve functie gebruikt kunnen worden. Betonnen constructie-elementen zoals kolommen en balken lenen zich niet voor een toepassing met grote glasbrokken omdat het lijnvormige elementen zijn waarbij lichtdoorval geen betekenis heeft. Bovendien krijgen dergelijke constructieonderdelen grote krachten te verduren. Onderdelen zoals wanden, daken en gevels zijn dichte vlakken waarbij glasbrokken, die licht doorlaten, een positieve bijdrage leveren aan het uiterlijk van het gebouw en de sfeer van het interieur. De kostprijs van glasbeton zal door de vele bewerkingen waarschijnlijk niet laag zal zijn. De kans op toepassing in een publieke instelling waar sfeer en uitstraling belangrijk zal zijn groter. Bovendien is de warmteweerstand van een betonnen plaat met glasbrokken te laag om het materiaal als scheiding tussen binnen- en buitenklimaat toe te passen. Een inpandig wand verdient daarom de voorkeur.⁵⁰

48 thesis Ir. I. Vegt 'Glas in architectuur' augustus 2003
49 thesis Ir. I. Vegt 'Glas in architectuur' augustus 2003
50 thesis Ir. I. Vegt 'Glas in architectuur' augustus 2003

Max light⁵¹

Max Light is een onderzoek naar de mogelijkheden om betonelementen met een zo groot mogelijke mate van transparantie te maken. Ontwerper Elise Vandewalle werkte hiervoor samen met Hurks Oosthoek-Kemper. Er is gekozen om het grind als grof toeslagmateriaal in de betonmortel te vervangen door transparante elementen met behoud van een minimum aan zand als fijn toeslagmateriaal, namelijk glas. Er bevindt zich dus weinig of geen grind in het beton. In normaal beton met een correcte korrelverdeling is het aantal holtes tussen de korrels (granulaten) beperkt en de hoeveelheid grove granulaten zo groot mogelijk. Een goede korrelverdeling is belangrijk om een dichte korrelstapel te krijgen, die leidt tot een hogere sterkte, dichter beton en minder krimp. Hieruit kan je dus afleiden dat 'max light' niet geschikt zou zijn als structureel beton, maar eerder voor interieur en esthetische toepassingen. Indien we de trek- en druksterkte van glas beschouwen⁵², respectievelijk 10.000 N/mm² en 100.000 N/mm², dan kan het glas misschien als vervanging dienen van grind. Omwille van het milieu kan gerecycleerd glas⁵³ worden gebruikt.



MAX LIGHT, Geveltotalbeurs

Het is voordeliger om een holle kolom te gebruiken als vorm, omdat de wanddikte van de ronde vorm minimaal kan zijn. Het is de bedoeling om een betonsamenstelling te vinden waarbij er een maximum van contactpunten tussen de glaskorrels of glasscherven is. Hiervoor wordt tenminste 64% van de totale massa glas gebruikt. Vergelijken we dit met normaal beton, toegepast in een binnenomgeving, dat een w/c factor heeft in de praktijk van grosso modo een halve liter water per kilo cement, kan beton C25/30 dienen, met D_{max} tussen 20,22 en 32 mm.⁵⁴

Zelfs zonder het betonoppervlak te behandelen, komt er al enig licht door de wand. Het oppervlak kan na storten en ontkisten worden uitgewassen of gepolijst om zo de buitenste cementlagen te verwijderen om de transparante elementen in het beton aan het oppervlak te krijgen. Dit geeft een sterk lichteffect. In de holle kolom kunnen bovendien verlichtingselementen geplaatst worden.

Verrazzo B.V.

Het bedrijf Verrazzo B.V werd opgericht naar aanleiding van een nieuw product dat een inventieve en creatieve uitvinding is om twee problemen uit de milieuwereeld te verminderen door deze te combineren. De twee problemen zijn de schaarste aan grind & zand en de

⁵¹ Beton 'Experimenteren met licht en beton' - juni 2007 + Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008 + concrete casestudies prototypen die ontstonden uit een brainstorm met ontwerpers en producenten

⁵² lezing 'ontwikkelingen in het construeren met glas' Prof.Ir. Frans van Herwijnen

⁵³ glas: zilverzand (kwartzand), soda, kalksteen, diverse oxiden (magnesiumoxide, aluminiumoxide, kleurstoffen, ...) en (fijn gemalen) gerecycleerd glas dat 20 tot 25% van het schaarse zilverzand vervangt

⁵⁴ 'voorschrijven van beton volgens de normen' + ABC van cement en beton, FEBELCEM

restproducten bij glasrecyclage. Het idee om gerecycleerd glas aan beton toe te voegen, als grind- en zandvervanger, schept hoge verwachtingen, omdat het mogelijk is om beton translucient te maken! Het kan een meerwaarde betekenen voor beton. Per 1000 kg Verrazzo wordt 100 kg gerecycled materiaal gebruikt en dus 700 kg primaire grondstof vermeden.⁵⁵ Gerecycleerd glas is in grote hoeveelheden beschikbaar en er is een grote variëteit aan kleuren, vormen en afmetingen op de markt. De Technische Universiteit Delft heeft experimenteel onderzoek uitgevoerd naar de eigenschappen van het nieuwe, geotrooieerde bouw materiaal verrazzo om de benodigde informatie te verkrijgen voor het op verantwoorde wijze toepassen van dit materiaal in de bouw.

Glas verschilt wat betreft technologisch relevante eigenschappen, zoals korrelvorm; oppervlaktestructuur; volumieke massa en waterabsorptie, van riviergrind en zand dat de betontechnologische consequenties van de vervanging van riviergrind en zand door recycleglas groot kunnen zijn. Maar dit hoeft echter geen probleem te zijn om met gerecycleerd glas beton te maken.

Het nieuwe materiaal is een kruising tussen gewoon beton⁵⁶ waar gerecycleerd glas aan toegevoegd is en terrazzo⁵⁷ en het heet dus verrazzo.

Het nieuwe materiaal bestaat uit gerecycleerd glas met diverse vormen en een matrix van cement met diverse natuursteentjes, kleurstoffen en water. Het betreft hier alle vormen die in gerecycleerd glas beschikbaar zijn, zoals flessenbodems, vensterglasscherven... Dit geldt ook voor natuursteen.⁵⁸ *Het aandeel glas bedraagt tenminste vierenzestig procent van de totale massa van het uiteindelijke product.* De effecten die het glas aan het materiaal geeft zijn verwonderlijk: in sommige situaties kan reflectie ontstaan en zelfs lichtdoorlatendheid. *Door te spelen met gerecycleerd blank, groen, blauw en bruin (vlak)glas, restanten (brokken) uit glasfabrieken en door pigmenten toe te voegen aan het betonmengsel ontstaat sierbeton met een enorme diversiteit en een unieke uitstraling.* Door het zeer grote aandeel glas in het nieuwe bouw materiaal, zal het glas na het polijsten ook aan het oppervlak aanwezig zijn. *Het glasafval dat verwerkt wordt in verrazzo bevat keramiekafval. Aangezien in de samenstelling ook natuursteen verwerkt wordt, is de extra toevoeging van keramiekafval, dat in het afgewezen gerecycleerd glas zit, niet nadelig.* Naast gerecycleerd glas en natuursteen worden kleurpigmenten aan het mengsel toegevoegd om het beton een kleurig uiterlijk te geven.

Voordat deze nieuwe betonsoort op verantwoorde wijze toegepast kan worden, moeten de materiaaleigenschappen bekend zijn. In een aantal deelonderzoeken zijn verschillende aspecten aan de Technische Universiteit te Delft onderzocht. Eerst heeft men een onderzoek gevoerd naar het materiaal. Daarbij onderzocht men de druksterkte, de (buig)treksterkte, de elasticiteitsmodulus, de soortelijke massa, de vorstbestendigheid, de lichtdoorlatendheid en de aanhechsterkte glas – cement. Uit een kleinschalig marketingonderzoek bleek dat er belangstelling was voor het product. Als laatste onderzocht men de geschikte toepassing voor dit materiaal.

⁵⁵ senternovem.nl 'Verrazzo'

⁵⁶ bestaande uit zand, grind, cement en water

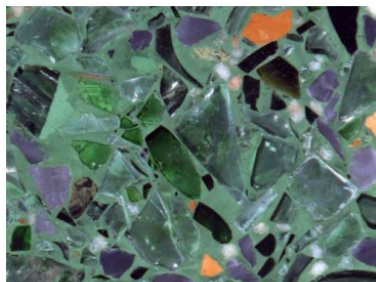
⁵⁷ bestaat uit gebroken natuursteen, kleurpigmenten, cement en water en wordt in het bijzonder toegepast in vloeren en panelen.

Na het uitharden wordt het materiaal gepolijst, waardoor het het uiterlijk van vb. marmer of graniet krijgt.

⁵⁸ Contact met Gerrie Hobbelman werking bij universiteit Delft

Eigenschappen

De materiaalonderzoeken hebben betrekking op twee soorten materiaal, materiaal A en B. Materiaal A is samengesteld uit bont, niet op kleur gescheiden, recyclageglas uit de glasbak met een fractie van 5 tot 31,5mm. De tweede materiaalsoort, materiaal B, is samengesteld uit lange stroken vlakglas⁵⁹ met een fractie van 100mm en een dikte van 19mm.



- *Druksterkte*

De druksterkte van de twee verschillende soorten Verrazzo is bepaald aan de hand van kubussen met afmetingen van 150 x 150 x 150 mm³ na 28 dagen. De gemiddelde druksterkten na die tijd bedroegen 42,6 N/mm² en 55,7 N/mm² voor respectievelijk materiaal A en materiaal B. De druksterkte van gewoon beton bedraagt 5-55 N/mm². Uit het onderzoek kan afgeleid worden dat de materialen geschikt zijn om toegepast te worden in een bouwproduct dat onderdeel is van een draagconstructie.



BOVEN MATERIAAL A & BENEDEN MATERIAAL B, Verrazzo B.V.

- *Treksterkte*

De treksterkte van materiaal A is bepaald aan de hand van kubussen met afmetingen van 150 x 150 x 150 mm³ na 28 dagen. De gemiddelde treksterkte bedroeg 3,6 N/mm². Ondanks dat het materiaal in dit geval iets beter presteert dan beton, waarbij de treksterkte 10 keer kleiner is dan druksterkte, blijft de relatief lage treksterkte een nadelige eigenschap van Verrazzo. Het materiaal is dus constructief gezien alleen geschikt als er wapening toegepast wordt of voor elementen die niet of nauwelijks op trek belast worden.

- *Buigtreksterkte*

De buigtreksterkten zijn bepaald aan de hand van een aantal driepuntsbuigproeven. De gemiddelde buigtreksterkten bedroegen 3,6 N/mm² en 16,2 N/mm² voor respectievelijk materiaal A en materiaal B. Uit dit onderzoek zijn dezelfde conclusies te trekken als uit het onderzoek naar de treksterkte. Er moet bij het ontwerpen rekening gehouden worden met het feit dat Verrazzo niet geschikt is om grote trekspanningen op te nemen. De juiste positionering van de lange glasstroken kan echter wel een positieve bijdrage leveren aan de sterkte, waardoor er meer mogelijk is dan bij ongewapende betonnen elementen. Dit betekent dat lange glasstroken in de overspanningsrichting de sterkte verhogen, loodrecht daarop verlagen ze de sterkte.

⁵⁹ glas zoals dat gebruikt wordt in de bouw, ook wel vensterglas genoemd

- *Elasticiteitsmodulus*

De elasticiteitsmodulus varieert per soort. Over het algemeen kan er gesteld worden dat de mate van elasticiteit ongeveer gelijk is aan die van beton. De E-modulus van normaal beton is 30 000N/mm², voor gewoon glas 69 000 - 72 000 N/ mm². In beide gevallen is het een bros, steenachtig materiaal.

- *Soortelijke massa*

De dichtheid van Verrazzo varieert per soort, maar is qua soortelijk gewicht vergelijkbaar met grindbeton. Deze bedraagt 2400kg/m³. In algemene zin kan er gesteld worden dat het een zwaar bouw materiaal is dat minder geschikt is om alleen voor de afwerking van een gebouw te gebruiken.

- *Vorstbestendigheid*

De vorstbestendigheid van materiaal A is bepaald aan de hand van kubussen met afmetingen van 150 x 150 x 150 mm³. De kubussen zijn na 28 dagen blootgesteld aan een zoutoplossing en onderworpen aan een aantal vries–dooicycli waarin de temperatuur van de omgeving varieerde tussen de -20°C en 20°C. Nadat de kubussen de verschillende temperatuurscycli doorlopen hadden, werd een massaverlies met een gemiddelde waarde van 936,7 gram waargenomen. Voor normaal beton⁶⁰ is het verlies aanzienlijk hoger. Ook al presteert Verrazzo beter dan beton, verschilt dit per land, klimaat, opdrachtgever en toepassing of het materiaal aan de gestelde eisen voldoet.

- *Lichtdoorlatendheid*

De lichtdoorlatendheid van materiaal B is bepaald aan de hand van metingen in de daglichtkamer van de faculteit der Bouwkunde te Delft. Hieruit blijkt dat het materiaal geschikt is om in gebouwen toe te passen waar grof werk wordt uitgevoerd of in gebouwen waar het plaatsen van extra kunstlicht mogelijk is. Er moet naar gestreefd worden om de elementen zo dun mogelijk te construeren, omdat de hoeveelheid binnenvallend licht sterk afhankelijk van de dikte van het element. Dit verschilt met translucet beton waarbij dat de dikte van een muur kan gaan tot 20m zonder verlies in lichtdoorlaatbaarheid. De factor T is niet gemeten.⁶¹

- *Aanhechsterkte glas - cement*

De aanhechsterkte van het glas met het cement, dat als bindmiddel gebruikt wordt, is minimaal. Een manier om het glas een betere aanhechting te laten krijgen is het zandstralen van het oppervlak. Niet voor alle producten / elementen is het noodzakelijk om de aanhechsterkte te optimaliseren. Voor producten /elementen die in een bepaalde richting op buiging belast worden is het bewerken van het glasoppervlak bijvoorbeeld overbodig. Dit slaat terug op de lange glasstroken die in de overspanningsrichting de sterkte verhogen.

⁶⁰ vorstbestendigheid van normaal beton hangt af van de leeftijd van beton. Bij verhard beton treedt beschadiging op door vorst enkel als er zowel brede, met water verzadigde capillairen aanwezig zijn als plots intredende vorst.

⁶¹ hoeveelheid licht die een oplossing doorlaat, uitgedrukt in grootte transmissie T

- Afwerking

De afwerking van Verrazzo is vergelijkbaar met dat van marmer en graniet. Door Verrazzo te polijsten en te coaten wordt het waterdicht.⁶²

Toepassingen

Vloeren, tegels, balies, scheidingswanden, bureau- en aanrechtbladen, tafelbladen en plafondplaten; Verrazzo kent tal van toepassingsmogelijkheden. Het materiaal lijkt ook heel geschikt te zijn voor buitengebruik. Voorbeelden van buitentoepassingen zijn gevelbekleding, dragende gevelelementen want het is sterker dan gewoon beton en kunstobjecten. Door verschillende diktes is Verrazzo transparant, translucet, of kun je waar de glasdeeltjes zitten helder in het materiaal kijken.⁶³ Toch blijkt dat toepassingen binnenshuis het meest haalbaar zijn. Testen voor het gebruik van Verrazzo buitenshuis zullen worden uitgevoerd en als de testresultaten gunstig uitpakken zullen de toepassingen worden uitgebreid.⁶⁴



VERRAZZO ELEMENT PLAATSEN, Verrazzo B.V.

Er zijn twee pilotprojecten opgezet en uitgevoerd. Het eerste project betreft een prototype voor een koepel van een badhuis. Het tweede project betreft een zelfdragend gevelelement voor het schoolgebouw van de hogeschool voor Bouwkunde en Civiele Techniek te Arnhem. Beide pilotprojecten maken deel uit van een lopend onderzoek naar de duurzaamheid van het materiaal, wanneer het aan weersinvloeden wordt blootgesteld.

Het onderzoeks- en ontwikkelingsproces heeft uiteindelijk geresulteerd in een toepasbaar en semi-transparant bouw materiaal. Verdere ontwikkelingen van de koepel en verschillende andere producten en een uitgebreider onderzoek naar de eigenschappen (alkali-silicareactie, aanhechsterkte glas-cement), zijn zeer interessant. De eerste voorlopige resultaten van de onderzoeken naar het op de markt brengen van Verrazzo als bouw materiaal scheppen hoge verwachtingen voor de toekomst. Het materiaal zal dus in de loop van de tijd nog evolueren.

62 senternovem.nl 'Verrazzo'

63 senternovem.nl 'Verrazzo'

64 senternovem.nl milieutechnologie 'Verrazzo'

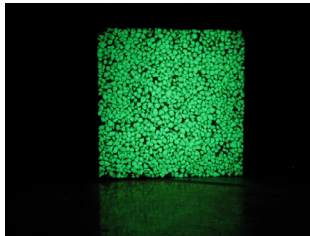
4.6 Oplichten en nagloeien

Deze serie prototypen toont mogelijkheden van betonoppervlakken die onder bepaalde omstandigheden (deels) kunnen oplichten of nagloeien. Zo kunnen interactieve oppervlakken ontstaan waarvan de toepassingsmogelijkheden zeer uitgebreid zijn en de visuele effecten als overdonderend of mysterieus worden ervaren.⁶⁵ Clairette Gitz en Elise Vandewalle hebben samengewerkt met Geelen Beton en Harrie Lövenstein van de firma Lövenstein om dit prototype te realiseren. Er moet echter worden benadrukt dat het hier over experimenteel onderzoek gaat. Er is geen theoretisch vooronderzoek aan vooraf gegaan. In een beperkte tijd moesten de eerste proefelementen worden gerealiseerd. Geelen beton werkt enkel met zelfverdichtend beton⁶⁶ o.b.v. hoogovencement⁶⁷ i.p.v. portlandcement. Dit geeft een lichtere kleur.

Voor dit prototype zijn twee oplossingsrichtingen onderzocht. In een eerste serie is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van toevoeging van lichtgevende pigmenten zoals fosfor⁶⁸, fluor⁶⁹, zinksulfide⁷⁰ en alexandriet⁷¹. Bij de eerste tests werd het witte nalichtende poeder gewoon gemengd met het beton. Het poeder is dus verwerkt in het volledige betonmengsel. Het toevoegen van de pigmenten zonder meer in het beton, levert geen goede resultaten. Pigmenten met lichteffect zijn enkel waarneembaar indien ze in voldoende mate aanwezig zijn aan het betonoppervlak. Door beton en pigment te mengen, zal weinig pigment zichtbaar blijven aan het oppervlak. Veel en duur pigment zit binnenin de massa verborgen. De werking van de pigmenten vermindert door de hoge pH waarde van beton, dat tussen 11 en 13 ligt. Het onbeschermd pigment wordt ook nadelig beïnvloed door water. Een transparante coating op de pigmentkristallen (20-50 micrometer) kan dit voorkomen.



INSTORTEN GEOCOATE GRINDKORRELS



NALICHTEND EFFECT, Geelen Beton

De tweede serie prototypen heeft zich gericht op lichtgevende of van kleur veranderende toeslagmaterialen: gecoat grind en glasparsels. De pH van het beton wordt niet verlaagd dus werd ervoor gekozen het grind of elk ander dragermateriaal te coaten en in te storten. Van alle dragermaterialen is vooral grind relevant voor mijn thesisonderwerp. Om een totaalbeeld te geven van de verschillende uitgevoerde experimenten, worden de

65 Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008 + concrete casestudies

66 Mogelijkheid tot gecompliceerde vormen en constructies en tot hoge wapeningsdichtheid. Grindnesten en waterafscheiding komen minder voor. Verdichten is niet noodzakelijk. Grotere dichtheid en duurzaamheid.

67 o.b.v. hoogovenslak, beter bestand tegen chemische aantasting, milieuvriendelijker, lagere hydratatiewarmte dus beter geschikt voor grote volumes dan portlandcement

68 fosfor: niet-metaal dat in verschillende kleur kan voorkomen en wordt gebruikt in fluorescerende lampen, televisiebuizen, röntgenstraalschermen, wit fosfor is giftig
kunnen zichtbaar licht uitzenden bij bestraling met energierijke UV straling + ook in speciale gevallen onzichtbare infraroodstraling in zichtbaar licht omzetten

69 fluor: fluoride: aanduiding voor het fluor-ion en fluoriden zijn stoffen die ontstaan uit reacties met dat ion; veel fluoriden, waaronder vloeispaat, kunnen onder omstandigheden licht uitstralen

70 zinksulfide: bestaat uit zink en zwavel; onzuivere zinksulfide is fosforescerend en luminescerend en wordt in beeldschermen gebruikt

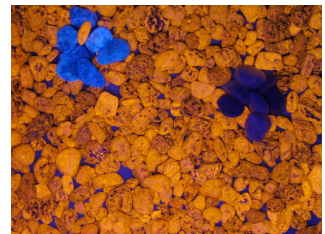
71 alexandriet: groene variëteit van chrysoberyl die bij kunstlicht rood kleurt

anderen ook kort besproken. Het witte poeder, dat nalicht in het donker, wordt met lijm gemengd. De grindkorrels worden hierdoor gehaald. Grindkorrels van 1 tot 30 mm grootte zijn mogelijk. Door het nalichtend⁷² pigment op grind te coaten, wordt de toepasbaarheid in beton mogelijk. Dit coatinglaagje is hooguit 100 micrometer. Aan het oppervlak van de grindkorrel zijn voldoende hoge concentraties pigment aan te brengen. Het pigment wordt zo door het coatingmiddel afgeschermd van de mogelijke inwerking van het beton. De werking in het betonmengsel is niet 'door en door', maar is vergelijkbaar met verven. De korrels bevinden zich enkel aan het oppervlak van een element.

In het donker kleuren ze groen. Bij daglicht zijn ze gelig/wit afhankelijk van de toegepaste hoeveelheid pigment. Bij een lage concentratie zijn bij daglicht geen kleurverschillen zichtbaar met ongecoat grind, terwijl in het donker alleen het gecoate grind licht geeft. Deze sterkte is afhankelijk van de pigmentconcentratie. Als dit nalichtende element als tegel toegepast wordt, is het belangrijk om weten dat het coatinglaagje, door het belopen van de tegel, gemakkelijk afslijt. Het naakte grindoppervlak wordt zichtbaar en het nalichtend effect verdwijnt.

Het toevoegen van groene korrels geeft een lichteffect in het donker. Deze korrels zijn gebroken grind, meer bepaald gebroken kwarts dat gecoat werd met het witte pigment poeder. Het element licht op in het donker.

De glasparels hebben een reflecterend effect. Het zijn kleine korreltjes glas. Deze worden ingestrooid in een mal en beton wordt gegoten. Daardoor zijn de korreltjes enkel aanwezig op het oppervlak. Als je wrijft over het oppervlak, voel je de glasparels maar het geeft toch een glad oppervlak.



ORANJE ONDER BLACK-LIGHT, Geelen Beton

Door gebruik te maken van luminescerende materialen als toeslagmateriaal in het beton, wordt het beton opgelicht in een donkere omgeving. Ze absorberen lichtenergie en stralen deze vervolgens weer uit. Die uitstralende energie kan dan zichtbaar gemaakt worden met UV-licht of black-light. Bij deze laatste werd er een transparante laag van luminescerend materiaal op het grind aangebracht. Hierbij is het dan wel noodzakelijk om de behandelde granulaten aan het oppervlak van het beton te krijgen, omdat bij gewoon ontkist beton de cementfilm zich aan de oppervlakte bevindt. Hiervoor wordt het beton uitgewassen⁷³. Met dit project is het ook mogelijk om lichtgevend figuren te laten verschijnen in het donker als het beton belicht wordt met black-light. Dit kan gerealiseerd worden door de behandelde toeslagmaterialen in een gereserveerd deel van de mal te plaatsen en de rest van de mal te vullen met onbehandeld materiaal. Onder normale belichting is er dus niets bijzonders te zien. Dit effect wordt bereikt door gebruik te maken van fluorescerende pigmenten, die oplichten in aanwezigheid van UV rijk black-light. Zodra de black-light uitgaat, zijn de pigmenten niet meer zichtbaar. Fosforescerende pigmenten blijven nalichten als (black-)licht uitgaat. Het nalichten gebeurde vroeger door pigmenten o.b.v. zinksulfide. Nu gebruikt men Sr A, strontium aluminaat⁷⁴. Het schijnt tien keer sterker en langer dan

⁷² ook wel forfiserende of fotoluminescerende pigmenten genoemd. Zij hebben UV rijk licht nodig om lichtenergie te kunnen opslaan, dat in het donker vrijkomt als nalichten

⁷³ Bij Geelen beton werd de cementsluis verwijderd door water onder hogedruk over het oppervlak te spuiten.

⁷⁴ reukloos, onbrandbaar, lichtgeel poeder. Als het geactiveerd wordt met het juiste doteringsmateriaal, dan fungeert het als een

zinksulfide maar is tien keer duurder.



OPLICHTEND EFFECT 'POPPETJE' PRODUCTIEPROCES, Geelen Beton

Het maken van een figuur dat oplicht onder black-light is een manueel proces. Black-light bevat relatief veel UV, dit is energierijk licht, waardoor het pigment beter wordt opgeladen zodat het ook beter kan nalichten. De gebruikte mal was 50x50 cm en 5 cm hoog. Eerst moet de mal overal behandeld worden met een vertrager, op alle plaatsen waar geen beton mag komen. Als er geen vertrager gebruikt wordt, dan zouden de gecoate korrels in het beton opgenomen worden, waardoor het effect verloren gaat. De vertrager zorgt ervoor dat de toplaag van het beton niet reageert, namelijk een laagje van 5 mm. Het poppetje wordt uit papier geknipt en in de mal gelegd. De gecoate korrels worden in het poppetje gelegd. De korrelgrootte bedraagt 8/16. De rest van de mal wordt opgevuld met gewone korrels. Daarna wordt voorzichtig manueel het zelfverdichtend beton gegoten. Na het uitharden en ontkisten wordt het betonnen element uitgewassen. Dit gebeurt door het wegspuiten van de vertrager door water onder hoge druk. Het toplaagje van beton is niet uitgehard door het gebruik van de vertrager en deze cementsluier wordt verwijderd. De korrels komen zo naar boven. Het oppervlak kan gepolijst worden, maar dan verdwijnt de coating van de korrels.

fotoluminescerende fosfor met een lange uithouding van fosforescentie

4.7 Luminous concrete

4.7.1 Algemeen

Luminous concrete maakt geen deel uit van de prototypes ontwikkeld bij de Casestudy Precast Concrete 2006-2007. Toch is het een belangrijk element in mijn thesis. Vandaar dat ik er een subhoofdstuk aan wijd. In kader van de Concrete Design Competition 2008 “Implicit Performance – Exploring the hybrid condition” ging Bert Vandael, een architectuur student van de PHL te Diepenbeek, experimenterend te werk om de grenzen van het materiaal beton te verkennen en te verleggen en dit in relatie met licht. Zijn onderzoek sluit aan bij het oplichten en nagloeien van beton.

De bedoeling van deze wedstrijd is door middel van onderzoek en ontwerp elke notie van “Implicit Performance” te onderzoeken, om de grenzen van de betrokkenheid van beton met andere middelen te verkennen en te benutten, om nieuwe bouwmaterialen en toepassingen, waar dat beton de basis van vormt maar niet noodzakelijk het enige element is, te creëren. Door de wedstrijd gaat men op zoek naar beton dat zijn oorspronkelijke prestaties overtreft tot op het punt om een nieuw materiaal te worden of een systeem in en van haar zelf te worden met hedendaagse ruimtelijke en ervaringsgerichte gevolgen.⁷⁵

4.7.2 Idee

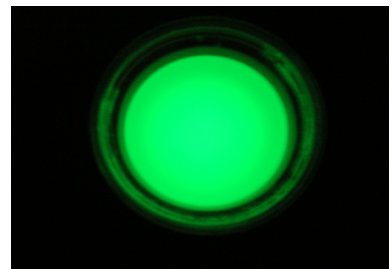
Een hybride constructie is het samenbrengen van ongelijksoortige materialen. In dit geval gaat het over beton en fotoluminescerende stoffen. Het betreft een product op basis van aluminiumkaten.⁷⁶ Het is niet toxisch, heeft een hogere helderheid van licht, een langere nagloeitijd en is verkrijgbaar in meerdere kleuren.

Zijn idee voor de wedstrijd komt voort uit de huidige energieproblematiek, namelijk de stijgende energieprijzen, de opwarming van de aarde. De zon kan een belangrijke rol spelen in het energieverbruik.

Het idee dat door deze student uitgewerkt is, wil deze begrippen ‘energie’ en ‘beton’ combineren. *‘Kan er een eigenschap aan beton toegeschreven worden waardoor de passieve energiewinsten van de zon voor andere doeleinden kunnen gebruikt worden? Is er een optie om het zonlicht overdag op te slaan en ‘s nachts af te geven? Why doesn’t concrete illuminate at night?’* Het doel is dus een betonproduct ontwikkelen dat oplicht in het donker.

4.7.3 Methode

Uit de eerste tests bleek dat het cement en het lichtgevend poeder goed met elkaar reageren. Er werd geëxperimenteerd met de hoeveelheid cement en de hoeveelheid lichtgevend poeder met een W/C factor van $\frac{1}{2}$, gaande van veel cement met zeer weinig lichtgevend poeder tot een samenstelling met een massa/volume verhouding

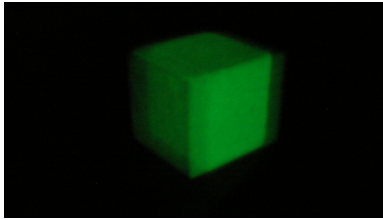


LICHTGEVEND POEDER IN WATER, Bert Vandael

⁷⁵ concretedesigncompetition.com

⁷⁶ geen exacte samenstelling vermits het om een gepatenteerd product gaat

van 60% cement en 40% lichtgevend poeder. Het mengsel wordt in een mal gedaan. Een onmisbare factor is de waterafstootbaarheid van het lichtgevend poeder. Het lichtgevend poeder lost niet op in het water en zakt geleidelijk aan naar de bodem van het potje. Ook de kwaliteiten van het poeder blijven behouden in het water. Na uitharding blijkt bij een eerste test dat bepaalde samenstellingen niet werken. Andere samenstellingen geven wel licht, maar niet voldoende. Na ontkisting wordt iedere kubus op zich getest wat bij sommige verrassend goede resultaten geeft (zie foto).



CEMENT EN POWDER GOED RESULTAAT, Bert Vandael

De volgende stap was het manueel maken van lichtgevend beton. Het maken van de lichtgevende mortel gaf een goed resultaat. Doordat er minder cement in de betonsamenstelling zit, worden korte ijzeren staafjes toegevoegd om dit tekort op te vangen. De w/c factor bedraagt $\frac{1}{2}$. Er is in verhouding minder cement per m^3 dan in traditioneel beton. Dit geeft bij het storten een iets

te droog beton. Uit de eerste drukproeven blijkt het beton te zwak. In een tweede reeks betonkubussen wordt rekening gehouden met de normale hoeveelheid cement. Daardoor is er meer lichtgevend poeder nodig.



BETON SLECHTER RESULTAAT, Bert Vandael

Omdat ook hier het beton te droog is, wordt de w/c factor verhoogd naar $\frac{3}{5}$. Dit heeft als resultaat een mooie, gladde kubus. Bij de eerste test in het donker is er een teleurstellend resultaat, vergeleken met de oplichtende mortel (zie foto). Meer lichtgevend poeder betekent een betere helderheid, maar het grote nadeel hieraan is de hoge productiekost. Simpele berekeningen resulteerden in productiekosten die stegen tot boven de $2.000\text{€}/m^3$.

Drukproeftesten

De eerste reeks bestaat uit drie paar betonkubussen. Het eerste paar is traditioneel beton. Het tweede paar heeft een verlaagde hoeveelheid cement (ongeveer 70%) met een bepaalde hoeveelheid lichtgevend poeder.⁷⁷ Het derde paar heeft dezelfde samenstelling als het tweede paar, maar krijgt extra ijzeren staafjes toegevoegd. Na 28 dagen heeft kubus 1 de gewenste sterkte die van beton vereist wordt en een betonkwaliteit C20/25. De andere twee kubussen halen te lage waarden. Het tekort aan betonsterkte is grotendeels te verklaren door de te lage cementshoeveelheid.⁷⁸ Na een nieuwe test, waarbij de minimum hoeveelheid van cement in de betonsamenstelling behouden blijft en daardoor een grotere hoeveelheid lichtgevend poeder nodig is én een w/c factor $\frac{3}{5}$, blijkt dat deze kubussen de gewenste sterkte ook niet halen. Dit heeft wellicht te maken

⁷⁷ bepaald a.d.h.v. de resultaten bij de testen met cement en lichtgevend poeder

⁷⁸ De betonsterkte van gewoon beton wordt in hoofdzaak bepaald door de sterkte van de cementsteen. Een verandering van het cementgehalte verandert de betonsterkte alleen als gelijktijdig ook de w/c factor veranderd wordt. (Materiaalkunde, bouwkunde & civiele techniek, Verver en Fraaij p. 333)

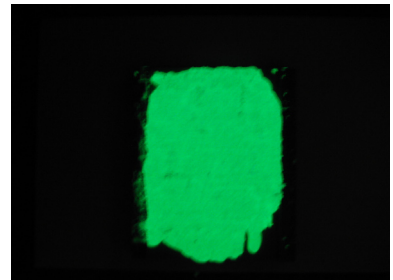
met de hoge w/c factor.⁷⁹

Uit al deze negatieve resultaten werd besloten een andere weg in te slaan: het ontwikkelen van een beton dat inwendig bestaat uit 'goedkoop', traditioneel samengesteld beton en aan de buitenkant uit een dun laagje duur, lichtgevend beton.

Spuitbeton

Na een brainstormsessie wordt besloten een idee van een lichtgevend spuitbeton te ontwikkelen. Een dun laagje lichtgevend beton van 1 à 2 mm wordt op de betonnen draagstructuur gespoten. Doordat het hier om een dun, duur laagje lichtgevend beton gaat, valt de uiteindelijke prijs per m² mee en kan het economisch rendabel zijn.

Een mengeling van gemalen beton (recyclage), marmerpoeder en polymeren vormen een perfecte pasta. Na toevoeging van thermoharders is het geschikt om onder druk te spuiten. Met deze techniek is het dus mogelijk om dunne laagjes beton op allerlei materialen te spuiten zoals beton, hout, ... Na toevoeging van het lichtgevende poeder aan de betonpasta krijgen we een zeer droog tussenproduct met lichtgevende eigenschappen. In deze onderzoeksfase wordt manueel gewerkt. Na uitharding blijken de tests in het donker zeer goede resultaten te geven. Er is een verrassend helder licht (zie foto).



SPUITBETON, Bert vandael

Nog een belangrijk onderzoek is het nameten van de tijdsduur van oplichten en de helderheid van licht. Volgens de chemische eigenschappen van het lichtgevend poeder is er een zeer heldere oplichting van het materiaal gedurende 30 minuten tot een uur, afhankelijk van de opgenomen lichtenergie. De totale nagloeitijd zou 10 uur tot 12 uur zijn, maar dit met een steeds afnemende exponentiële curve. De helderheid van het licht en de nagloeitijd zijn afhankelijk van het opgenomen licht (zonlicht, TL-licht, daglicht, ...) en de tijdsduur (van 3 seconden tot 30 minuten) van het oplichten. Hierbij dient te worden opgemerkt dat hoe UV-rijker het licht, des te beter. Zonlicht en TL-licht werken beter dan gloeilamplicht of halogeen licht met een geringere UV component. Lichtintensiteit is ook een belangrijk aspect. Bij het waarnemen van nalichting in het donker is belangrijk dat het menselijk oog aangepast is aan de duisternis. Een nalichtend element is immers na 5 uur in het donker alleen zichtbaar als onze ogen ook voldoende aangepast zijn aan de duisternis. De materialen worden een half uurtje in de zon gelaten. Uit de verschillende testen blijkt dat een regelmatig, om de 10 à 15 minuten en kort, 15 à 20 seconden, oplichten het beste effect heeft om op lange tijd een mooi, kleurig en helder oplichtend effect te bekomen.

⁷⁹ De sterkte van beton wordt, naast de tijdsfactor, in hoge mate bepaald door de hoeveelheid toegevoegd water (w/c.). Te veel water (meer poriën) geeft een lagere sterkte en mogelijkheden tot aantasting. (Materiaalkunde, bouwkunde & civiele techniek, Verver en Fraaij p. 285, 332)

4.7.4 Architecturale toepassingen

Een eerste toepassing kan men vinden bij gebouwen in zichtbeton. De finale laag van het zichtbeton kan in lichtgevend spuitbeton uitgevoerd zijn. Gebouwen gaan zo iets mythisch en zwevend krijgen. In de digitale bewerking van het Opera House van Calatrava is het zichtbeton vervangen door een lichtgevend spuitbeton. Het zwevende element krijgt een extra dimensie krijgen. Zo wordt het zwevend element een landmark en krijgt het iets transcendent.



DIGITALE BEWERKING OPERA HOUSE, Bert Vandael

zodat automobilisten 's nachts een soort lichtgevende leidraad hebben om de veiligheid te verhogen. Een kunstenaar kan mogelijk met een betonspuitmachine kunstwerken maken.

Een tweede architecturale toepassing is het materiaal gebruiken om een bepaalde veiligheid in te bouwen in noodsituaties. Bij stroompannes in grote gebouwen kunnen wanden, vloeren of plafonds in lichtgevend beton oplichten en de mensen visueel helpen om de uitgang te vinden. De betonnen middenberm van Belgische autostrades kan van lichtgevend beton voorzien zijn

Ook door gebruik te maken van eenvormige elementen (vloertegels, wandtegels, klinkers,...) met een verschillende lichtintensiteit kan men bepaalde patronen in gevels of op pleinen verwerken. Verder kan men stedenbouwkundige pleinen opwaarderen door er lichtgevende objecten op te plaatsen, zoals kunstwerken, zitelementen en bloembakken. Als laatste architecturale toepassing mogen we de interieurmogelijkheden niet vergeten. Denk hierbij maar aan de inkleding van bepaalde wanden, vloeren of plafonds in lounge-ruimtes of discotheken.

4.8 Interactief

Het idee om beton te creëren dat reageert met kleurverandering op de omgeving door warmte of licht werd gelanceerd door de firma Löwenstein, in samenwerking met Geelen Beton en de architecten Clairette Gitz en Elise Vandewalle. Zij slaagde erin *chromotherme materialen te verwerken in kunstmatig gevormde toeslagmaterialen van beton. Thermochrome⁸⁰ pigmenten veranderen van kleur onder invloed van temperatuurverschillen. Deze werden als prototype in een betonnen tegel verwerkt. Het oppervlak werd uitgewassen om de behandelde granulaten aan de oppervlakte te brengen. Bij kamertemperatuur is het oppervlak blauw. Bij verhitting, bijvoorbeeld met een elektrische föhn of onder invloed van de zonnestrallen, verkleurt het oppervlak naar wit.*

Beton heeft een pH tussen 11 en 13. Het is basisch. De activiteit van de toegevoegde kleurpigmenten neemt af m.a.w. de werking vermindert. Dit kan verklaard worden door de hoge pH van beton waartegen het pigment niet bestand is. Een andere mogelijke verklaring voor de afnemende activiteit is de invloed van UV-rijk zonlicht. Deze pigmenten zijn dus misschien minder geschikt voor buitentoepassingen. Hier zijn bijkomende tests noodzakelijk. De toegevoegde pigmenten kunnen gezien worden als minuscule capsules waar dat een vloeistof inzit. Als de temperatuur lager is dan 30° kleurt het beton blauw omdat dan de capsules gestold zijn. Als het warmer is dan 30°, smelt de vloeistof en wordt het transparant. De gewone betonkleur wordt dan zichtbaar. Hier is gekozen voor beton gemaakt met wit cement. Er is gekozen voor wit omdat dit een groter contrast geeft met blauw, dan grijs beton. Als referentie dient een kunststoffen plaatje, namelijk een twee-componenten hars. Hier waren de resultaten goed. Maar bij opnemen van de capsules in het beton, bleef het verwachte effect uit. Het beton kleurde amper blauw. De dosering werd verhoogd. Het beton bevat nu 10% kleurpigment. Er is wel enige verandering merkbaar, maar dit is echter gering. Hieruit is duidelijk dat de capsules hun werking verliezen. Het beton kleurt niet meer wit. Een mogelijke oplossing is het coaten van de capsules ter bescherming.



INTERACTIEF BETON, Geelen Beton

De ontwerpmogelijkheden zijn nog niet verder verkend, maar gedacht wordt aan gebouwen die met de seizoenen verkleuren of schaduwen die onder invloed van de zonnewarmte zich ook in kleurverschillen aftekenen.⁸¹

In 2008 richtte de zesde Casestudy Prefab Beton op groen beton. Hier ging men verder in op het interactieve prototype. *Het oppervlak van interactief beton reageert op verschillende*

⁸⁰ dit zijn andere pigmenten dan de nalichtende pigmenten
⁸¹ experimenteren met licht en beton

klimatologische condities zoals koud, bewolkt, droog.... Door toepassing van kleurstoffen die onder bepaalde omstandigheden worden 'geactiveerd', ontstaat er een gevelbeeld dat varieert al naar gelang de weersomstandigheden. Een gebouw uitgevoerd met een dergelijke actieve gevel zal niet alleen een weerspiegeling zijn van deze omstandigheden, maar zal middels een veranderende verschijningsvorm een steeds andere visuele invloed op de omgeving uitoefenen. Positieve en negatieve waardering en interpretatie van het actuele weer kan worden ondersteund, versterkt of juist gedempt. Het gebouw acteert.⁸²

⁸² 'experimenteel beton – casestudy prefab beton 2008 groen beton'

4.9 Lövenstein

De firma die verantwoordelijk is voor het leveren van de toeslagmaterialen voor het maken van de prototypes van 'oplichtend en nagloeiend' en 'interactief' beton, is de firma S. Lövenstein B.V. Deze firma heeft als Textiel- en Plasticfabriek S. Lövenstein B.V. ruim 70 jaar diverse koordproducten ontwikkeld waaronder het in de slaapkamers vertrouwde trekkoordje met lichtgevende knop. Daarnaast heeft de firma zich ook toegelegd op veiligheidsproducten ten behoeve van sociale alarmering, en in het verlengde hiervan recentelijk op vluchtwegmarkeringssystemen. Hierbij zijn lichtgevende, fotoluminescerende, elementen verdekt aangebracht aan plafondverlichting en in vloeren, en worden deze alleen opgemerkt als het licht uitvalt.

'Verborgene Veiligheid' voorziet in een additionele vluchtwegmarkering, die verborgen is in het interieur en alleen zichtbaar wordt in het donker. Deze extra markeringen geven stap voor stap het geruststellende gevoel dat men in de juiste richting naar de uitgang aan het lopen is: zij bespoedigen daarmee de evacuatie en gaan paniekvorming tegen. In een normale lichtsituatie zijn extra markeringen minder gewenst: zij ontsieren het interieur en kunnen zelfs verwarring veroorzaken in aanwezigheid van andere routeaanduidingen vb in een ziekenhuis. Doordat de extra markeringen onder normale omstandigheden niet opvallen, blijft het representatieve karakter van het interieur behouden.

Extra vluchtwegmarkeringen bieden een voortdurende bevestiging van de te volgen vluchtroute en verhogen daarmee de effectiviteit. Dit geldt in openbare gelegenheden, waar aanwezigen onbekend zijn met vluchtwegen. Nooduitgangen zijn op afstand moeilijk traceerbaar, zoals in grote gebouwen met complexe gangenstelsels, terwijl de weg er naar toe soms belemmerd kan zijn door meubilair of bemoeilijkt door rook. Extra markeringen brengen dan structuur aan in de te volgen vluchtroute. Verborgene Veiligheid is te integreren in plafond- en vloersystemen.⁸³

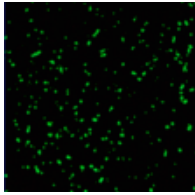
4.9.1 Toepassingen

De plafondmarkeringen, die dienen als vluchtwegsignalisatie voor een spoedige evacuatie, zijn extreem fel nalichtend. De aangebrachte elementen zijn snel te installeren. Dit stukje geschreven ter vervollediging omdat beton niet gebruikt wordt.

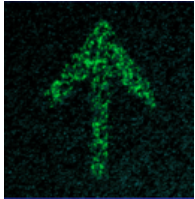
De signalisering kan ook op of in de vloer aangebracht worden. Er heerst geen struikelgevaar. Het betreft hier luminescerende vluchtwegbegeleiding naar buiten toe. Extra markeringen worden in vloeren aangebracht omdat bij noodsituaties intuïtief naar de grond wordt gekeken, ook als er geen sprake is van rookvorming. Voorbeelden van markeringen zijn ondermeer belijningen, stippen, pijlen, vlakken, 'voetstappen', vloerpictogrammen en verschillende patronen, die desgewenst onder lichtsituaties zichtbaar blijven. De markeringen bestaan uit lichtgevende elementen, die verwerkbaar zijn in ondermeer siergrind, troffel- en giet, en terrazzovloeren. Het betreft hier vloerafwerkingen. Van echt constructief beton kan je dus niet spreken. Lichtgevende materialen slaan onder normale omstandigheden licht op, dat weer wordt afgegeven in het donker, en zijn dus niet radioactief. Dit proces is praktisch oneindig herhaalbaar, onderhoudsvrij en bedrijfszeker. De vloersignalisatie is steeds esthetisch gecamoufleerd.

⁸³ lovenstein.nl

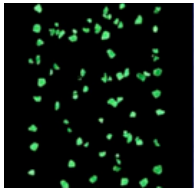
De diverse vloersystemen zijn:



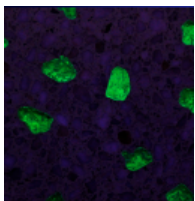
- epoxygietvloer: De luminescerende vlokken worden in diverse patronen en kleuren gestrooid. Hier is het mogelijk om de pigmenten te mengen en effect te hebben op voorwaarde dat er geen dikke laag gegoten wordt.⁸⁴ Het kan gecombineerd worden met anderskleurige vlokken. De nalichtende vlokken zijn onder normale omstandigheden onopvallend. Het product bestaat in tegels of kan voegloos als gietvloer uitgevoerd worden.



- Grindvloer en troffelvloeren: Het gecoate lichtgevend toeslagmateriaal wordt gemengd in gangbaar grind en kwarts. Het lichtgevend toeslagmateriaal kan bij daglicht met opzet zichtbaar gemaakt worden als vb. een vloerpictogram maar kan ook onopgemerkt blijven totdat het donker wordt.

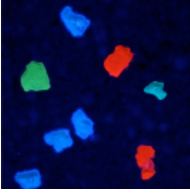


- Eterno Luminoso: Hierbij werd het klassieke terrazzowerk gecombineerd met de moderne betontechnologie. Lövenstein werkte hiervoor samen met het bedrijf Eterno Terrazzo uit Almere, met als resultaat een nalichtende terrazzovloer.⁸⁵ De vloer bestaat uit beton waaruit zand en grind zijn verwijderd en waar stukjes natuursteen aan zijn toegevoegd en, in dit geval, stukjes nalichtend granulaat namelijk divers gekleurde lichtgevend ('luminoso') en black-light geactiveerde ('lumineo') aggregaten gemengd met gebruikelijke toeslagmateriaal en veelkleurig cementlijm. De luminoso zijn een soort glas granulaat dat gecoat is met een fosforescerend pigment. De lumineo zijn fluorescerende pigmenten die nalichten door UV of black-light. Deze luminoso en lumineo aggregaten worden homogeen aangebracht of in bepaalde patronen. Het glasachtige granulaat dat aan het oppervlak zit, wordt geschuurd en gepolijst zodat ongeveer 3-5 mm van het granulaat verdwijnt. Dat deel van het granulaat dat nog in de vloer steekt, blijft zijn nalichtende werking behouden. Je kijkt namelijk via de doorzichtige binnenkant van het granulaat naar de resterende coating, dat tussen de cementlijm en het granulaat geborgen is. Als dit een grindkorrel was geweest, dan zou je niets anders zien dan het doorgeslepen oppervlak van het grind. Het systeem is volledig geïntegreerd & slijtvast.⁸⁶



- Fotolum oppervlakken: uitgevoerd in verschillende kleuren. Er bevinden zich geen elektronica in het oppervlak, het is een volledig geïntegreerd systeem met alle overige voordelen van stenen oppervlakken

84 gemiddeld 3 mm dik
85 berkellandinbedrijf.nl 'Innovatie'
86 eternoterrazzo.nl 'Nieuwsbericht'



- Neolum oppervlakken: hetzelfde systeem als Fotolum maar het dient als alternatieve noodverlichting d.m.v. black-light.

Deze laatste twee kunnen als geveltoepassing dienen. Gevelelementen in diverse kleuren worden gecombineerd met reguliere materialen en kunnen voorzien worden van na- en oplichtend toeslagmateriaal.

Binnen- en buitengevels kunnen desgewenst aangelicht worden met blacklight.⁸⁷ Het lijkt echter weinig zinvol om nalichtende elementen als buitentoepassing te gebruiken. Het effect is minder opvallend door schemerwerking als bij inpannige situaties waarbij men plotseling van licht naar donker gaat. Bovendien is er in West-Europa 's avonds te veel strooilicht, zodat het nooit voldoende donker is om het nalichtend effect te zien. Fluorescerende elementen daarentegen kunnen in het donker met black-light oplichten.

⁸⁷ foto's komen van Lovenstein.nl

CONCLUSIE

Er zijn twee mogelijkheden om met beton en licht om te gaan.

Een eerste manier is op conceptueel vlak. Aan het materiaal beton wordt niets gewijzigd. De eigenschappen van het beton worden gebruikt om lichteffecten te genereren in een ruimte. De plasticiteit van het materiaal en de mogelijkheid om eender welke vorm te realiseren maakt van beton een geschikt materiaal om elementen te ontwerpen die de lichtinval in een ruimte beïnvloeden. Deze elementen kunnen een structurele of esthetische toepassing hebben.

Louis Kahn heeft in zijn ontwerpen structuur en licht verenigd. Hij ontwierp structurele daksystemen en wandsystemen waarbij licht de ruimte binnenkomt en deze zodanig beïnvloedt dat de ruimte betekenis krijgt. Zijn 'lichtsystemen' ondersteunen het doel van de ruimte. Op deze manier schiep hij ruimtes waarin het aangenaam vertoeven is. Daglicht bepaalt namelijk de sfeer van een ruimte en beïnvloedt op die manier de stemming van de gebruikers.

De studenten van de Technische Universiteit Eindhoven hebben betonnen prototypes ontwikkeld die daglicht binnenlaten in een ruimte met een plat dak of in een ondergrondse ruimte. Het waren niet zomaar 'lichtarmaturen' maar elementen die daglichteffecten gaven in die ruimte. Verschillende tests werden uitgevoerd. De studenten moesten goed de bedoelde lichteffecten onderzoeken in relatie met beton.

Een tweede manier is op materiaaltechnisch vlak. Hierbij wordt het beton wel gewijzigd in samenstelling en/of uitzicht. Aan het materiaal kunnen fotoluminescerende elementen worden toegevoegd zodat het beton oplicht. Led's kunnen geïntegreerd worden in een betonnen element. Glas en kunststof kunnen in het betonmengsel opgenomen worden, waardoor het geheel een transparant karakter krijgt. Kunststof- en glasvezels gemengd in beton transporteren licht doorheen het materiaal. Beton wordt translucient en krijgt een levendig karakter doordat schaduwen en vormen die zich achter de wand bevinden, zichtbaar worden aan de andere zijde. De mogelijkheden van beton lijken onbeperkt.

Beide manieren verschillen ten opzichte van elkaar. Onderzoek en het uitvoeren van experimenten zijn een noodzakelijk element. Maar het resultaat is hetzelfde. Beton wordt van zijn robuustheid ontdaan en krijgt een licht karakter.

BIJLAGEN

Voor het beter begrijpen van bepaalde hoofdstukken, is het noodzakelijk een verklarende woordenlijst bij te voegen.

Licht

Als licht door een oppervlak tussen twee media zoals lucht en glas beweegt, kan een deel gereflecteerd worden. Deze reflectie gebeurt onder dezelfde hoek waarmee het licht inviel.⁸⁸

De transmissie (T) is gedefinieerd als de fractie van het oorspronkelijke licht die doorgelaten wordt door het monster.⁸⁹

Bij absorptie wordt stralingsenergie omgezet in warmte van de materie. De moleculen waaruit de materie is opgebouwd gaan meer bewegen. Het blijkt echter dat elk stof alleen straling kan absorberen van specifieke golflengten die karakteristiek zijn voor die stof.⁹⁰

De lichtintensiteit of lichtsterkte is de lichtflux⁹¹ die door een lichtbron uitgestraald wordt per vaste hoekeenheid in een gegeven richting. Ze wordt gebruikt ter karakterisering van punctuele of kleine lichtbronnen zoals een lamp.

De luminantie van een oppervlak is de verhouding van de lichtintensiteit van dat oppervlak in de kijkrichting tot het zichtvlak ervan in de beschouwde richting. Ze vertaalt de visuele gewaarwording van de door een lichtbron geproduceerde helderheid.

De verlichtingssterkte wordt geproduceerd door natuurlijk en kunstmatig licht. Het betreft de hoeveelheid licht die op een oppervlak invalt.⁹²

Luminescentie

In de hoofdstukken die nu volgen, gaan begrippen zoals luminescentie, fluorescentie... aan bod komen. Het is noodzakelijk om deze begrippen te bundelen en op voorhand te definiëren.

Onder fluorescentie verstaat men de eigenschap van een stof om geabsorbeerde straling weer als licht, waarvan de samenstelling is gewijzigd, uit te zenden. Een voorbeeld is de omzetting van elektromagnetische straling, in het bijzonder van ultraviolet licht⁹³ in licht met een andere golflengte, namelijk in zichtbaar licht⁹⁴. Dus energierijke kortgolvlige UV wordt omgezet in energiearmere langgolvlige licht.

Van fosforescentie spreekt men gewoonlijk, wanneer de stof na bestraling gedurende

88 <http://nl.wikipedia.org/wiki/Licht>

89 <http://nl.wikipedia.org/wiki/UV/VIS-spectroscopie>

90 <http://mediatheek.thinkquest.nl/~lla129/licht.htm>

91 hoeveelheid licht die door de lichtbron uitgestraald wordt in alle richtingen van de ruimte.

92 WTCB 'visueel comfort en normalisatie'

93 golflengtes onder de 380 nm

94 zichtbaar spectrum van licht heeft een golflengte tussen 380 nm en 780 nm

lange tijd blijft nalichten. Een gemeenschappelijke aanduiding voor beide verschijnselen geeft het woord luminescentie.

Tegenwoordig is er een groot aantal luminescerende stoffen. Dit zijn stoffen waarvan het mogelijk is om straling of licht in een andere stralingsvorm dan de oorspronkelijke om te zetten.

De korte golven van de UV straling zijn voor ons oog niet waarneembaar, maar zij verwekken in de atomen van sommige mineralen een excitatie⁹⁵, waardoor energie in de vorm van zichtbaar licht wordt uitgestraald. Deze eigenschap treedt bij sommige mineralen op, bij andere niet.⁹⁶

Luminescentie wil zeggen dat het licht uitstraalt wanneer er een hoogenergetische elektromagnetische straling op valt. Luminescentie is licht, dat meestal optreedt bij lage temperaturen, en is dus een vorm van koude lichaam straling.

Fotoluminescentie is de emissie van licht van een materiaal onder excitatie. Absorptie van zichtbare of UV-straling brengt een molecuul tot een aangeslagen toestand. Het elektron absorbeert energie en springt naar een hogere energie-orbitaal. Wanneer het elektron terugvalt naar de grondtoestand, kan excitatie-energie worden bevrijd door de emissie van licht. Het is een vorm van luminescentie.

Fosforescentie is het verschijnsel dat een stof na te zijn belicht in het donker nog een poos blijft nalichten. Het is een gevolg van langzaam terugvallen van door bestraling met licht aangeslagen elektronen. Het feit dat dit langzaam gebeurt, komt doordat het terugvallen van de elektronen naar de grondtoestand een *verboden overgang* betreft. Voorbeelden zijn de “glow-in-the-dark” materialen die worden “opgeladen” door blootstelling aan licht. Het blijft een tijdje nagloeien.

Fluorescentie is een verschijnsel waarbij een atoom een hoogenergetisch foton absorbeert, in een aangeslagen toestand belandt en vervolgens terugvalt naar de grondtoestand onder uitzending van een foton van lagere energie (langere golflengte). Het energieverschil tussen de opgenomen en uitgezonden fotonen eindigt als moleculaire rotaties, trillingen of hitte. Een toepassing hiervan is de TL-buis. Het verschil met fosforescentie is dat het terugvallen van de fotonen geen verboden overgang betreft, waardoor het in een veel kortere tijd zijn licht zal uitzenden. Het gloeit op onder een UV lamp, maar zodra de lamp uit is, stopt het met gloeien.

95 het verhuizen van elektronen van de ene schil naar de andere en weer terug binnen eenzelfde atoom

96 <http://www.dcca.nl/art/yuri.htm>

BIBLIOGRAFIE

Literatuurlijst

Materiaalkunde - bouwkunde & civiele techniek, Verver en Fraaij

ABC van cement en beton, FEBELCEM

Louis I. Kahn: in the realm of architecture p.126

Daglicht in de architectuur - Sofie Rastelli 2005-2006

Louis I. Kahn, Taschen 'de Morgen' p. 79

Experimenteel beton licht in/op/door beton - januari 2008

'experimenteel beton – casestudy prefab beton 2008 groen beton'

Tijdschriftartikels

WTCB 'visueel comfort en normalisatie'

artikel The Concrete Society 'translucent concrete'

artikel De Standaard Online 'Concrete Design Competition' 26 april 2008

RIBA journal vol. 108, no 6, 2001 June p 60-62 'making light work'

Archi Tech 'Concrete: the once & future liquid stone' maart/april 2005

Domus november 2004 'Heavyweight transparency'

Architectural record 'Concrete gets glamorous in the 21st century'

artikel Metropolismag.com 'X-ray Architecture' april 2001

Production today 'transparant concrete causing a sensation'

Concrete engineering international 'Seeing the light' winter 2006 p.54-55

Het Laatste Nieuws 'Dragende wanden van lichtdoorlatend beton' 13 augustus 2004

artikel in bouw IQ 'transparant beton blijft nichemarkt'

Bouw IQ februari 2008, jrg 13 nr 1 'beton wordt hi tech' p.16

Concept Structure door Francesca Altavilla

Concept Control of light door Katrin Fuernschuss

Concept 3 Types of Light door Barbara Vicari

Concept Curved Concrete door Jurriën Vogelsang

Concept Reproduce Light door Jeroen van Zundert

document van De Nys Boudewijn, algemeen directeur Prefadim 'Resultaten Casestudy Precast Concrete' 2007

Beton 'Experimenteren met licht en beton' - juni 2007

ppt-presentatie Van Tichelen Raf

ppt lichtreflectie en lichtverstrooiing – architectuur PHL, diffuus: licht komt van alle kanten

thesis Ir. I. Vegt 'Glas in architectuur'

Onderzoek en technologie 'Verrazzo, een composiet bouw materiaal van gerecycled glas en beton'

Bert Vandael 'Concrete Design Competition'

Websites

<http://www.infobeton.be/fileadmin/pdf/nl/10incendies.pdf> 26-07-08

<http://www.infobeton.be/fileadmin/pdf/nl/07inertie.pdf>, 23-07-08

<http://www.infobeton.be/fileadmin/pdf/nl/08acoustique.pdf>, 23-07-08

http://www.infobeton.be/fileadmin/pdf/nl/HANS1_cards.pdf 24-07-08

http://www.henkvandergeest.nl/visie/bureaupres_architectuur.html

<http://en.red-dot.org/1349.htm>

http://www.flandersdc.be/blog/mooier_doorschijnend_lichtgevend_beton_of_beton_met_fotogravure/

[www. Litracon.hu](http://www.litracon.hu)

[www. Schott.com](http://www.schott.com) architectural wellness

[www. Dezeen.com](http://www.dezeen.com) 'Litracon-light-transmitting-concrete' 20 januari 2008

Businessweek.com 'Concrete wonders - translucent concrete'

Technical information www.florack.de

atelier-ad.blogspot.com 'Light transmitting concrete' 11 september 2007

www.Philips Lighting.com

www.Intron.nl 'Levende betonmuren'

holcim.nl

www.masterss.be

www.hurksbeton.nl

<http://www.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=1339c65a-9342-4931-98c8-5ba8c0b46130&lang=nl>

<http://www.ecodesign.be/?q=ecodesign/drupal/&q=materialen/glas/tabel>

http://www.senternovem.nl/milieutechnologie/projecten/projecten_sto_z/verrazzo_bv_het_opstellen_van_een_gedegen_ondernemingsplan_inzaken_de_door_verrazzo_te_ontwikkelen_activiteiten_0351050101002.asp

<http://www.thuisexperimenteren.nl/infopages/absorptiespectrometrie/absorptiespectrometrie.htm>

http://www.senternovem.nl/mmfiles/M&T%20spreads%20compleet_tcm24-223073.pdf

http://www.emis.vito.be/EMIS/Media/Beton_volledig_rapport.pdf

<http://www.concretedesigncompetition.com/cdc3/cdc3assignment.php>

<http://www.lovenstein.nl>

http://www.berkellandinbedrijf.nl/section_innovatie/innovatie_item_2.php

http://www.eternoterrazzo.nl/nieuws/nieuwsbericht.php?nieuws_id=114

<http://www.dcca.nl/art/yuri.htm>

http://www.betoninfra.nl/beton_en_betonspecie.html, 22-07-08

<http://www.readybeton.be/content/readymix/uploads/docs/>

<http://www.designbuild-network.com/projects/litracon/> 27-03-08

<http://www.bouwenwonen.net/news/read.asp?id=7012>, 22-07-08

http://www.cementenbeton.nl/Materiaal/Materiaalontwikkeling/Materiaalontwikkeling_downloads/Experimenteel_Beton_boekje_jan2008lr.pdf 07-08-08

<http://telescript.denayer.wenk.be/~b8/theorie.shtml#licht>, 26-07-08

<http://www.trendir.com/archives/000869.html> 26-07-08

<http://optics.org/cws/article/research/19184> 22-07-08

Bedrijfsbezoek Geelen Beton

Bezoek Technische Universiteit Eindhoven

